



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Kennedy Vinicius Queiroz Ferreira

**Avaliação das propriedades mecânica e microestrutural de solda de
amanteigamento**

CARAÚBAS – RN

2023

Kennedy Vinicius Queiroz Ferreira

**Avaliação das propriedades mecânica e microestrutural de solda de
amanteigamento**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Adiana Nascimento
Silva

CARAÚBAS – RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F383a Ferreira, Kennedy Vinicius Queiroz.
Avaliação das propriedades mecânica e
microestrutural de solda de amanteigamento /
Kennedy Vinicius Queiroz Ferreira. - 2023.
55 f. : il.

Orientadora: Adiana Nascimento Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2023.

1. GMAW. 2. TTAT. 3. arame ER 70S-6. 4. aço
baixa liga. I. Silva, Adiana Nascimento, orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Kennedy Vinicius Queiroz Ferreira

**Avaliação das propriedades mecânica e microestrutural de solda de
amanteigamento**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Profa. Dra. Adiana Nascimento
Silva

Defendido em 09/10/2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Adiana Nascimento Silva (UFERSA)
Presidente

Profa. Dra. Ana Claudia de Melo Caldas Batista (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Wendell Albano (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

Componentes soldados com aplicação na indústria de óleo e gás, especialmente em ambientes contendo H_2S precisam atender aos critérios de dureza especificados pela norma NACE MR 0175, bem como resistir a grandes esforços mecânicos e variações de temperatura. As juntas soldadas dissimilares permitem a transição entre conectores, válvulas, reguladores de fluxo entre outros componentes estruturais que compõem a arquitetura do sistema petrolífero. Os aços de alta resistência são empregados nesse ramo devido sua capacidade de oferecer uma boa relação entre resistência mecânica e tenacidade. No processo de fabricação desses componentes, após o processo de soldagem, tem-se o emprego de Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT) para o ajuste de dureza da Zona Termicamente Afetada (ZTA). No entanto, a junção entre parâmetros de soldagem e TTAT pode resultar na formação de uma microestrutura susceptível a fragilização por hidrogênio, sobretudo na interface do metal de base com o material empregado no amanteigamento. O objetivo deste trabalho corresponde à avaliação da influência do TTAT, na dureza e revenimento microestrutural, da ZTA de solda de amanteigamento, composta pelos metais de base e de adição, respectivamente, aço ASTM A182 F22 forjado e arame de aço carbono ER 70S-6. Na união destes materiais utilizou-se processo *Gás Metal Arc Welding* (GMAW) convencional. A solda de amanteigamento foi submetida a TTAT com patamares de temperatura de 650°C, 677°C e 704°C durante 6 horas e resfriamento ao ar. A caracterização da solda de amanteigamento para as condições sem e com TTAT foi realizada por meio dos ensaios de dureza e microdureza. Analisando-se os resultados de dureza tanto longitudinal como transversal observou-se que os parâmetros de TTAT empregados foram eficientes, sendo as reduções mais expressivas na temperatura de 704°C. Observou-se também que todas as amostras submetidas aos tratamentos térmicos atenderam ao critério, da norma NACE MR 0175, de 250HV estabelecido para a ZTA. Para os perfis de microdureza observou-se, na ZTA, valores superiores ao critério especificado anteriormente nas amostras tratada à 650°C, enquanto as amostras submetidas as temperaturas de 677°C e 704°C atenderam ao critério. O TTAT realizado a 704°C mostrou-se mais eficaz na redução de dureza e alívio de tensão da solda de amanteigamento.

Palavras-chave: GMAW; TTAT; arame ER 70S-6; aço baixa liga.

ABSTRACT

Welded components used in the oil and gas industry, especially in environments containing H₂S, must meet the hardness criteria specified by the NACE MR 0175 standard, as well as resist great mechanical stress and temperature variations. Dissimilar welded joints allow the transition between connectors, valves, flow regulators and other structural components that make up the architecture of the petroleum system. High-strength steels are used in this field due to their ability to offer a good relationship between mechanical strength and toughness. In the manufacturing process of these components, after the welding process, Post Weld Heat Treatment (PWHT) is used to adjust the hardness of the Heat Affected Zone (HAZ). However, the particularity between welding restrictions and PWHT can result in the formation of a microstructure susceptible to hydrogen embrittlement, especially at the interface of the base metal with the material used in buttering. The objective of this work corresponds to the evaluation of the influence of PWHT, on the hardness and microstructural tempering, of the butter weld HAZ, composed of base and filler metals, respectively, forged ASTM A182 F22 steel and ER 70S-6 carbon steel wire. The conventional Gas Metal Arc Welding (GMAW) process was used to join these materials. The butter weld was subjected to PWHT with temperature levels of 650°C, 677°C and 704°C for 6 hours and air cooling. The characterization of the butter weld for the conditions without and with PWHT was carried out through hardness and microhardness tests. Analyzing both longitudinal and transversal hardness results, it was observed that the PWHT parameters used were efficient, with the most significant reductions at the temperature of 704°C. It should also be noted that all samples subjected to heat treatments met the selective standards of the NACE MR 0175 standard of 250HV provided for the HAZ. For the microhardness profiles, higher values were observed in the HAZ than those previously classified in the samples treated at 650°C, while the samples subjected to temperatures of 677°C and 704°C met the selective criteria. The PWHT carried out at 704°C proved to be more effective in reducing the hardness and breaking stress of the butter weld.

Keywords: GMAW; PWHT; ER 70S-6 wire; low alloy steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Microestrutura do aço ASTM A182 F22 forjado.....	17
Figura 02 – Microestrutura do aço ASTM A182 F22 temperado e revenido.....	17
Figura 03 – Designação do material utilizado.....	19
Figura 04 – Processo básico de soldagem MIG/MAG.....	20
Figura 05 – Esquema da soldagem de amanteigamento.....	21
Figura 06 – Fluxograma do processo de realização do trabalho.....	24
Figura 07 – Chapa metálica após a o processo de corte do tarugo.....	25
Figura 08 – ER70S-6 como disposto comercialmente.....	26
Figura 09 – Processo de corte do tarugo.....	26
Figura 10 – Processo de corte do tarugo.....	27
Figura 11 – Peças obtidas após o corte do material.....	27
Figura 12 – ASTM A182 F22 com abas laterais ponteadas.....	28
Figura 13 – Equipamento utilizado no processo de soldagem.....	29
Figura 14 – Figura do primeiro cordão de solda (a) e figura composta por 05 camadas, sendo depositados de 05 a 06 cordões de solda em cada camada (b).....	30
Figura 15 – Amostras após tratadas e retificadas.....	31
Figura 16 – Ciclos térmicos do TTAT para as temperaturas de 650° (a), 677°C (b) e 704°C (c).....	32
Figura 17 – Demarcação das indentações do ensaio de dureza longitudinal.....	33
Figura 18 – Demarcação das indentações do ensaio de dureza.....	34
Figura 19 – Distribuição de indentações do ensaio de microdureza.....	35
Figura 20 – Gráfico da dureza Vickers (HV) para a seção longitudinal.....	39
Figura 21 – Gráfico da dureza Vickers (HV) para a seção transversal.....	39
Figura 22 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra sem TTAT.....	41
Figura 23 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 650°C.....	42
Figura 24 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 677°C.....	42
Figura 25 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 704 °C.....	43
Figura 26 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a todas as amostras.....	44

Figura 27 – Macrografia da amostra sem TTAT (a), submetida ao TTAT com temperatura de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).....	45
Figura 28 – Micrografia com aumento de 50x no metal de base em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).....	46
Figura 29 – Micrografia com aumento de 50x na ZTA em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).....	47
Figura 30 – Micrografia com aumento de 50x no metal de solda em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).....	48
Figura 31 – Redemoinho na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (200x).....	49
Figura 32 – Redemoinho na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (500x).....	49
Figura 33 – Ilha na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (200x).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Parâmetros de tratamentos e requisitos requeridos.....	16
Tabela 02 – Composição química especificado do arame.....	19
Tabela 03 – Propriedades mecânicas especificado do arame.....	19
Tabela 04 – Composição química especificado do ASTM A182 F22.....	25
Tabela 05 – Parâmetros utilizados na soldagem.....	29
Tabela 06 – Valores de dureza Vickers de solda de amanteigamento, seção longitudinal, com e sem TTAT.....	37
Tabela 07 – Demonstrativo dos valores da redução da dureza na seção longitudinal.....	37
Tabela 08 – Valores de dureza Vickers de solda de amanteigamento, seção transversal, com e sem TTAT.....	37
Tabela 09 – Demonstrativo dos valores da redução da dureza na seção transversal.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	<i>Association Française de Normalisation</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ARBL	Aços de alta resistência e baixa liga
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
GMAW	<i>Gás Metal Arc Welding</i>
HAZ	<i>Heat Affected Zone</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MA	Metal de adição
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
máx	<i>Máximo</i>
MB	Metal de base
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
mín.	<i>Mínimo</i>
min.	<i>Minuto</i>
NACE	<i>National Association of Corrosion Engineers</i>
PWHT	<i>Post Weld Heat Treatment</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizado Industrial
TTAT	Tratamento Térmico de Alívio de Tensões
ZTA	Zona termicamente afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos.....	14
3. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA.....	15
3.1. Aços de alta resistência e baixa liga	15
3.2. Aço ASTM A182 F22	16
3.3. Aço ER 70S-6.....	18
3.4. Processo de Soldagem MIG/MAG	20
3.5. Soldagem de Amanteigamento	21
3.6. Tratamentos térmicos	22
4. MATERIAIS E METÓDOS.....	24
4.1. Materiais	24
4.1.1. Metal de base.....	24
4.2. Métodos	26
4.2.1. Corte do aço	26
4.2.2. Soldagem.....	27
4.2.3. Corte da solda de amanteigamento.....	30
4.2.4. Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT).....	31
4.2.5. Dureza	32
4.2.6. Microdureza	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1. Dureza	36
5.2. Microdureza.....	40
5.3. Caracterização microestrutural.....	44
5.3.1. Macrografia	44
5.3.2. Micrografia.....	45
6. CONCLUSÕES	51
7. REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento progressivo na exploração e produção de petróleo em ambientes subaquáticos tem demandado a melhoria gradativa de materiais, procedimentos e processos de soldagem, de modo que esses possam suprir as necessidades do funcionamento dos componentes e atender os requisitos de engenharia, segurança e meio ambiente de forma econômica e viável (Oliveira, 2013).

Há uma série de cenários em que a junção de dois metais diferentes fornece vantagens na engenharia. Nas indústrias petroquímica e de geração de energia, soldas dissimilares aproveitam as propriedades mecânicas exclusivas de ambas as ligas, teoricamente resultando em um componente de baixo custo que não compromete a sua vida útil (Dodge, 2014).

Segundo Garcia (2018) em aplicações em condições subaquáticas é comum a utilização dos aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) por exemplo, na fabricação de válvulas e coletores submetidos às grandes solicitações mecânicas em baixas temperaturas no ambiente marinho. Esses materiais proporcionam uma boa relação entre a resistência mecânica e a tenacidade, característica especificada pela norma NACE MR0175 que trata questões relacionadas à corrosão de materiais durante a extração e processamento de gás natural e petróleo bruto. Na atualidade, dois ARBL são extremamente usados na fabricação de componentes estruturais designados ao campo de extração e refino de petróleo em ambiente submarino: os aços ASTM A182 F22 e AISI 8630M.

O aço ASTM A182 F22, utilizado na condição normalizado e revenido, é um aço com baixo teor de carbono e baixa liga que tem suas propriedades mecânicas semelhantes ao aço AISI 8630M, seu diferencial fica pelo menor teor de carbono e em contra partida uma menor dureza (Oliveira, 2013). O autor destaca que essas diferenças despertou o estudo desse material com o intuito de substituir o aço AISI 8630M sobretudo nas aplicações *offshore*.

Ainda entre os aços AISI 8630 e o AISI 8630 modificado – AISI 8630M, bastante utilizado no setor de produção, processamento e transporte de petróleo e seus derivados, a principal diferença entre estes aços está associada ao aumento percentual dos elementos de liga Molibdênio, Níquel e Cromo no aço AISI 8630M, assim como pela adição, em pequenas percentagens, dos elementos Vanádio, Titânio e Nióbio (ASM, 1990).

Os desafios dos engenheiros, projetistas e fabricantes de máquinas e equipamentos, para aplicações em circunstâncias *offshore*, aumentaram a partir dessas

falhas catastróficas, acontecidas recentemente em uniões soldadas. Estas apresentam dissimilaridade, pois decorrem da união de metal de base (MB) com metais de adição (MA) constituídos de ligas especiais, com acentuadas diferenças de composição química e de propriedades mecânicas (Costa, 2018).

Ainda segundo o autor por mais que a sua utilização seja de muitas décadas, observou-se que estas juntas estão passíveis de falhas em construções submarinas que ocasionam sérios danos ao meio ambiente, perdas de vidas humanas e prejuízos financeiros significativos ao setor.

O acidente do Golfo do México, acontecido no momento de perfuração de um poço a mais de 1.500 m de profundidade da lâmina d'água, ocasionou uma explosão na plataforma que gerou um vazamento de considerável quantidade de óleo, enquadrando-se como um dos maiores acidentes da história da indústria do petróleo e gás, levantando questionamentos essenciais referentes à segurança das operações em águas ultraprofundas (Estefen, 2010).

Devido as características diferentes entre os AISI 8630 e o ASTM A182 F22 é esperado que esses respondam de maneiras diferentes quando submetidos a processos, tal como a soldagem. Vários são os fatores que estão associados a resposta dos aços aos ciclos térmicos, entretanto pode-se destacar como característica fundamental a diferença no teor de carbono (Oliveira, 2013).

Vários são os metais de base e consumíveis de soldagem utilizados para fabricação, revestimento, amanteigamento e união dos componentes utilizados em equipamentos subaquáticos para a indústria de Óleo e Gás (O&G), originando interfaces dissimilares no decorrer da soldagem dos materiais. Um panorama bastante ocorrente neste tipo de indústria é o emprego de tubos forjados fabricados em aço carbono ou aço baixa liga e revestidos com liga de níquel, com o objetivo de proporcionar uma maior resistência à corrosão em ambientes muito agressivos. É regular também a utilização de materiais forjados amanteigados, visto que estes são fabricados em aço baixa liga e carecem obrigatoriamente do tratamento térmico pós-soldagem, com objetivo de conferir um revenimento da zona termicamente afetada (ZTA) e com isso controlar a dureza nesta área (Brandolin, 2016).

Segundo Burk (2010) falhas que aconteceram em equipamentos submarinos, como, por exemplo, a da plataforma *Thunder Horse*, estão diretamente associadas a interface de juntas dissimilares. As interfaces que registraram maiores ocorrências de

falhas foram as que empregaram, como metal de base, o aço AISI 8630 (Rodrigues; Maciel; Cruz Neto, 2017).

O teor de carbono relativamente elevado, os parâmetros de soldagem e de tratamento térmico pós-soldagem têm sido apontados como consequência dessas falhas, considerando que esses podem promover uma microestrutura de morfologia com precipitação de carbeto que em ambiente marinho são favoráveis a fragilização, sobretudo associada ao hidrogênio (Brandolin, 2016).

