

Verificação da influência nas características físicas, mecânica e custo de produção, da aplicação de montagens distintas do sistema de preaquecimento em aço de ARBL SAR 80T pelo processo de soldagem por eletrodo revestido**Verification of the influence on physical, mechanical and production cost, of the application different assemblies from the preheating system in ARBL SAR 80T in the welding process by coated electrode**

DOI:10.34117/bjdv6n6-370

Recebimento dos originais:10/05/2020

Aceitação para publicação:16/06/2020

Jairo Silva Bastos

Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste UEZO

Endereço: Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203 - Campo Grande,

Rio de Janeiro - RJ, 23070-200

E-mail: jairobastos@msn.com

Marcelo Pereira Gonçalves

Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste UEZO

Endereço: Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203 - Campo Grande,

Rio de Janeiro - RJ, 23070-200

E-mail: marcelopergon@yahoo.com.br

Carlos Alberto Martins Ferreira

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Instituição: Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste UEZO

Endereço: Av. Manuel Caldeira de Alvarenga, 1203 - Campo Grande,

Rio de Janeiro - RJ, 23070-200

E-mail: professorcarlosferreira@gmail.com

Joanes Silva Dias

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow CEFET/ITAGUAÍ

Endereço: Rod. Gov. Mário Covas, s/n - Santana, Itaguaí - RJ, 23812-101

E-mail: joanes.dias@cefet-rj.br

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência de montagens distintas do preaquecimento no processo de soldagem obtido por eletrodo revestido - Shielded Metal Arc Welding – SMAW utilizando o aço de alta resistência e baixa liga SAR 80T como metal de base e o eletrodo AWS E7018 como metal de adição. Em soldas com aço baixa liga, é recomendado pelos fabricantes a

realização de preaquecimento, controle de entressoldas e em alguns casos, pós-aquecimento, para evitar trincas causadas por contração da solda oriundas de tensões residuais e por teor de hidrogênio no aço após a operação de soldagem. Dependendo da forma que os equipamentos de preaquecimento forem montados, pode demandar maior ou menor tempo, para alcançar e manter a temperatura definida no procedimento de soldagem, elevando o custo da obra. Hoje não há uma padronização desta montagem, podendo interferir no consumo de energia, hora máquina e hora homem e prazos. Desta forma o presente estudo visou buscar uma forma de solucionar este problema e demonstrar possíveis diferenças nos resultados da junta soldada com tratamento térmico de preaquecimento em diferentes arranjos de montagem de juntas de topo em aços de ARBL e transforma-los em uma referência que possa ser adotado na indústria visando à redução de custo, além de verificar a possibilidade de obtenção de melhorias das propriedades mecânicas. Este trabalho teve como estímulo um caso real em que foi utilizado aço ARBL em construção naval de casco resistente de embarcação que existia um grande controle de temperatura e interpass e detalhes do arranjo de montagem dos equipamentos de tratamento térmico de pré-soldagem e pós-soldagem. Foram soldadas amostras com espessura de 25mm com soldagem multipasse, pelo processo eletrodo revestido – SMAW com diâmetro de 3,2mm, preaquecimento na faixa 95°C-120°C e interpass entre 200°C-225°C, corrente contínua, posição plana, aporte térmico médio 12,54kJ/cm, com três distâncias entre as resistências e a junta soldada 60mm, 100mm e 200mm. Após o procedimento de soldagem, foram realizados ensaio visual, charpy, tração, ultrassom e metalográficos a partir de corpos de prova retirado das amostras de soldagem chamadas de AM1, AM2 e AM3. Os resultados obtidos mostraram que os metais envolvidos no processo apresentaram resultados satisfatórios em todas as condições experimentadas. Concluiu-se então, que arranjos de montagens de equipamentos de preaquecimento diferentes, nas condições apresentadas nesse estudo, não apresentaram aumento de fragilidade a ponto de interferir na qualidade da junta, porém houve uma pequena diferença quanto ao tempo de preaquecimento da temperatura inicial até alcançar a temperatura de liberação para início de soldagem, podendo interferir no custo de produção da solda.

Palavras-chave: Metal de solda, SMAW, Aços de alta resistência e baixa liga, Preaquecimento.

ABSTRACT

With the objective of evaluating how a different assembly work for preheating in the welding process by coated electrode - Shielded Metal Arc Welding - SMAW using the high strength and low alloy steel SAR 80T as the base metal and the electrode AWS E7018 as addition metal. To avoid cracks caused by shrinkage via residual stress and hydrogen content in the steel after welding, the manufacturer advises a preheating control of interpass and post heating in low alloy steel. Depending on assembly of the equipment, it could take more or less time to achieve and maintain the temperature set in the welding process, increasing the cost of the work. Nowadays there is not a standardization for this assembly, which could influence energy consumption, machine rate, and labor rate, therefore interfering on the deadline. Thus, this study aims to solve this problem, show possible differences on the results for the welded joint with thermal preheating on different assembly arrangements for some types of steel joints in ARBL, and make it a pattern that could be adopted by the industry to lower the cost and to verify the possibility of improving mechanical properties. The incentive for this work was a real case in which an ARBL steel was used in manufacturing naval resistant hull where presented a great temperature control and interpass and details for the assembly arrangements of the equipment of the thermal treatment for pre and post welding. The samples welded were

multipass, by coated electrode - SMAW with a 3,2mm diameter, preheated at 95°C - 120°C range and interpass between 200°C - 225°C, direct current, flat position, medium thermal input 12.54kJ/cm, with three distances for the welded joints of 60mm, 100mm and 200mm. After the welding procedure, a few tests were performed, such as visual, Charpy, ultrasound and metallographic, for that, it was used welding samples AM1, AM2, and AM3. The results observed were that the metals in the process presented satisfying properties in every condition submitted. In conclusion, the assembly arrangement of different preheating equipment, in the conditions presented in this study, showed no increase or brittleness to a point of interfering in the joint quality, however, there was a small difference as to the duration of the starters preheating temperature until it reached the temperature for the beginning of the welding, and that could affect the cost of welding production.

