

CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTO INTERNO COM AÇO INOXIDÁVEL 307L SOBRE TUBULAÇÃO DE AÇO CARBONO A 131 GRAU A

G. S. Figueiredo, gleydsonfigueiredo.eng@gmail.com^{1,2,4}

P. D. C. Assunção, dangeloassuncao@gmail.com^{1,3,4}

M. F. Bazzoni, marcosbazzoni@gmail.com¹

E. F. Brandão, eduardo.f.brandao@gmail.com¹

C. R. L. Loayza, cristhian_loayza@hotmail.es^{1,3,4}

P. E. C. Baia, paolabaia@hotmail.com^{1,4}

E. M. Braga, edbraga@ufpa.br^{1,3,4}

¹Laboratório de Caracterização de Materiais Metálicos (LCAM) - Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110 – FEM - LCAM

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial (PPGEI) - Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais (PRODERNA) - Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

⁴Universidade federal do para(UFPA) - Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Resumo: Os dutos de aço-carbono, o qual é altamente propício a sofrer corrosão, cujo problema se agrava quando é necessário seu uso em condições extremas de alta temperatura e pressão. Porém, poucos estudos mostram a viabilidade da proteção das tubulações de aço carbono com soldagem de revestimento interno de aço inoxidável. Neste contexto, para a produção do revestimento foi utilizado um protótipo de soldagem orbital para o fim de realizar a deposição do material, se uso o processo de soldagem Gas Metal Arc Welding (GMAW) com arame eletrodo de aço inoxidável austenítico 307L e tubulação de aço carbono A131 grau A. Usou-se três velocidades de soldagem 15, 20 e 25 cm/min. Análises de tamanho de grão e de diluição, por microscopia ótica convencional, assim como o ensaio de microdureza Vickers, determinaram que a velocidade de soldagem com 20 cm/min teve os melhores resultados. Este trabalho serviu para demonstra a eficácia do processo na deposição de revestimento em dutos.

Palavras-chave: revestimento, duto, soldagem inertna, aço inoxidável.

1. INTRODUÇÃO

Segundo (KARAU, Friedrich, 2016), os dutos metálicos são altamente propícios a sofrer corrosão quando é necessário o uso dos dutos em condições extremas de alta temperatura e pressão. (HA, S. K.; LEE, H. K.; KANG, I. S, 2016) aborda que a perda de material dos dutos devido o desgaste, causa uma diminuição em suas propriedades mecânicas, o que levar a estrutura ao colapso provocando acidentes com custos de vidas humanas, danos no meio ambiente e prejuízos financeiros. (SAHRAOUI, Yacine; KHELIF, Rabia; CHATEAUNEUF, Alaa, 2013) relata que por este motivo, para prolongar a vida útil da estrutura do duto pode-se revesti-lo com o material de características desejáveis, com custos menores que a substituição do aço-carbono por uma liga de maior resistência, portanto, gerando um custo elevado.

(RIBEIRO, R. A. et al. 2015), afirma, que ara a produção do revestimento pode-se utilizar o processo de soldagem Gás Metal Arc Welding (GMAW) devido a possibilidade de automatização e melhor controle das variáveis do processo, quais influenciam diretamente as propriedades finais da solda. Portanto, faz-se necessário o estudo de processos de alta produtividade, afim de encontrar parâmetros de realização da soldagem com melhor aproveitamento de tempo, energia, baixa diluição; garantindo elevada resistência a abração e corrosão.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realização deste trabalho foi desenvolvido um protótipo para soldagem orbital. Foi utilizado como metal de base uma tubulação sem costura ASTM A131, com diâmetro de 22 cm, com espessura da parede de 1 cm. Para produção do revestimento, foi utilizado o arame-eletrodo AWS ER307L. O metal de base, AWS ER307L, foi submetido análise química por espectrometria de emissão óptica, seus resultados podem ser observados na Tabela 2. Por outro lado, a Tabela 3 refere-se às propriedades mecânicas do metal de base, AWS ER307L, e do arame eletrodo, ASTM A131. Para validação da qualidade do processo de fabricação foram usados os ensaios de materiais, dentre eles estão: microdureza, ensaios de líquido penetrante e análise metalográfica.