Então, vem-se estudando a substituição do aço AISI 8630 por outros aços, dentre eles o aço ASTM A182 F22, já que o mesmo promove a obtenção de juntas soldadas com características mecânicas semelhantes às aquelas obtidas com o aço AISI 8630, no entanto com morfologia menos susceptível a fragilização (Brandolin, 2016).

No presente trabalho foi estudada a viabilidade da utilização do aço ASTM A182 F22, considerando o critério de dureza da norma NACE MR 0175, como metal de base de solda de amateigamento como metal de solda o ER 70S-6 e tratamentos térmicos de alívio de tensão a temperaturas de 650°C, 677°C e 704 °C.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT), na dureza e revenimento microestrutural da Zona Termicamente Afetada (ZTA) da solda de amanteigamento, composta pelos metais de base e de solda, respectivamente, o aço ASTM A182 F22 e arame de aço AWS ER 70S-6.

2.2. Objetivos Específicos

A série de ensaios metalúrgicos e mecânicos associados ao desenvolvimento e interpretação dos resultados desta pesquisa, determinaram os seguintes objetivos específicos:

- a) Executar solda de amanteigamento do aço ASTM A182 F22 e do arame AWS ER 70S-6 via processo MIG (*Metal Inerte Gás*);
- b) Aplicar tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT), na solda de amanteigamento, em diferentes condições de temperatura;
- c) Levantar a dureza e microdureza na interface da solda amanteigamento nas condições sem e com TTAT;
- d) Realizar análises de microscopia óptica, para a solda de amanteigamento, antes e após o TTAT;

3. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA

3.1. Aços de alta resistência e baixa liga

Chiaverini (1998) define aço como uma liga ferro-carbono que contém 0,008 % a 2,11 % de teor carbono além de certos elementos residuais. O limite inferior a 0,008 % corresponde à máxima solubilidade do carbono no ferro à temperatura ambiente e o limite superior 2,11 % corresponde à máxima quantidade de carbono que se dissolve no ferro a 1140 °C.

O aço-carbono pode ser subdividido em três grupos conforme sua concentração de carbono, sendo eles: aços de alto teor de carbono, aços de médio teor de carbono e aços de baixo teor de carbono. Já o aço-liga, por sua vez, pode ser dividido em dois grupos, conforme as concentrações de elementos de liga: aços de alto teor de liga e aços de baixo teor de liga. Todo aço-liga é um aço carbono com determinados elementos de liga.

Os aços com baixo teor de carbono possuem em sua composição um teor inferior a 0,25 %. A sua microestrutura típica é composta pelas fases ferrita e perlita, apresentando alta ductilidade e tenacidade, porém com baixa resistência mecânica. Em geral, dentro das propriedades mecânicas destes aços, seu limite de escoamento encontra-se em 275 MPa, limite de resistência a tração entre 415 e 550 MPa e ductilidade de aproximadamente 25 % (Callister e Rethwisch, 2012).

Quanto ao teor de elementos de liga em um aço-carbono, considera-se acima de 8 % um aço com alto teor de liga e abaixo de 8 % um aço com baixo teor de liga. Dentre os aços de baixo teor de carbono e baixa teor de liga podemos encontrar os aços ARBL. Estes materiais combinados, também conhecidos como aços microligados, contêm alguns elementos de liga, tais como o cobre, o vanádio, o níquel, molibdênio, titânio, nióbio, entre outros, em concentração bastante específicas, a fim de promover um aumento de resistência mecânica, comparando com os aços comuns contendo baixo teor de carbono (Chiaverini, 1998).

As diferentes combinações de elementos de ligas presentes nos aços ARBL são realizadas principalmente no sentido de se buscar o aperfeiçoamento de determinadas características mecânicas, tais como: refino do grão, aumento da tenacidade, aumento do limite de escoamento, melhoria da soldabilidade, tenacidade e da formabilidade, e ductilidade uniformemente distribuída ao longo do material (Kejelin, 2006).

As aplicações dos aços ARBL são indicadas quando se deseja as seguintes características no projeto (Chiaverini,1988):

- Melhoria na relação limite de escoamento e limite de resistência a tração, preservando a boa ductilidade do material;
- Boa resistência a corrosão atmosférica, aumentando a vida útil do material.;
- Melhor resistência ao choque e maior limite de resistência a fadiga;
- Alta resistência e baixo peso, em vista de possibilitar a aplicação de maiores esforços e seções menores.

Entre as principais aplicações que podem ser citadas para esses aços estão (ASM, 1993): dutos para transporte de óleo e gás, navios, estruturas *offshore*, setor automotivo, vasos de pressão.

3.2. Aço ASTM A182 F22

O aço ASTM A182 F22 é um aço baixa liga com alta estabilidade proporcionada pelos carbonetos presentes nos contornos de grão desse material. Quando recozido, apresenta uma microestrutura composta por ferrita e perlita, podendo ser empregado nas condições previstas na norma ASTM A182 (2016) e após a soldagem tende a apresentar uma microestrutura composta por bainita e martensita (Kou, 2003; Oliveira, 2013). Segundo a norma ASTM A182 (2016) esse aço pode também ser utilizado nas condições, normalizado e revenido ou temperado e revenido, sendo a normalização e revenimento previstas na mesma. Os parâmetros de tratamento e requisitos mecânicos mínimos exigidos para a sua aplicação estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 01- Parâmetros de tratamentos e requisitos requeridos.

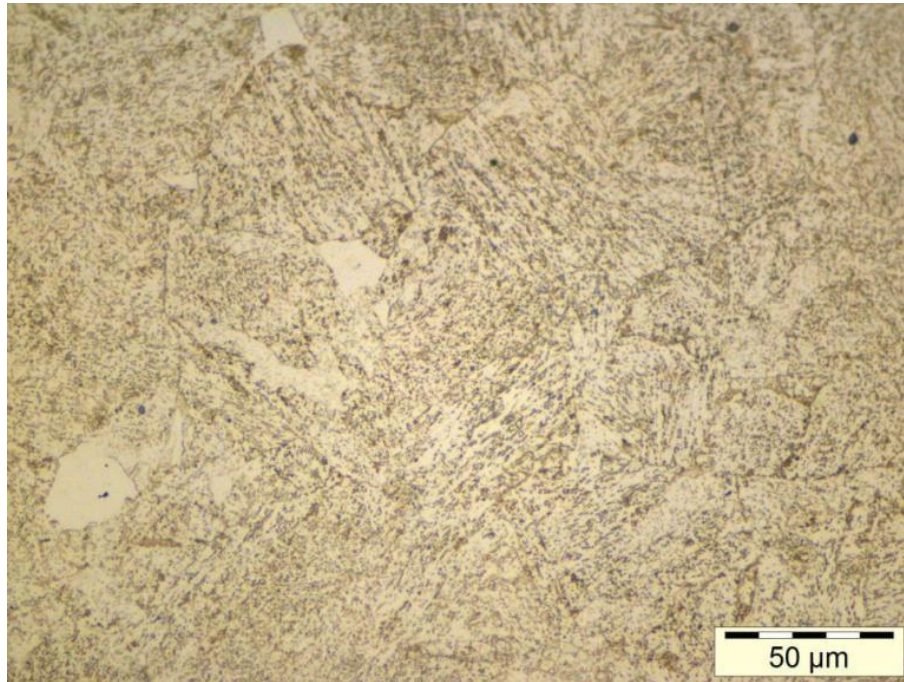
ASTM A182 F22	Grau 1	Grau 3
Tratamento	Recozimento	Normalização e Revenimento
Austenitização (°C)	900 (mín.)	900 (mín.)
Resfriamento	Forno	Ar
Revenimento (°C)	-	675
Limite de escoamento (MPa)	205 (mín.)	310 (mín.)
Limite de resistência (Mpa)	415 (mín.)	515 (mín.)
Dureza (HV)	178 (máx.)	164 – 269

Fonte: Adaptado de Oliveira (2013)

O aço quando em estado forjado, como habitualmente é encontrado no mercado, tem segundo Silva (2018) uma microestrutura predominantemente de ferrita primaria e

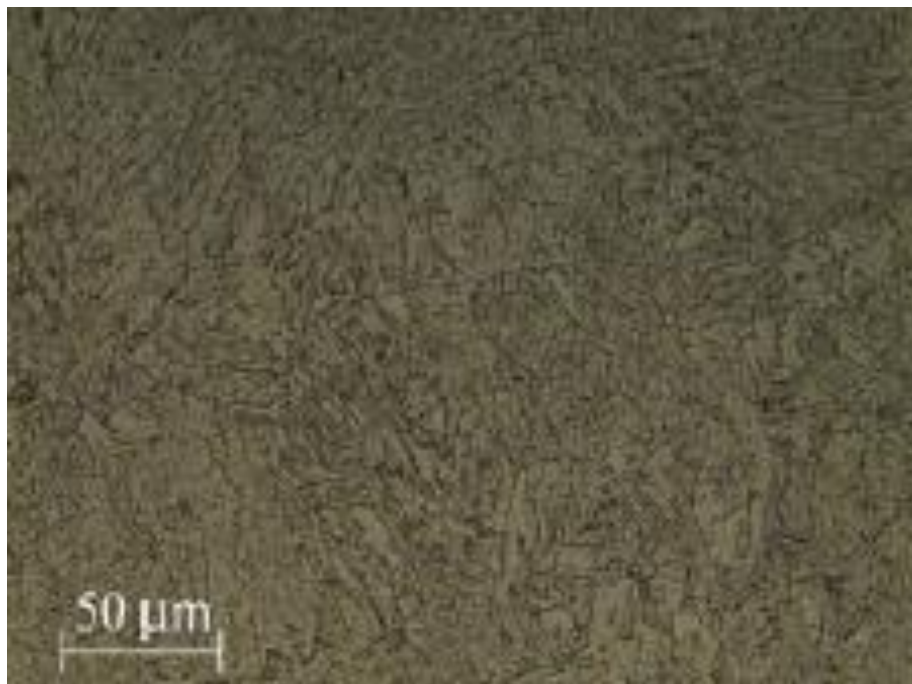
finas dispersão de carbeto na matriz ferrítica como visto na Figura 1. Já no estado temperado e revenido o mesmo aço apresenta grãos de ferrita alongados com martensita revenida como visto na Figura 2 (Fallahmohammadi; Bolzoni; Lazzari, 2013).

Figura 01 - Microestrutura do aço ASTM A182 F22 forjado.



Fonte: Silva (2018).

Figura 02 - Microestrutura do aço ASTM A182 F22 temperado e revenido.



Fonte: Fallahmohammadi, Bolzoni e Lazzari (2013).

3.3. Aço ER 70S-6

Responsável por se fundir a peça o arame de solda ou eletrodo é um dos consumíveis utilizados no processo de soldagem, fazendo a ligação de duas ou mais partes. Segundo SENAI-SP (2013), o consumível adequado é escolhido levando-se em consideração diferentes fatores, entre eles a composição química e mecânica do metal base, em muitas aplicações escolhe-se o consumível que apresenta maior semelhança possível com o metal de base. O diâmetro do arame também é relacionado de acordo com a utilização levando em consideração, diâmetro da chapa a ser trabalhada e posição a ser soldado.

Segundo Marques et al. (2005) existem no mercado um grande número de tipos de arames, que produzem soldas com diferentes características. Para racionalizar o mercado, existe sistemas propostos por diferentes sociedades, entre elas AWS (American Welding Society), DIN (Deutsches Institut für Normung), AFNOR (Association Française de Normalisation), ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ISO (International Organization for Standardization), etc., no Brasil se aplica quase sempre as normas técnicas de procedência Americana (AWS). Em muitos trabalhos podem aplicar especificações internas como é o caso de serviços ou projetos de indústrias petrolíferas. Na soldagem de materiais de aço de médio e baixo carbono os arames são representados pela norma AWS A5.18, segundo ela, algumas propriedades químicas e mecânicas são obrigatórias, como mostrado nas tabelas 2 e 3 para a classe ER70S-6. A classe de arame tem sua classificação a seguinte forma:

ER XX Y – Z

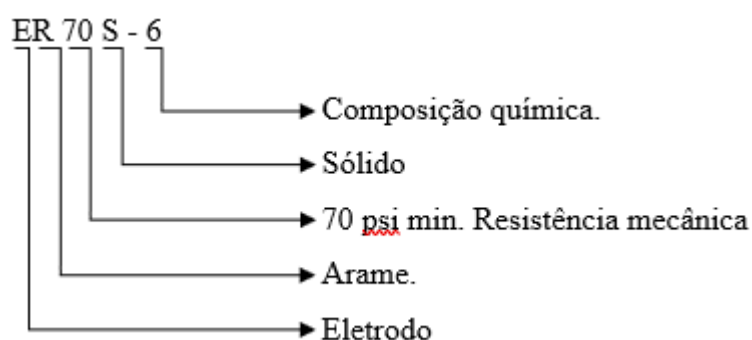
ER – Designa eletrodo na forma de arame ou vareta;

XX – Designa o limite de ruptura no ensaio de tração em Ksi (1Ksi = 1.000 psi);

Y – Este dígito pode ser S – designa eletrodo sólido ou C – designa eletrodo composto;

Z – Designa a faixa de composição química.

Figura 03 – Designação do material utilizado.



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 02 – Composição química especificado do arame.

Material	C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%) máx	S(%) máx	Ni(%) máx	Mo(%) máx
ER70S-6	0,06 – 0,15	1,4 – 1,8	0,8 – 1,15	0,25	0,035	0,15	0,15

Fonte: Conforme fabricante (2021)

Tabela 03 - Propriedades mecânicas especificado do arame.

Material	Resistência a tração (Valor mínimo)		Resistência ao escoamento (Valor mínimo)		Alongamento
ER70S-6	70 kPsi	480 MPa	58 kPsi	400 MPa	22%

Fonte: Conforme fabricante (2021)

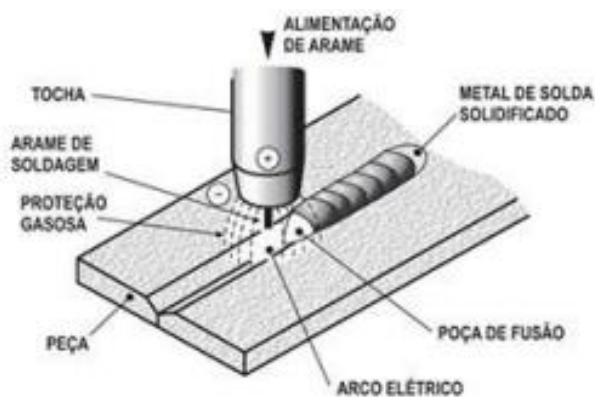
O carbono é o elemento que apresenta maior influência nas propriedades mecânicas e microestruturas, geralmente mantido em teores de 0,05 % até 0,12 %. Nesta faixa proporciona à resistência necessária a solda sem afetar consideravelmente a ductilidade. Acima de 0,12 % o metal perderá carbono na forma de CO, podendo causar porosidade, porém com ajuda de alguns desoxidantes pode superar esse problema (Fontes, 2005).

