

**Estudo do efeito do pré e pós-aquecimento na junta soldada do aço sar 80T pelo processo de soldagem por arco submerso****Study of the effect of pre and post-heating on the waste joint of sar 80T steel by submerged arc welding process**

DOI:10.34117/bjdv6n6-376

Recebimento dos originais: 11/05/2020

Aceitação para publicação: 16/06/2020

**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

**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

**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**

Sob o aspecto de fabricação de equipamentos onde utiliza o aço USI SAR 80T de alta resistência e baixa liga (ARBL), identificou-se uma tendência a formação de trincas em sua soldagem por arco submerso. Esse aço é utilizado na fabricação de equipamentos offshore, que serão utilizados sob severas condições, tais como altas pressões subaquáticas e temperaturas próximas a zero graus Celsius. Desta forma, as soldas estruturais devem possuir características de qualidade elevada. Foram realizados testes em três chapas planas com 80 mm de espessura, no que diferem somente nos valores das temperaturas de pré-aquecimento, transição e pós-aquecimento para comparar os resultados dos ensaios destrutivos e não destrutivos visando a melhor proposta. As três amostras não obtiveram defeitos, e os valores de dureza e limite de resistência foram próximos, não havendo a necessidade de temperaturas de pré-aquecimento maiores ou acréscimo do pós-aquecimento.

**Palavras chave:** ARBL; Pré-aquecimento; Pós-aquecimento.

## **ABSTRACT**

In the manufacturing of equipment where USI SAR 80T high-strength, low-alloy steel (ARBL) is used, a tendency for crack formation in its submerged arc welding has been identified. This steel is used in the manufacture of offshore equipment, which will be used under severe conditions such as high underwater pressures and temperatures close to zero degrees Celsius. In this way, structural welds must have characteristics of high quality. Tests were carried out on three flat plates with a thickness of 80 mm, which differ only in the values of the preheating, transition and postheat temperatures to compare the results of the destructive and non-destructive tests aiming at the best proposal. The three samples did not obtain any defects, and the values of hardness and resistance limit were close, and there was no need for higher preheating temperatures or postheat addition.

**Key words:** ARBL; Preheating; Post-heating.

## **1 INTRODUÇÃO**

Para a construção de equipamentos que exigem elevadas propriedades mecânicas como tenacidade, ductilidade e resistência à fratura, a utilização de aços de alta resistência e baixa liga, têm sido amplamente utilizados em vários setores tais como na indústria petrolífera [1].

A busca pelo aumento da produtividade tem levado às empresas a aperfeiçoarem os materiais metálicos a obterem máxima resistência com possível redução de espessura, e, conseqüentemente com peças e estruturas mais leves com a mesma garantia de qualidade e segurança. O aço de construção de baixo carbono é o material que apresenta melhor relação entre a resistência e o custo, a exigência de baixo carbono está relacionada com a necessidade de garantir ao material elevada ductilidade e soldabilidade [2].

Diminuição dos custos e a garantia do produto em relação a esses aços especiais são os desafios, porém existe uma dificuldade para obtenção da mesma mediante sua soldagem. A utilização dos aços ARBL tem aumentado em relação aos aços de carbono comuns, pois os cuidados e as considerações práticas para obter o resultado de uma solda livre de descontinuidades e de altas resistências, aprovadas por ensaios que constam em normas do setor, são necessárias [2].

Microestruturas do metal de solda dos aços ARBL diferenciam da microestrutura do metal de base devido a diversos fatores, como exemplo a velocidade de resfriamento e a exposição à elevadas temperaturas. As microestruturas das soldas tendem a apresentar uma granulação final muito fina desenvolvida sobre uma microestrutura prévia de austenita grosseira, com tendência de ocorrer uma elevada densidade de discordâncias, precipitados finos, solubilização de elementos de liga, além do desenvolvimento de constituintes pouco usuais no metal de base [3]. Com o aumento dos requisitos para as propriedades mecânicas dos aços ARBL, aumentou o controle das variáveis no processo de soldagem.

O processo de soldagem utilizado é arco submerso, e o aço é o USI SAR-80T da família dos ARBL, que é fabricado pelo processo de laminação.

Esse estudo pretende demonstrar se há influência nos diferentes valores das temperaturas de pré-aquecimento, transição, pós-aquecimento para a resistência e qualidade da solda através dos ensaios destrutivos e não destrutivos.

Os valores dos resultados foram próximos entre as amostras em relação ao limite de resistência e a dureza.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

As chapas utilizadas fornecidas com certificação pela Usiminas, foram do aço USI SAR-80T com 80 mm de espessura, onde o T na classificação indica que ocorreu tratamento térmico temperado e revenido. Tem limite de escoamento de 855 MPa, limite de resistência de 901 MPa, alongamento de 20% e composição química conforme Tabela 1:

**Tabela 1.** Composição química do metal de base [Fonte: NUCLEP]

Mn	Cr	Mo	Si	C	Al	V	Cu	Ni	Pb	P	Ti
1,04	0,71	0,55	0,26	0,13	0,036	0,033	0,02	0,02	0,02	0,019	0,016

Os consumíveis foram eletrodos e fluxos especificados pela norma AWS A5.17 foram fornecidos com certificação pela Esab, para a soldagem pelo processo de arco submerso para aços de baixa liga. A combinação do arame/fluxo tem a classificação F11A8-ECF6-F6. O arame é o Tubrod 15.09 F11A8 com diâmetro de 3,2 mm e o fluxo é o FLUX 10.61B ECF6-F6. Abaixo a Tabela 2 indica as propriedades do arame/fluxo e na Tabela 3 a composição química da combinação do arame/fluxo [4].

**Tabela 2.** Características e propriedades do arame/fluxo [4]

Características do fluxo		Características do arame	
Charpy V à -73°C	71J	Charpy V à -40°C	70 J
Alongamento	19%	Alongamento	20%
Limite de Resistencia	821 MPa	Limite de Resistencia	840 MPa
Limite de escoamento	758 MPa	Limite de escoamento	761 MPa

Tabela 3. Composição química da combinação arame/fluxo [4]

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
0,14	0,80-1,85	0,80	0,020	0,030	0,65	1,50-2,25	0,60	0,40

## 2.2 SOLDAGEM

As chapas foram preparadas com chanfros de 60° conforme Figura 1, com alturas de 50 mm e 27 mm obtendo um nariz com 3 mm podendo atingir uma tolerância de +2/-0 mm no nariz, + 10/-0° no ângulo.