Keywords: Welding metal, SMAW, High strength and low alloy steel, Preheating.

1 INTRODUÇÃO

O aço baixa liga é comumente utilizado em componentes especiais que necessitam de alta resistência. A utilização adequada desses aços passa, inevitavelmente, por sua soldabilidade que deve atender aos requisitos mecânicos e químicos, mas sem nunca esquecer os outros grandes problemas da junta soldada, ou seja, a deformação e o defeito (BEZERRA, 2005).

Alguns aços Baixa Liga contêm baixo teor de Carbono, em torno de 0,1%, portanto suscetível à formação de estruturas martensíticas quando submetido a aquecimento e resfriamento rápido, como é característico da operação de soldagem. Estudos têm sido elaborados, para obter estruturas cristalinas compostas pela Bainita e Martensita Bifásica que possuiriam boa combinação entre dureza e resistência ao impacto (JIANG, 2005).

Para evitar trincas causadas por contração da solda e por teor de hidrogênio após a operação de soldagem, os fabricantes recomendam preaquecimento (USIMINAS, 2014).

As indústrias, no geral, costumam qualificar um procedimento para execução deste tipo de soldagem, definindo os parâmetros de temperatura para início de soldagem, temperatura de entressoldas, temperatura de pós-aquecimento, sequência de deposição de material, características elétricas e diâmetro de eletrodo.

No entanto o processo de preaquecimento, entressoldas e pós-aquecimento têm um custo elevado, por utilização de equipamentos específicos, tempo de operação e acompanhamento para alcançar e manter a temperatura adequada.

Neste estudo cada lote de amostra de soldagem com espessura de 25mm, do aço ARBL SAR 80T, foi submetido as mesmas condições de temperatura de preaquecimento durante o processo de soldagem por eletrodo revestido, respeitando os critérios na norma de soldagem

da AWS American Welding Society (Sociedade americana de Soldagem), porém com três montagens de forma distintas para resistências de aquecimento, destes ensaios cada lote gerou seis corpos de provas de charpy com detalhe em “V” para cada amostra, três corpos de prova de tração transversal e dois corpos de prova para ensaios metalográficos.

Foram utilizados ensaios não destrutivos de visual e de ultrassom, ensaios destrutivos de Charpy com entalhe em “V” e Tração Transversal, nos quais apresentaram resultados dentro dos parâmetros dos critérios de aceitação e foi possível determinar a qualidade da junta.

A Macrografia apresentou penetração adequada, aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz, geometria do passe e zona termicamente afetada de forma bem delineada para todos os corpos de prova analisados.

Investigações da microestrutura do material foram realizadas por meio de microscópio para avaliação de fenômenos causadores de alterações micro estruturais do material de base e da junta soldada e foram encontradas formações de ferrita acicular, ferrita poligonal e ferrita de segunda fase no metal de solda, martensita revenida com carbeto intragranulares na ZTA e martensita revenida no material de base.

O custo do preaquecimento das amostras apresentou variações onde a amostra AM1 apresentou um custo de R\$5,09 até a temperatura de liberação de início de soldagem, a amostra AM2 apresentou um custo de R\$8,49 e a amostra AM3 apresentou um custo de R\$19,80.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Metal de base

O Aço SAR 80T é fabricado pela USIMINAS para a indústria de transformação que exige condições severas de utilização. Com suas excelentes propriedades mecânicas, ele é largamente aplicado ao setor naval. Sua produção em espessuras que variam entre 6 mm a 50,8 mm permite que este aço seja aplicado em diversos seguimentos da indústria de caldeiraria pesada e estruturas de grande porte (USIMINAS, 2014).

As chapas de Aços Baixa Liga são fabricadas pelo processo de laminação a quente e passam por um tratamento térmico de têmpera por cortina d’água a 900°C e revenimento com temperaturas entre 600°C e 680°C. Este processo de fabricação dá ao aço ARBL uma excelente soldabilidade e boa tenacidade (PINHEIRO, 2012).

A indústria busca cada vez mais, materiais que melhor se acomode a seus projetos, frequentemente, características como melhoria de tenacidade e elevação de resistência do aço

tem sido necessária em projetos de grande porte, tornando assim indispensável a necessidade de desenvolvimento de aços de elevada soldabilidade, alta resistência, e níveis de ductilidade consideráveis. Com este objetivo, desenvolveu-se os aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL). Nestes aços o carbono tem seu teor diminuído gradualmente, o incremento da resistência e o aperfeiçoamento da tenacidade são obtidos com o acréscimo de elementos de liga, tais como o Al, Cr, Mo, Ti e V. (BRAZ, 1999).

Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL ou HSLA — high-strength, low-alloy), contêm outros elementos de liga, tais como cobre e níquel, em concentrações combinadas que podem ser tão elevadas que podem somar 10% e apresentam maiores resistências que os aços-carbono comuns com baixo teor de carbono. A maioria pode ter sua resistência mecânica aumentada por tratamento térmico, alcançando limites de resistência à tração superiores a 480 MPa (70.000 psi); adicionalmente, eles são dúcteis, conformáveis e usináveis. (CALLISTER Jr, 2016).

Os aços conhecidos como “Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL)” foram obtidos com o objetivo de buscar uma elevada relação de resistência à tração com uma adequada soldabilidade, melhores propriedades mecânicas e resistência à corrosão atmosférica elevada, para este fim, elementos são adicionados a sua composição de acordo com as faixas apresentadas na Tabela 1: (CHIAVERINI, 2012).

Foram utilizadas três amostras como material de base para a realização da soldagem de classificação SAR 80T nas seguintes dimensões:

2 (duas) amostras com 25 mm x 400 mm x 600 mm.

1 (uma) amostra com 25 mm x 600 mm x 600 mm.

As amostras foram dimensionadas visando melhor aproveitamento do material e a montagem dos sistemas de preaquecimento em três *layouts* distintos, conforme figuras 1, 2 e 3 apresentadas mais à frente.