Para Cunha (2007) a elevada quantidade de Mn (Manganês) e Si (Silício) na classe ER70S-6 proporciona uma boa desoxidação e um tenacidade na região da solda, característica importante aonde à falha da solda pode gerar graves consequências. Devido grande presença dos dois elementos a uma grande tendência de segregação dos mesmos na região central da solda, essa tendência é agravada pela presença de P (Fósforo). Nos mesmos elementos para Yu e Cho (2017) a redução da porosidade e poços de solda tem ligação direta com os teores de Mn (Manganês) e Si (Silício), no mesmo modo a redução na quantidade dos dois diminui a viscosidade da solda e aumenta a emissão de Zn (zinco), que pode ficar preso na solda e causar descontinuidades na forma de porosidade.

3.4. Processo de Soldagem MIG/MAG

As primeiras informações conhecidas sobre processo de soldagem GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) data-se do início da década de 1920, mas tornando-se viável a partir do final da década de 1940, com os estudos de H.F. Kennedy desenvolvendo o processo MIG (Ziedas, 1997). Para Veiga (2011), o processo de solda MIG\MAG é aquele que utiliza um arco elétrico estabelecido entre o material de alimentação e a peça base de trabalho, gerando um calor necessário para a fusão de todas as partes. Todo esse processo tem como proteção um gás que ajuda também na proteção dos aspectos físicos do arco elétrico (Wainer *et al.*, 2008). Segundo Modenesi e Marques (2006), a diferença básica entre os dois tipos de utilização seja MIG ou MAG, é o tipo de gás, que pode ser ativo MAG (*Metal Active Gas*) para soldagens de materiais ferrosos ou inerte MIG (*Metal Inert Gas*) para materiais não ferrosos. Como não há necessidade de paradas para troca do material de alimentação esse processo é considerado como semiautomático. A Figura 4 mostra o processo MIG/MAG e uma parte da tocha de soldagem.

Figura 04 - Processo básico de soldagem MIG/MAG.



Fonte: ESAB (2005)

Algumas características elétricas de transferência são destacadas neste processo, segundo Wainer, et al. (2008) existem quatro tipos de transferência do metal, que são elas: transferência globular, que ocorre para baixas densidades de corrente e em qualquer atmosfera de gás de proteção; transferência por curto-circuito que tem como características o emprego de qualquer gás de proteção e diâmetro de arames menores que o convencional, neste a quantidade de calor é bem menor que a globular; transferência por pulverização ocorre em elevadas correntes, o gás de proteção é o argônio ou mistura

rica do mesmo; e, por fim a transferência a arco pulsado aonde o equipamento gera dois níveis de corrente, em relação à pulverizada a quantidade de calor é menor .

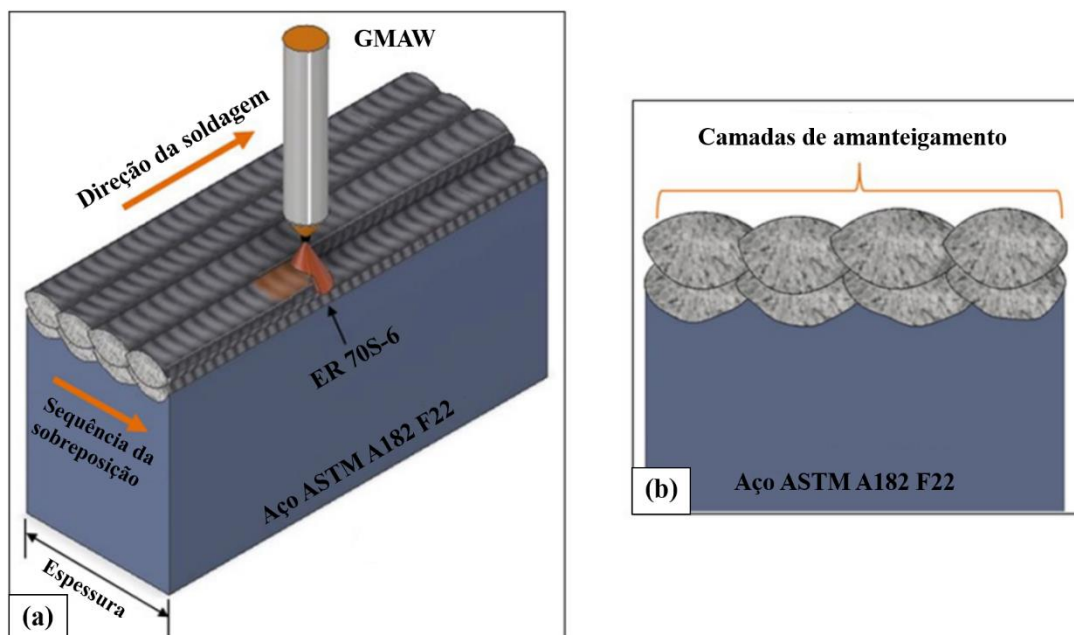
Entre algumas vantagens do processo de solda GMAW destacam-se, a substituição de eletrodos com comprimentos limitados, a posição de soldagem em relação a soldas como a com arco submerso, que se restringem a apenas na posição horizontal, a velocidade de soldagem em relação à solda com eletrodo revestido, e uma mínima limpeza entre passes requerida devido à ausência de escoria espessa, entre outras vantagens que poderiam ser destacadas (Wainer *et al*, 2008).

3.5. Soldagem de Amanteigamento

O revestimento de metais por soldagem é uma operação realizada quando, ao se realizar a união de materiais dissimilares, há incompatibilidade entre os dois metais e ocorre de o resultado final da solda acarretar comportamentos indesejados, onde nem preaquecimento ou tratamentos térmicos após soldagem podem resolver (Linnert, 1994).

Logo, a soldagem de amanteigamento é uma técnica que consiste no depósito de uma ou várias camadas de revestimento sobre uma superfície de um membro da junta, o qual servirá de transição entre a união de metais de composições dissimilares (AWS, 2006). Esse processo pode ser observado no esquema da Figura 5.

Figura 05 - Esquema da soldagem de amanteigamento.



Fonte: Adaptado de Silva *et al* (2022).

Para operações de amanteigamento o material empregado deve atender a alguns requisitos em relação ao metal de base (Fratari, Schvartzman e Scotti, 2010):

- Compatibilidade química como material de base;
- Composição tal que combinada a do metal de base não resulte em uniões suscetíveis a trincas;
- Alta ductilidade;
- Baixa diluição;
- ZTA do metal de base não suscetível a trincas.

3.6. Tratamentos térmicos

A norma NBR NM 136 (1997), define tratamento térmico como “Operação ou conjunto de operações através dos quais se submete o aço, em estado sólido, a um ou vários ciclos térmicos”. A mesma norma cita que o tratamento térmico tem a finalidade de conferir propriedades particulares, adequadas à sua transformação ou emprego posterior, sendo estes classificados em têmpera, têmpera de solubilização, recozimento, normalização, revenimento, tratamentos termoquímicos de difusão e tratamentos químicos diversos.

A realização de tratamento térmico após a soldagem é uma maneira através da qual se pode melhorar as propriedades de uma solda. O aquecimento da solda, seja esta de grandes ou pequenas dimensões, proporciona alcançar os seguintes objetivos: alívio de tensões residuais, melhoraria da dureza, aumento da resistência mecânica, melhoria da resistência a corrosão, melhoria da estrutura metalúrgica por revenimento, remoção do hidrogênio e efeitos do envelhecimento e do encruamento (Jones e Luo, 1989). Tratamento térmico de alívio de tensão (TTAT), juntamente com a têmpera, é um dos tratamentos térmicos mais utilizados no processamento dos metais.

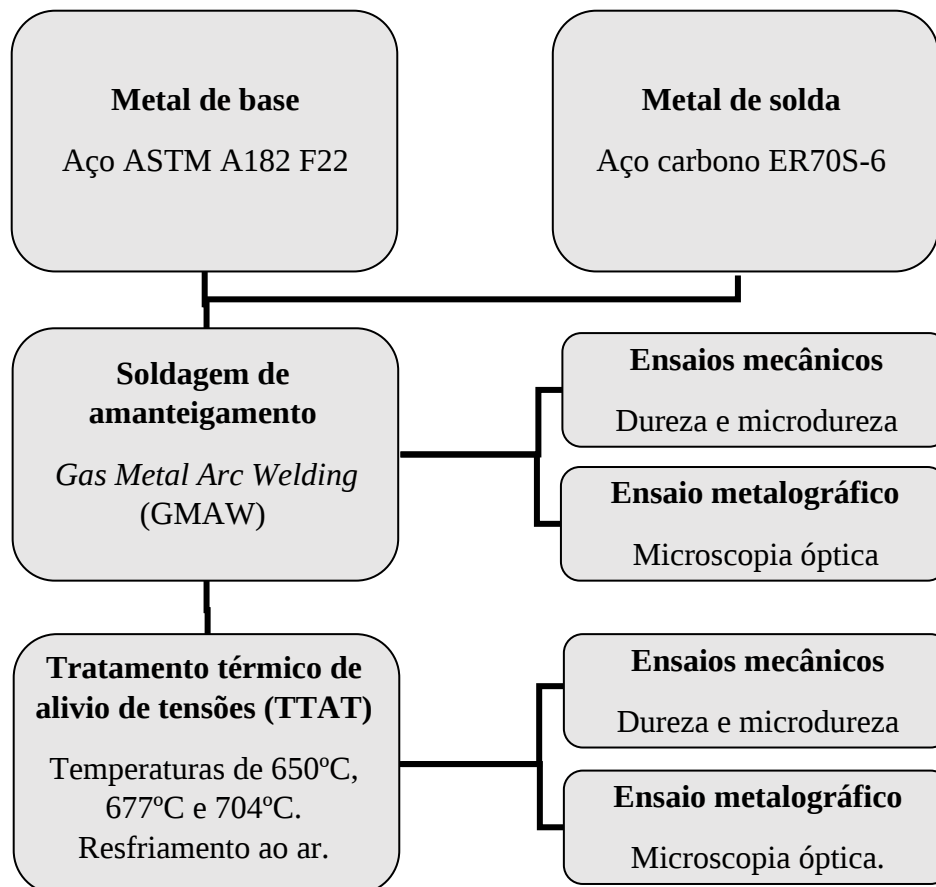
O tratamento térmico de alívio de tensões é o processo no qual o material é aquecido abaixo da zona crítica, e mantido durante um intervalo de tempo para que tenham as transformações na microestrutura com o intuito de aumentar suas propriedades de ductilidade e tenacidade dos aços endurecidos ou martensíticos. O revenimento é um tratamento térmico de alívio de tensões que é executado logo após a têmpera, vindo a corrigir os inconvenientes ocasionados por esta, restituindo ao aço grande parte das propriedades perdidas, sem perder muito os valores desejados e adquiridas pela têmpera,

o intuito é que se haja alteração na estrutura interna e conseqüentemente altere suas propriedades mecânicas. Aços carbono-molibdênio com composições químicas de carbono entre 0,20 % à 0,35% para qualquer espessura, geralmente possuem temperaturas de alívio de tensões entre 675°C à 760°C em tempo de duas as três horas por polegada de seção (Chiaverini, 2002; Lima, 2006).

4. MATERIAIS E METÓDOS

Neste tópico serão apresentados os materiais utilizados no estudo, assim como a descrição da metodologia utilizada para a obtenção dos resultados. Todas as atividades experimentais e caracterizações microestrutural e de propriedade mecânicas empregadas neste trabalho podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 6.

Figura 06 – Fluxograma do processo de realização do trabalho.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1. Materiais

4.1.1. Metal de base

Como metal de base foi utilizado o aço ASTM A182 F22 forjado, cuja composição informada pelo fornecedor consta na Tabela 4. Empregou-se uma chapa, com dimensões

de aproximadamente 25,4 x 75 x 215 mm, esta foi extraída de um tarugo com diâmetro de aproximadamente 240 mm. Na Figura 7 tem-se a imagem da chapa após o processo de corte cujos detalhamento é citado no item 4.2.1.

Tabela 04 - Composição química especificado do ASTM A182 F22.

Material	C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Ni(%)	Mo(%)	Cu(%)	Al(%)
F22	0,17	0,35	0,14	0,01	0,01	0,04	0,93	0,04	0,30

Fonte: Conforme o fabricante (2021)

Figura 07 – Chapa metálica após a o processo de corte do tarugo.



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.2. Metal de adição

O material de adição utilizado nesta pesquisa, para a solda de amanteigamento, foi o arame de aço carbono normatizado pela AWS A5.18 com a classificação ER 70S-6 de 1,0 mm de diâmetro. Conforme Figura 8, pode-se observar a forma mais comum com que o arame de solda chega na indústria.

Figura 08 – ER70S-6 como disposto comercialmente.



Fonte: Google (2021).

4.2. Métodos

4.2.1. Corte do aço

Os experimentos da pesquisa iniciaram com o corte do metal de base, aço ASTM A182 F22, este foi realizado com serra fita no Laboratório de Usinagem do SENAI na cidade de Mossoró/RN e pode ser visualizado nas Figuras 9 e 10. A seção transversal do material após todos os cortes realizados pode ser observada na Figura 11, onde no final obteve-se 2 chapas (numeração 1 e 2) para soldagem e 4 pedaços de refugo (3, 4, 5 e 6).

Figura 09 – Processo de corte do tarugo.



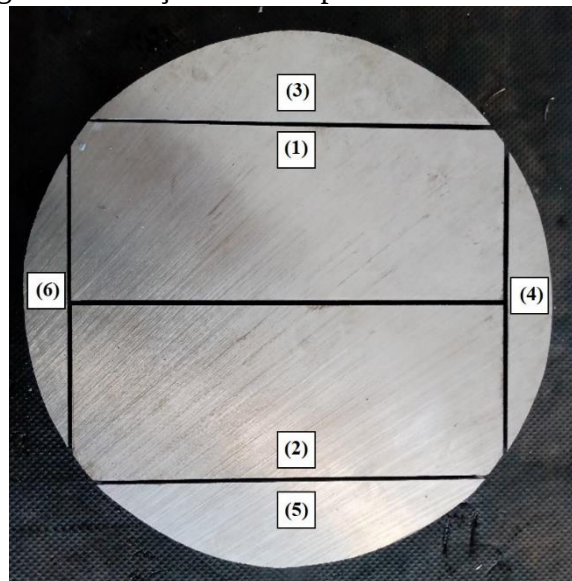
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 10 – Processo de corte do tarugo.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 11 – Peças obtidas após o corte do material.



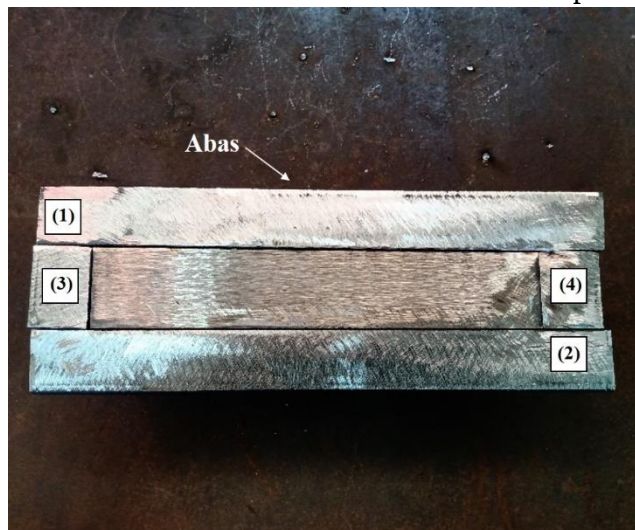
Fonte: Autoria própria (2023).

