



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

EVERTON DOGLAS BARRETO MARQUES

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO A36.**

CARAÚBAS

2019

EVERTON DOGLAS BARRETO MARQUES

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO A36.**

Monografia apresentada a Universidade
Federal do Semi-árido – UFERSA, Campus
Caraúbas para obtenção da graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Me.Carlos Cássio de Alcântara

CARAÚBAS

2019

© 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.

B357i Barreto Marques, Everton Douglas.
INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE
TENSÕES NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS
SOLDADAS DE AÇO A36. / Everton Douglas Barreto
Marques. - 2019.
45 f. : il.

Orientador: Carlos Cássio de Alcântara.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. Eletrodo Revestido. 2. Tratamento térmico
de alívio de tensões. 3. Juntas soldadas. I. de
Alcântara, Carlos Cássio, orient. II. Título.

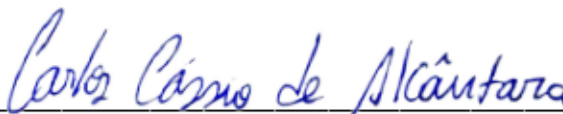
EVERTON DOGLAS BARRETO MARQUES

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ALÍVIO DE TENSÕES NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO A36.**

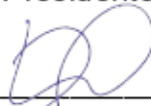
Monografia apresentada a Universidade
Federal do Semi-árido – UFERSA,
Campus Caraúbas para obtenção da
graduação em Engenharia Mecânica

Defendida em: 12 / 03 / 2019

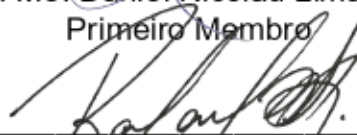
BANCA EXAMINADORA



Profº. Me. Carlos Cássio de Alcântara
Presidente



Profº. Me. Daniel Nicolau Lima Alves
Primeiro Membro



Profº. Rafael Bezerra Azevedo Mendes
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a Deus e a minha família principalmente aos meus pais, Aldeniza Barreto e Antônio Marques, por guiar meus caminhos e dar forças para buscar e realizar meus sonhos.

Agradeço a minha irmã Yammila Lorena, que sempre me incentivou para continuar, e conselhos para nunca desistir.

Os meus sinceros agradecimentos, ao Prof. Me. Carlos Cássio de Alcântara, por me aceitar como aluno orientado, pela paciência e dedicação, incentivo, ensinamentos e conhecimentos adquiridos durante a realização deste trabalho.

A todos os meus amigos (as), principalmente os da UFERSA Campus Caraúbas, em especial aos meus colegas/amigos de orientação, pelo auxílio em muitas etapas do trabalho.

Aos amigos e professores e mestres que estiveram na minha vida escolar no ensino fundamental e médio até os professores do curso de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semiárido do Campus Mossoró e aos professores do curso de Engenharia Mecânica da UFERSA do Campus Caraúbas no qual sempre me ajudaram na obtenção de conhecimentos acadêmicos.

E finalmente a todos aqueles que me ajudaram de alguma forma ou outra contribuindo para a realização deste trabalho.

“Para que as coisas mudem, você tem que mudar. Para que as coisas melhorem, você tem que melhorar. Para ter o que nunca teve, faça o que nunca fez.” –

Jim Rohn.

RESUMO

Apesar dos grandes progressos tecnológicos no âmbito industrial, principalmente na metalmecânica, ainda tem sido muito utilizado o processo de soldagem por eletrodo revestido, onde seu processo gera calor e assim alterando algumas propriedades mecânicas importantes do metal base. Visto isto é de suma importância buscar melhorias a minimizar tais defeitos. Este trabalho analisa os efeitos do tratamento térmico de alívio de tensões nas propriedades mecânicas do metal base e nas juntas soldadas via processo de soldagem por eletrodo revestido E6013 em aço carbono ASTM A36. Corpos de prova soldados foram submetidos a processo de tratamento térmico de alívio de tensões, onde mantiveram-se a uma temperatura de 600°C durante 15 e 30 minutos, seguidas de resfriamento ao ar livre e submetidos a ensaios mecânicos de microdureza e tração. Os dados colhidos nos ensaios de tração e microdureza foram apresentados e divididos de acordo com o tempo de tratamento térmico, e os corpos de prova que não passaram por tratamento térmico. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram que os materiais sofreram alterações nos limites de escoamento e tensões máximas alcançadas, assim também apresentaram comportamentos de dureza distintas entre os corpos de prova sem TTAT e com TTAT.

