

SOLDAGEM DO AÇO NAVAL AH36 NACIONAL PRODUZIDO PELA ROTA TMCP UTILIZANDO OS PROCESSOS DE ARAME TUBULAR NA RAIZ E ENCHIMENTO COM ARCO SUBMERSO COM UM ARAME¹

Anderson Clayton Nascimento Ribeiro²

Luiz Fernando de Oliveira Rodrigues²

Hugo Assunção³

Jaime Casanova Soeiro Junior⁴

Sérgio Duarte Brand⁵

Resumo

A indústria naval passa por um período de revitalização, crescimento e adequação tecnológica promovida pela exploração do petróleo no Pré-Sal e pela demanda crescente de novos navios petroleiros. O objetivo deste trabalho é realizar a soldagem do aço naval AH 36 nacional processado via rota TMCP utilizando os processos de soldagem arame tubular de proteção gasosa na raiz e enchimento com arco submerso de um arame. Este estudo foi baseado na norma AWS D1.1 sendo utilizados os ensaios mecânicos de tração, dobramento e de dureza juntamente com a caracterização metalográfica da junta soldada. Foi utilizada uma chapa com comprimento de 500 mm, 300 mm de largura, 20,5 mm de espessura e um chanfro em duplo "V". Os resultados mostraram que a junta soldada não apresentou nenhuma descontinuidade nos corpos de prova submetidos ao ensaio de dobramento, os corpos de prova do ensaio de tração apresentaram limite de resistência máxima de 561 MPa e o rompimento foi localizado no metal de base. A análise do ensaio de dureza apresentou valores médios de 220 HV para o metal de base, 280 HV para a ZAC e de 250 HV para o metal de solda, mostrando que todos os valores obtidos estão dentro da norma. Pela análise da macrografia obteve-se, nos passes de acabamento, a maior extensão da ZAC com 8,19 mm de comprimento. Mediante análise dos resultados obtidos observou-se a compatibilidade da soldagem com os parâmetros necessários para a qualificação da junta, segundo a norma AWS D1.1.

Palavras-chave: Aço AH36; Rota TMCP; Arame tubular; Arco submerso.

THE WELDING OF THE BRAZILIAN NAVAL STEEL AH36 PROCESSED VIA TMCP ROUTE USING THE FCAW PROCESSES WITH SHIELDING GAS AT THE ROOT AND SUBMERGED ARC WELDING WITH ONE WIRE

Abstract

The Brazilian shipbuilding industry is going through a period of revitalization, growth and technological adequacy promoted by the petroleum exploration in the presalt and the increasing demand for new petroleum ships. The main goal of this work is to study the welding of the Brazilian naval steel AH36 processed via TMCP route using the gas shielded FCAW process at the root pass and submerged arc welding wire in filling and finishing passes. This study was based on AWS standard D1.1 to qualify the welded joint. It was used mechanical tests, such as: tensile, bending and hardness tests, together with metallographic characterization of the weld. A plate of 500 mm long, 300 mm wide, 20.5 mm thick and a double V groove. The results showed that the welded joint did not present any discontinuity in the specimens subjected to the bending test. The tensile test presented a maximum resistance limit of 561 MPa and the rupture was located in the base metal. The analysis of the hardness test revealed mean values of 220 HV for the metal base, 280 HV for HAZ, and 250 HV for the weld metal, which are within the standard requirements. The macrograph depicted the greatest extension of HAZ, with 8.19 mm in length, at the finishing passes. The results are in agreement to the AWS D1.1 standard for qualification of the welding procedure.

Keywords: AH36 steel; Via TMCP; Flux cored wire; Submerged arc welding.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Engenheiro de Materiais. Mestrando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. USP. São Paulo, SP, Brasil.*

³ *Engenheiro eletricitista. São Paulo, SP, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Mecânico. Msc. Doutorando em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. USP. São Paulo, SP, Brasil.*

⁵ *Engenheiro metalurgista. Prof. Titular. Escola Politécnica. USP. São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem representa um terço de todos os serviços executados na construção de um navio de grande porte.⁽¹⁾ Tendo em vista a expansão no setor naval onde só a Petrobras estima que até 2020 sejam necessários 568 barcos de apoio e especiais, 94 plataformas e 65 sondas e considerando-se também outro nicho em crescimento, que é o da navegação interior e hidroviário, se faz necessária a pesquisa em novos processos de soldagem e materiais usados neste setor.⁽²⁾

A aplicação dos aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), como é o caso do AH36 processado pela rota TMCP, trouxe grande capacidade de desenvolvimento na tecnologia construtiva naval, principalmente em função da correlação entre microestrutura e propriedades com intuito de aumentar a resistência mecânica, a tenacidade e soldabilidade.

O refino de grãos, através do endurecimento por precipitação conseguido pela formação de carbonetos (Vanádio, Nióbio e Titânio), corroborou para o alto limite de escoamento nos aços AH36, devido a redução do teor de carbono e aumento do teor de manganês, gerando, como consequência, a diminuição de aproximadamente 30% em peso.⁽³⁾

Um importante processo de fabricação aplicado à indústria naval é a soldagem por arco submerso,⁽⁴⁾ por apresentar vantagens bem peculiares como, por exemplo, oferecer elevada taxa de deposição; apresentar elevado rendimento por não ocorrer perdas significativas de metal por respingos; possuir boa ductilidade e tenacidade ao impacto, além de uniformidade e acabamento na aparência dos cordões de solda.