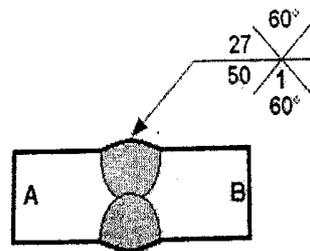


Figura 1. Esquema da preparação do chanfro para a soldagem [Fonte: Autor]

Os parâmetros de soldagem são de fundamental importância para a qualidade da solda e foram extraídos da fabricação de um equipamento chamado Boca de Sino que utiliza um dos principais componentes desse estudo que é o aço SAR 80T com 80 mm de espessura, exceto os valores de preaquecimento, transição e pós aquecimento que foram modificados buscando a qualidade da melhor amostra conforme informações a seguir.

Amostra 1, os parâmetros das temperaturas de soldagem foram informações dos fabricantes, dos engenheiros metalúrgicos da área de gerência de pesquisa e produtos da Usiminas (responsável pela patente e fornecimento do aço) através do padrão PATA0251 [5], dos engenheiros metalúrgicos da ESAB (responsável pelo fornecimento dos eletrodos e fluxos) e estudos através das normas da Petrobrás N-133 rev.J, AWS A5.17, AWS A5.23, AWS D1.1 [6, 4, 7, 8].

Amostra 2, os parâmetros das temperaturas de soldagem foram informações da literatura, segundo Perez [9], o preaquecimento varia entre 50 à 540°C, mas comumente 150 à 200°C e Glover [10] que a difusão do hidrogênio ocorre geralmente a valores inferiores à 200°C.

Amostra 3, em relação à amostra anterior única modificação foi o pós- aquecimento que não é uma variável essencial segundo a norma AWS sendo a escolha realizada pela experiência do profissional responsável e seus respectivos valores. Pode haver o pós-aquecimento com temperaturas acima de 200°C por um tempo mínimo de 2 horas segundo Modenesi [11], então foram inseridos nesse estudo pelo autor os valores 300°C por 180 min.

Simplificando, os valores dos parâmetros da amostra 1 é conforme indicação dos fabricantes (equipamentos, chapas e consumíveis), da amostra 2 é através da literatura e da amostra 3 uma opção do autor por ser uma variável não essencial. Seguem os valores dos parâmetros na Tabela 4.

**Tabela 4.** Parâmetros de soldagem das amostras [Fonte: Autor]

Variável	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Posição	Plana	Plana	Plana
Preaquecimento, mínimo (°C)	150	200	200
Entre passes, máximo (°C)	250	350	350
Pós-aquecimento (°C x h:min.)	Não	Não	300 (180min)
Aporte de calor (kJ/cm)	18,58 - 20,65	18,58 - 20,65	18,58 - 20,65
Corrente e polaridade (CC± / CA)	CC+	CC+	CC+
Amperagem (A)	480 – 550	480 – 550	480 – 550
Voltagem (V)	29 – 31	29 – 31	29 – 31
Veloc. soldagem (cm/min.)	51,3 – 54,2	51,3 – 54,2	51,3 – 54,2
Cordão reto ou trançado	Reto	Reto	Reto

As amostras foram soldadas pelo processo de arco submerso com o fluxo sendo controlado manualmente por válvula de regulagem, arco não visível e aspirador de fluxo manual (Figura 2). A máquina de soldagem utilizada é do fabricante Esab, modelo MS-101 e o aspirador é do fabricante ASPO modelo CR-20. A máquina utilizada para controle das temperaturas foi do fabricante Tecnotrat, modelo Super Power. Houveram revezamentos de mudanças de lado para preenchimento dos chanfros e travamento das amostras para evitar empenos.



Figura 2. Soldagem das amostras pelo processo de arco Submerso [Fonte: Autor]

**3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS**

Líquido penetrante foi realizado utilizando água desmineralizada, secagem com pano sem fiapos, líquido penetrante e reveladores com o tempo de espera de no mínimo 30 minutos.

Ultrassom utilizou o aparelho do fabricante Olympus, modelo Epoch 600 com acoplante metil.

Radiografia industrial utilizou o aparelho do fabricante Cegelec, modelo GAM80, radioscópico Irídio 192, filme AGFA D7, procedimento segundo norma ASME Seção IX Ed.2015 e indicador de qualidade segundo norma ASTM 1C 16.

Macrografia, realizou o tratamento superficial com lixamento de malha de 600 e posteriormente um ataque químico com nital a 10%.

Micrografia, utilizou a microscopia óptica do metal de base e da região de solda das amostras, foi realizado na máquina do fabricante Leica do modelo DMi 8. Os corpos de provas foram embutidas por resina termoplástica e em seguida preparados pelo processo de lixamento de malha 600, polimento com pasta de diamante e ataque químico com nital a 2%.

Ensaio de Dureza, realizou um tratamento superficial com lixamento de malha de 600 e posteriormente um ataque químico com nital a 3%. Foram realizadas medições com durômetro universal do fabricante Zwick Roell Indetec modelo ZHU250 com força de 10 Kgf na dureza vickers (HV). Foram realizados para cada amostra 9 pontos no MS, 18 pontos na ZTA e 18 pontos no MB conforme norma Petrobrás N-133-J, item 4.2.5.1 [6].

**2.4 ENSAIOS DESTRUTIVOS**

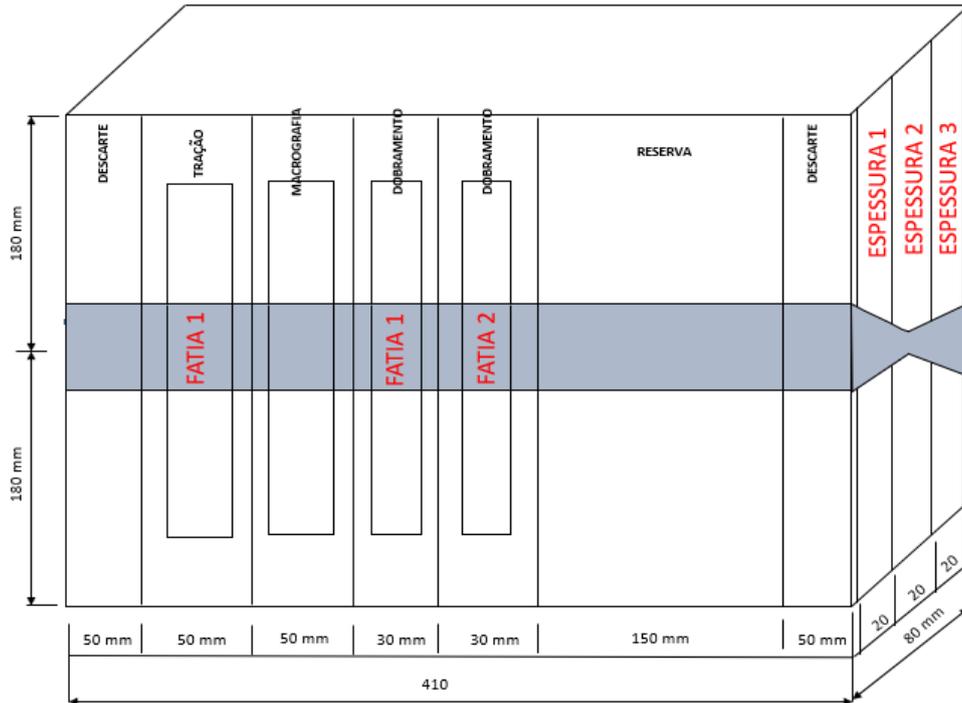
A sequência na qual os corpos de prova são retirados da amostra também são previstos em norma AWS D1.1 capítulo 4 nas figuras 4.9, 4.10 e 4.11.