Para a realização do procedimento de soldagem uma fonte eletrônica Digiplus, modelo A7 de 400 A, 280A à 100% e alimentador de arame, modelo STA-20D da IMC Soldagem, foram usadas. Esta fonte é do tipo multiprocessos, tensão em vazio de 50 V, corrente máxima de 400 A e tensão máxima de 85 V. Os parâmetros de soldagem empregados no processo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem

Voltage	30	V
Welding speed	15/20/25	cm/min
Electrode feed rate	12	m/min
Shielding gas rate	20	l/min
CTWD	18	mm

Tabela 2. Composições químicas nominais do metal de base e arame de solda.

Material	Elementos (%)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P
AWS ER307L	0.1	0.209	1.22	0.11	0.01	0.018	0.017	0.015	0.014
AWS ER307L	0.07-0.1	0.65-1	6.5-7.5	18-19	0-0.5	8-9	-	0-0.15	0.02

Tabela 3. Propriedades Mecânicas.

Material	Resistência ao escoamento, MPa	Força máxima, MPa	Dureza, HV	Alongamento, %
ASTM A131	355	490-620	160-200	15
AWS ER307L	420	620	220	40

O ensaio de microdureza utilizou o microdurômetro Mitutoyo HM-01, de acordo com a ASTM E 384. A carga inicial aplicada foi de 1 KN durante 10s. Os valores de dureza fornecidos são do tipo Vickers, assim como o método Knoop, onde a norma da ASTM E92 (2003), afirma que este tipo de dureza é indicado para amostras de soldas passe simples ou multipasses, devido às dimensões das regiões analisadas e o tamanho do endentador. O ensaio de líquido penetrante foi realizado segundo a norma ABNT/NBR 7552:2004 (2004).

Pela análise das macrografias tem-se uma ideia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, geométrica, entre outras características. Os corpos de prova apresentado na Figura 2, foi lixado, polido e atacado por imersão em Nital a 5%, por 10 segundos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio de líquido penetrante, como mostrado na Figura 1, quando aplicado no revestimento soldado comprovou que o mesmo não apresentou descontinuidades superficiais em cordão de solda como porosidade e trincas, mostrando que o revestimento teve um bom desempenho na aplicação e no procedimento de soldagem.

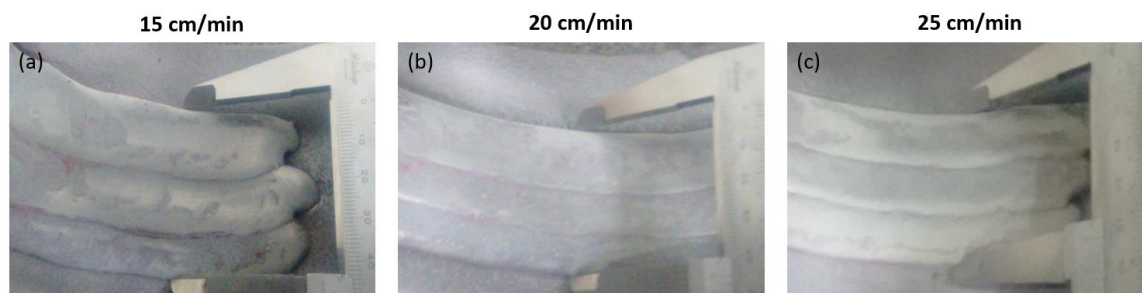
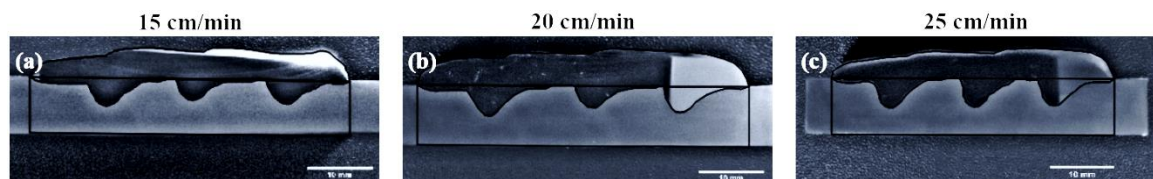


Figura 1. Ensaio de líquidos penetrantes para as diferentes velocidades de soldagem (a) 15 cm/min, (b) 20 cm/min e (c) 25 cm/min.**Figura 2. Análise macrográfica do revestimento para as diferentes velocidades de soldagem (a) 15 cm/min, (b) 20 cm/min e (c) 25 cm/min.**

As imagens das macrografias na Figura 2 para as diferentes velocidades de soldagem, as mesmas foram utilizadas para analisar aspectos como penetração, largura, altura, porcentagem de diluição, entre outros aspectos. Aspectos dos cordões de solda como largura, altura, penetração, podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros geométricos de entrada