É fundamental na soldagem de aço naval que se preserve a tenacidade da junta, sem reduzir a sua principal propriedade, a resistência mecânica. A microestrutura resultante na junta soldada é o principal fator que rege estas duas características. Na zona afetada pelo calor (ZAC), uma região de grãos grosseiros, confere baixa tenacidade e baixa resistência mecânica à junta soldada. Torna-se necessário, então, um controle da extensão da ZAC, da proporção de microconstituintes de baixa resistência ou de baixa tenacidade presentes no metal de solda.^(4,5)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O metal de base utilizado para execução da soldagem foi o aço AH36, bastante empregado na indústria naval. Os corpos de prova utilizados possuíam as seguintes dimensões: 500 mm de comprimento, 300 mm de largura e 20,50 mm de espessura foram retirados de uma chapa de 6 metros de comprimento e 3 metros de largura, com o sentido de laminação no maior comprimento dos corpos-de-prova (500 mm).

A composição química do metal de base AH36 produzido no Brasil pela rota TMCP utilizado na junta soldada, está comparada com os valores determinados pela norma ASTM A131, e mostrados na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas do metal de base.

Tabela 1: Comparação entre a composição química do metal de base utilizado na junta soldada comparado com a composição determinada pela norma ASTM A131

ELEMENTO	METAL BASE (%)	ASTM A131 (%)
C	0,15292	0,18
Si	0,21612	0,1 – 0,50
S	0,00048	0,035
P	0,01259	0,035
Mn	1,09280	0,90 – 1,60
Ni	0,03387	0,40
Cr	0,02010	0,20
Mo	0,00668	0,08
V	0,00695	0,05 - 0,10
Cu	0,01365	0,35
W	0,00000	-
Ti	0,01396	0,02
Sn	0,00166	-
AL	0,03700	0,015
Nb	0,00971	0,02 -0,05

Tabela 2: Propriedades mecânicas do metal de base utilizando na junta soldada segundo a norma ASTM A131

Especificação ASTM	Grau	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento em 200 mm (%)	Alongamento mínimo em 50 mm (%)
A 131	AH36	490-620	355	19	22

2.1.1 Consumível para soldagem com arame tubular

O processo de soldagem com arame tubular foi executado no passe de raiz utilizando um consumível com 1,2 mm de diâmetro de 1,20 mm e com proteção gasosa de CO₂ puro, classificado como E71T1-C segundo a norma AWS A5.20 [9]. A composição química e as propriedades mecânicas dos eletrodos utilizados estão mostradas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3: Composição química do Eletrodo

Composição química do consumível segundo fabricante (%)										
Forma	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu
Depositado	0,04	1,3	0,6	0,025	0,025	0,2	0,5	0,2	0,05	0,3

Tabela 4: Propriedades mecânicas segundo a norma AWS A5.20

Propriedades Mecânicas do Consumível Segundo o fabricante	
Limite de Resistência (MPa)	510-640
Limite de escoamento (MPa)	420
Alongamento (%)	22
Média do Ensaio de Impacto 0°C (J)	54

2.1.2 Consumível para soldagem com arco submerso

A soldagem do corpo de prova foi feita com o arco submerso, utilizando eletrodo de 3,98 mm e com fluxo neutro. O arame utilizado segue a especificação da

norma AWS A5.17, classificado como F7P2 EM12K.⁽¹⁰⁾ A sua composição química e a suas propriedades mecânicas são mostradas nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Composição química fornecida pelo fabricante do arame consumível utilizado na soldagem dos passes de enchimento e acabamento

Consumível (AWS)	Quantidade (%)				
	C	Mn	Si	S	P
F7P2-EM12K	0,08	0,81	0,10	0,010	0,015

Tabela 6 - Propriedades mecânicas fornecidas pelo fabricante do eletrodo consumível utilizado na soldagem conforme a norma AWS A5.17/A5.17M

Consumível	Especificação AWS	Limite de Resistência (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Alongamento min. (%)	Ensaio de Impacto - 29°C (J)
F7P2-EM12k	A5.17	585	484	22	39

2.2 Execução da Soldagem

Para a execução da soldagem do passe de raiz pelo processo arame tubular com gás de proteção 100% CO₂ foi utilizado o desenho da junta, mostrado na Figura 1.

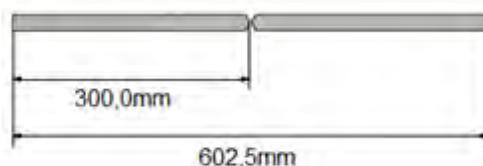


Figura 1: Esquema do corpo para o passe de raiz.

2.2.1 Variáveis utilizadas na soldagem

A junta foi preparada com chanfro em X utilizando o processo de oxicorte e limpa com lixadeira. As chapas foram montadas lado a lado com abertura de raiz de 2,0 mm, ângulo do bisel 30° e com 2,5 mm de nariz. A Figura 2 mostra o esquema da junta montada e pronta para o passe de raiz, com a soldagem feita na posição plana. A Figura 2 mostra um esquema da junta utilizada neste estudo.

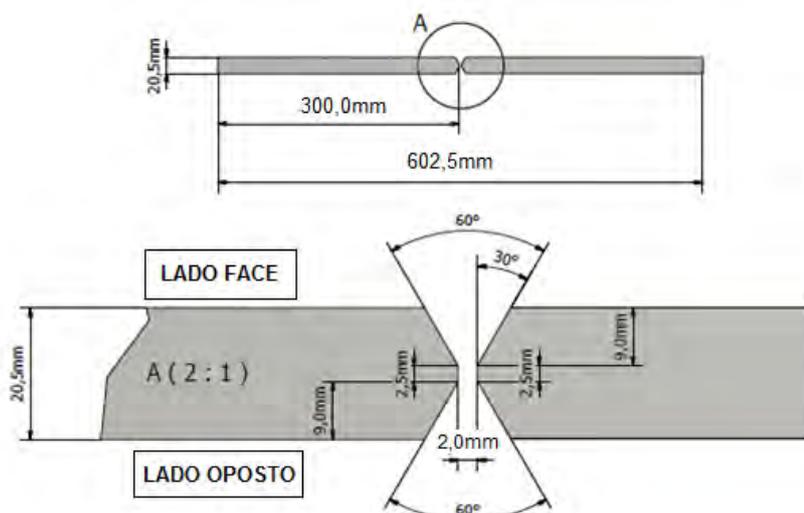


Figura 2: Esquema da junta montada.