Palavras-chave: Eletrodo revestido; tratamento térmico de alívio de tensões; juntas soldadas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de acordo com o tipo de fonte de energia	12
Figura 2 - Classificação a partir da natureza da união	13
Figura 3 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.....	14
Figura 4 - Nomenclatura para classificação do eletrodo.....	15
Figura 5 - Circuito de soldagem para o processo com eletrodo revestido.	17
Figura 6 - Máquina Retificadora de soldagem.....	18
Figura 7 - Porta eletrodo.	19
Figura 8 - Diagrama Fe-C	20
Figura 9 - Fluxograma da metodologia	21
Figura 10 - Eletrodo Revestido E6013	24
Figura 11 - Máquina Cut-Off	25
Figura 12 - Máquina retificadora utilizada para soldagem	26
Figura 13 – Ilustração das peças após soldagem.	26
Figura 14 - Forno Lucadema, modelo Luca 200.....	27
Figura 15 – Corpo de prova cortado para ensaio de microdureza.....	28
Figura 16 - Politriz de velocidade variável.....	29
Figura 17 - esquematização da realização dos ensaios de microdureza.....	29
Figura 18 - Microdurômetro utilizado para ensaios de microdureza Vickers.....	30
Figura 19 - Representação com medidas das vistas lateral e frontal do corpo de prova soldado	31
Figura 20 - Corpos de prova sem tratamento térmico, após ruptura.	32
Figura 21 – Dados dos corpos de prova sem TTAT.....	33
Figura 22 - Corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos, após ruptura.	34
Figura 23 – Dados dos corpo de prova com tratamento térmico de 15 min.....	34
Figura 24 - Corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos, após ruptura.	35
Figura 25 - Terceiro corpo de prova, peça com tratamento térmico de 30 min.....	36
Figura 26 - Ensaio para corpos de prova sem tratamento térmico	38

Figura 27 - Ensaaios para corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos	38
Figura 28 - Ensaaios para corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos eletrodos para aço carbono.	16
Tabela 2 – Classificação dos cabos de cobre recomendados para interligação, NBR 6880-85.	18
Tabela 3 - quantitativo de corpos de prova para ensaios	22
Tabela 4 - Propriedades mecânicas do aço ASTM A36	22
Tabela 5 - Composição química do aço ASTM A36	23
Tabela 6 – Média das propriedades mecânicas obtidas das amostras.	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO	10
1.1.1 Objetivo Geral	10
1.1.2 Objetivos Específicos	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 PROCESSOS DE SOLDAGEM	11
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM	12
2.3 SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODOS REVESTIDOS	14
2.4 EQUIPAMENTOS	16
2.4.1 Fontes de energia para processo de soldagem	17
2.4.2 Cabos	18
2.4.3 Porta eletrodos	19
2.6 TRATAMENTO TÉRMICO PARA ALÍVIO DE TENSÕES	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 MATERIAIS	22
3.1.1 Aço ASTM-A36	22
3.1.2 Eletrodo Revestido E6013	24
3.2 CONFEÇÕES DOS CORPOS DE PROVA	25
3.3 SOLDAGENS DOS CORPOS DE PROVA	25
3.4 TRATAMENTO TÉRMICO DAS PEÇAS PRODUZIDAS	26
3.5 ENSAIO DE MICRODUREZA	28
3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO	32
4.1.1 Corpos de prova sem tratamento térmico	32
4.1.2 Corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos	33
4.1.3 Corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos	35
4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE MICRODUREZA	37
5. CONCLUSÃO	40

1. INTRODUÇÃO

Métodos que visam a otimização de estruturas de aço soldado, como melhoria de propriedades e redução de falhas, têm sido extensivamente investigados por grupos de pesquisa em todo o mundo. A soldagem é uma etapa importante na fabricação de estruturas metálicas usadas em muitos setores, como petróleo e construção naval. As tecnologias de soldagem envolvidas na fabricação dessas estruturas assumem relevância fundamental, por exemplo, no setor de petróleo e gás, componentes submersos (dutos, plataformas e embarcações) geralmente apresentam defeitos de soldagem e descontinuidades responsáveis pela nucleação e propagação de fissuras que podem prejudicar sua integridade (ENGIENEERS, 2013).