O material de base apresenta a seguinte composição química e propriedades mecânicas, apresenta a seguinte composição:

Composição química do metal de base Tabela 1

ELEMENTOS E SEUS PERCENTUAIS												
Al	B	C	Cr	Cu	Mn	Mo	Nb	P	S	Si	Ti	Zr
≤ 20	≤ 0,005	0,06 a 0,28	≤ 5,25	≤ 1,8	0,35 a 1,6	≤ 0,65	≤ 0,1	0,01 a 0,12	0,01 a 0,12	0,01 a 0,9	≤ 0,05	≤ 0,12

(Fonte: Usiminas, 2014)

Propriedades Mecânicas básicas do SAR 80T Tabela 1

Valores Requeridos			
Limite de Escoamento (LE) MPa	Limite de Ruptura (LR) MPa	Elasticidade %	Ensaio de CHARPY -10° Transversal ao sentido de laminação Joule [J]
≥700 mín.	760 ~ 960	≥16	≥27

(Fonte: Usiminas, 2014)

Metal de adição

O SMAW (Shielded Metal Arc Welding) é um processo de soldagem por eletrodo revestido que produz a fusão entre metais através do aquecimento promovido pelo arco elétrico entre o eletrodo e a junta a ser soldada (MARQUES, P.V et al, 2011).

A sociedade americana de soldagem AWS – American Welding Society, em sua norma AWS A 5.5 2014, apresenta uma classificação de eletrodos apropriados para soldagem de aços baixa liga. As tabelas 3, 4 e 5, a seguir, apresentam as características químicas e as propriedades mecânicas do eletrodo E7018 (AWS A5.5 2014).

Composição química do arame (alma) Tabela 2

CLASSE	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Mn+Ni+Cr+Mo+v
E7018	≤1,60	≤1,60	≤0,30	≤0,20	≤0,30	≤0,008	≤1,75

Composição do revestimento Tabela 3

CLASE	COMPOSIÇÃO		FUNÇÃO	PROTEÇÃO
E7018	carbonato de cálcio	30%	formador de gases - agente fluxante	80% CO 20% CO ₂
	fluorita (CaF ₂)	20%	formador de escória - agente fluxante	
	ferro-manganês	5%	desoxidante - ferro - liga	
	silicato de potássio	15%	aglomerante - estabilizador do arco	
	pó de ferro	30%	agente de deposição	
	umidade	0,10%		

(Fonte: ESAB 2005)

Propriedades mecânicas do metal de adição Tabela 4

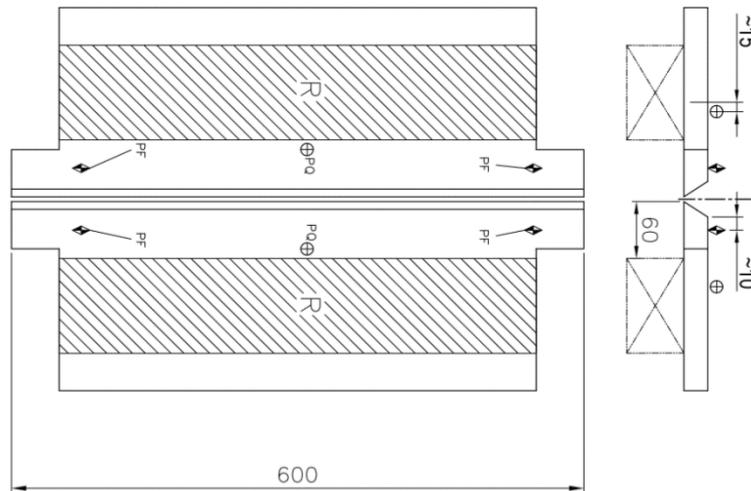
CLASSE	LE (MPa)	LR (MPa)	AL (%)	Ch V média (J)	Ch V indiv. (J)	Temperatura (°C)
E7018	≥399	≥482	≥22	≥27	≥20	-29

(Fonte: ESAB 2005)

2.2 MONTAGEM DO SISTEMA DE PREAQUECIMENTO DAS AMOSTRAS

A amostra AM1 tem as dimensões de 25 mm x 400 mm x 600 mm, incluindo as entradas e saídas de solda, este layout de preaquecimento seguiu um padrão predefinido pelo autor, observando que a distância da junta para a resistência foi de 60 mm, esta distância é objeto deste estudo e sofrerá variação nas amostras AM2 e AM3, conforme Figura 1.

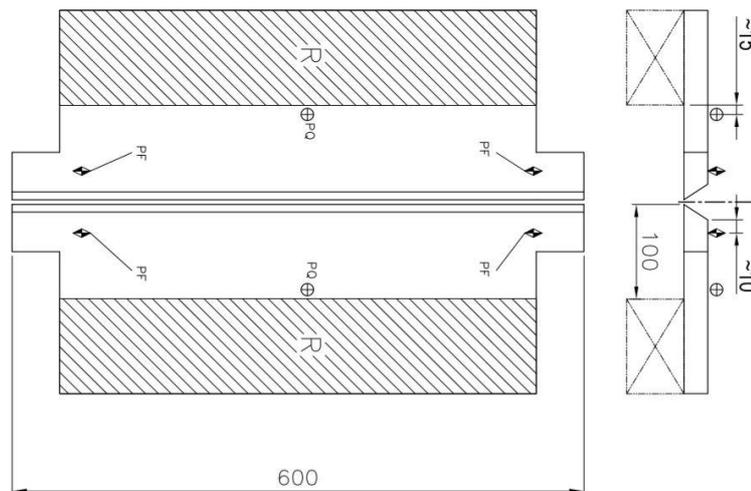
Figura 1. Layout de preaquecimento da Amostra AM1



Fonte: Elaborado pelos autores

A amostra AM2 tem as mesmas dimensões da amostra AM1, este *layout* de preaquecimento seguiu um padrão predefinido pelo autor, observando que a distância da junta para a resistência foi de 100 mm, conforme Figura 2

Figura 2. Layout de preaquecimento da Amostra AM2



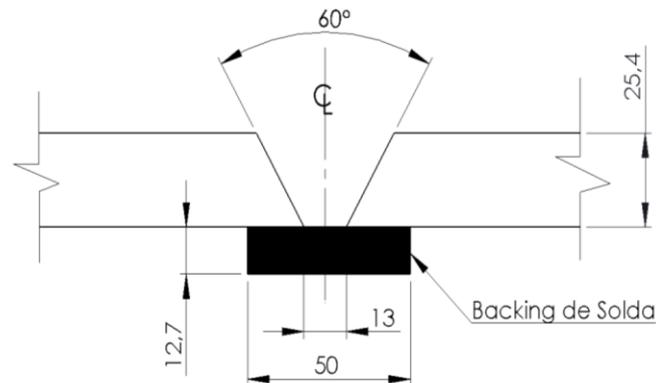
Fonte: Elaborado pelos autores

2.3 SOLDAGEM

A montagem da junta foi realizada seguindo as orientações da norma AWS 5.5 2014, quanto à abertura de chanfro, ângulo e utilização de *backing* de solda.