Os parâmetros de soldagem utilizados, tanto na soldagem com arame tubular como com arco submerso, estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Variáveis utilizadas na execução dos passes de solda

	Processo de soldagem	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade de soldagem (mm/s)	Eficiência (%)	Energia (KJ/mm)
Passe raiz	Arame Tubular	28,4	140	3,57	0,8	0,89
Enchimento face	Arco Submerso	34	468	5,48	1,0	2,90
Enchimento oposto	Arco Submerso	34,5	420	5,07	1,0	2,86
Acabamento face	Arco Submerso	34	620	5,43	1,0	3,88
Acabamento oposto	Arco Submerso	32	650	3,96	1,0	5,24

2.3 Caracterização Metalográfica

2.3.1 Macrografia

Foi realizada a macrografia do corpo de prova para a verificação do perfil dos cordões de solda e da ZAC. Para a revelação dos cordões e da ZAC, foi utilizado o reagente Nital 5%. O equipamento utilizado para obter as imagens foi uma lupa estereoscópica da marca Carl Zeiss® e o software Axio Vision®.

2.3.2 Microscopia óptica

Após polimento das amostras e revelação dos contornos de grãos utilizando o reagente Nital 2% foram realizadas as observações do corpo de prova no microscópio ótico para análise das microestruturas resultantes no metal de solda, na ZAC e no metal de base.

A caracterização dos microconstituintes da junta soldada foi feita com baseado na classificação desenvolvida pelo Instituto Internacional de Soldagem (IIW).⁽¹¹⁾

2.4 Ensaios Mecânicos

2.4.1 Posição de retirada dos corpos-de-prova para ensaios mecânicos

Os corpos de prova para a realização dos ensaios mecânicos de tração, dobramento e das amostras para macrografia e micrografia foram feitas com base na norma AWD D1.1.⁽⁷⁾ A Figura 3 demonstra as regiões de onde foram retirados os corpos de prova para os ensaios.

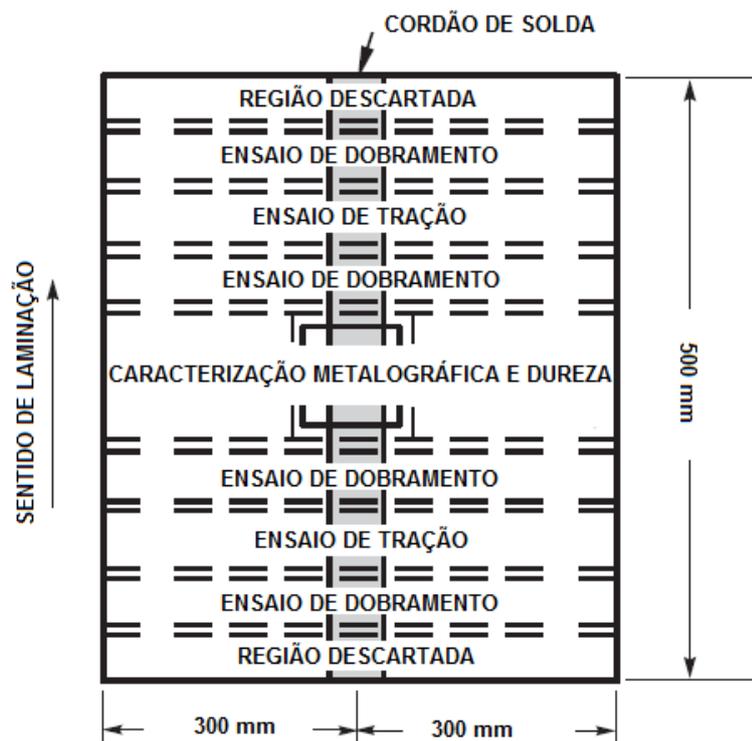


Figura 3: Regiões de extração dos corpos de prova adaptado da referência.⁽⁷⁾

2.4.2 Perfil de dureza

Para as medições de dureza em regiões diferentes da junta soldada, foi retirado um corpo de prova, como mostrado na figura 3. O método de aquisição das medidas foi baseado na norma N-133⁽⁸⁾ e os pontos de medição estão apresentados na Figura 4. Foram adicionados pelo menos mais três pontos por região, e uma linha de perfil de dureza que passa pelo meio do cordão. Os perfis superior e inferior foram feitos a 3,0 mm da superfície da chapa.

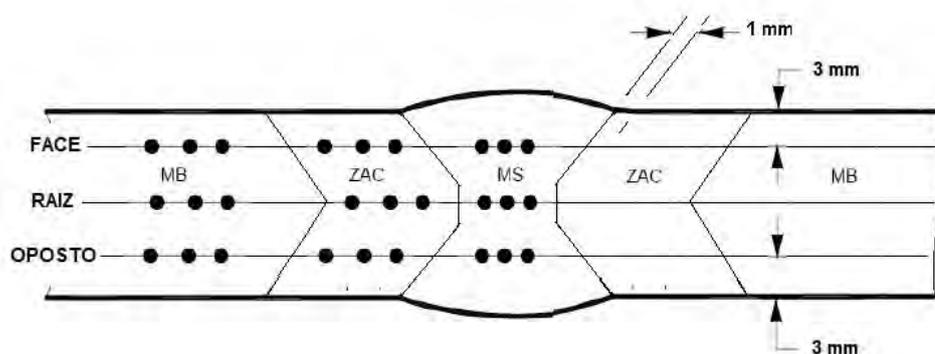


Figura 4: Demonstração dos pontos utilizados para medição da dureza na junta soldada.⁽⁸⁾

2.4.3 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados em dois corpos de prova retirados de acordo com a Figura 3 e foram preparados de acordo com as dimensões demonstradas na Figura 5.