4.2.2. Soldagem

Para o início do procedimento e para melhores resultados foram empregadas algumas técnicas como o emprego de abas (cantoneiras) nas arestas do aço ASTM A182 F22, ao longo da espessura e comprimento da chapa, como pode ser observado as numerações de 1 a 4 na Figura 12. O emprego dessas abas objetivou a uniformização e distribuição dos cordões de solda ao longo da espessura do metal de base. Para o ponteamto dessas abas foi necessário um pré-aquecimento entre 280°C e 340°C, como empregado no trabalho de Silva (2018), o ponteamto ocorreu na parte inferior da

cantoneira, o pré aquecimento e o local de ponteamto foram definidos de forma para que não existisse interferências nos resultados.

Figura 12 – ASTM A182 F22 com abas laterais ponteadas.



Fonte: Autoria própria (2023).

A solda foi realizada utilizando o processo de soldagem MIG manual, para isso foi empregada uma fonte inversora, modelo Lincoln Electric Speedtec LF 45, localizada no Laboratório de Soldagem do SENAI na cidade de Mossoró/RN, e pode ser visualizada na Figura 13 e o arame de aço ER 70S-6. A temperatura de preaquecimento foi a mesma que para o ponteamto e a temperatura de interpasso foi de 240°C e 340°C, como empregado no trabalho de Silva (2018). Na soldagem foi empregado o processo *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) manual com proteção composta pelos gases Ar e CO₂, com proporção de 85% e 15%, respectivamente conforme a AWS A5.32 (ISO 14175, 2008).

Figura 13 – Equipamento utilizado no processo de soldagem.



Fonte: Autoria própria (2023).

Baseado em pesquisas realizadas em trabalhos anteriores, como Silva (2018) e Neris (2020), foram definidos os seguintes parâmetros para soldagem (Tabela 5).

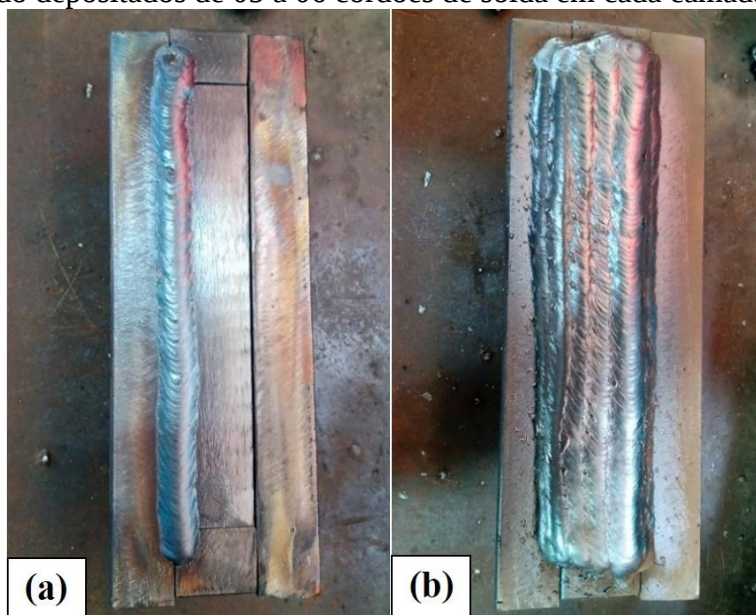
Tabela 05 – Parâmetros utilizados na soldagem.

ASTM A182 F22	
Processo de soldagem	GMAW (MIG)
Espessura mínima do amanteigamento (mm)	9,5
Temperatura de pré-aquecimento (°C)	$280 \leq T \leq 340$
Temperatura de interpasse (°C)	$240 \leq T \leq 340$
Metal de adição	ER 70S-6
Diâmetro do arame (mm)	1,0
Gás de proteção	85% de Ar e 15% de CO ₂
Vazão média (m ³ /mín.)	2
Aporte térmico médio (kJ/mm)	1,48
Corrente média (A)	199,87
Quantidade de cordões	25 a 30
Velocidade de alimentação do arame (m/min)	7
Tensão média (V)	25,85
<i>Stickout</i> (mm)	14
Velocidade de soldagem (cm/min)	21
Carbono equivalente do ASTM A182 F22 (%)	0,05 a 0,15

Fonte: Autoria própria (2023).

A solda de amanteigamento ficou composta por 05 camadas, sendo depositados de 05 a 06 cordões de solda em cada camada, totalizado de 25 a 30 cordões de solda, de forma a preencher a espessura de 25,4 mm do metal de base. Essa quantidade foi suficiente para gerar espessura mínima de solda de 9,5 mm, dessa forma garante-se que o aporte térmico de solda de união não atinge o metal de base. A Figura 14(a) mostra a distribuição do primeiro cordão, enquanto a Figura 14(b) apresenta o resultado final da etapa de amanteigamento.

Figura 14 – Figura do primeiro cordão de solda (a) e figura composta por 05 camadas, sendo depositados de 05 a 06 cordões de solda em cada camada (b).

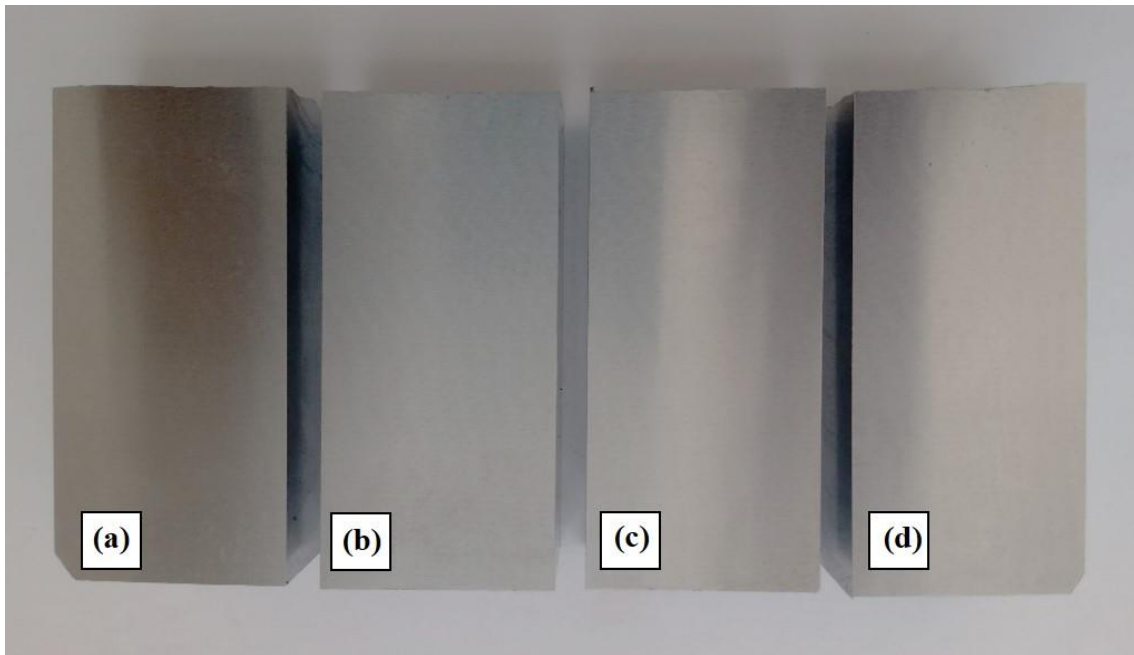


Fonte: Autoria própria (2023).

4.2.3. Corte da solda de amanteigamento

Após o processo de soldagem as abas foram removidas, com o auxílio de serra fita foi realizado cortes na amostra, separando o material em quatro amostras, sendo executado o tratamento térmico em três delas. Posteriormente, todas as amostras foram retificadas, para garantir o paralelismo entre as superfícies, na Figura 15 tem-se as amostras após a retificação. Definindo assim o material a ser analisado sem o TTAT (Figura 15 (a)) daqueles que passaram por tratamentos térmicos (Figuras 15((b),(c),(d))).

Figura 15 – Amostras após tratadas e retificadas.

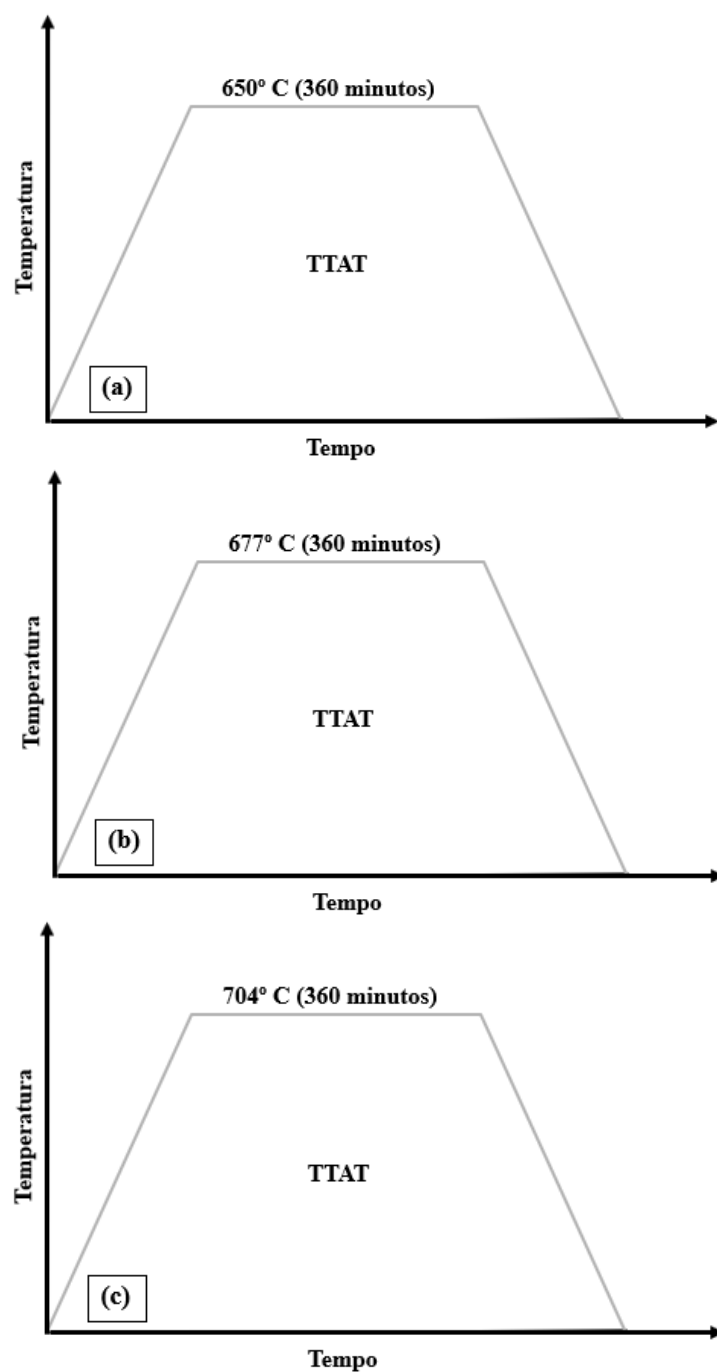


Fonte: Autoria própria (2023).

4.2.4. Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT)

Nos tratamentos térmicos foram empregadas taxas de aquecimento de 20°C/min e temperaturas de 650°C, 677°C e 704°C com tempo de permanência de 6h no forno e resfriada ao ar, o esquema demonstrativo do ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser visualizado na Figura 16. Como citado anteriormente, esse tratamento térmico de alívio de tensão (TTAT) tem a finalidade de promover a redução no nível de tensão interna e ajustar a dureza da ZTA, de forma que a solda de amanteigamento atinja os critérios da norma NACE MR0175 (2001).

Figura 16 – Ciclos térmicos do TTAT para as temperaturas de 650° (a), 677°C (b) e 704°C (c).



Fonte: Autoria própria (2023).

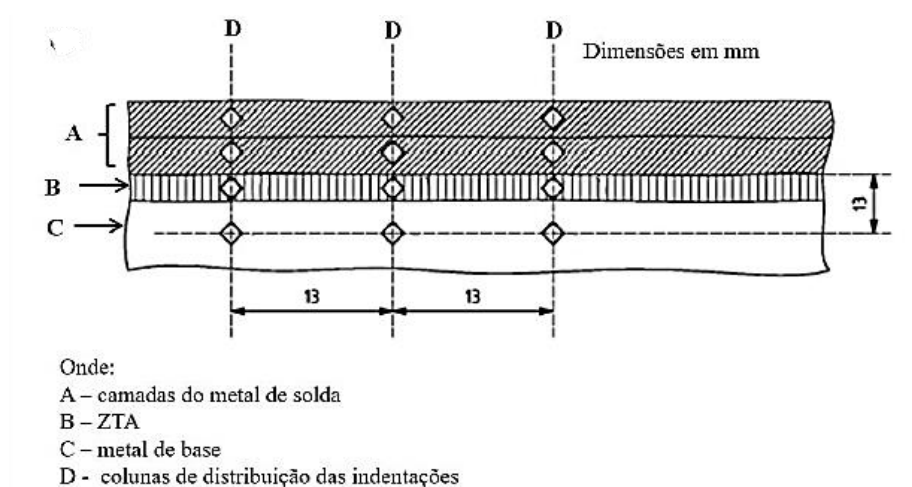
4.2.5. Dureza

Na análise de propriedade mecânica da solda de amanteigamento foram realizados ensaios de dureza nos sentidos longitudinal e transversal dos cordões de solda, para as condições sem e com TTAT. Com relação a seção transversal, também foram realizados ensaios de microdureza.

4.2.5.1. Dureza longitudinal

As amostras passaram por processo de retificação para garantir o paralelismo e qualidade superficial das regiões analisadas da solda. As impressões de dureza na seção longitudinal foram realizadas de acordo com as especificações da norma NACE MR0175, conforme figura 17 (dimensões em mm). Foram executadas 12 indentações na amostra, sendo estas distribuídas em três medidas no metal de base (região C), três medidas na zona termicamente afetada - ZTA (região B), três medidas no primeiro cordão de solda e três medidas no segundo cordão de solda (região C).

Figura 17 – Demarcação das indentações do ensaio de dureza longitudinal.



Fonte: Adaptado da NORMA NACE MR 0175 (2016).

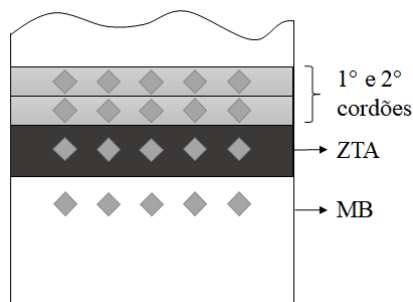
O ensaio foi realizado utilizando um durômetro digital Mitutoyo modelo HR-320MS no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA campus Caraúbas. A escala de dureza selecionada foi a Rockwell B, os resultados obtidos foram convertidos para dureza Vickers utilizando a função de conversão do durômetro.