Na Figura 3 seguem as identificações das amostras.

Exemplos: Para cada fatia retirou 3 amostras devido à espessura da chapa soldada ter 80 mm.

1T1.3 = Amostra 1 / T tração / Fatia 1 / Espessura 3

2DL2.1 = Amostra 2 / DL dobramento lateral / Fatia 2 / Espessura 1



**Figura 3.** Extração e identificação dos corpos de prova [Fonte: Autor]

De acordo com a norma AWS D1.1 2010, em seu capítulo 4, na Tabela 4.2, são listados a quantidade de ensaios obrigatórios por faixa de espessura para a qualificação de procedimento de soldagem para juntas de penetração total CJP (*Complete Joint Penetration*). Indica também que para uma amostra de 80 mm de espessura são necessários no mínimo 2 ensaios de tração transversal e 4 de dobramento lateral, tal como os procedimentos dos ensaios destrutivos [8].

Ensaio de Tração Transversal, os corpos de prova foram confeccionados conforme figura 4.14 da norma AWS D1.1. Foram realizados na máquina de tração do fabricante EMIC Instron, modelo EMIC 23-600. A realização do ensaio foi orientado pela norma AWS D1.1 item 4.9.3.4, e o item 4.9.3.5 são os critérios de aceitação [8].

Seguem as dimensões dos corpos de prova conforme Tabela 5.

**Tabela 5.** Dimensões dos corpos de prova de ensaio de tração transversal [Fonte: Autor]

<b>ENSAIO DE TRAÇÃO TRANSVERSAL</b>			
Identificação do C.P	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área So (mm <sup>2</sup> )
1T1.1	19,96	19,66	392,41
1T1.2	18,72	19,74	369,53
1T1.3	19,92	19,86	395,61

2T1.1	19,93	20,30	404,58
2T1.2	19,95	20,30	404,98
2T1.3	19,96	20,09	401,00
3T1.1	19,99	20,32	406,20
3T1.2	19,96	20,19	402,99
3T1.3	18,67	20,20	377,13

Ensaio de Dobramento Lateral, os corpos de provas foram confeccionados com dimensões conforme figura 4.13 da norma AWS D1.1. Os ensaios foram realizados na máquina do fabricante MTS Systems Corporation do modelo 661.318-02. O procedimento do ensaio foi realizado orientado pela norma AWS D1.1 item 4.9.3.1, tal como as figuras 4.15, 4.16 e 4.17. Os critérios de aceitação pela norma são informados no capítulo 4, item 4.9.3.3 [8]. Seguem as dimensões dos corpos de prova e dos dispositivos para ensaio conforme Tabela 6.

**Tabela 6.** Dimensões dos corpos de provas para ensaio de dobramento [Fonte: Autor]

Identificação do C.P.	Medidas (mm)	$\Phi$ Apoios (mm)	$\Phi$ Punção (mm)	Distância entre Apoios (mm)	Ângulo de Dobramento (°)
1DL1.1	9,95x19,92x150	50	63,5	85,7	180
1DL1.2	9,95x19,97x150				
1DL1.3	9,94x19,95x150				
1DL2.1	9,97x19,98x150				
1DL2.2	9,94x19,96x150				
1DL2.3	9,96x19,95x150				
2DL1.1	10,04x20,04x150				
2DL1.2	10,06x19,84x150				
2DL1.3	10,05x20,05x150				
2DL2.1	10,15x20,07x150				
2DL2.2	10,22x20,36x150				

2DL2.3	10,19x20,11x150				
3DL1.1	10,24x20,32x150				
3DL1.2	10,36x20,22x150				
3DL1.3	10,18x20,16x150				
3DL2.1	10,15x19,02x150				
3DL2.2	10,17x20,23x150				
3DL2.3	9,97x20,10x150				

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 SOLDAGEM

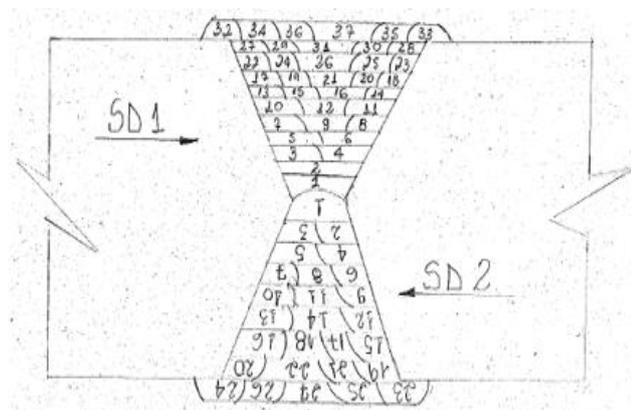
O passe de selagem e o nariz foram retirados conforme procedimento padrão sem avariar a junta soldada tal como a superfície dos chanfros.

O controle das faixas de temperaturas, mudança dos lados de soldagem e travamento das amostras foram eficientes, pois não houveram empenos consideráveis.

Em relação ao aspecto visual, os cordões mantiveram dimensões no padrão recomendado sem variações consideráveis.