O critério de aceitação foi baseado na norma AWS D1.1.⁽⁸⁾ Foi adotado que a tensão de ruptura do corpo de prova não deve ser menor do que o limite de resistência mínimo especificado do metal de base. O rompimento do corpo de prova não pode ocorrer no cordão de solda. No entanto, se o corpo de prova romper nesta região, a tensão deve ser maior do que a especificada para o metal de base.

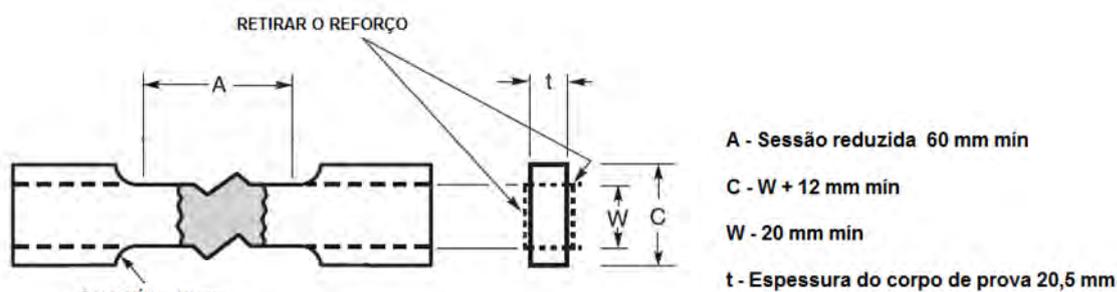


Figura 5: Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração.⁽⁸⁾

2.4.4 Ensaio de dobramento

Foram retirados quatro corpos de prova para a realização do ensaio de dobramento conforme mostrado acima na figura 5. Os critérios de aceitação foram baseados na norma AWS D1.1.⁽⁸⁾ Foi adotado que os corpos de prova não poderiam apresentar descontinuidades maiores que 3 mm e que a soma de todas as descontinuidades maiores que 1,0 mm e menores que 3,0 mm não devem exceder 10 mm.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização Metalográfica

A Figura 6 mostra a macrografia da junta soldada onde se pode observar a aparência do cordão de solda, os contornos dos diferentes passes e a zona afetada pelo calor. A combinação de processos de soldagem para este aço não apresentou falta de fusão, falta de penetração ou inclusão de escória.

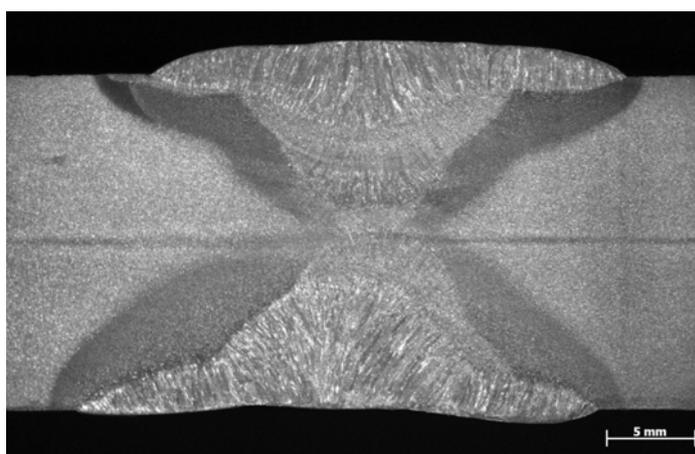


Figura 6: Macrografia da junta soldada.

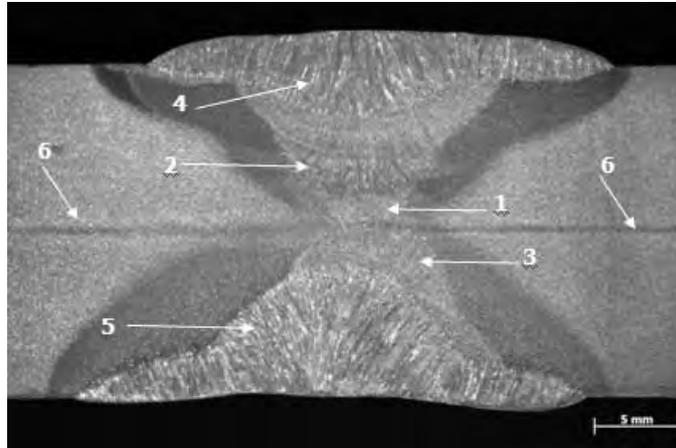


Figura 7: Macrografia da junta soldada com as indicações dos passes. (1) Passe de raiz; (2) Passe de enchimento lado face; (3) Passe enchimento lado oposto; (4) Passe acabamento lado face; (5) Passe acabamento lado oposto; (6) Linha de segregação do metal de base.

Na Figura 7 pode-se observar na região central do metal de base, indicada pelo número “6”, uma linha horizontal, que provavelmente trata-se de uma macrosegregação ocorrida durante o processo de fabricação do aço.

Na Figura 8 nota-se a macrografia da junta com as indicações das medidas das ZAC's em diferentes posições. A Tabela 8 sumariza os resultados obtidos.