4.2.5.2. Dureza transversal

Para o ensaio de dureza transversal considerou-se a solda sem e com TTAT. Sendo as amostras lixadas com lixas d'água de SiC cujas granulometrias empregadas foram de 60, 80, 150, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200, e em seguida passaram por polimento com pastas abrasivas de diamante com granulometrias de 3 μm e $\frac{1}{4}$ μm . Após o polimento as amostras foram atacadas quimicamente por imersão em solução de Nital 5% durante aproximadamente 15 segundos. As medições de dureza transversal foram realizadas utilizando a escala B do ensaio Rockwell e o sistema de conversão do equipamento, ou seja, procedimento similar ao empregado no ensaio de dureza longitudinal. Realizou-se

20 indentações, distribuídas em 05 medidas no metal de base (MB), 05 medidas na zona termicamente afetada (ZTA), 05 medidas no primeiro cordão de solda e 05 medidas no segundo cordão de solda. As indentações foram feitas como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Demarcação das indentações do ensaio de dureza.



Fonte: Adaptado da NORMA NACE MR 0175 (2016).

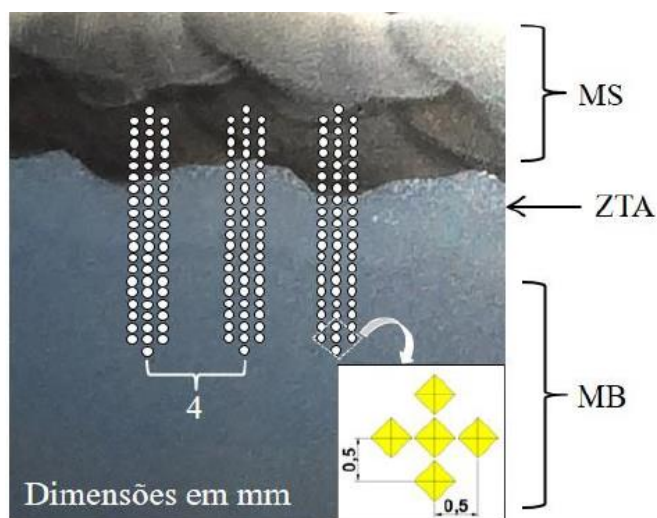
Os ensaios foram realizados na escala HRB, entretanto, considerou-se os resultados, após conversão, fornecidos pelo equipamento na escala Vickers. Essa escala é tomada como principal referência conforme a norma NACE MR 0175 (2016), deste modo nas tabelas de dureza apresentadas tem-se os resultados de dureza nas escalas conforme a norma.

4.2.6. Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizado ao longo da seção transversal da solda de amanteigamento. A face da amostra na qual se realizou as indentações foi preparada de forma similar a preparação da amostra para o ensaio de dureza transversal, o que diferenciou a preparação foi o ataque feito com Nital 2%.

No ensaio foi utilizado o microdurômetro Insize modelo ISH-TDV2000, no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA campus Caraúbas. Executou-se indentações aplicando-se carga de 100gf por um tempo de 15 segundos com deslocamentos partindo desde o metal de base até o segundo cordão de solda, conforme distribuição mostrada na Figura 19. Para cada amostra (sem e com TTAT) foram empregadas 240 impressões de microdureza Vickers (HV), distribuídas em 03 grupos com 03 colunas em cada grupo, totalizando 09 colunas, cada grupo com 80 indentações, com distância de 0,5 mm entre elas. A cada 03 grupos de colunas realizou-se o cálculo da média, considerando cinco indentações, ainda de acordo com o detalhe da Figuras 19, esse valor médio correspondeu a um ponto da curva de microdureza.

Figura 19 – Distribuição de indentações do ensaio de microdureza.



Fonte: Silva (2018)

4.2.7. Microscopia Ótica

A análise microestrutural foi realizada por microscopia ótica em um microscópio ótico invertido Olympus GX51, no Laboratório Ensaios Mecânicos da UFERSA campus Mossoró, com aquisição das imagens por meio do software analySIS getIT. A preparação da superfície das amostras seguiu as etapas especificadas na preparação para o ensaio de microdureza. Foram obtidas imagens do metal de solda, linha de fusão, zona termicamente afetada e do metal de base, com ampliações de 50, 100, 200, 500 e 1000 vezes.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados dos experimentos realizados neste trabalho, a pesquisa realizada contempla análise microestrutural e propriedade mecânica da solda de amanteigamento formada pelo metal de base forjado (Aço ASTM A182 F22) e o metal de adição ER 70S-6, para as condições sem e com TTAT a diferentes patamares de temperatura.

5.1. Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados nas seções transversal e longitudinal das amostras para as condições sem e com Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT). Os ensaios foram realizados de acordo com o procedimento especificado no item 4.2.5.

Analisando os resultados das Tabelas 6, 7, 8 e 9 observa-se que nas quatro regiões analisadas (metal de base (MB), Zona Termicamente Afetada (ZTA), primeira camada de solda (1ª camada) e segunda camada de solda (2ª camada)) os parâmetros de TTAT empregados foram eficientes na redução de dureza dessas regiões, no entanto a redução foi mais expressiva na temperatura de 704°C. Observa-se também que todas as amostras submetidas aos tratamentos térmicos atenderam ao critério, da norma NACE MR 0175, de 250 HV estabelecido para a ZTA, no entanto, na amostra sem TTAT nota-se valores superiores ao critério especificado anteriormente tanto na ZTA como no MB. Comparando-se a dureza no metal de solda, observa-se que o 1º cordão, da amostra sem TTAT, tem dureza maior que a 2ª camada, isso pode estar associado ao elevado aquecimento decorrente dos múltiplos cordões de solda de amanteigamento (Silva, 2018).

Nas Tabelas 6 e 7, referente as durezas longitudinais, observam-se os valores das reduções de todas as regiões, entretanto na ZTA (principal objeto de estudo) essas reduções são de aproximadamente 15,32%, 19,22% e 30,00% quando comparado os números obtidos da amostra sem TTAT em relação aos que passaram por tratamento térmicos realizados a 650°C, 677°C e 704°C, respectivamente. Nas Tabelas 8 e 9 de durezas transversais as reduções nessa mesma região são de 14,50%, 19,29% e 27,95%.

Tabela 06 - Valores de dureza Vickers de solda de amanteigamento, seção longitudinal, com e sem TTAT.

	Sem TTAT	650°C	677°C	704°C
MB	243,59 ± 8,86	222,00 ± 4,85	210,60 ± 4,14	188,50 ± 2,95
ZTA	288,60 ± 1,30	244,40 ± 1,50	233,13 ± 3,30	202,00 ± 3,94
1ª Camada	179,80 ± 4,17	174,10 ± 5,00	165,70 ± 4,21	163,00 ± 4,63
2ª Camada	167,50 ± 6,66	165,57 ± 3,28	154,73 ± 6,30	154,40 ± 3,75

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 07 – Demonstrativo dos valores da redução da dureza na seção longitudinal.

	Sem TTAT x 650°C	Sem TTAT x 677°C	Sem TTAT x 704°C
MB	8,88 %	13,54 %	22,61 %
ZTA	15,32 %	19,22 %	30,00 %
1ª Camada	3,17 %	7,84 %	9,34 %
2ª Camada	1,15 %	7,62 %	7,82 %

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 08 - Valores de dureza Vickers de solda de amanteigamento, seção transversal, com e sem TTAT.

	Sem TTAT	650°C	677°C	704°C
MB	251,39 ± 4,54	221,40 ± 2,65	207,20 ± 5,31	187,40 ± 1,74
ZTA	286,20 ± 7,87	244,68 ± 2,37	230,99 ± 3,64	206,20 ± 3,54
Cordão 01	175,40 ± 9,07	180,40 ± 5,16	172,40 ± 6,28	160,80 ± 4,11
Cordão 02	161,80 ± 3,43	165,60 ± 5,70	148,40 ± 6,71	138,60 ± 2,15

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 09 – Demonstrativo dos valores da redução da dureza na seção transversal.

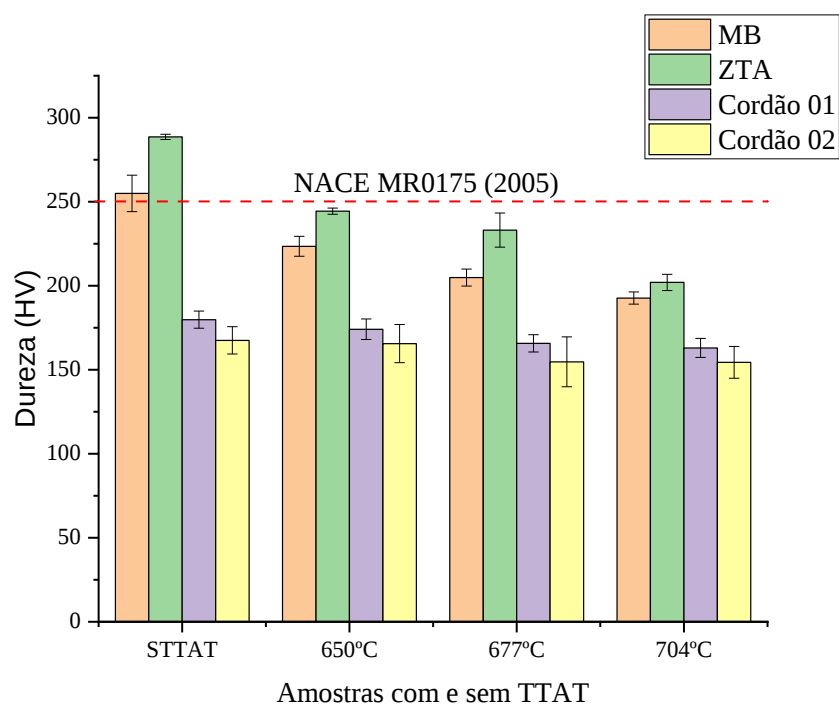
	Sem TTAT x 650°C	Sem TTAT x 677°C	Sem TTAT x 704°C
MB	11,92 %	17,57 %	25,45 %
ZTA	14,50 %	19,29 %	27,95 %
1ª Camada	-2,85 %	1,71 %	8,32 %
2ª Camada	-2,34 %	8,28 %	14,34 %

Fonte: Autoria própria (2023).

A partir dos valores de dureza apresentados anteriormente nas é possível observar uma redução da dureza em todas as regiões da solda analisada, tanto no sentido longitudinal quanto transversal, após a solda ser submetida ao tratamento térmico de alívio de tensão (TTAT). Sendo a redução ocorrida na zona termicamente afetada (ZTA) a mais significativa, sobretudo para a seção longitudinal. Assim é possível concluir que o tratamento térmico de alívio de tensão teve pouca influência sobre o metal de base (MB) e o metal de solda (MS) quando comparado com as reduções da ZTA.

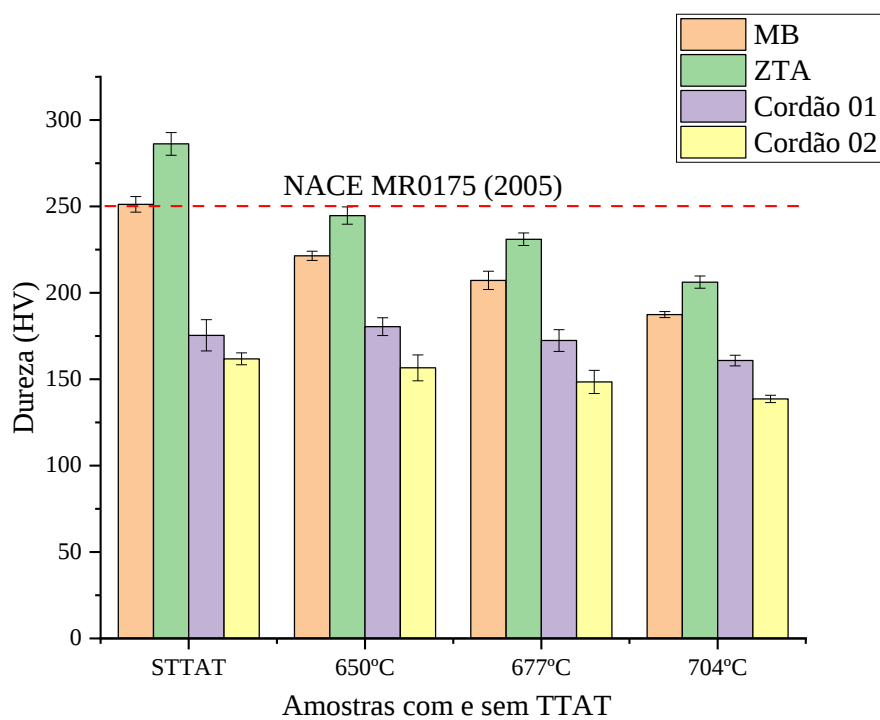
Nas Figuras 20 e 21 são apresentados gráficos com os valores de dureza Vickers (HV) com os respectivos desvios padrões para cada região da solda de amanteigamento segundo as seções transversal e longitudinal. Os dados a partir dos quais foi gerado o gráfico da figura a seguir são apresentados nas Tabelas 6 e 8.

Figura 20 – Gráfico da dureza Vickers (HV) para a seção longitudinal.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 21 – Gráfico da dureza Vickers (HV) para a seção transversal.



Fonte: Autoria própria (2023).

Das Figuras 20 e 21 é possível observar que a dureza longitudinal da ZTA e do MB para a amostra na condição sem TTAT atingiram valores acima de 250 HV. Esse comportamento já era esperado devido ao aumento de temperatura durante a soldagem seguido de rápido resfriamento, o que por sua vez propicia a formação de microestruturas com níveis elevados de dureza e tensões residuais. Observa-se ainda que após os tratamentos térmicos tanto a dureza transversal quanto longitudinal do metal de solda se mantiveram quase inalteradas, com valores menores que da região da ZTA.

De modo geral em todas as regiões analisadas as durezas apresentaram valores dentro do limite estabelecido pela norma NACE MR0175 (2005), sobretudo na amostra submetida ao tratamento térmico de alívio de tensão com temperatura de 704°C. A norma recomenda dureza máxima de 250 HV para estruturas metálicas de aços ligados e ARBL para aplicações em processos de extração, transporte e processamento de petróleo e gás em ambientes que tenham a presença de H₂S, com intuito de evitar a ocorrência de fratura por fragilização por hidrogênio do material em serviço.

Os valores obtidos nesse trabalho corroboram com os trabalhos de Silva (2018), Almeida (2014) e Silva *et al* (2020) que empregaram como metal de solda uma liga de níquel e após o tratamento obtiveram valores inferiores ao critério especificado na norma NACE MR 0175, tanto para a dureza longitudinal como para transversal, sobretudo na ZTA.