A soldagem em particular apresenta uma simplicidade operacional, porém o processo de soldagem ocasiona consequências para o material afetado, pois existe uma aplicação de uma elevada densidade de energia, em uma pequena quantidade de material, acarretando alterações na estrutura e nas propriedades próximo a região soldada. O aparecimento de tais defeitos deve ser minimizado ao máximo ou até mesmo eliminado de forma a garantir a integridade estrutural do equipamento. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992)

A desconsideração destas alterações de propriedades pode resultar em problemas, em alguns casos graves, assim refletindo de várias maneiras dentro de uma produção, gastos inesperados, perda de materiais, atrasos na produção ou até mesmo em casos extremos, afetar a vida humana. O controle de alguns parâmetros de soldagem é indicado para amenizar a ocorrência de defeitos: temperatura de pré-aquecimento, temperatura de pós-aquecimento e velocidade de resfriamento. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011)

Baseado no exposto acima, este trabalho pretende realizar uma caracterização mecânica, por ensaios de tração e microdureza, em juntas soldadas via processo de soldagem por eletrodo revestido E6013 em aço ASTM-A36, e submeter parte destes corpos de prova a tratamento térmico de alívio de tensões, assim podendo confrontar os dados obtidos antes e após o TTAT.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

Devido à grande responsabilidade agregada aos projetos que contém juntas soldadas, um estudo acerca do controle dos parâmetros que podem atenuar ou até mesmo extinguir os defeitos de soldagem se mostra altamente válido. O presente trabalho tem como objetivo geral poder relacionar a ocorrência de falhas em juntas soldadas via processo de soldagem a eletrodo revestido E6013, com as características mecânicas apresentadas pelo material, antes e após tratamento térmico de alívio de tensões.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar as juntas soldadas via processo de soldagem a eletrodo revestido E6013 em aço ASTM-A36.
- Realizar os tratamentos térmicos de alívio de tensões;
- Determinar as propriedades mecânicas das juntas através de ensaios de tração e microdureza;
- Comparar o comportamento entre as propriedades mecânicas das juntas elaboradas antes e após o tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Processos de soldagem

Existem vários processos que são utilizados com a finalidade de fabricar e recuperar peças, este método de união é chamado de soldagem, algumas dessas variações são usadas para deposição de material sobre uma superfície, revestimento, recuperação de peças desgastadas e junção peças (MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE, 2011).

Para Quites e Dutra (1979), a soldagem é a operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades químicas e metalúrgicas. A American Welding Society – AWS defini da seguinte forma: “Soldagem é o processo de união de materiais, usado para obter a união localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou material de adição.

As aplicações dos processos de soldagem estão inseridas em diversas áreas industriais como aviões, veículos, navios, componentes eletrônicos, confecções de estruturas metálicas, recuperação de eixos, peças de ferro-fundido e outros metais (NEVES, 2013).

Com isso, para obter um produto de alta qualidade com o menor custo possível um processo de soldagem adequado para tal necessidade é justificável. Segundo Wainer et al., 1992, para os processos de soldagem existe dois pontos principais para uma análise mais detalhada. O primeiro ponto indica que os processos são baseados em dados experimentais e depende de diversos parâmetros, impedindo ou dificultando uma formulação matemática adequada. O segundo ponto é que tais processos dependem da habilidade e conhecimento do operador, dificultando o controle do processo. (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992)

Analisar esses pontos é de grande importância, pois aliada ao conhecimento fará com que haja um aprimoramento dos processos de soldagem visto que atualmente houve um aumento na procura de processos e consumíveis que ofereçam uma maior economia (SARNI, 2011).