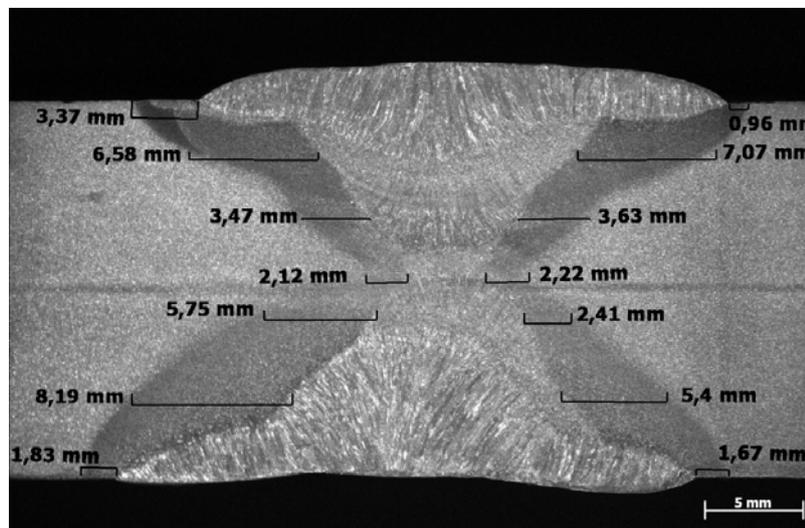
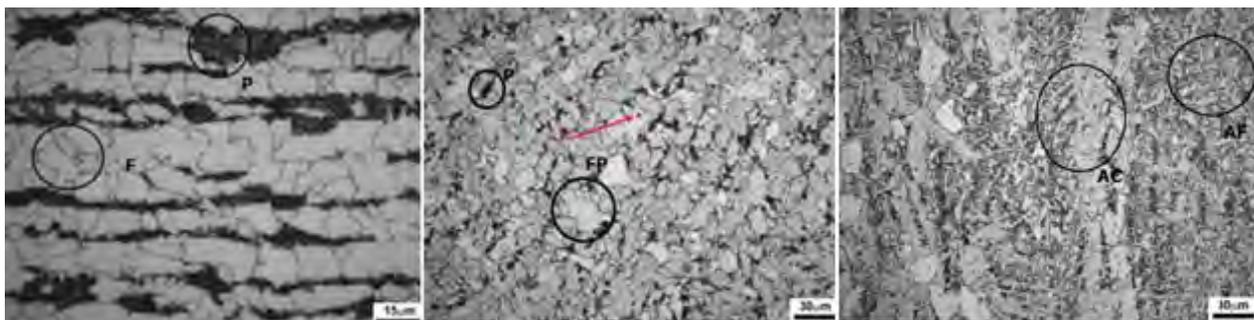


Figura 8: Macrografia com as medidas das extensões da ZAC.

Tabela 8 – Valores das extensões da ZAC em cada passe realizado na soldagem

Região	Extensão da ZAC (mm)		
	Lado Esquerdo	Lado Direito	Média
Superfície Face	3,37	0,96	0,93
Acabamento Face	6,58	7,07	6,83
Enchimento Face	3,47	3,63	3,55
Raiz	2,12	2,22	2,17
Enchimento Oposto	5,75	2,41	4,08
Acabamento Oposto	8,19	5,40	6,79
Superfície Oposto	1,83	1,67	1,75

Analisando as micrografias mostradas nas Figuras 9, 10, 11 e 12 observam-se as microestruturas da junta soldada e metal de base.

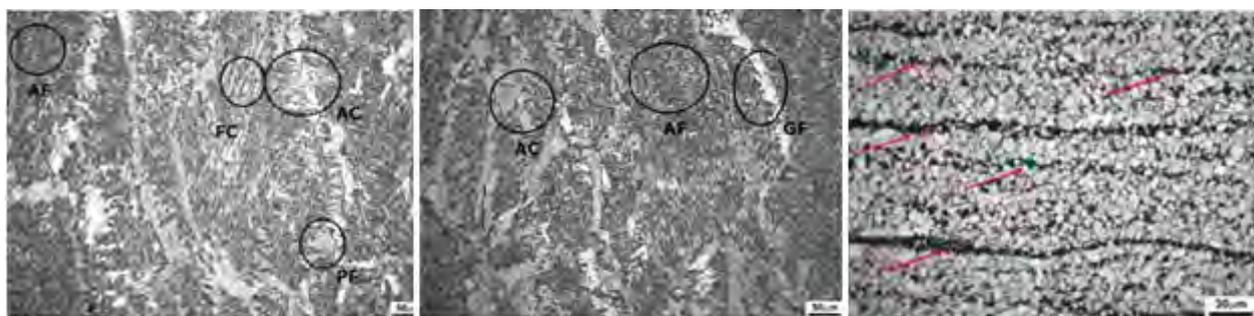


(a)

(b)

(c)

Figura 9: a) Metal de Base com aumento de 1000X, b) Passe de raiz aumento de 500X, c) Passe de enchimento, aumento de 500X.



(a)

(b)

(c)

Figura 10: a) Microestrutura do passe de acabamento com aumento de 200X, b) Microestrutura do passe de acabamento mostrando ferrita poligonal (PF), aumento: 500X, c) Microestrutura da ZAC do passe de raiz com aumento de 500X.