Dessa forma as condições estabelecidas para a solda de amanteigamento do aço ASTM A182 F22 forjado utilizando o AWS ER70S-6 satisfazem os requisitos de aplicabilidade após tratados termicamente em todas as temperaturas especificadas.

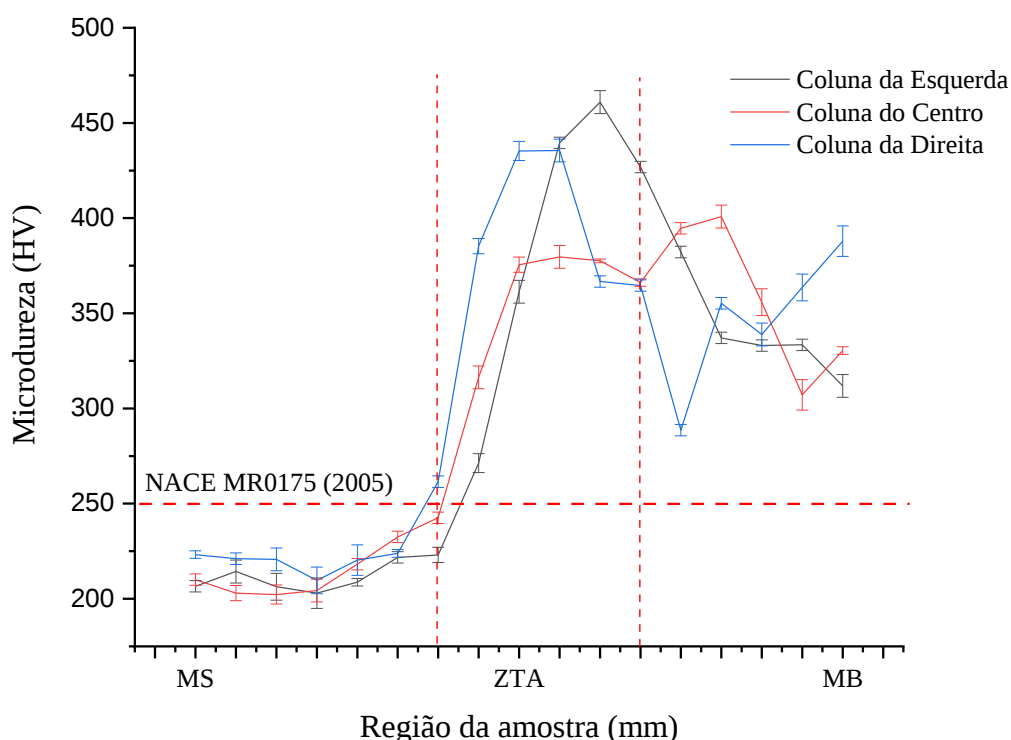
5.2. Microdureza

Nas Figuras 22 a 25 tem-se os resultados de microdureza Vickers, do qual os ensaios foram executados conforme procedimento apresentado na seção 4.2.6, para a solda de amanteigamento nas condições sem e com TTAT. Os resultados de microdureza estão distribuídos nos gráficos em três linhas que representam três regiões (esquerda, centro e direita).

Na Figura 22 são mostrados os valores médios de microdureza das três colunas, para a amostra sem o TTAT. A partir desses dados é possível observar que na região do metal de solda os resultados apresentam um comportamento mais estável com menor dispersão e com os menores valores de microdureza, sendo observado nessa região que

todos os valores ficaram abaixo de 250 HV. Nessa figura observa-se ainda um aumento de dureza à medida que se aproxima da linha fusão, desse modo a 1ª camada de solda tem dureza maior quando comparada a 2ª camada, o aporte térmico do processo de soldagem aumenta a dureza e a tensão interna da ZTA, a solda multipasse tende a reaver os cordões de solda antecedentes.

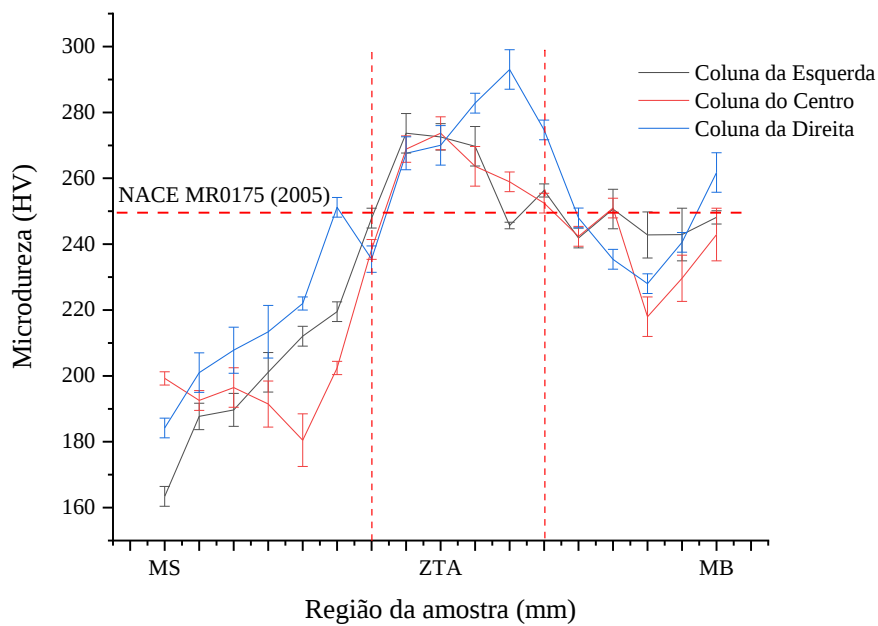
Figura 22 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra sem TTAT.



Fonte: Autoria própria (2023).

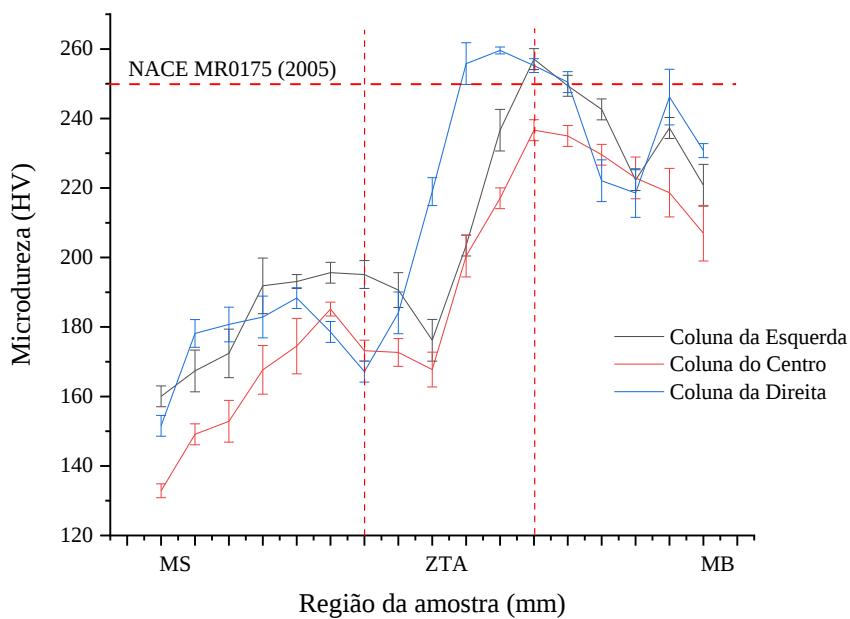
As Figuras 23, 24 e 25 por sua vez apresentam os valores de microdureza das colunas para as amostras submetidas aos TTAT. Nelas é possível observar uma redução nos níveis de microdureza para todas as regiões da solda de amantecimento. A região da ZTA, foi a que apresentou uma redução mais expressiva nos níveis de microdureza, de modo semelhante aos resultados obtidos nos ensaios de dureza, com valores oscilando em torno de 250 HV para as amostras submetidas a 650°C e 677°C e valores inferiores a 250 HV para a amostra submetida a um tratamento térmico de 704°C.

Figura 23 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 650 °C.



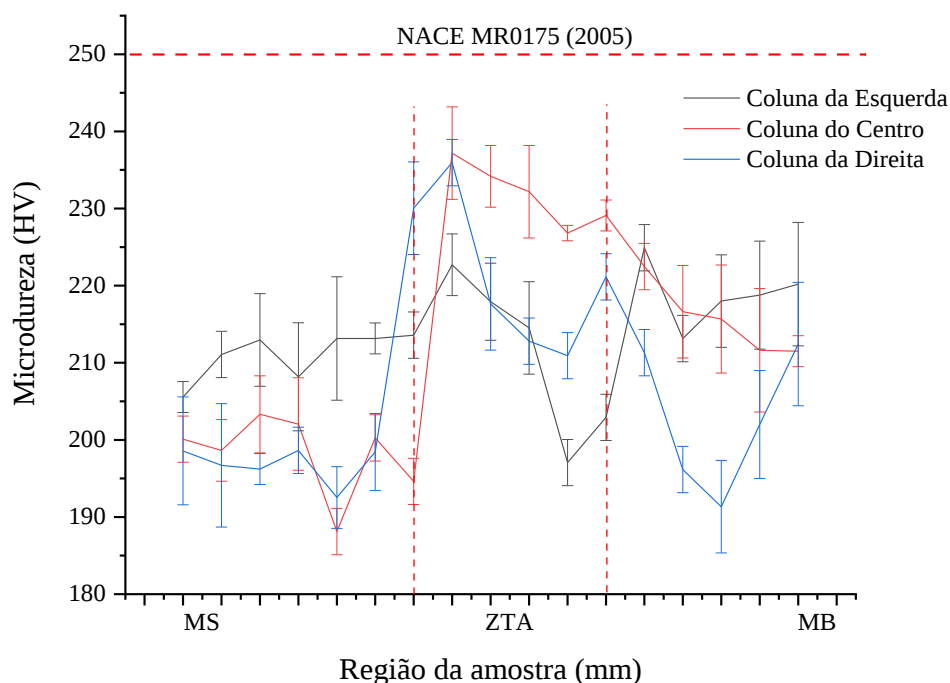
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 24 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 677 °C.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 25 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a amostra submetida a temperatura de 704 °C.



Fonte: Autoria própria (2023).

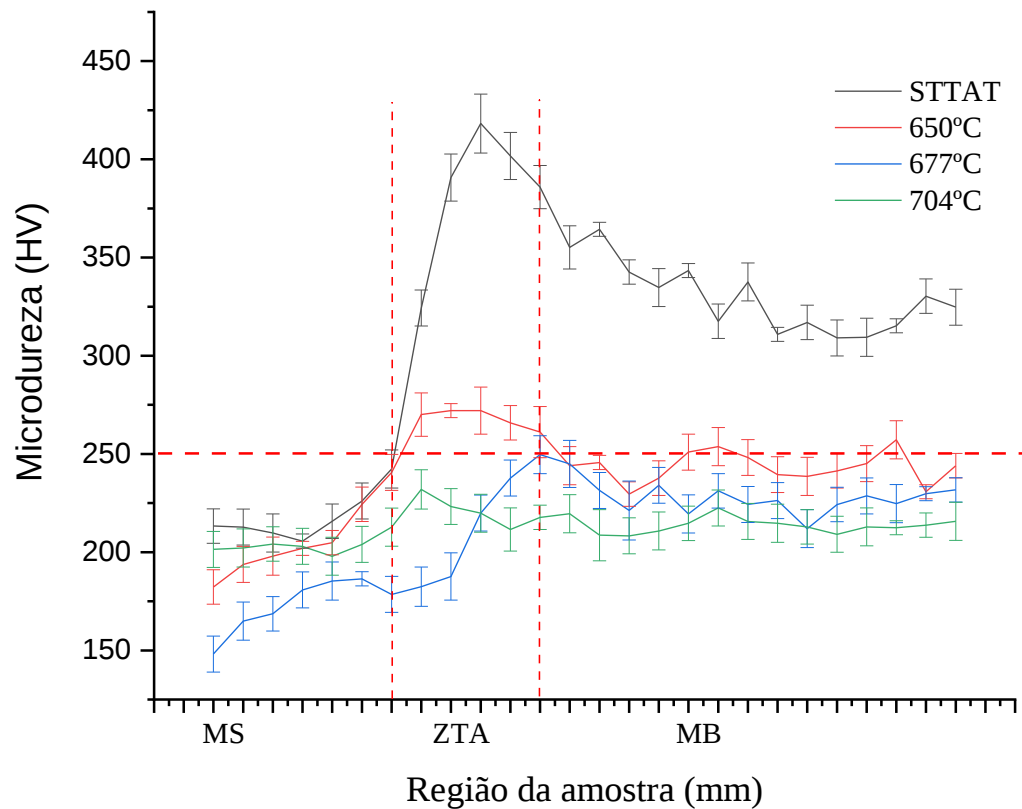
Os resultados apresentados na Figura 26, correspondem curvas médias e os desvios padrões obtidos a partir dos gráficos das Figuras 22, 23, 24 e 25. É possível observar que na região do MS, os valores médios apresentam variação discreta, com valores inferiores a 250 HV. O MB apresentou uma redução em todas as amostras com TTAT, variando em torno de 250 HV. Quando se considera o valor de dureza da ZTA, observa-se que o TTAT permitiu uma redução acentuada nessa região.

Assim, quando observamos os valores médios e seus respectivos desvios padrões, o TTAT permitiu uma redução em todas as regiões, porém os resultados de microdureza ao longo da ZTA não atenderam as recomendações da norma NACE MR0175 (2005) em duas amostras tratadas (650°C e 677°C), já a amostra submetida a uma temperatura de 704°C atende a os critérios da norma, visto que, tem-se resultados com dureza inferiores a 250 HV.

Comparando com os trabalhos de Neris (2020) e Santos (2020) que utilizaram o AISI 8630 e materiais a base de ferro para amanteigamento, observa-se que esses apresentaram valores de microdureza superiores aos especificados nos critérios da norma

NACE MR0175 (2005), entretanto trabalho como o de Silva *et al* (2022) que utilizaram o ASTM A182 e ligas de níquel, atendem a esse critério.

Figura 26 – Gráfico da microdureza Vickers (HV) para a todas as amostras.



Fonte: Autoria própria (2023).