2.2 Classificação dos processos de soldagem

Antes de iniciar a explicação dos processos de soldagem é importante mostrar quais os tipos de soldagem, como são classificados de acordo com o tipo de fonte de energia ou a partir da natureza da união. A Figura 1 mostra a classificação do processo de soldagem usando o tipo de fonte de energia.

Figura 1 - Classificação de acordo com o tipo de fonte de energia

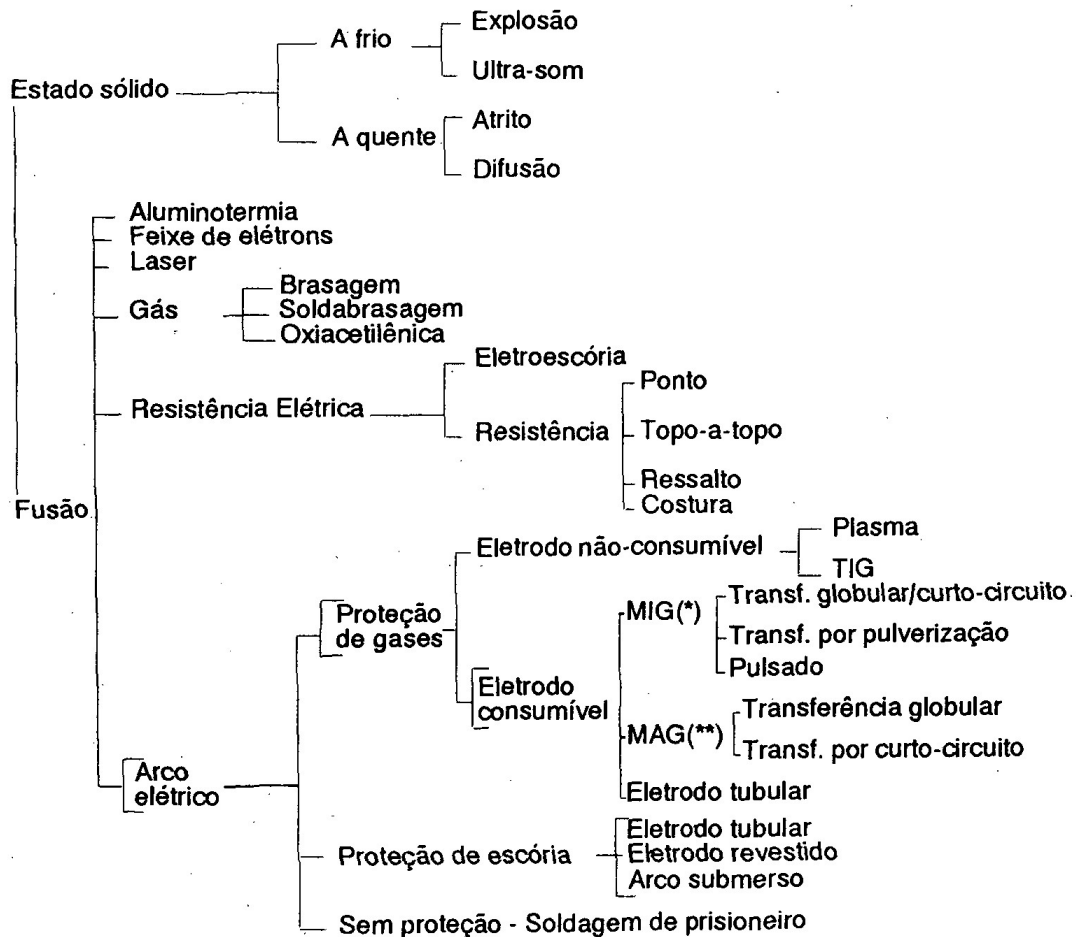
Fonte de Energia		Tipo de proteção				
		Vácuo	Gás inerte	Gás	Fluxo (escória)	Sem proteção
Mecânica					N	Explosão Atrito Ultra-som
Química	Chama	N		Oxiacetilênica		
	Reação exotérmica	N			Aluminotermia	
Elétrica	Resistência elétrica		N	N	N	Eletroescória Topo-a-topo Ponto Ressalto Costura
	Arco elétrico	Eletrodo consumível	N	MIG	Eletrodo tubular	
					MAG	Eletrodo revestido Arco submerso
		Eletrodo não consumível	N	TIG		Soldagem de prisioneiros Eletrodo de carbono
Energia radiante	Eletromagnética			Laser		N
	Partículas		Feixe de elétrons		N	N