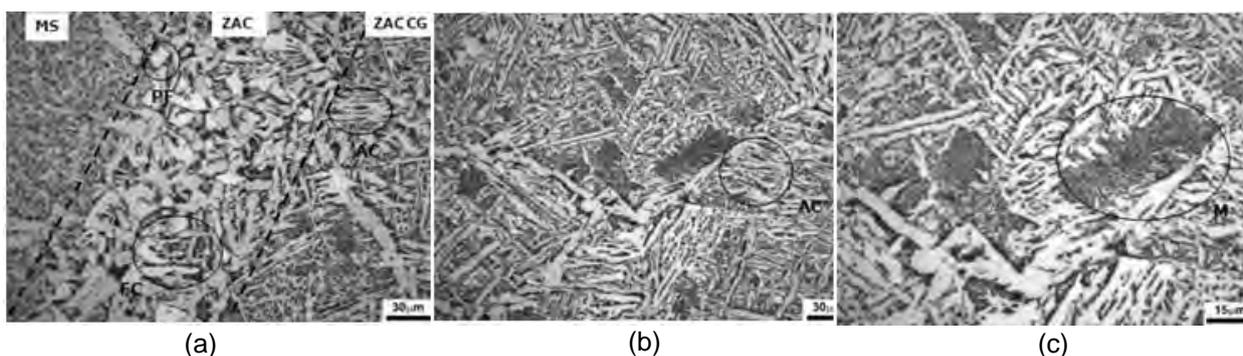


Figura 11: a) Microestrutura da ZAC na zona de ligação próxima aos passes de enchimento e acabamento com aumento de 500X. b) ZAC na região de crescimento de grão próxima aos passes de enchimento e acabamento. Aumento de 500X. c) ZAC região de crescimento de grão próxima aos passes de enchimento e acabamento. Aumento de 1000X.

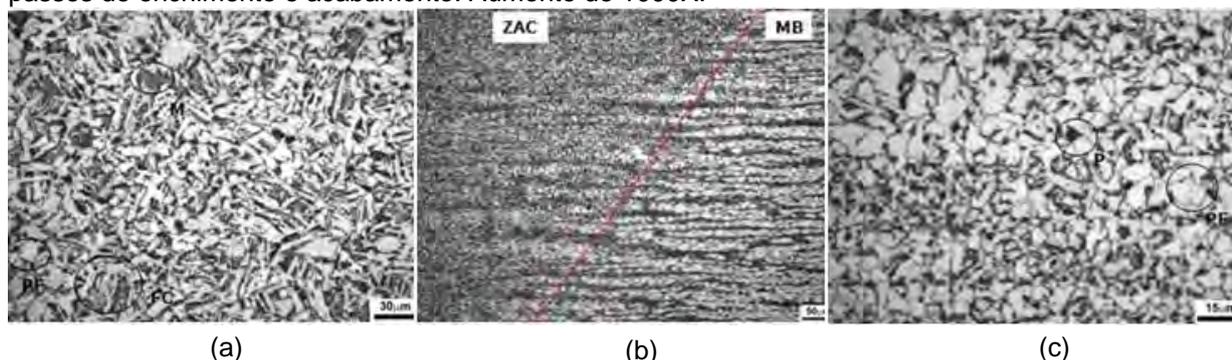


Figura 12: a) ZAC na região de transição entre grãos grosseiros e grãos refinados. Aumento de 500X. b) transição da ZAC para o metal de base. Aumento de 200X. c) ZAC região de grãos refinados mostrando ferrita poligonal (PF) e perlita (P). Aumento de 1000X.

A microestrutura observada no metal de base mostrado na Figura 9(a) é composta por grãos de ferrita (F) e grãos de perlita (P). Enquanto que a microestrutura do passe de raiz apresentada na Figura 9(b) é composta basicamente por ferrita poligonal (FP) com alguns pontos de escória (indicado pela seta) e provavelmente ilhas de perlita. O passe de enchimento apresenta microestrutura com ferrita de Widmanstätten (FW) como pode ser observado na Figura 9(c). Pela Figura 10(a) pode-se observar a microestrutura do passe de acabamento mostrando ferrita alotriomórfica, ferrita com segunda fase alinhada (AC), ferrita Widmanstätten e agregado eutetóide de ferrita com carbonetos (FC) e na Figura 10(b) a microestrutura do passe de acabamento é mostrada com um aumento de 500X na qual pode ser observado ferrita poligonal (PF), ferrita alotriomórfica, agregado eutetóide de ferrita com carbonetos (FC). Na micrografia da Figura 10(c) observa-se linhas de microsegregação mostrado na macrografia, grãos ferríticos e perlíticos.

A caracterização metalográfica das diferentes regiões da ZAC está mostrada na Figura 11. Na Figura 11(a), a microestrutura da ZAC na zona de ligação, próxima aos passes de enchimento e acabamento, mostrando o metal de solda (MS), a região de grãos grosseiros (CG), ferrita poligonal (PF), ferrita com segunda fase alinhada (AC) e agregado eutetóide de ferrita com carbonetos (FC). Na Figura 11(b) é apresentada a região de crescimento de grão da ZAC, onde é possível observar estruturas bainíticas com ilhas de martensita. Na Figura 11(c), nota-se na ZAC a região de crescimento de grão, próximo aos passes de enchimento e acabamento, onde é possível identificar uma microestrutura martensítica.

A Figura 12 mostra a região de transição entre a região de crescimento de grão com a região de refino de grão. A Figura 12(a) mostra a transição da região de crescimento de grão com a região de refino de grão, onde é possível observar a presença de agregados eutetóides de ferrita com carbonetos (FC), ferrita poligonal (PF) e pequenas ilhas de martensita (M). Na Figura 12(b) observam-se, respectivamente, a região de transição da ZAC para o metal de base onde ocorre a mudança de uma microestrutura refinada para uma microestrutura bandeada, composta de ferrita e perlita. Na Figura 12(c) percebe-se a região de grãos refinados, constituída por grãos de ferrita e perlita.

3.2 Ensaio de Dureza

O ensaio de dureza Vickers foi realizado no corpo de prova seguindo as medições apresentadas na Figura 4 utilizando carga de 5Kgf.