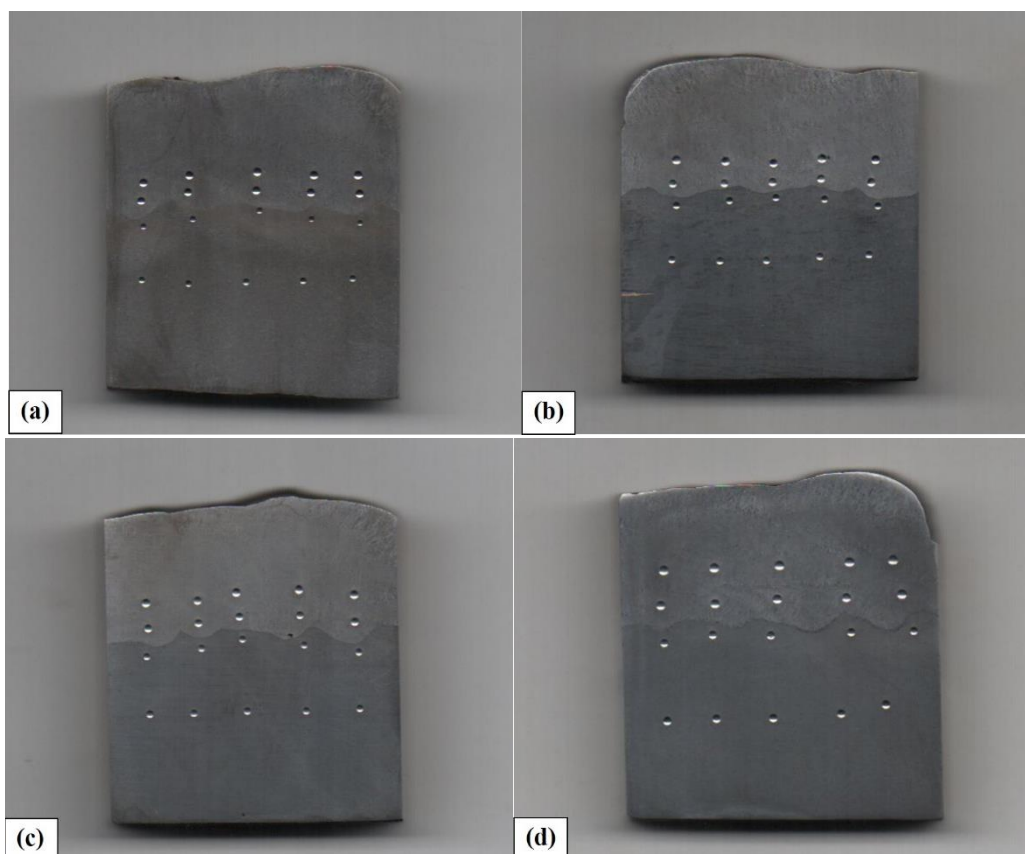
5.3. Caracterização microestrutural

5.3.1. Macrografia

Nas Figura 27, tem-se as imagens de macrografia da solda de amanteigamento para as condições sem (a) e com TTAT ((b),(c),(d)). Nelas é possível observar as regiões de metal de solda (MS), zona termicamente afetada (ZTA) e metal de base (MB). É notório que em ambas as imagens a solda de amanteigamento, apresentou cordões de solda homogêneos e livre de defeitos ou descontinuidades estruturais a olho nu, demonstrando assim a excelente qualidade do processo de soldagem realizado. Também se verifica que em termos de macroestrutura a ZTA do material sem TTAT, Figura 27(a),

apresenta maior revelação quando comparada ao metal de base que não foi atingido pelo aporte térmico da solda de amanteigamento. Enquanto, nos amostra com TTAT, observou-se uma macroestrutura com revelação menos tênue, sugerindo que o TTAT promoveu redução no nível de dureza e tensão interna do material como visto nos tópicos anteriores. Nestas imagens observa-se ainda que a zona termicamente afetada possui cerca de 3 a 5 mm de extensão.

Figura 27 – Macrografia da amostra sem TTAT (a), submetida ao TTAT com temperatura de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).



Fonte: Autoria própria (2023).

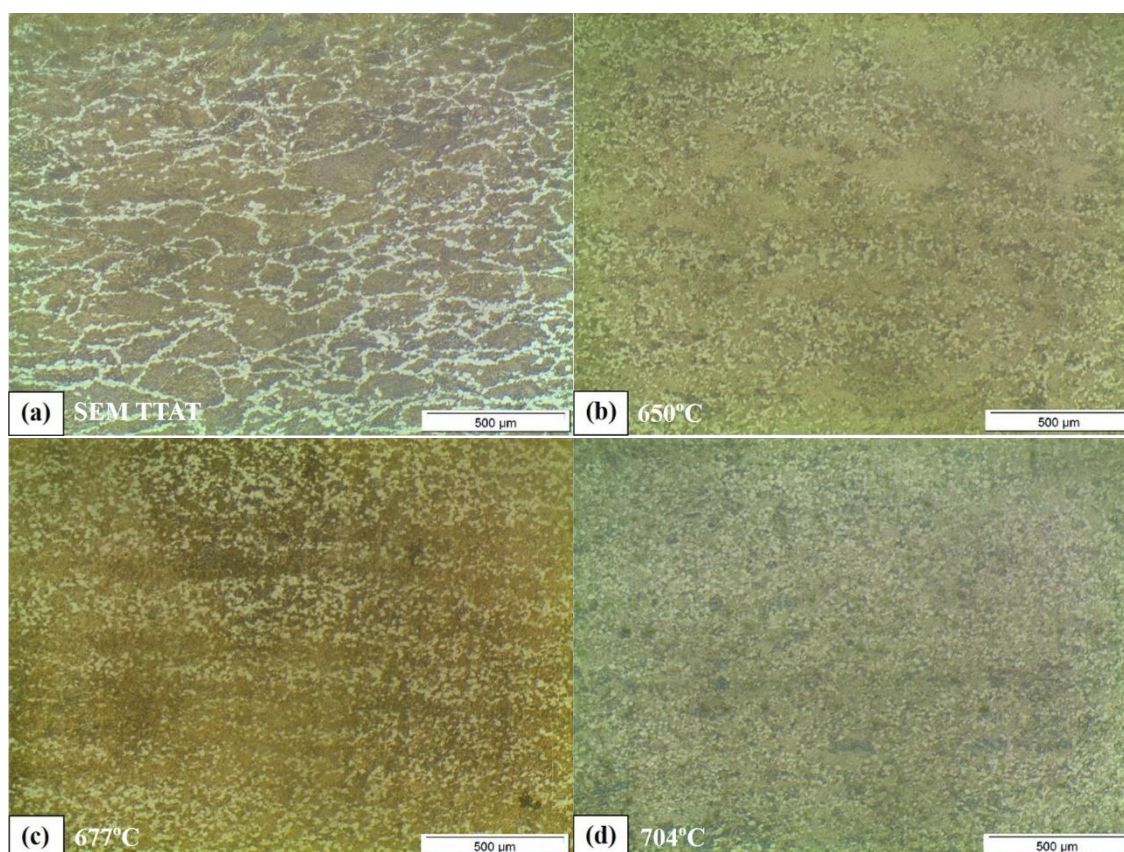
5.3.2. Micrografia

A Figura 28 apresenta a microestrutura da seção transversal do aço ASTM A182 F22 para as seguintes condições, (a) no estado como fornecido, ou seja, forjado; (b), (c) e (d) com TTAT à 650°C, 677°C e 704°C, respectivamente. Estas imagens correspondem às regiões do metal de base que não sofreram ação do aporte térmico da soldagem. Nessa Figura é possível observar uma microestrutura composta de matriz ferrítica com dispersão de carbeto.

Comparando as quatro imagens da Figura 28, observa-se que a microestrutura do aço ASTM A182 F22, após o TTAT, apresenta uma redução no tamanho dos grãos de ferrita, com uma microestrutura mais homogênea. Esse resultado já era esperado, pois as temperaturas empregadas em todos os TTATs foram inferiores à temperatura de austenitização do aço. O refino de grão após o TTAT também foi observado em outros trabalhos que empregaram esse aço como metal de base, como por exemplo o trabalho de Silva et al (2020).

Nas imagens (b), (c) e (d) da Figura 28, observa-se ainda microestrutura bainítica/ferrítica com carbonetos finos dispersos na matriz, sendo coerente com outras literaturas (Garcia, Mota e Ferraresi, 2019; Frei, Alexandrov e Rethmeier, 2016).

Figura 28 – Micrografia com aumento de 50x no metal de base em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).

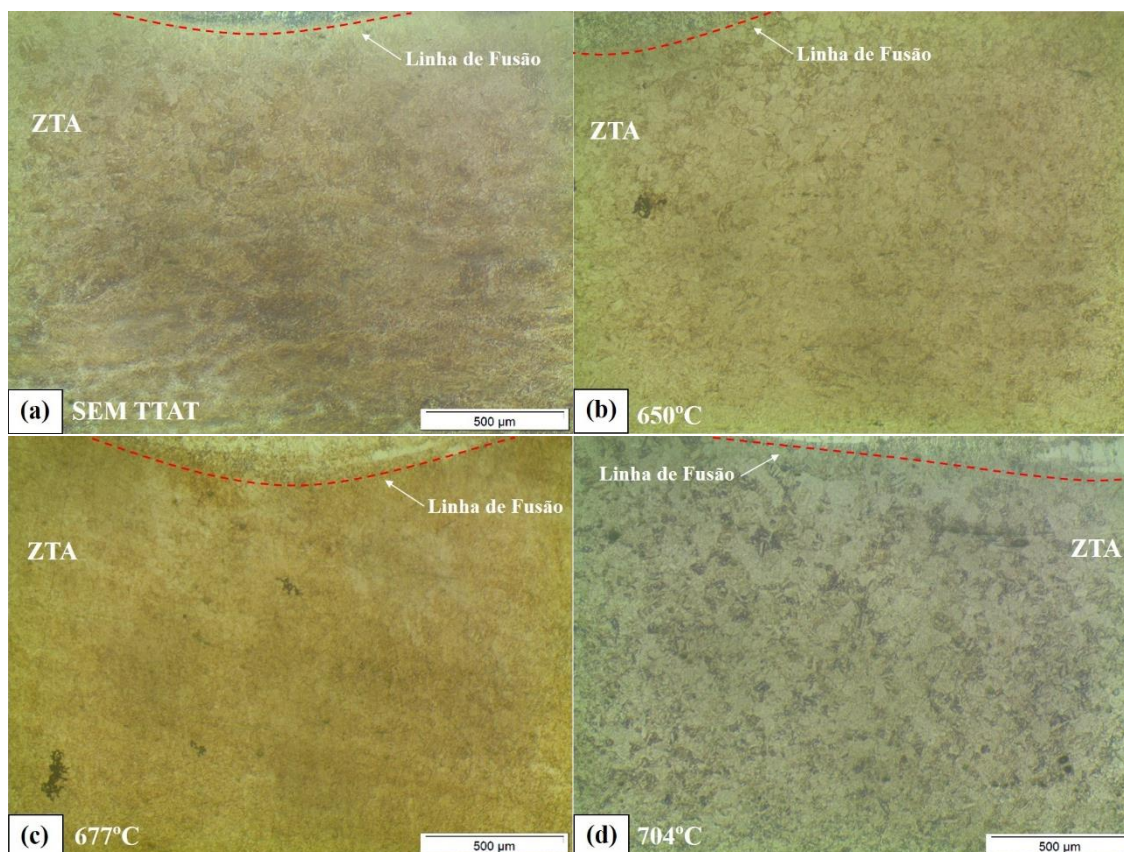


Fonte: Autoria própria (2023).

Nas imagens da Figura 29 tem-se a região da ZTA, nas condições sem (figura (a)) e com TTAT (figuras (b), (c) e (d)). Comparando-se as quatro imagens dessa Figura, com trabalhos que empregaram metal de solda de base níquel como Silva *et al* (2020) e

Frei, Alexandrov e Rethmeier (2016) observa-se que na ZTA, próximo à linha de fusão, a região de grãos de grosseiros não ficou evidente, este fato pode estar associado a composição do metal de solda empregado nesta pesquisa, uma liga de Fe-C.

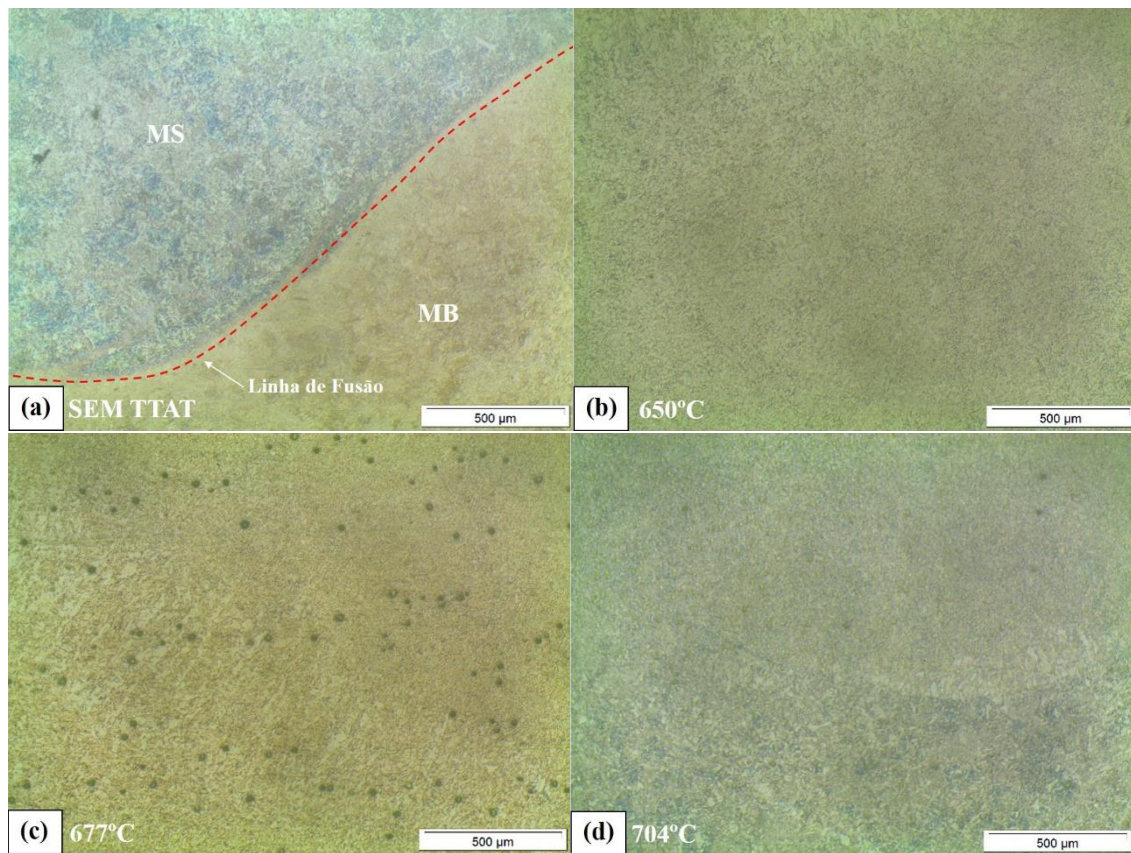
Figura 29 – Micrografia com aumento de 50x na ZTA em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).



Fonte: Autoria própria (2023).

A Figura 30 apresenta a microestrutura tanto do metal de solda quanto do metal de base para as condições sem (figura (a)) e com (figuras (b), (c) e (d)) TTAT à 650°C, 677°C e 704°C, respectivamente. Analisando as quatro imagens dessa figura, observa-se que o TTAT favoreceu a homogeneização no entorno da linha fusão, de forma que a distinção entre os metais de base e solda não ficou nítida nas imagens (b), (c) e (d).

Figura 30 – Micrografia com aumento de 50x no metal de solda em amostras sem TTAT (a) e submetidas as temperaturas de 650 °C (b), 677°C (c) e 704°C (d).