A Figura 5 apresenta as dimensões e a configuração da geometria da junta utilizada juntamente com o *backing*. A configuração do chanfro atende a norma AWS 5.5 2014, referente à soldagem por eletrodo revestido.

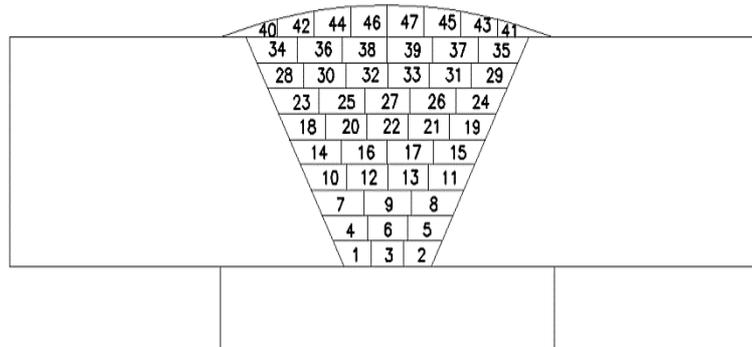
Figura 5. Configuração da geometria da junta soldada



Fonte: Elaborado pelos autores

A junta foi aquecida até a temperatura de preaquecimento conforme norma AWS 5.5 2014, que recomenda para soldagem obtida pelo eletrodo revestido E7018, tenha os parâmetros de preaquecimento com as temperaturas de 95°C – 110°C para início da soldagem e 200°C - 225°C para cordões de *interpass*.

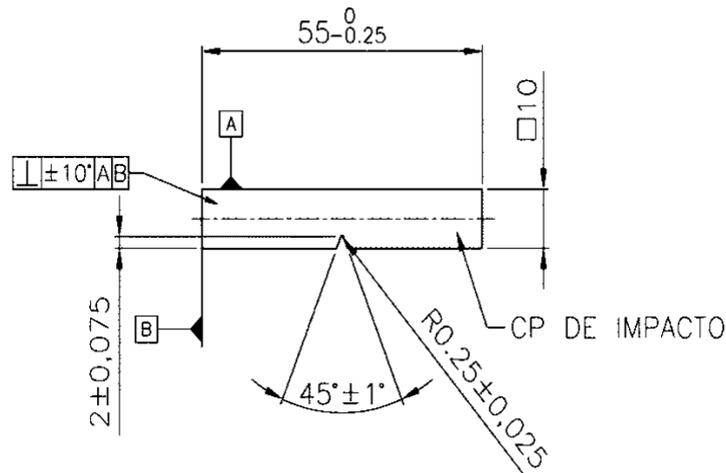
Figura 6. Sequência de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Elaborado pelos autores

A sequência de deposição dos cordões foi definida visando o aproveitamento da temperatura do cordão depositado de forma sobreposta imediatamente ao cordão anterior,

Figura 8. Corpos de prova de impacto (unidades em mm)

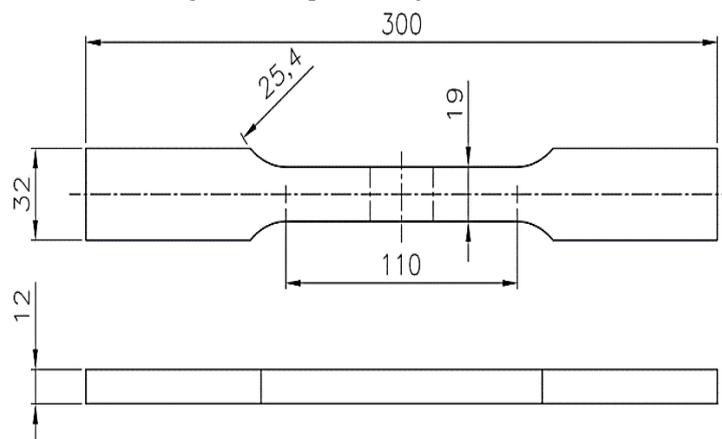


Fonte: Elaborado pelos autores

Os ensaios de tração transversal foram realizados de acordo com critérios de aceitação especificados pelo tipo de material e pelos critérios da norma AWS 5.5 2014, são empregados para determinar o limite de resistência à tração das soldas e juntas chanfradas.

Para realização de ensaio de tração transversal foram retirados 3 (três) corpos de prova de cada amostra, conforme norma AWS 5.5 2014, com o objetivo de auxiliar no estudo da resistência do material empregado no experimento, fornecendo dados que permitiram melhor análise do material estudado.

Figura 9. Corpos de tração transversal



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram realizados ensaios metalográficos de micrografia e macrografia, os ensaios foram realizados com auxílio do microscópio LEICA DMi8. Preparação da superfície por

lixamento com granulometria de 600, pasta de diamante para polimento, e reagente químico Nital 7%.