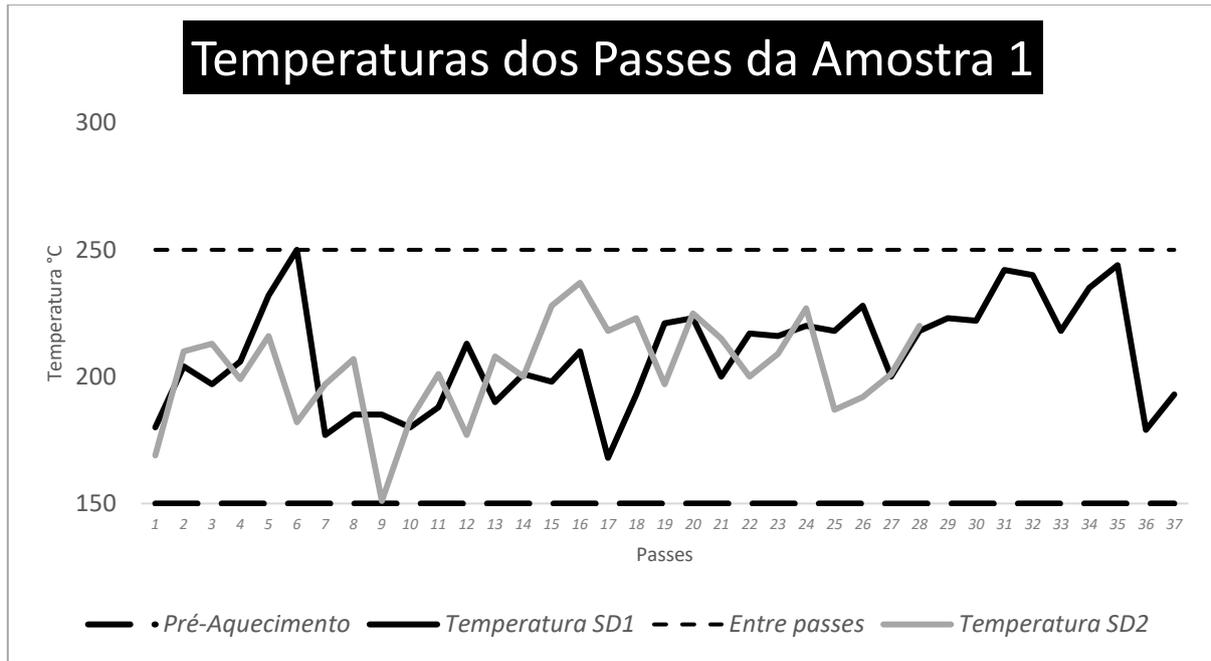
As temperaturas dos cordões de solda foram medidas pelo termômetro de contato do fabricante Testo modelo 925, totalizando 37 do lado SD1 e 28 do lado SD2 de cada amostra, e permaneceram entre os limites de pré-aquecimento e de entre passes.

A sequência final de deposição obtida após soldagem ficou conforme croqui da Figura 4.



**Figura 4.** Sequência de camadas/cordões de solda das amostras [Fonte: Autor]

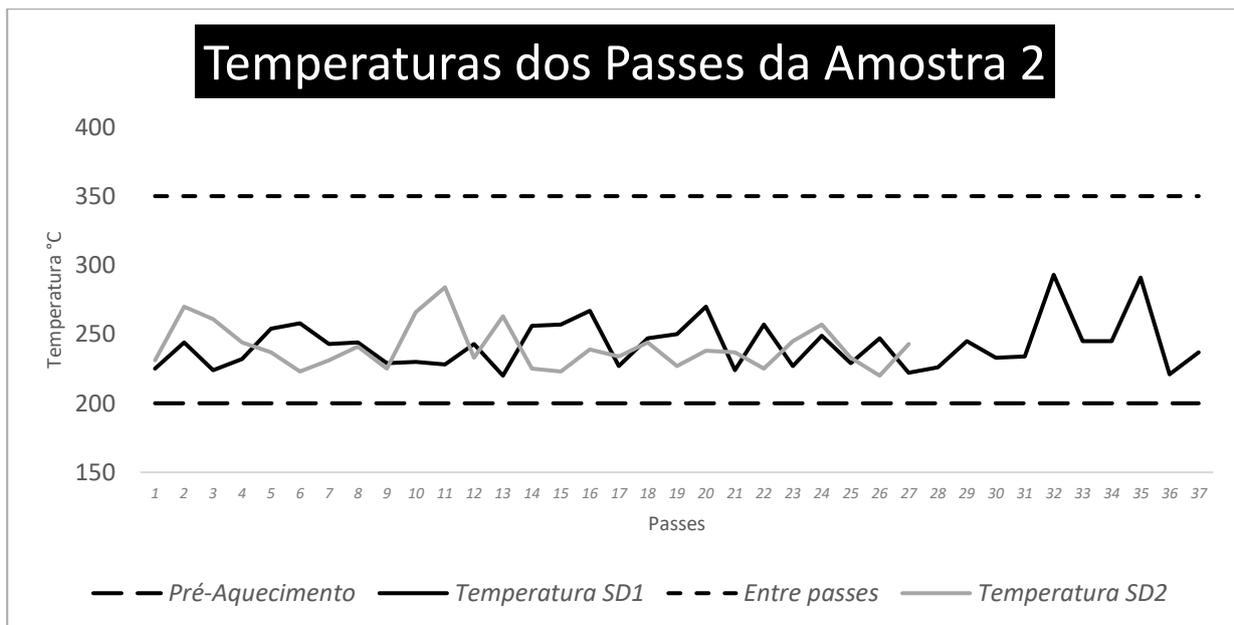
As temperaturas de cada cordão de solda nas amostras apresentaram os valores mostrados nas Figuras 5, 6 e 7, onde pode ser observado que as temperaturas ficaram entre as linhas limites de pré-aquecimento e entre passes.



**Figura 5.** Temperaturas da amostra 1 durante o processo de soldagem [Fonte: Autor]

A Figura 5, indica que todas as temperaturas dos cordões de solda totalizando 37 do lado 1 (linha preta-SD1) e 28 do lado 2 (linha cinza-SD2) estão entre as linhas limites (linhas tracejadas de pré-aquecimento e entre passes).

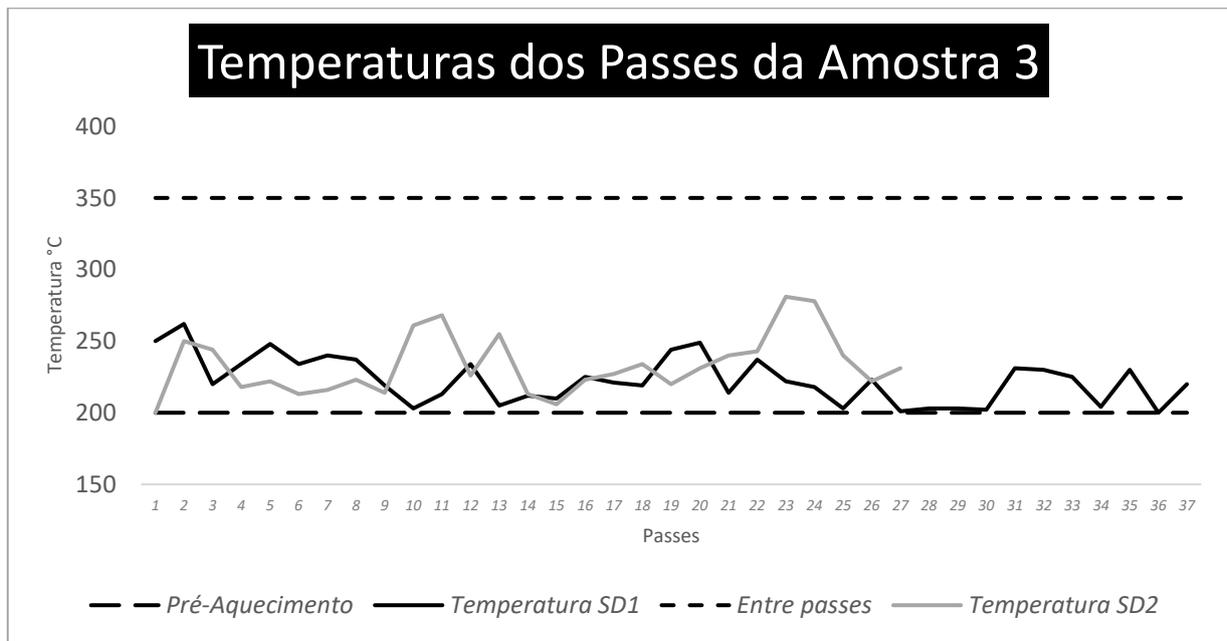
Desta forma podemos considerar que o controle de temperaturas da amostra 1 durante a soldagem foram conforme os parâmetros solicitados.