Numero do corpo de prova	Velocidade de Soldagem (cm/min)	Corrente (A)	Taxa de alimentação do eletrodo (m/min)	largura (mm)	Altura (mm)	Penetração (mm)
1	15	289	12	50.75	5.01	3.72
2	20	297	12	51.18	5	3.8
3	25	304	12	42.9	4.18	4.53

Um dos fatores importantes no revestimento é a porcentagem de diluição, de acordo com a norma Petrobras. N-1707(1999). O objetivo é menor influência do metal de solda no metal de base, para evitar possíveis defeitos oriundos do carbono no metal de solda de aço-inoxidável. O corpo de prova que apresentou menos valor de diluição foi o numero 2, como analisado na tabela 5, o valor foi de 24.65 %.

Tabela 5. Análise da área

Número do corpo de prova	Velocidade de soldagem (cm/min)	Área de superior (mm ²)	Área penetrada (mm ²)	Área do cordão de solda (mm ²)	Diluição (%)
1	15	210	73	283	25.43
2	20	231.9	68.3	300.2	24.65
3	25	164.7	68.95	234.7	32.26

Como mostrado no trabalho (RIBEIRO, R. A.; ASSUNÇÃO, PD'Angelo; BRAGA, E. M, 2015), a microdureza adequada pode melhorar o resultado na resistência ao desgaste abrasivo, trazendo um aumento na resistência ao desgaste do revestimento depositado pelo processo de soldagem. A Figura 3 mostra uma representação gráfica de microdureza Vickers, perfis de microdureza de acordo com cada velocidade de soldagem. Para a região de metal de base (MB), a amostra de 15 cm/min, obteve na região de metal de base (MB) valores máximos da ordem de 170 HV, para as outras velocidades os valores se comportaram de forma muito semelhante para a região MB, com valores máximos da ordem de 160 HV. Na região da zona termicamente afetada pelo calor (ZTA) podemos observar um pico de microdureza, da ordem de 237 HV para a velocidade de 15 cm/min, provavelmente por motivos de carbonetos formados pelo processo de soldagem, para a velocidade de 20 cm/min, obtivemos valores máximos da ordem de 190 HV, na velocidade de 25 cm/min, valores máximos na ordem de 156 HV. Para a área da zona fundida (ZF) os valores máximos foram na ordem de 237 HV, na velocidade de 20 cm/min os valores máximos foram na ordem de 208 HV, já para a velocidade de 25 cm/min, foram obtidos valores de máximos na ordem de 188 HV.