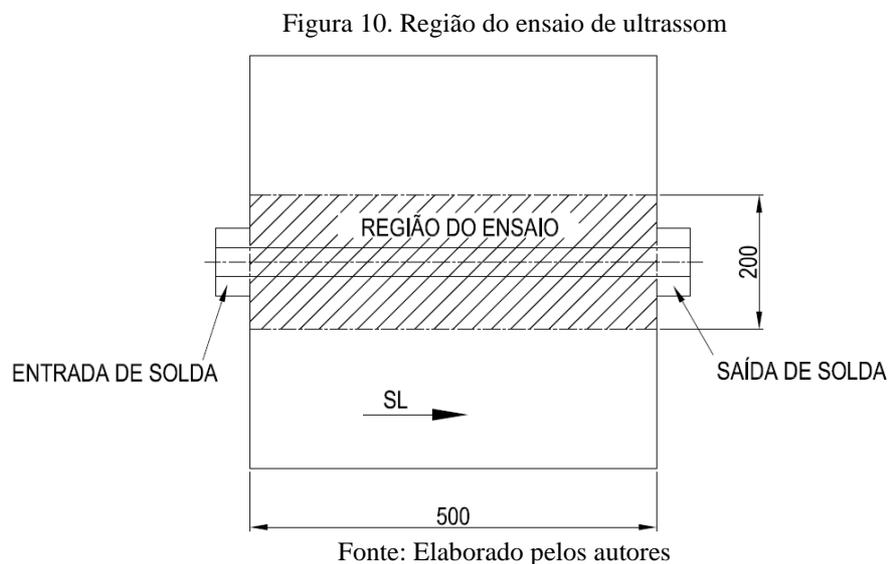
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E DESTRUTIVOS

O ensaio não destrutivo de inspeção visual foi aplicado para avaliação da aceitabilidade da solda, foi levado em consideração os critérios estabelecidos pela norma AWS D1.1 2010.

A amostra AM1 apresentou deposição insuficiente, no que se refere ao reforço de solda, porém não impossibilitou a fabricação dos corpos de prova.

As três juntas soldadas das amostras apresentaram ótima qualidade, após ser realizado o ensaio não destrutivo de ultrassom com auxílio do dispositivo de ultrassom Olympus Epoch 600.



No ensaio de impacto, houve uma variação entre os resultados obtidos nos corpos de prova das amostras, onde a tenacidade dos corpos de prova da amostra AM1 apresentou resultado superior aos apresentados pelos corpos de prova da amostra AM2, este mesmo resultado pode ser observado entre os corpos de prova da amostra AM2 em comparação com os corpos de prova da amostra AM3, ou seja, quanto mais afastada a resistência de aquecimento, mais frágil o resultado, porém todos os resultados acima do valor de referência para os materiais, resultados apresentados na Tabela 6 e nos Gráficos 1 e 2.

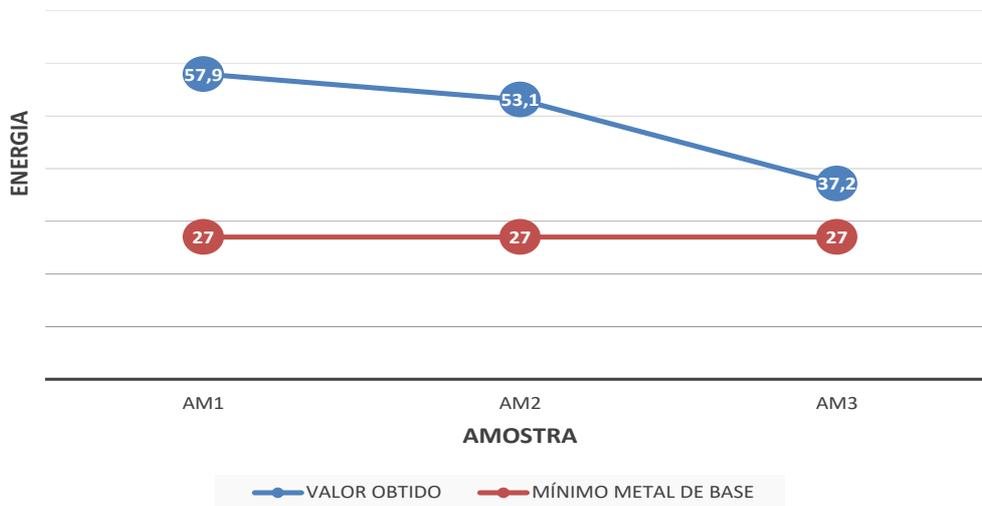
Resultados do ensaio de impacto Charpy-V Tabela 6.

SEQUÊNCIA	Metal de Base			Metal de Adição		
	-10°C			-18°C		
	AM1 Jaule [J]	AM2 Jaule [J]	AM3 Jaule [J]	AM1 Jaule [J]	AM2 Jaule [J]	AM3 Jaule [J]
1° ENSAIO	69,3	52,8	33,7	58,1	31,5	30,2
2° ENSAIO	40,9	49,3	41,0	42,3	41,1	38,7
3° ENSAIO	63,6	57,2	36,8	67,4	43,6	34,6
MÉDIO	57,9	53,1	37,2	55,9	38,7	34,5

Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 1. Resultados dos ensaios de impacto do metal de base