**Figura 6.** Temperaturas da amostra 2 durante o processo de soldagem [Fonte: Autor]

A Figura 6, indica que todas as temperaturas dos cordões de solda totalizando 37 do lado 1 (linha preta-SD1) e 28 do lado 2 (linha cinza-SD2) estão entre as linhas limites (linhas tracejadas de pré-aquecimento e entre passes).

Desta forma podemos considerar que o controle de temperaturas da amostra 2 durante a soldagem foram conforme os parâmetros solicitados.



**Figura 7.** Temperaturas da amostra 3 durante o processo de soldagem [Fonte: Autor]

A Figura 7, mostra que todas as temperaturas dos cordões de solda totalizando 37 do lado 1 (linha preta-SD1) e 28 do lado 2 (linha cinza-SD2) estão entre as linhas limites (linhas tracejadas de pré-aquecimento e entre passes).

Desta forma podemos considerar que o controle de temperaturas da amostra 3 durante a soldagem foram conforme os parâmetros solicitados.

### 3.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Ensaio visual não foram encontrados defeitos superficiais nas amostras, tais como trincas, falta de fusão, de penetração, deposição insuficiente; porosidade, mordedura, respingo e desalinhamento, então foram aprovadas.

Líquido penetrante não foram reveladas nenhuma descontinuidade superficial nas amostras tais como trincas, poros e dobras, então foram aprovadas.

Ultrassom foi realizado conforme Figura 8 e não foram detectadas descontinuidades internas nas soldas das amostras, então foram aprovadas.



Figura 8. (a) Ensaio de ultrassom, (b) Inspeção de descontinuidades [Fonte: Autor]

Radiografia industrial, imagens reveladas conforme Figura 9. Todas as amostras foram analisadas, não foram detectadas descontinuidades internas nas soldas, então foram aprovadas.



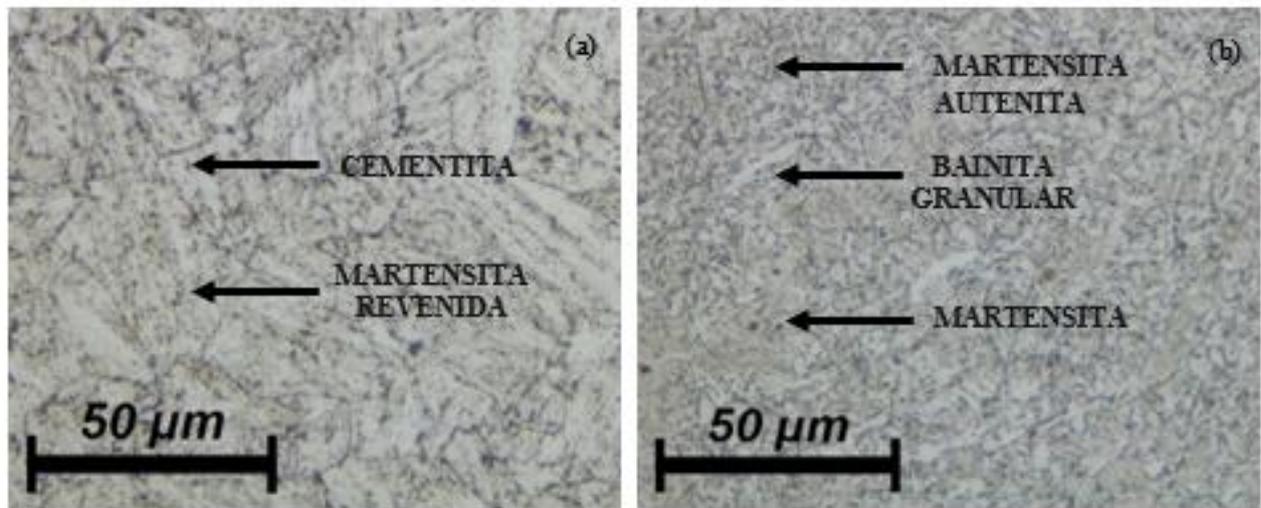
Figura 9. Radiografias das amostras 1, 2 e 3 [Fonte: Autor]

Macrografia, manteve a homogeneidade da solda. As regiões do MB, ZTA e MS estão bem definidas. Não houveram descontinuidades superficiais tais como porosidades ou segregações e as mesmas foram aprovadas conforme Figura 10.

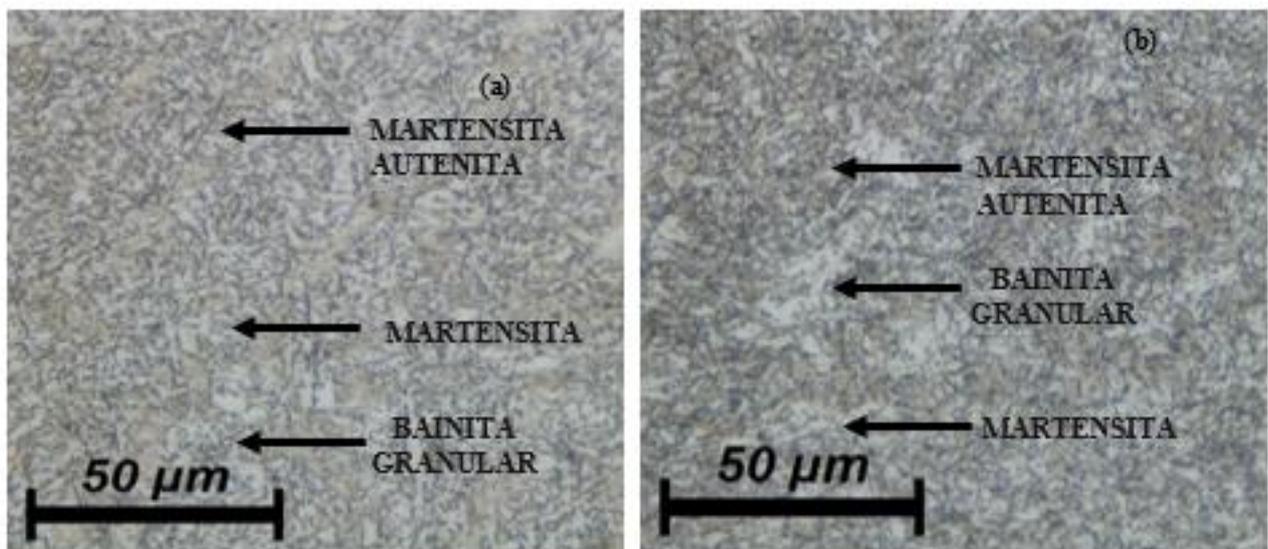


Figura 10. Macrografia das amostras 1, 2 e 3 [Fonte: Autor]

Micrografia, a Figura 11a mostra a imagem de microscopia óptica do metal de base e as Figuras 11b, 12a e 12b as dos metais de solda das amostras 1, 2 e 3 com ampliação de 340 x.