Fonte: (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992)

Para o processo de soldagem a partir da natureza da união esta é subdividida em dois grupos, o estado sólido e fusão. Para a soldagem feita em estado sólido ocorre uma aproximação da estrutura cristalina dos materiais através da energia mecânica e consequentemente desenvolve uma atração atômica. Para a fusão a soldagem é feita através de uma fonte de calor, onde os metais a serem unidos, o de base e o de adição, se fundem e, posteriormente, sofrem solidificação (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

A Figura 2 apresenta a classificação a partir da natureza da união, onde a mesma está subdividida em estado sólido e fusão como foi citado anteriormente.

Figura 2 - Classificação a partir da natureza da união



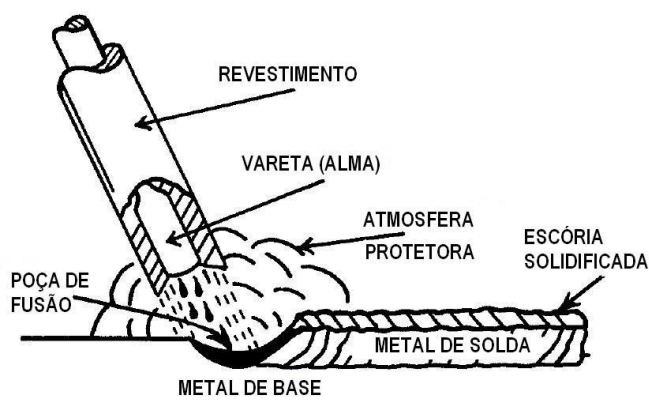
Fonte: (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992)

No processo de soldagem por fusão, existem subgrupos que se distinguem de acordo com o tipo de fonte de energia utilizada no procedimento de fundir as peças, o processo com maior importância na indústria na atualidade, é o processo de soldagem a arco elétrico, pois é usado meios de proteção para minimizar as reações do material fundido com os gases atmosféricos (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011)

2.3 Soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido também chamada de SMAW (Shielded metal arc welding) é um processo onde a fusão do metal ocorre através de uma alta temperatura gerada por um arco elétrico que é localizado entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011). A Figura 3 ilustra o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido.

Figura 3 - Soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



Fonte: (ESAB, 2010)

O eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica que é chamada de alma e pode ser trefilada ou fundida que tem como função conduzir corrente elétrica e serve de metal de adição para preencher a junta a ser soldada. A alma possui um revestimento que é composto por diversos materiais que tem como principais funções: estabilizar o arco elétrico; regular a composição química do cordão através da adição de elementos de liga e eliminação de impurezas e formar gases protetores da poça (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

O revestimento é constituído por uma mistura de ingredientes, na qual são combinados em proporções adequadas, esses ingredientes possuem funções específicas e determinadas no processo, funções essas que são responsáveis por estabilizar o arco elétrico, formar escória, gerar gases redutores, desoxidantes, fornecer elementos de liga e fixador de revestimento (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982).