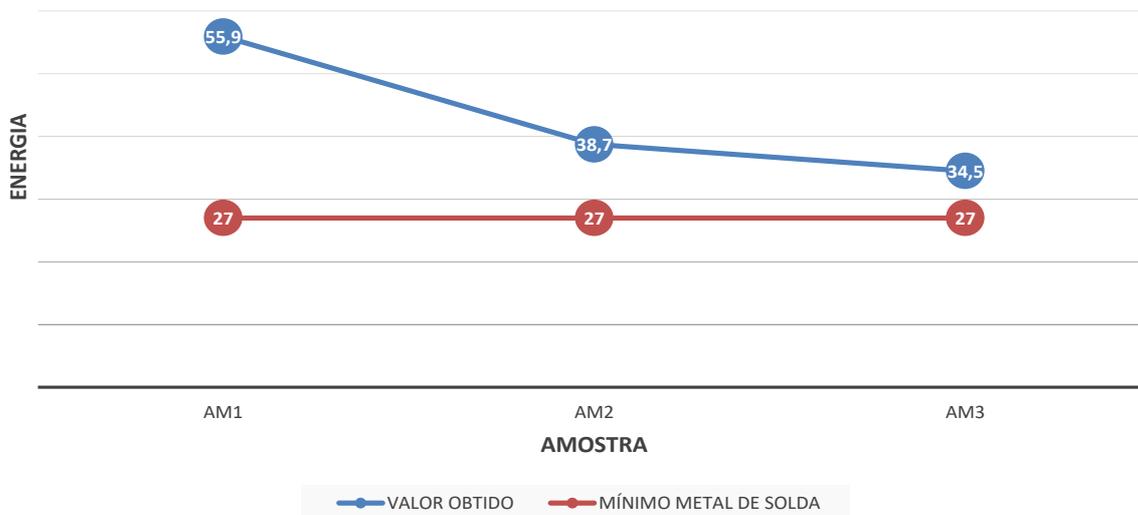
ENERGIA ABSORVIDA (J) EM -10°C



Fonte: Elaborado pelos autores

Gráfico 2. Resultados dos ensaios de impacto do metal de adição

ENERGIA ABSORVIDA (J) EM -18°C



Fonte: Elaborado pelos autores

Os ensaios de tração transversal obtiveram pouca variação entre as amostras em relação ao limite de resistência, conforme Tabela 7.

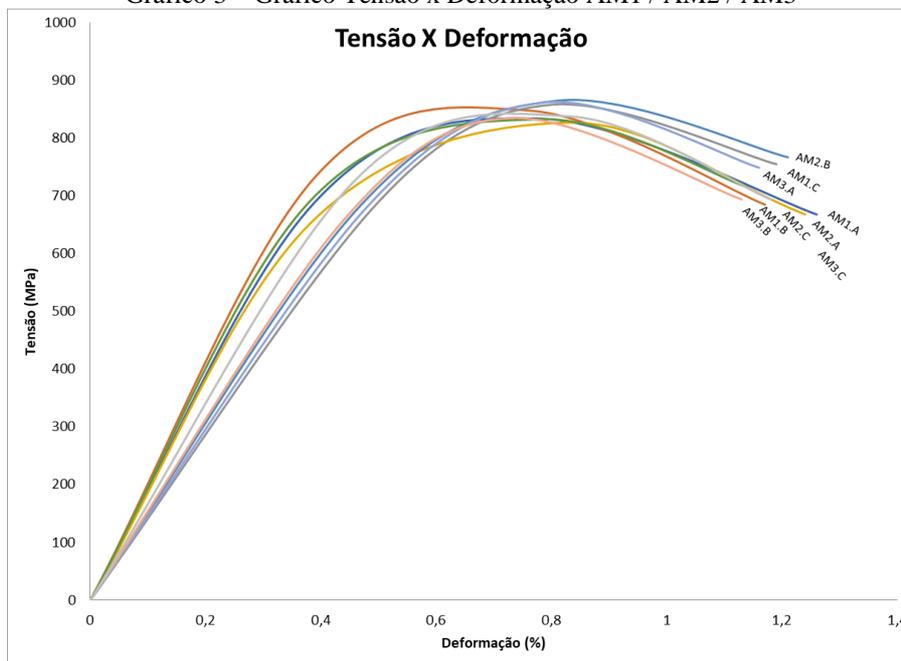
Valores obtidos nos ensaios dos corpos de prova das amostras Tabela 5

	Corpos de prova	Espessura mm	Largura mm	Seção mm ²	Resistência		Limite especificado MPa	Local da Ruptura
					Carga Máxima kgf	Limite MPa		
AM1	AM1a	11,99	18,98	227,57	19.339,99	834	760 ~ 960	Fora da solda
	AM1b	11,96	18,99	227,12	19.641,75	848		
	AM1c	11,98	18,97	227,26	19.867,65	858		
AM2	AM2a	11,97	18,96	226,95	19.121,31	827		
	AM2b	11,95	18,93	226,21	19.954,34	865		
	AM2c	11,99	18,97	227,45	19.329,99	833		
AM3	AM3a	11,93	18,95	226,07	19.853,29	862		
	AM3b	11,97	18,93	226,59	19.276,37	835		
	AM3c	11,96	18,99	227,12	19.392,84	838		

Fonte: Elaborado pelos autores

O Gráfico 3 apresenta a consolidação dos resultados dos ensaios de tração das amostras AM1, AM2 e AM3.

Gráfico 3 – Gráfico Tensão x Deformação AM1 / AM2 / AM3



Fonte: Elaborado pelos autores

No ensaio de tração transversal, todos os corpos de provas foram aprovados, pois o limite de ruptura ocorreu dentro da faixa de valores entre 760 MPa a 960 MPa, critério para este material e fora da junta soldada (USIMINAS, 2016).

O aspecto macrográfico das juntas soldadas, com aumento em 10x, onde se observa um processo de soldagem multipasse, não houve descontinuidades superficiais, mostrou que houve penetração adequada, tendo sido fundido a base do chanfro em V, conforme Figura 12.