**Figura 11:** (a) Micrografia com ampliação de 340x, ataque com nital a 2%, da amostra do metal de base [Fonte: Autor], (b) Micrografia com ampliação de 340x, ataque com nital a 2%, da amostra 1 do metal de solda [Fonte: Autor]



**Figura 12:** (a) Micrografia com ampliação de 340x, ataque com nital a 2%, da amostra 2 do metal de solda [Fonte: Autor], (b) Micrografia com ampliação de 340x, ataque com nital a 2%, da amostra 3 do metal de solda [Fonte: Autor]

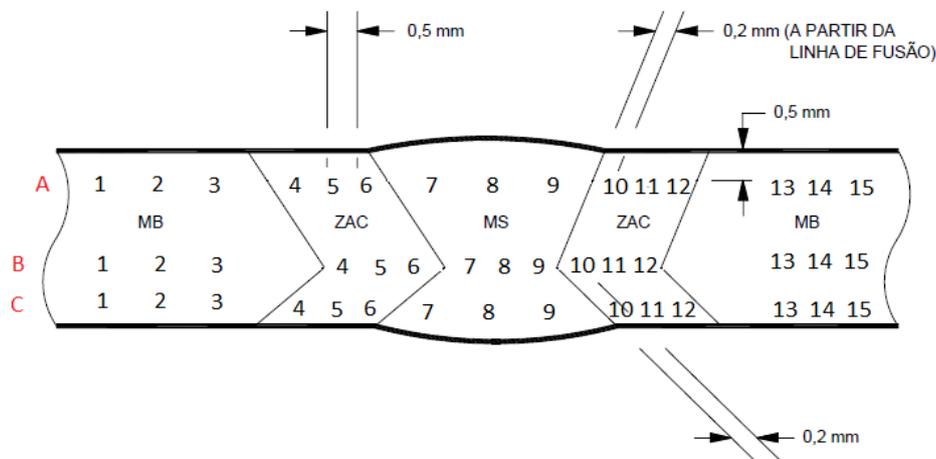
No metal de base, observa-se que sua microestrutura predominante é formada por martensita revenida de alta temperatura antigamente chamada de Sorbita. A morfologia com partículas de cementita extremamente pequenas e uniformemente dispersas (parte escura) geralmente tendendo para uma forma esferoidal que se localizam nos contornos e discordâncias, e agem como barreiras à sua movimentação durante a deformação plástica, o interior é a martensita revenida. As propriedades da martensita revenida são a alta tenacidade, ductilidade, resistência mecânica e boa soldabilidade.

O metal de solda das amostras 1, 2 e 3, mostram que a microestrutura predominante é formada por bainita granular. A morfologia de bainita granular (regiões claras), com bandas de martensita (marrom) devido ao bandeamento dos elementos carbono e manganês com os microconstituintes (MA) martensita/austenita (regiões escuras). As características dessa microestrutura são, alta resistência mecânica, tenacidade e boa ductilidade, como foi observado nos próprios ensaios mecânicos.

Os detalhes microestruturais desses tipos de imagens são muito finos para serem revelados por microscopia ótica.

As análises das microestruturas mostraram que não houveram mudanças significativas entre as microestruturas submetidas aos diferentes valores de temperaturas nos processos de soldagens dos metais de soldas das amostras 1, 2 e 3. A mudança das microestruturas se deram somente do metal de base com os metais de soldas das amostras

Dureza, a localização das foram: Pontos 7, 8 e 9 localizado na região do metal de solda (MS), nos pontos 4, 5, 6, 10, 11 e 12 na zona termicamente afetada (ZTA) e nos pontos 1, 2, 3, 13, 14 e 15 são no metal de base (MB), conforme mostrado na Figura 13.



**Figura 13:** Pontos de medição da dureza na junta soldada conforme norma Petrobrás N-133 [6]

O valor médio da dureza do material de base recebido do fabricante Usiminas foi de 300 HV. Os valores de microdureza obtidos pelos ensaios são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Valores de dureza das amostras

LINHA	PONTOS DE IMPRESSÃO CP01 – HV 10														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	316	331	328	320	320	349	297	329	341	329	336	334	299	346	344
B	292	298	298	290	263	283	265	277	283	319	296	260	284	303	297
C	316	318	325	297	329	292	308	302	299	330	350	375	328	323	322
LINHA	PONTOS DE IMPRESSÃO CP02 – HV 10														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	315	316	323	299	338	326	307	304	306	297	300	320	310	316	326
B	292	285	282	297	255	276	264	272	279	280	287	279	267	232	241
C	328	326	310	280	345	317	303	299	301	303	290	300	320	329	328
LINHA	PONTOS DE IMPRESSÃO CP03 – HV 10														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	318	323	335	277	358	349	299	299	298	326	355	316	325	329	323
B	273	282	282	257	277	250	268	279	277	286	263	256	262	282	294
C	317	322	327	312	339	225	308	308	297	294	316	290	323	318	317

[Fonte: Autor]

Na Tabela 8, mostram os valores médios entre as regiões no MB, ZTA e MS das amostras.

Tabela 8. Valores médios de dureza das amostras

Zonas	Metal base	ZTA	Metal de Solda
Amostra 1	315	318	300
Amostra 2	302	299	292
Amostra 3	302	297	293

[Fonte: Autor]

Os valores médios entre as regiões no MB, ZTA e MS da amostra 1 foram 315, 318, 300 HV, da amostra 2 foram 302, 299 e 292 HV e da amostra 3 foram 302, 297 e 293 HV respectivamente, isso indica similaridade ao longo de toda a seção medida, eliminando por esse ensaio os riscos de trincas por diferenças excessivas de durezas nas diferentes regiões do material.

Conforme o Anexo I da Norma AWS D1.1, todos os corpos de provas foram aprovados, pois os valores de dureza da ZTA foram inferiores à 350 HV.