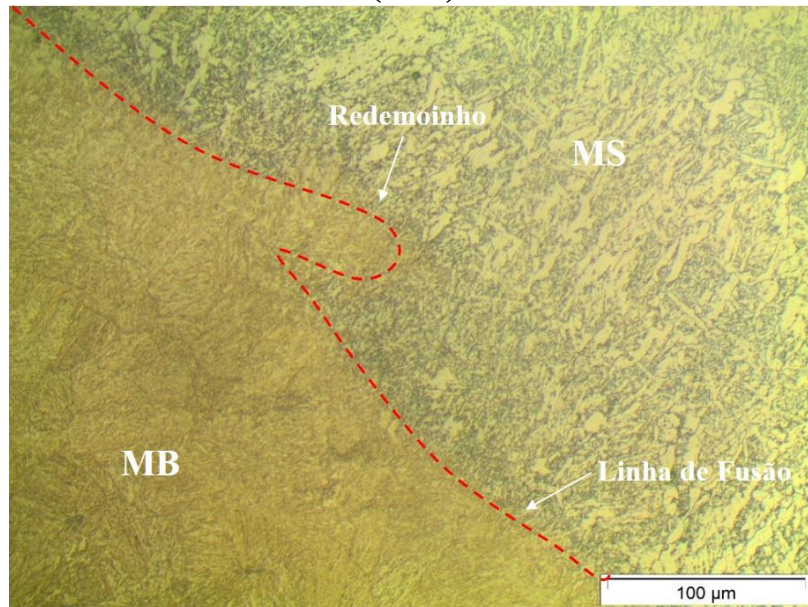


Fonte: Autoria própria (2023).

5.3.2.1. Zonas parcialmente diluídas

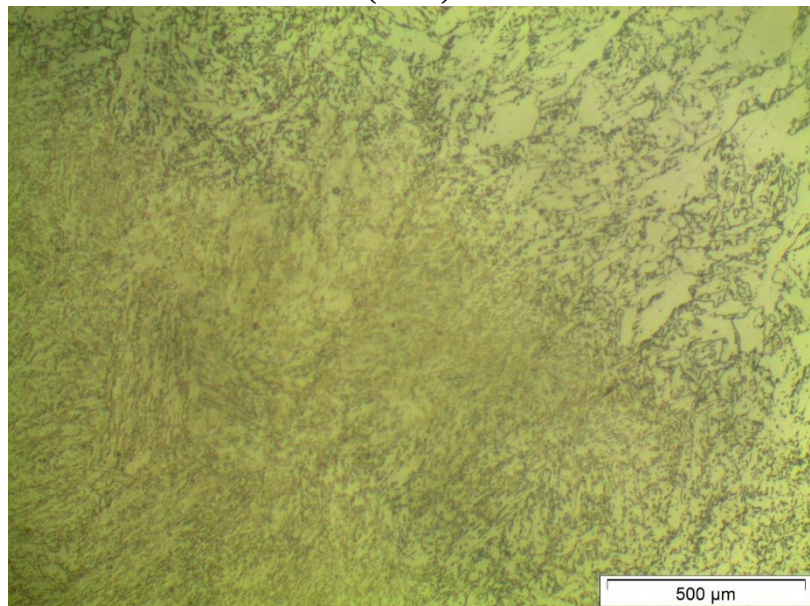
Nas Figuras 31 e 32 tem-se regiões entre os metais de base e solda, da solda de amanteigamento sem TTAT, enquanto na Figura 32 trata-se da solda com TTAT à 704°C. Nestas figuras é possível observar a ocorrência de zonas parcialmente diluídas, com formações que recebem a denominação de redemoinho (Figuras 31 e 32) e ilhas (Figura 33). Na Figura 32 verifica-se que os carbonetos se apresentaram mais alongados, sugestivos de formação martensítica. Essa formação justifica o aumento de dureza no material sem TTAT.

Figura 31 – Redemoinho na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (200x).



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 32 – Redemoinho na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (500x).

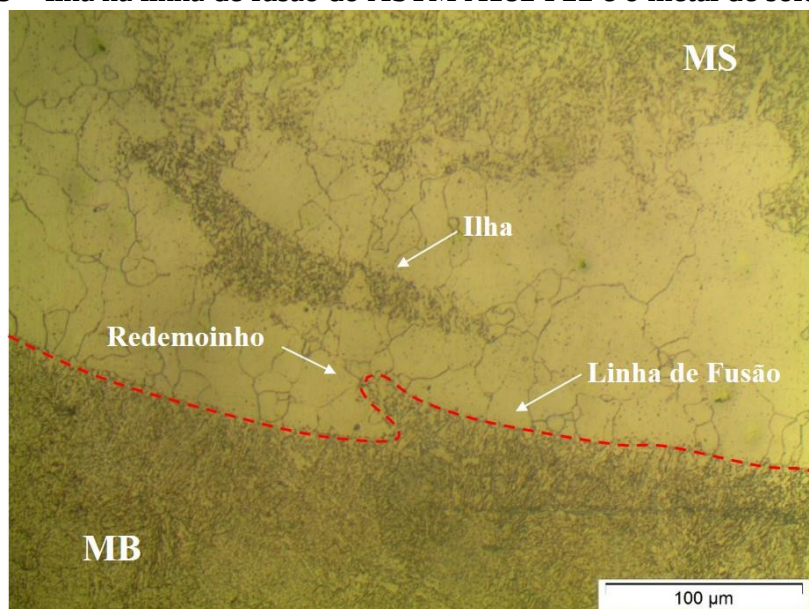


Fonte: Autoria própria (2023).

Na região do entorno da formação do tipo de ilha, Figura 33, observa-se a ocorrência de uma descarbonetação que pode ter sido favorecida pelo maior patamar de temperatura que foi empregado no TTAT. É importante destacar que essas formações

ficaram evidentes em todas as amostras analisadas e sua ocorrência pode ter sido favorecida pelo processo de soldagem manual MIG.

Figura 33 – Ilha na linha de fusão do ASTM A182 F22 e o metal de solda (200x).



Fonte: Autoria própria (2023).

6. CONCLUSÕES

No presente trabalho, investigou-se a influência da temperatura do tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT) na dureza do aço ASTM A182 F22, sobretudo na região da ZTA. A soldada dissimilar constituída do metal de base o aço ASTM A182 F22 e metal de solda o ER70S-6 foi analisada nas condições sem e com o TTAT. Assim sendo, as principais conclusões a que se chegou, após pesquisa desenvolvida foram:

- As regiões do metal de base e ZTA da solda de amanteigamento, aço ASTM A182 F22 - ER70S-6 submetida ao TTAT com a temperatura de 704°C, atenderam ao critério de dureza recomendado pela norma NACE MR 0175.
- O TTAT proporcionou alterações significativas nos valores de dureza e microdureza da região do MS e MB da solda de amanteigamento.
- Os parâmetros de soldagem adotados para o processo MIG permitiram a obtenção de solda de amanteigamento com excelente qualidade, livre de defeitos estruturais.
- Após o TTAT na microestrutura do aço ASTM A182, verifica-se uma redução no tamanho dos grãos de ferrita e uma microestrutura mais homogênea.
- A microestrutura martensítica observada próximo a linha de fusão, juntamente com uma possível difusão do carbono entre os metais de base e de solda, corroboram com os maiores valores de dureza observados na interface.

A partir da pesquisa realizada, assim como considerando o critério de dureza da norma NACE MR 0175 (2016), destaca-se que a solda de amanteigamento (ASTM A182 F22 – ER 70S- 6) mostra-se promissora e corresponde a uma alternativa de menor custo quando comparada a soldagem que emprega superligas a base de níquel.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, José Gonçalves de. **INFLUÊNCIA DO HIDROGÊNIO NA TENACIDADE QUASE ESTÁTICA DE UMA JUNTA SOLDADA DISSIMILAR CONSTITUÍDA DE AÇOS ARBL E METAL DE ADIÇÃO BS NA21 (INCONEL 625)**. 2014. 220 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS (ASM). **High-strength structural and high-strength low-alloy steels**. 10.ed. Metals handbook: Properties and selection: Irons, Steels and High Performance Alloys, 1990. v.1, p. 389-423.
- ASM. **Welding, Brazing and Soldering**, vol.6, USA.1993
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14175:2008: **Welding consumables** — Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes. Rio de Janeiro, 2008.
- AWS. **Specification for Stainless Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding**. AMERICAN WELDING SOCIETY.A5.4/A5.4M- 2006. Miami, FL. 2006.
- AWS. **Specification for Stainless Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding**. AMERICAN WELDING SOCIETY.A5.4/A5.4M- 2006. Miami, FL. 2006.
- BRANDOLIN, Bruno. **Avaliação microestrutural de interface em juntas soldadas Submetidas a diferentes tratamentos térmicos pós-soldagem**. 2016. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- BURK, J. D., RIBARDO, C. L. “**Thunder Horse – Materials, welding and corrosion challenges and solutions**”. *Offshore Technology Conference*, n. 20401, 3-6 May 2010.
- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G.. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. Revisão técnica de: José Roberto Moraes d'Almeida.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 6. ed. São Paulo: Abm, 1988.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**.ABM: São Paulo, 2002.
- COSTA, Esdras Carvalho da. **Análise da influência da carga de hidrogenação na tenacidade à fratura quase estática de juntas soldadas dissimilares**. 2018. 192 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.
- CUNHA, D. S., 2007, “**Desenvolvimento de fio máquina para a fabricação de arames para soldagem MIG com características adequadas ao processo de descarepação mecânica**”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte/MG, Brasil, 57p.
- DODGE, Michael Francis. **The Effect of Heat Treatment on the Embrittlement of Dissimilar Welded Joints**. 2014. 228 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering, Department Of Engineering, University Of Leicester, Leicester, 2014.

ESAB, **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. 2005. Disponível em: <https://www.esab.com.br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021, 22:57:30.

ESTEFEN, Segen Farid. Desafios tecnológicos para indústria do petróleo e gás. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 15, n. 31, p. 305-307, dez. 2010. Disponível em: http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/523. Acesso em: 04 mar. 2021.

FALLAHMOHAMMADI, E.; BOLZONI, F.; LAZZARI, L. **Measurement of lattice and apparent diffusion coefficient of hydrogen in X65 and F22 pipeline steels**, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 38, p. 2531-2543, 2013.

FONTES, Cleber., 2005, “**Metalurgia da Soldagem**”, ESAB MIG Welding Handbook – ESAB Welding & Cutting Products, Assistência Técnica Consumíveis – ESAB BR, 48 p.

FRATARI, Rômulo Queiroz; SCHVARTZMAN, Mônica M. A. M.; SCOTTI, Américo. Otimização dos parâmetros de tecimento para confecção de amanteigamento em chapas de aço ao carbono pelo processo TIG com arame AWS ER309L. In: COBEF, 3, 2009, Belo Horizonte. Soldagem & Inspeção. São Paulo: Cobef, 2010. v. 3, p. 209 - 217.

FREI, Julian; ALEXANDROV, Boian T.; RETHMEIER, Michael. Low heat input gas metal arc welding for dissimilar metal weld overlays part I: the heat-affected zone. **Welding In The World**, [S.L.], v. 60, n. 3, p. 459-473, 9 mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40194-016-0306-z>.

GARCIA, Douglas Neves. **Comportamentos mecânicos e metalúrgicos de junta soldada em aço ASTM A182 F22 aplicado na indústria offshore**. 2018. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

GARCIA, Douglas Neves; FERRARESI, Valtair Antônio; MOTA, Carlos Alberto Mendes da. Evaluation of double-layer weld deposition technique on ASTM A182 F22 steel without post-weld heat treatment. **Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering**, [S.L.], v. 41, n. 8, p. 1-14, jul. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40430-019-1802-z>.

JONES, J. E.; LUO, Yuxun. Pre- and Post-Weld Heat Treatment. In: OLSON, David L.; DIXON, Ray; LIBY, Alan L. **Welding - Theory And Practice**. Amsterdam: North-holland, 1989. Cap. 10. p. 293-323.

KEJELIN, Norton Zanette. Influência dos parâmetros de soldagem na formação de zonas parcialmente diluídas em soldas de metais dissimilares. 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

KOU, S. **Welding Metallurgy**. John Wiley e Sons, 2nd ed. New Jersey, United States, 2003.

LIMA, Flávia Barros. Microestrutura de aços baixa liga tipo 41xx – **Uma abordagem quantitativa**. PGEM: UFRJ, 2006.

LINNERT, George e. Welding Metallurgy: Carbon and Alloy Steels. 4. ed. Miami: American Welding Society, 1994.

MARQUES, P. V. Soldagem – **Fundamentos e Tecnologia**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2005, 362p.

MODENESE, P.J., Marques, P.V., 2006, “Soldagem I, Introdução aos Processos de Soldagem”, UFMG-Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 54 p.

NBR NM 136: 1997 – *Tratamentos Térmicos de aço – Terminologia e definições*. In.; 2000.

NERIS, Roseane Fernandes. **CARACTERIZAÇÃO DE SOLDA DE AMANTEIGAMENTO DE MATERIAIS A BASE DE FERRO**. 2020. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2020.

OLIVEIRA, George Luiz Gomes de. **Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquáticas**. 2013. 228 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

RODRIGUES, L. C. X.; MACIEL, T. M.; CRUZ NETO, R. Q.. Avaliação da Microestrutura e do Perfil de Microdureza do Aço AISI 8630m Amanteigamento com Arame AWS ER 80S – D2. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande-PB, v. 2, n. 12, p. 124-131, jul. 2017.

SANTOS, Ozaías Praxedes dos. **CARACTERIZAÇÃO DE SOLDA COMPOSTA POR AÇO AISI 8630 TEMPERADO E REVENIDO, AMANTEIGADO COM ELETRODO AWS ER70S-3**. 2020. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2020.

SCOTTI, A., Ponomarev, V. (2014) **Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 288 p.

SENAI. “Soldagem – Área metalúrgica”. Ed. Senai, SP, 2013.

SILVA, Adiana Nascimento *et al.* Butter-weld Interface Microstructural Analysis Employing NCS and LAMS Sections. **Materials Research**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 1-7, jan. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2019-0018>.

SILVA, Adiana Nascimento *et al.* Effect of Hydrogen on the Mechanical Properties of ASTM A182 F22 and ASTM A36 Steels Welded Joint Using Inconel 625 as Filler and Buttering Metal. **Materials Research**, [S.L.], v. 25, p. 1-15, jan. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2021-0339>.

SILVA, Adiana Nascimento. **ANÁLISE DO EFEITO DO HIDROGÊNIO NA RESPOSTA DE TENACIDADE À FRATURA EM JUNTA SOLDADA DISSIMILAR**. 2018. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência e

Engenharia de Materiais, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2018.

VEIGA, Emilio. “Soldagem de manutenção”. Ed. São Paulo, Globus, 2011.

WAINER, Emílio. “**Soldagem; processos e metalurgia**”. Ed. Edgard Blücher LTDA, 2008

YU, J., CHO S. M., 2017, “**Metal-cored welding wire for minimizing weld porosity of zinc-coated steel**”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 249, pp. 350-357

ZIEDAS, S. Tatini, I., 1997, “**Soldagem**” – Coleção Tecnologia SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, São Paulo-SP