Tabela 9 – Valores de dureza da junta soldada.

LINHA	DUREZA VICKERS (HV5)								
	METAL BASE			ZAC			METAL DE SOLDA		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OPOSTO	217,4	238,9	234,8	220,6	227,2	250,2	242,5	252,8	246,3
RAIZ	202,4	204,3	203,4	213,2	205,3	219,5	215,3	205,3	213,2
FACE	217,4	238,9	234,8	217,4	220,6	240,1	235,2	243,8	237,7

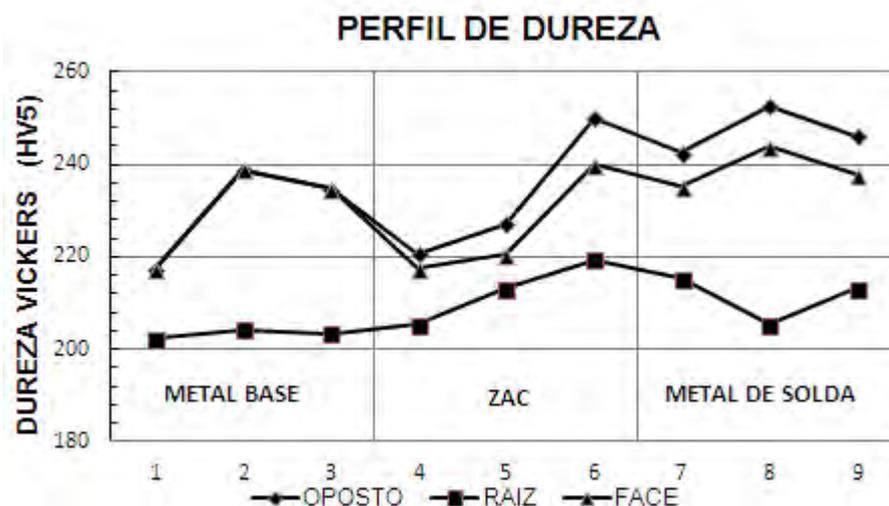


Figura 13: Perfil de dureza da junta soldada

O gráfico da Figura 13 mostra o perfil de dureza da junta soldada, onde se observa, no perfil com símbolos quadrados, o perfil de dureza na linha do passe de raiz, que apresentou dureza mais baixa em relação às durezas encontradas nas linhas do enchimento do lado face e oposto. Essa redução na dureza ocorreu devido aos reaquescimentos gerados pelos passes subsequentes.

As durezas medidas na linha dos passes de enchimento do lado superior da chapa, símbolos triangulares, e do lado inferior da chapa, símbolos em losangos, mostraram uma tendência de variação semelhante. Observa-se que na ZAC próxima ao metal de base ocorreu uma redução na dureza e ao aproximar da região do metal de solda houve um aumento gradual da dureza. Isso possivelmente ocorreu devido à

formação de fases com dureza maior na ZAC, próxima ao metal de solda. O metal de solda apresentou maior valor de dureza na linha central do cordão, provavelmente devido à diferença na composição química.

3.3 Ensaio de Tração

Os resultados do ensaio de tração realizados encontram-se na Figura 14. Nesta figura são observa os valores do limite de resistência a tração na região da junta soldada e do metal de base para os corpos de prova estudados.

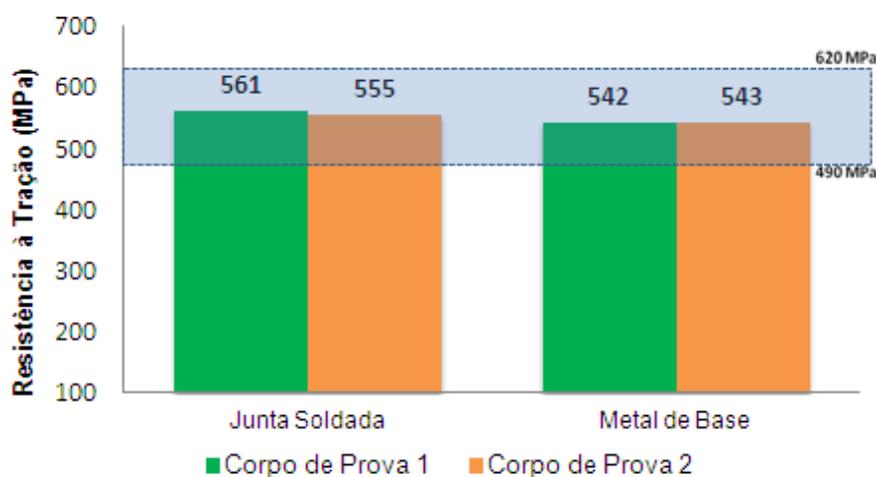


Figura 14: Gráfico com os resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova da junta soldada e do metal de base.

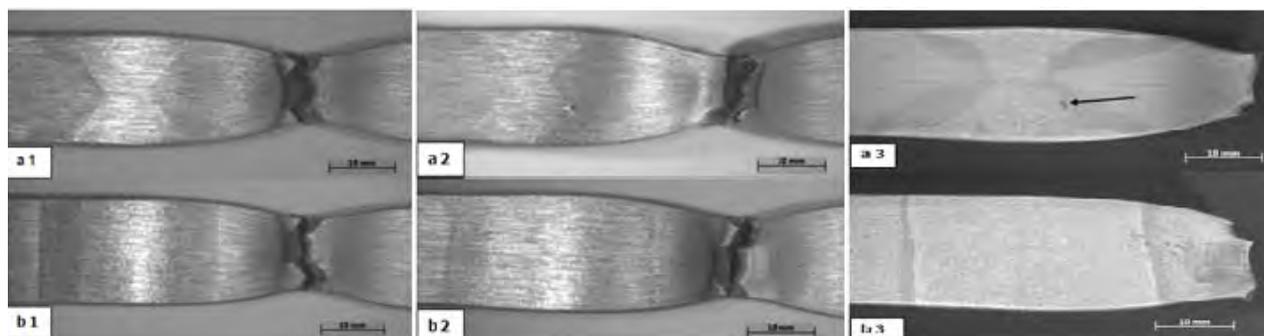


Figura 15: Imagens do CP1: a1) Lateral do cordão. b1) Lado face da junta soldada. Imagens do CP 2: a2) Lateral do cordão. b2) Lado face da junta soldada. Imagem do CP 2 rompido: a3) Lateral do cordão, b3) Imagem do lado face da junta soldada.