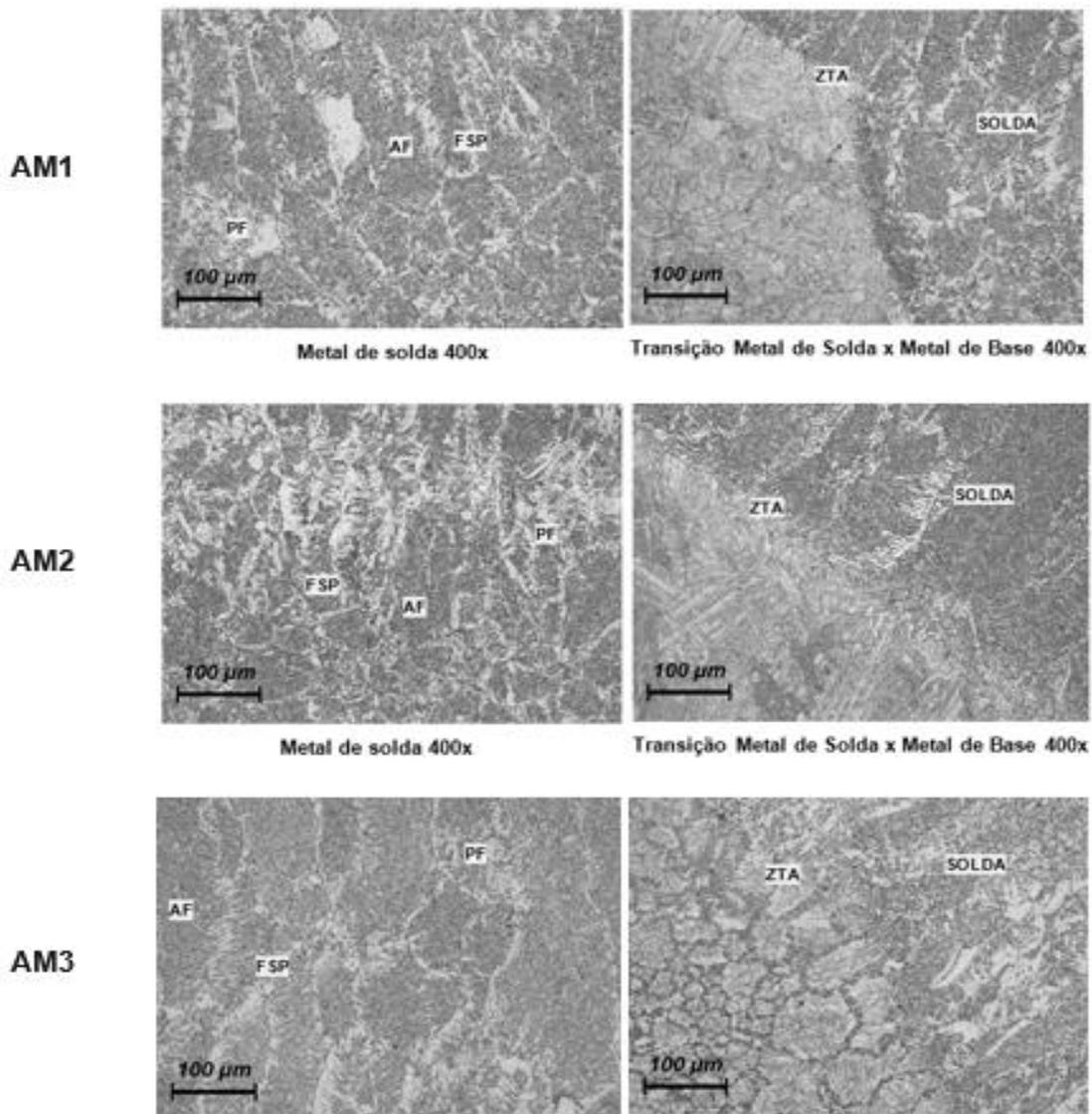
Figura 11. Macrografia das amostras AM1, AM2 e AM3 respectivamente



Fonte: Elaborado pelos autores

No resultado da microscopia óptica, conclui-se que nas três amostras de soldagem apresentaram a microestrutura esperada. Na região do metal de solda apresenta uma microestrutura constituída por matriz de ferrita acicular (AF), ferrita poligonal (PF), e ferrita com segunda fase (FSP) e no metal de base apresenta martensita revenida, conforme Figura 13.

Figura 12. Micrografia das amostras AM1, AM2 e AM3 respectivamente



Fonte: Elaborado pelos autores

O tempo de preaquecimento das amostras, contabilizado até a junta alcançar temperatura de início de soldagem, teve uma variação gradual diretamente relacionada à distância entre a resistência de aquecimento e a junta a ser soldada. As amostras AM1, AM2 e AM3 obtiveram os tempos de 9 minutos, 15 minutos e 35 minutos respectivamente.

3.2 CÁLCULO DO CUSTO DA MÃO DE OBRA

Para levantamento de custos, foi utilizado o custo do operador de tratamento térmico, o único envolvido nesta fase da operação de soldagem de amostra para qualificação de procedimento de soldagem, levando em consideração os encargos, o custo do consumo de

energia e o custo de hora máquina tendo por base o custo de locação do equipamento no momento da coleta de dados.

Os cálculos foram realizados considerando-se a hora contratada acrescida dos encargos e benefícios, no caso de recurso humano.

Foi considerado 275 Número de Dias a Disposição da empresa (NDD), este número é obtido subtraindo o Descanso Semanal Remunerado (DSR), Férias e Feriados, do total de dias em 1 (um) ano.

A Jornada de Trabalho é obtida por padrão comercial pela divisão de 220 horas por 30 dias, então, Jornada = $220/30 = 7,3333$

Com base nos dados apresentados acima, é calculado o Número de Horas a Disposição da Empresa (NHD), da seguinte maneira: $NDD \times Jornada = NHD$, então, $275 \times 7,3333 = 2.016,67$ Horas a disposição da empresa.

A Tabela 8 a seguir, apresenta os valores de referência estimados para cálculo de custo de mão de obra utilizada na execução da junta soldada, o valor da hora contratada apresentada nesta tabela, refere-se a hora contratada do Operador de Tratamento Térmico. Todos os outros dados da tabela são os apresentados de forma detalhada anteriormente.

Custo do preaquecimento da junta Tabela 6.

Referências	Valores	Unidades
Valor da hora contratada	R\$ 14,50	Reais/hora
Valor base mensal contratado	R\$ 3.190,00	Reais
Quantidade de horas contratadas mensal	220	horas
Jornada diária	7,3333	horas
Plano de Saúde mensal	R\$ 350,00	Reais
Cesta Básica mensal	R\$ 400,00	Reais
NHD	2016,67	horas

Fonte: Elaborado pelos autores

Tendo o Operador de Tratamento Térmico com exemplo, a Tabela 9 a seguir, demonstra como foi encontrado o custo anual do profissional.

Remuneração anual de Operador de Tratamento Térmico Tabela 9.