### 3.3 ENSAIOS DESTRUTIVOS

Dobramento lateral, seguem os corpos de provas após os ensaios conforme a Figura 7.



**Figura 7.** Corpos de prova após os ensaios de dobramento lateral das amostras 1, 2 e 3

[Fonte: Autor]

Todos os corpos de provas foram ensaiados para ângulo de 180°, não foram encontradas descontinuidades nas partes côncava ou convexa com exceção da amostra 2DL2.2, que foi encontrada uma trinca de 0,8 mm de extensão, porém menor que 3 mm como informa a norma AWS D1.1 foram aprovados.

Tração transversal, seguem os corpos de provas após o ensaio conforme a Figura 8. Todos os rompimentos foram na região do metal de solda, com aspecto de fratura dúctil.



**Figura 8.** Corpos de provas após os ensaios de tração transversal das amostras 1, 2 e 3

[Fonte: Autor]

Conforme pode ser observado na Figura 9, na curva de tensão x deformação das amostras, todas apresentaram comportamento dúctil observado pelo início da deformação plástica até o momento da fratura.

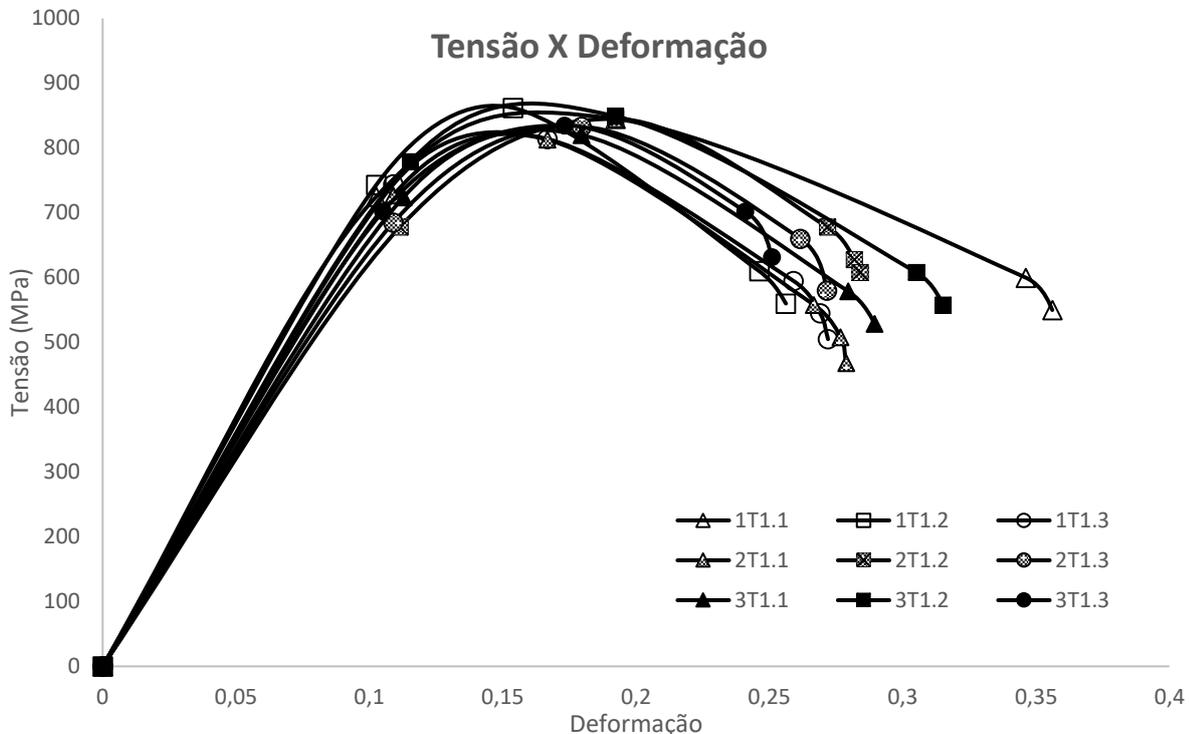


Figura 9. Curva de tensão x deformação dos ensaios de tração

[Fonte: Autor]

Analisando o comportamento mecânico das amostras ensaiadas, observamos que a amostra com maior valor de limite elástico foi a 3T1.2 com 779 MPa, com deformação de 11,54%, e a de menor valor foi a amostra 2T1.2 com 678 MPa com uma deformação de 11,15%.

A amostra 1T1.2 apresentou maior valor de limite de resistência à tração, com o valor de 862 MPa e uma deformação de 15,38%. Enquanto que a amostra 2T1.1 apresentou o de 813 MPa com deformação de 16,67%.

A amostra 1T1.1 obteve o maior valor de deformação na fratura, cerca de 34,61%. No entanto a amostra 3T1.3, apresentou uma deformação de 24,10%.

Na Tabela 9, mostram os resultados das amostras tais como o alongamento, deformação, deformação percentual, força e deslocamento dos pontos dos ensaios de tração no limite de escoamento, limite de resistência e limite de ruptura.

As diferenças de valores de porcentagens do limite de escoamento e limite de ruptura tem que ser maior que 5% para identificar o material como dúctil e conforme tabela as amostras 1 foram

(24,35%, 14,36%, 15%), amostras 2 (15,77%, 16%, 15,26%) e amostras 3 (16,67%, 18,97%, 13,59%) respectivamente.

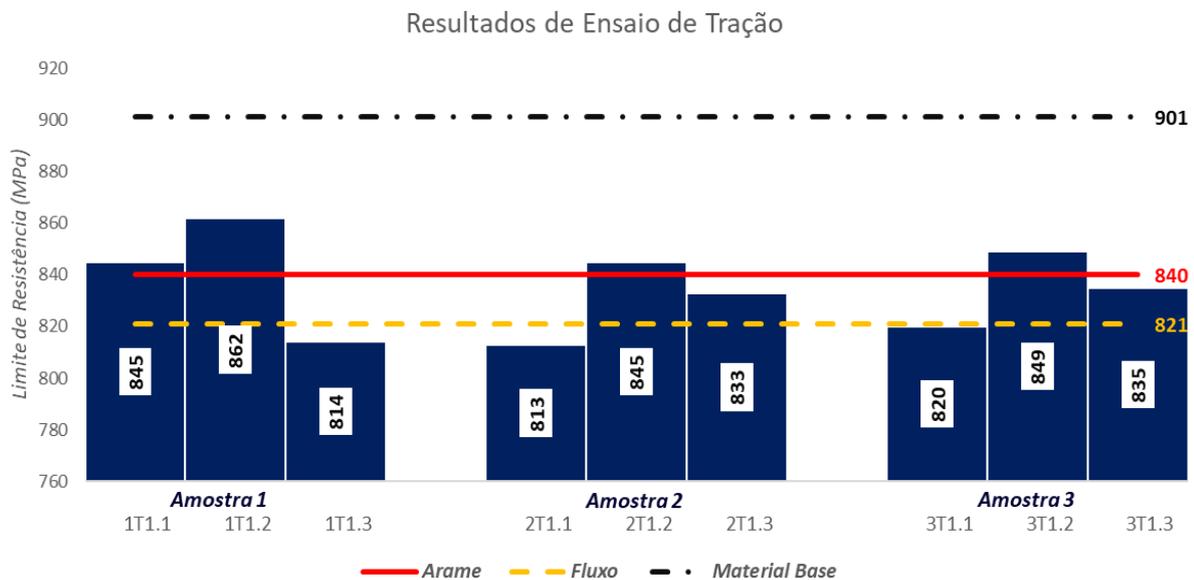
**Tabela 9.** Resultados dos ensaios de tração transversal das amostras