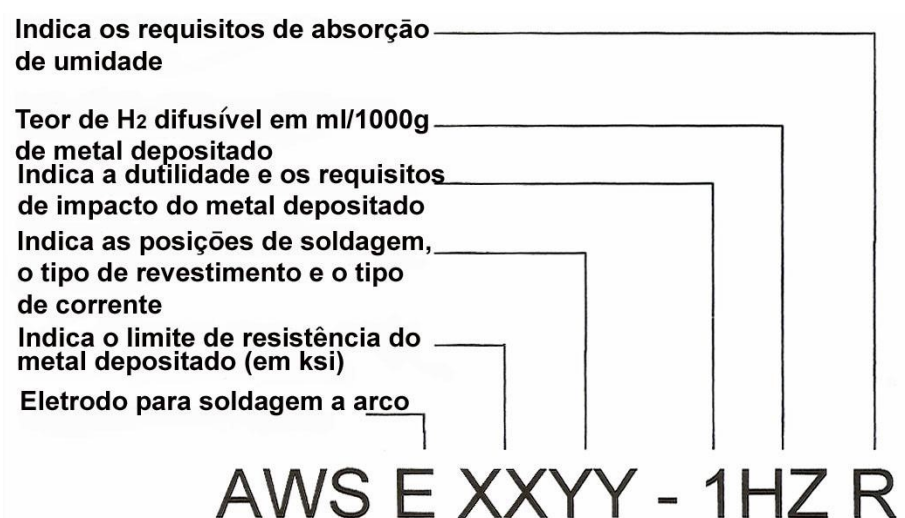
A soldagem com eletrodo revestido foi o processo mais utilizado nas indústrias até os anos 60, este processo é mais usual na fabricação e montagem de diferentes equipamentos, usados em oficinas e no campo (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

O uso deste processo de soldagem traz versatilidade, e como é um processo manual, é fácil a adaptação a várias posições de trabalho, assim também a vários materiais e espessuras. É muito usual em materiais como aços-carbono, aços de baixa, média e alta liga, aços inoxidáveis, ferros fundidos, alumínio, cobre, níquel, etc. (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

As classificações dos eletrodos são feitas com base na composição química do metal e nas propriedades mecânicas do mesmo, também é levado em consideração o tipo de corrente, a posição de soldagem e no tipo de revestimento. A AWS (American Welding Society) classifica os tipos de eletrodos com uma série de números e letras, que determinam as suas características e finalidades.

Na Figura 4 é possível visualizar qual informação é dada por cada letra e número, os eletrodos de baixa liga utilizam de 4 ou 5 algarismos para sua classificação, sempre precedidos da letra “E”, na qual significa eletrodo. Os dois primeiros algarismos se referem ao limite de resistência e é dado em ksi. O terceiro algarismo determina a posição de soldagem e por seguinte o tipo de revestimento do eletrodo, corrente e polaridade é determinado no quarto algarismo (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011)

Figura 4 - Nomenclatura para classificação do eletrodo.



Fonte: (ESAB, 2010)

Na Tabela 1, facilita a visualização com mais clareza sobre as características presentes nos últimos algarismos de um eletrodo revestido para aço carbono, detalhamentos sobre corrente, arco, penetração e revestimento. Para os aços de baixa e média liga existem quatro tipos principais de revestimento, o revestimento celulósico, rutilico, básico e ácido (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

Tabela 1 - Classificação dos eletrodos para aço carbono.

Classe	Corrente	Arco	Penetração	Revestimento-escória	Pó de ferro
EXX10	CC+	agressivo	profunda	celulósico-sódio	0-10%
EXX11	CA/CC+	agressivo	profunda	celulósico-potássio	0
EXX12	CA/CC-	médio	média	rutilico - sódio	0-10%
EXX13	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - potássio	0-10%
EXX14	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	25-40%
EXX15	CC+	médio	média	baixo hidrogênio - sódio	0
EXX16	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - potássio	0
EXX18	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
EXX20	CA/CC-	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX22	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX24	CA/CC-/CC+	suave	leve	rutilico - pó de ferro	50%
EXX27	CA/CC-/CC+	médio	média	óxido de ferro - pó de ferro	50%
EXX28	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	50%
EXX48	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%

O percentual de pó de ferro é baseado na massa do revestimento

Fonte: (ESAB, 2010)

No presente trabalho, será utilizado o eletrodo E6013 para produção dos corpos de prova, estes eletrodos apresenta um revestimento rutilico com alto teor de dióxido de titânio. O seu uso é indicado para chapas de pequenas espessuras, pois sua penetração é baixa e não danifica perfurando a peça, apresenta uma transferência de material suave (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