A Figura 15 a3 e b3 mostra o corpo de prova do ensaio de tração atacado com Nital 6% para a visualização do cordão de solda, onde se observa que o rompimento foi no metal de base fora da região da ZAC. Pode-se observar também uma pequena abertura na região da zona de ligação, indicado pela seta, ocorrida durante o ensaio, mostrando a presença de uma descontinuidade que cresceu durante o ensaio. Essa descontinuidade foi gerada na região entre o passe de enchimento do lado oposto e a ZAC, possivelmente pela presença de inclusões de escória nessa região.

3.4 Ensaio de Dobramento

Para avaliar a ductilidade dos corpos de prova foi realizado o ensaio de dobramento seguindo esquema representado na Figura 5. Na Figura 16 observa-se a região da junta soldada dos corpos de prova após o dobramento. Os quatro corpos de prova não apresentaram defeitos ou descontinuidades, portanto, de acordo com os critérios de aceitação da norma AWS D1.1 os corpos de prova foram aprovados. Isto mostra que as transformações microestruturais ocorridas na junta soldada não resultaram em decréscimo na ductilidade, ao ponto de gerar descontinuidades nos corpos de prova submetidos ao ensaio de dobramento.

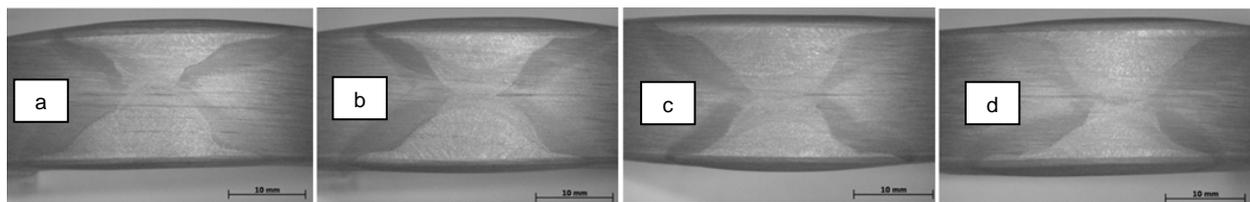


Figura 16: Imagem dos corpos de prova do ensaio de dobramento mostrando atacados com Nitral 10%. (a) CP1 (b) CP2 (c) CP3 (d) CP4

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos é possível concluir que as condições adotadas neste trabalho para soldagem do aço AH36 estão de acordo com os critérios de qualificação da norma AWS D1.1.

A maior dureza se deu na região do metal de solda com valores próximos de 248 HV. Isto ocorreu, principalmente, devido ao refino de grão na faixa de transição da ZAC para o metal de solda e da formação de microestrutura bainítica com ilhas de martensita. O teor de carbono encontrado no metal de adição é maior que o do metal de base, contribuindo também para este aumento na dureza. A respeito do ensaio de tração verificou-se que a região da ZAC atingiu um valor de limite de resistência a tração 5% maior que o do metal de base. Este acréscimo foi proveniente das transformações de fase presentes na ZAC.

Agradecimentos

A empresa Usiminas, em especial ao engenheiro Gustavo Batista, pela doação das chapas e a empresa Metalúrgica Atlas, em especial ao especialista em soldagem Marcos Fernandes, pela soldagem dos corpos de prova.

O autor Anderson Clayton Nascimento Ribeiro agradece a CAPES pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 PICKERING, F. B. - Physical Metallurgy and the Design of Steel - London 1978. p. 275.
- 2 ROCHA GONTIJO FILHO J.A. A Retomada da Indústria Naval no Brasil. Dissertação. INSTITUTO DE ECONOMIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. 2011. p. 52.
- 3 OKUMURA, T; TANIGUSHI, C Engenharia de Soldagem e Aplicações. A Soldagem na Construção Naval. Ed. LTC Livros Técnicos e Científicos. 2004. p. 296-313.
- 4 WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo: Edgar Blücher, 2004. p. 494.

- 5 FECHINE, G. J. M.; MACIEL, T. M. Influência da temperatura de preaquecimento na microestrutura e na dureza de metais de solda de aços ARBL. COBENE/SICTEC 95, UFPE, Recife, PE. 1995. p. 120.
- 6 AMERICAN WELDING SOCIETY. ANSI/AWS D1.1/D1.1M: Structural Welding Code – Steel, 22nd Edition. Miami, Florida: AWS, 2010.
- 7 SOLDAGEM: N-133 rev. K. Petróleo Brasileiro S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 2012.
- 8 SIVIERI, O. A.; SILVA, P. S. C. P. Comportamento cíclico de juntas soldadas de aço ABS-AH-36. METALURGIA, São Paulo. 1984. v. 40, p. 423-427.
- 9 AWS CODE A5.17/A5.17M. Specification for Carbon Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding, 2007.
- 10 IIW, The International Institute of Welding. Compendium of Weld Metal Microstructures and Properties: Submerged-arc weld in ferrítica steel. The Welding institute Abington Hall, Cambridge UK. 1985.