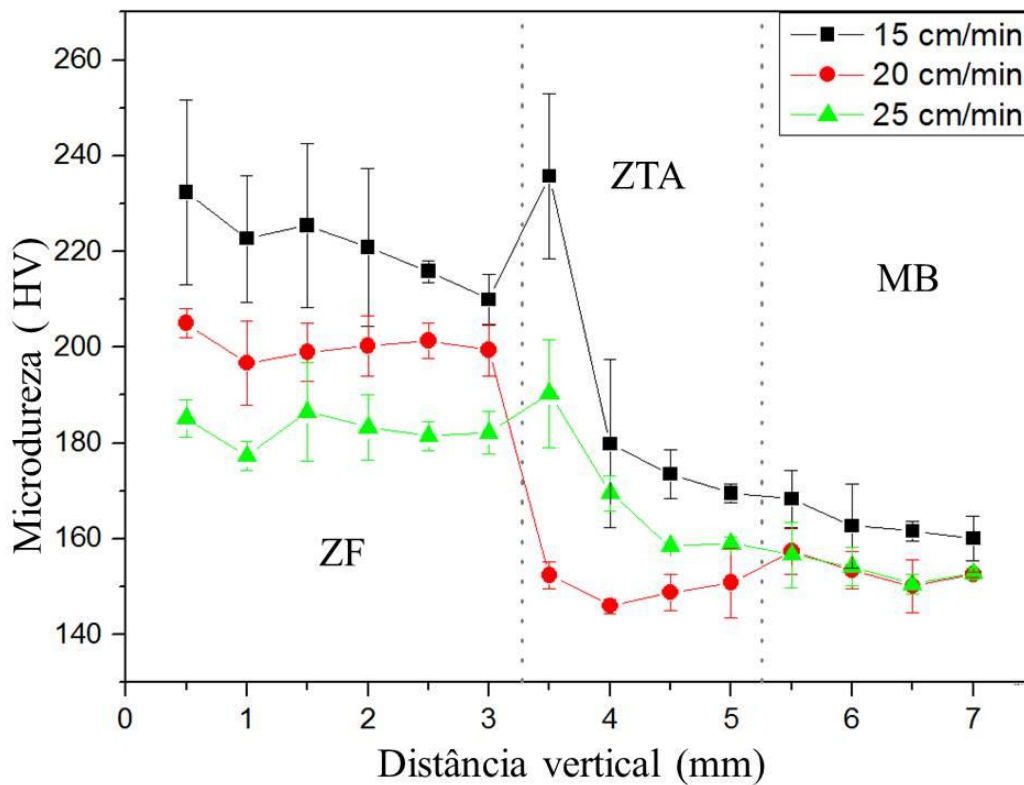


Figura 3. Representação dos valores de microdureza Vickers em função da posição para as diferentes velocidades de soldagem (a) 15 cm/min, (b) 20 cm/min e (c) 25 cm/min.

As análises foram feitas para diferentes velocidades de soldagem, na região do metal de base. As Figura 4, 5 e 6, referem-se respectivamente as velocidades de soldagem de 15, 20 e 25 cm/min, mostrando que com o aumento da velocidade ocorreu um refino nos grãos. Portanto os resultados das medias do tamanho de grão para as velocidades de soldagem, foram respectivamente 6.40 μm , 5.80 μm , 5.32 μm .

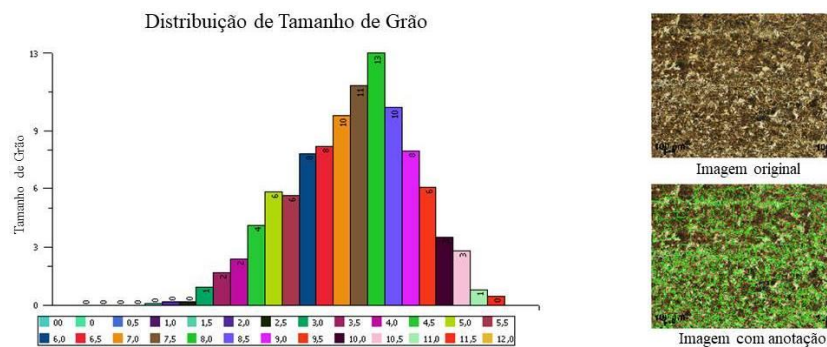


Figura 4. Análise de tamanho de grão para velocidade de soldagem de 15 cm/min.

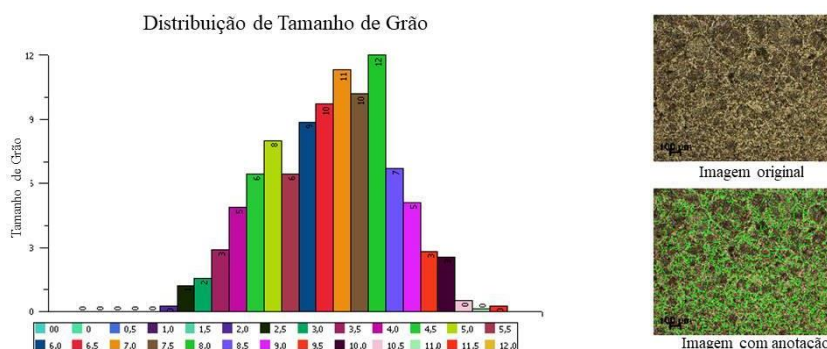


Figura 5. Análise de tamanho de grão para velocidade de soldagem de 20 cm/min.

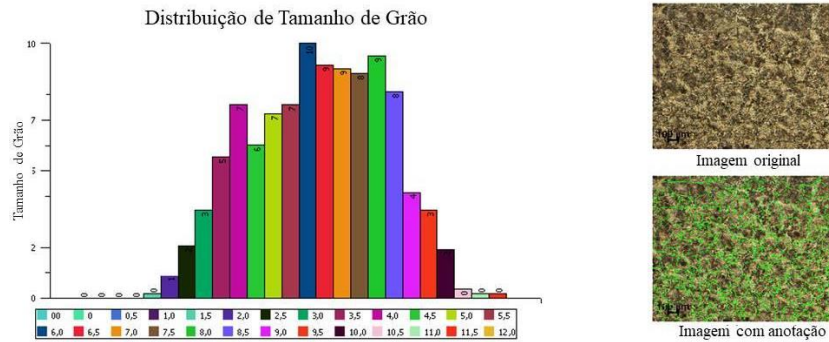


Figura 6. Análise de tamanho de grão para velocidade de soldagem de 25 cm/min.