	1T1.1					1T1.2					1T1.3				
	Along. (mm)	Deform. (mm/mm)	Deform. (%)	Força (Kgf)	Tensão (MPa)	Along. (mm)	Deform. (mm/mm)	Deform. (%)	Força (Kgf)	Tensão (MPa)	Along. (mm)	Deform. (mm/mm)	Deform. (%)	Força (Kgf)	Tensão (MPa)
L.ESC	8	0,1026	10,26	29000	725	8	0,1026	10,26	28000	743	8,5	0,109	10,9	30000	744
L.RES	15	0,1923	19,26	33798	845	12	0,1538	15,38	32492	862	13	0,1667	16,67	32843	814
L.RUP	27	0,3461	34,61	24000	600	19,2	0,2462	24,62	23000	610	20,2	0,259	25,9	24000	595
	2T1.1					2T1.2					2T1.3				
L.ESC	8,5	0,109	10,9	30000	727	8,7	0,1115	11,15	28000	678	8,5	0,109	10,9	28000	685
L.RES	13	0,1667	16,67	33557	813	15	0,1923	19,23	34877	845	14	0,1795	17,95	34078	833
L.RUP	20,8	0,2667	26,67	23000	558	21,2	0,2718	27,18	28000	678	20,4	0,2616	26,16	27000	660
	3T1.1					3T1.2					3T1.3				
L.ESC	8,8	0,1128	11,28	30000	724	9	0,1154	11,54	32000	779	8,2	0,1051	10,51	27000	702
L.RES	14	0,1795	17,95	33498	820	15	0,1923	19,23	34882	849	13,5	0,1731	17,31	32182	835
L.RUP	21,8	0,2795	27,95	24000	579	23,8	0,3051	30,51	25000	608	18,8	0,241	24,1	27000	702

[Fonte: Autor]

Na Figura 10, seguem os valores dos resultados de resistência à tração de cada corpo de prova comparando com do metal de base, fluxo e arame.

Figura 10. Limite de resistência dos ensaios de tração transversal das amostras [



Fonte: Autor]

Os resultados tiveram poucas oscilações entre as amostras em relação ao limite de resistência com uma média de 840, 830 e 835 MPa respectivamente.

Os limites de resistência ficaram próximos aos do fluxo e do arame, e distante do metal de base, porém os corpos de provas estão entre a faixa de valores de 760 MPa à 950 Mpa, estando de acordo com a Norma AWS D1.1 e consequentemente aprovados.

A Tabela 10 mostram os resultados de forma resumida dos ensaios desse estudo. Observamos que não houveram diferenças significativas entre os valores médios das amostras em relação a resistência à tração e a dureza. A microestrutura predominante dos metais de solda são idênticas. Não houveram descontinuidades (trincas) superficiais e internas. Foram todas aprovadas conforme Norma AWS D1.1.

**Tabela 10.** Resultados dos ensaios das amostras

ENSAIOS	AMOSTRA 1 150/200/X	AMOSTRA 2 200/350/X	AMOSTRA 3 200/350/300 180 min
Resistência à tração transversal	840	830	835
Resistência ao dobramento lateral	Aprovado	Aprovado	Aprovado
Dureza no metal de base	315	302	302
Dureza na ZTA	318	299	297
Dureza no metal de solda	300	292	293
Microestrutura do metal de solda	Bainita granular	Bainita granular	Bainita granular
Trincas superficiais	Isento	Isento	Isento
Trincas internas	Isento	Isento	Isento

[Fonte: Autor]

#### 4 CONCLUSÃO

No presente trabalho, ficou evidente que não há necessidade de aumentar os valores de preaquecimento como a amostra 2 e nem acrescentar o pós aquecimento como amostra 3, as configurações da amostra 1 podem ser utilizadas perfeitamente para fabricação de componentes e equipamentos com chapas planas do aço SAR 80T na espessura de 80 mm, havendo um ganho assim em relação ao custo, consumo de energia, mão de obra e vida útil do equipamento para a soldagem, pois todos os resultados obtidos estão dentro dos parâmetros estabelecidos em relação à defeitos e a resistência do material.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Nuclebrás Equipamentos Pesados – Nuclep pelo suporte técnico e financeiro.

**REFERÊNCIAS**

- 1 Filho MCS. Influência do pós-aquecimento na soldagem por processo saw do aço Usi Sar 80T. Dissertação de pós-graduação em engenharia de soldagem. Faculdade Senai do Rio, Rio de Janeiro; 2016.
- 2 Albuquerque, Siderley F, Bracarense, Alexandre Q. Avaliação da microestrutura e propriedades mecânicas de metais de solda obtidos por processos de soldagem manual e automatizado utilizado na soldagem de Aço API 5L X80. São Paulo, 2011.
- 3 Modenesi PJ, Villani P. introdução aos processos de soldagem. Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.
- 4 AWS A5.17/A5.17M. Specification for carbon steel electrodes and fluxes for submerged arc welding, 1997.
- 5 Salaroli CA. Soldagem de aços temperados e revenidos. Informe técnico Usiminas PATA0251. Ipatinga-MG, 1996.
- 6 Petrobras Contec SC-26. Soldagem. Norma N- 133-J. Petrobras, 2005.
- 7 AWS SFA-5.23/SFA-5.23M. Specification for low-alloy steel electrodes and fluxes for submerged arc welding. 2007.
- 8 AWS D1.1/D1.1M. Structural welding code – steel. American Welding Society, 2010.
- 9 Perez FRC. A influência da temperatura de pré-aquecimento e tectimento na microestrutura e propriedades mecânicas na soldagem Mig/Mag robotizada de aços SAE 8620 com ABNT LN28. Mestrado em engenharia mecânica. Faculdade de Engenharia da UNESP, Bauru; 2007.
- 10 Grover AG, McGrath JT, Tinkler MJ, Weatherly GC. The influence of cooling rate and composition on weld microstructure in a C-Mn and HSLA Steel. Weldin G. Research Supplement. 1977.
- 11 Modenesi PJ. Fissuração em juntas soldadas. Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.