	Dados	Unidades	Custo	Informações
Salário	2016,67	horas/ano	R\$ 29.241,72	(horas/ano) X \$ hora
DSR	48	dias	R\$ 5.103,98	DSR X Jornada X \$ hora
Férias	220	horas	R\$ 3.190,00	220 hr X \$ hora
Adicional de Férias	1/3	Salário Mensal	R\$ 1.063,33	1/3 do \$ mensal base
Feriados	12	dias	R\$ 1.275,99	12 X Jornada X \$ hora
13º Salário	220	horas	R\$ 3.190,00	220 hr X \$ hora
Total das Remunerações			R\$ 43.065,02	

Fonte: Elaborado pelos autores

O Tabela 10 apresenta o custo da hora trabalhada mais os encargos do Operador de Tratamento Térmico.

Custo da hora do Operador de Tratamento Térmico Tabela 10.

Encargos Sociais mínimo exigido por lei (Valores anuais)		Informações
Previdência Social:	R\$ 11.972,08	27,8% indústria X Total das Remunerações
FGTS:	R\$ 3.445,20	8% Salário X Total das Remunerações
Outros:		
Plano de Saúde	R\$ 4.200,00	Valor mensal X 12
Cesta Básica	R\$ 4.800,00	Valor mensal X 12
Custo Total	R\$ 67.482,30	Total de Remunerações + Encargos + Outros
Custo Hora com Encargos		R\$ 33,46 Custo Total / NHD

Fonte: Elaborado pelos autores

Levando em consideração os custos de mão de obra, equipamentos e infraestrutura envolvidos no processo de soldagem, o custo se apresentou da seguinte maneira, conforme Tabela 11.

Custo do preaquecimento da junta Tabela 7

ITENS	CUSTO		
	AM1 / 60 mm	AM2 / 100 mm	AM3 / 200 mm
Amostras / Distância da junta			
Tempo	9 min.	15 min.	35 min.
Mão de Obra	R\$ 5,02	R\$ 8,37	R\$ 19,52
Equipamentos / Infraestrutura (consumo de energia elétrica)	R\$ 0,07	R\$ 0,12	R\$ 0,28
Total	R\$ 5,09	R\$ 8,49	R\$ 19,80

Fonte: Elaborado pelos autores

A amostra AM1, onde a resistência de aquecimento foi montada a 60 mm de distância da junta soldada teve um custo de R\$ 5,09 (cinco reais e nove centavos), a amostra AM2 onde essa distância foi de 100 mm o custo foi de R\$ 8,49 (oito reais e quarenta e nove centavos) e por último a amostra AM3 que teve sua resistência montada a 200 mm o custo foi de R\$ 19,52 (dezenove reais e oitenta centavos), esta variação de custos levou em consideração, o tempo que cada amostra levou para alcançar a temperatura de início de soldagem.

4 CONCLUSÃO

Todas as amostras apresentam resultados satisfatórios no ensaio não destrutivo de Inspeção Visual, demonstrando que as montagens distintas do layout de preaquecimento da junta não influenciaram para a formação de defeitos ou descontinuidades superficiais.

O ensaio não destrutivo de Ultrassom, não apresentou descontinuidades provenientes da ação do hidrogênio em camadas mais internas das três amostras de soldagem. Conclui-se então que as montagens distintas do layout de preaquecimento nas amostras AM1, AM2 e AM3 foram suficientes para a não ocorrência de trincas a frio na soldagem, apesar da diferença nas distâncias entre a junta soldada e as resistências de preaquecimento.

O ensaio destrutivo de impacto Charpy, com localização do entalhe na ZTA, mostra que quanto menor a distância entre a resistência de preaquecimento e a junta soldada, melhor foi o resultado do ensaio quanto a quantidade de energia absorvida. Não é conclusivo ainda se dizer que há relação entre montagens distintas de preaquecimento e o valor de tenacidade encontrada.

A energia absorvida no teste de impacto Charpy mostra que todas as amostras atendem os requisitos mínimos estabelecidos pela norma, fabricante de consumíveis e fabricante do material de base.

A formação de grande quantidade de ferrita acicular (AF) mostra que o preaquecimento foi suficiente para alterar a microestrutura do metal de solda e melhorar sua tenacidade. A obtenção de microestrutura constituída de ferrita acicular em aços micro-ligados é promissora por apresentar boa combinação de propriedades mecânicas, especialmente pela melhoria da tenacidade, graças à morfologia fina e entrelaçada que dificulta a propagação de trincas.

Os tempos de preaquecimento das amostras variaram da seguinte forma AM1= 9 minutos, AM2= 15 minutos, e AM3= 35 minutos, provocando um custo de preaquecimento de R\$5,09, R\$8,49 e R\$19,80 respectivamente. Isso demonstra a interferência da montagem do sistema de preaquecimento no custo do preaquecimento da junta soldada

REFERÊNCIAS

- AWS D1.1, Structural Welding Code-Steel, AMERICAN WELDING SOCIETY, 2010.
- AWS A5.5, Specification for Alloy Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding, 2014.
- BEZERRA, A. A.; Trinca a Frio na Soldagem, Sinergia, São Paulo, v.6, n.1, p.71-76, jan./jun. 2005.
- BRAZ, M. H. P.; Propriedades de Fadiga de Soldas de Alta Resistência e Baixa Liga Com Diferentes Composições Microestruturais; Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 1999.
- CALLISTER JÚNIOR, W. D.; Ciência e Engenharia dos Materiais Uma Introdução, 7 ed., Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008. 687p.
- CHIAVERINI, V.; Aços e Ferros Fundidos, 7 ed., São Paulo: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, 2012. 599p.
- ESAB, Apostila de Soldagem MIG/MAG, 2005.
- JIANG, Y., Zhou, R., Microstructures and properties of a bainite and martensite dual-phase cast steel fabricated by combination of alloying and controlled cooling heat treatment. Material Science Forum, vol. 475-479, p. 93-96, 2005.
- MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A. Q.; Soldagem Fundamentos e Tecnologia, 3º ed. atualizada, Belo Horizonte, MG, Editora UFMG 2011. 362p.
- PINHEIRO, M. M.; Influência do Preaquecimento e Tratamento Térmico Pós Soldagem Nas Propriedades Mecânicas do Metal de Solda de Aços de alta Resistência Obtidos Por Processo de Arame Tubular Tipo Metal Cored, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais, CEFET, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.
- USIMINAS, Catálogo USIMINAS de Chapas Grossas, 2014.