4. CONCLUSÃO

Nos resultados de microdureza a velocidade de 20 cm/min, apresentou menor valor de microdureza na região da ZTA. Não ocorreram grandes variações no perfil de microdureza quando comparado com as outras amostras.

Entre as velocidades de 15, 20 e 25 cm/min, levando em conta as características geométricas, principalmente a porcentagem de diluição, tamanho do grão, a que apresentou melhor resultados foi a de 20 cm/min.

Os resultados obtidos neste trabalho irão ser utilizados como base para trabalhos futuros, afim de se obter um melhor parâmetro para soldagem dos revestimentos. Implementando técnicas para melhoras nos resultados, como a porcentagem de diluição, que se encontra muito alta.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório de caracterização de materiais metálicos (LCAM) onde todos os experimentos forma realizados.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT/NBR 7552 Ensaios não destrutivos liquido penetrante – Terminologia, 2004.
 ASTM E92 - 82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, 2003.
 HA, S. K.; LEE, H. K.; KANG, I. S. Structural behavior and performance of water pipes rehabilitated with a fast-setting polyurea-urethane lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 52, p. 192-201, 2016.
 KARAU, Friedrich. Innovative coatings and linings resisting mechanical and chemical wear. In: 11th Pipeline Technology Conference 2016. EITEP Institute, 2016.
 Petrobras. N-1707. Projeto de vaso de pressão com revestimento. Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S.A.; 1999.
 RIBEIRO, R. A. et al. Predicting Weld Bead Geometry in the Novel CWGMAW Process. *Welding Journal*, 2015.
 RIBEIRO, R. A.; ASSUNÇÃO, PD Angelo; BRAGA, E. M. A Full Factorial Analysis of Microhardness Variation in Bead Welds Deposited by the Process Cold Wire Gas Metal Arc Welding (CW-GMAW). *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, v. 2, n. 5, 2015.
 SAHRAOUI, Yacine; KHELIF, Rabia; CHATEAUNEUF, Alaa. Maintenance planning under imperfect inspections of corroded pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, v. 104, p. 76-82, 2013.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

A responsabilidade pelo conteúdo deste trabalho é unicamente destinada aos autores do mesmo.

CHARACTERIZATION OF INTERNAL COATING WITH STAINLESS STEEL 307L ON PIPELINE OF CARBON STEEL AT 131 DEGREE

G. S. Figueiredo, gleydsonfigueiredo.eng@gmail.com^{1,2,4}

P. D. C. Assunção, dangeloassuncao@gmail.com^{1,3,4}

M. F. Bazzoni, marcosbazzoni@gmail.com¹

E. F. Brandão, eduardo.f.brandao@gmail.com¹

C. R. L. Loayza, cristhian_loayza@hotmail.es^{1,3,4}

P. E. C. Baia, paolabaia@hotmail.com^{1,4}

E. M. Braga, edbraga@ufpa.br^{1,3,4}

¹Laboratory of Characterization of Metallic Materials (LCAM) - Federal University of Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110 - FEM – LCAM

²Program of Post-Graduation in Industrial Engineering (PPGEI) - Federal University of Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

³Postgraduate Program in Natural Resource Engineering (PRODENA) - Federal University of Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

⁴Universidade federal do para (UFPA) - Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, 66075-110

Abstract. *The carbon steel ducts, which are highly susceptible to corrosion, whose problem is aggravated when it is necessary to use them under extreme conditions of high temperature and pressure. However, few studies have shown the feasibility of protecting carbon steel pipes with stainless steel inner liner welding. In this context, a prototype of orbital welding was used for the production of the coating, in order to perform the deposition of the material, if the Gas Metal Arc Welding (GMAW) welding process was used with austenitic stainless steel 307L electrode wire and steel pipe carbon A131 grade A. Three welding speeds were used 15, 20 and 25 cm / min. Analysis of grain size and dilution by conventional optical microscopy, as well as the Vickers microhardness test, determined that the welding speed with 20 cm / min had the best results. This work served to demonstrate the effectiveness of the coating deposition process in ducts.*

Keywords: *coating, duct, internal welding, stainless steel.*