Este eletrodo é projetado para ser usado em todas as posições de trabalho e corrente, seu revestimento contém potássio e desta maneira é capaz de estabilizar o arco na soldagem com corrente alternada (ESAB, 2010)¹

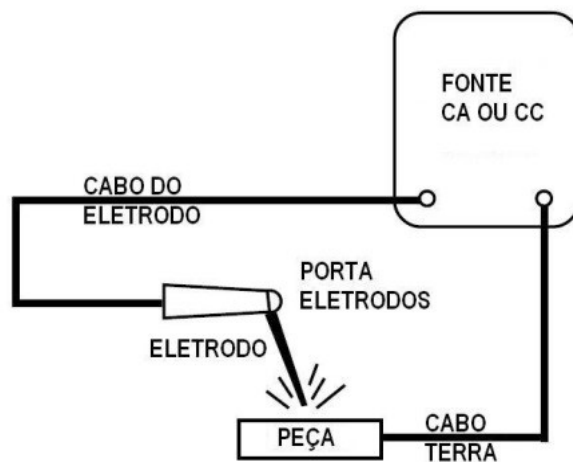
2.4 Equipamentos

Os equipamentos para uma soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido consistem basicamente em fonte de energia, cabos, porta eletrodos, ferramentas e materiais de segurança, como esquematizado na Figura 5.

¹ Disponível em: <

https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf > Acessado em: 18 Fevereiro 2019

Figura 5 - Circuito de soldagem para o processo com eletrodo revestido.



Fonte: (ESAB, 2010)

2.4.1 Fontes de energia para processo de soldagem

O transformador com corrente alternada é o tipo de fonte de energia que mais se aplica para este tipo de processo devido ao seu baixo custo de operação e manutenção. Para a corrente contínua, dois modelos são adotados, a unidade geradora e transformador-retificador. A primeira opção é utilizada em trabalhos onde não há energia elétrica. Caso haja disponibilidade de energia elétrica, o retificador é preferível devido ao baixo custo envolvido (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992).

O retificador, como demonstrado na Figura 6, são máquinas de fácil operação e versáteis, são fontes de correntes constantes e bastante indicado para indústria em geral. O seu sistema possui uma regulação contínua de corrente facilitando ao operador ajustar com a necessidade, também é possível utilizar nos processos de soldagem com eletrodos de corrente alternada e corrente contínua (DRIMAFER, 2014)

Este modelo de retificador representado na Figura 6 foi utilizado para a produção dos corpos de prova do presente estudo. Segundo Áquila (2012), o retificador transforma a corrente alternada monofásica ou trifásica em corrente contínua, entretanto também é possível trabalhar com corrente alternada.

Figura 6 - Máquina Retificadora de soldagem.



Fonte: ESAB

2.4.2 Cabos

Os cabos são responsáveis por transportar a corrente elétrica da fonte de energia para o porta eletrodo e da peça na qual está sendo trabalhada para a fonte de energia. São fabricados de cobre ou de alumínio, apresentando uma característica de flexibilidade para acessar áreas de difíceis acessos e por fim, não menos importante, devem ser cobertos por um material isolante (ESAB, 2010).

Tabela 2 – Classificação dos cabos de cobre recomendados para interligação, NBR 6880-85.

Corrente de Soldagem (A)	Ciclo de Trabalho (%)	Diâmetro do cabo (mm) em função do Comprimento total (m)				
		0 - 15	15 - 30	30 - 46	46 - 61	61 - 76
100	20	4	5	6	6,5	7,5
180	20 - 30	5	5	6	6,5	7,5
200	60	6,5	6,5	6,5	7,5	8
200	50	6	6	6,5	7,5	8
250	30	6	6	6,5	7,5	8
300	60	8	8	8	9	10
400	60	9	9	9	10	12
500	60	9	9	9	10	12
600	60	9	9	9	12	2 x 10

Fonte: (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992)

Como demonstrado da Tabela 2, os cabos possuem relações entre o diâmetro do cabo, o comprimento, a corrente de trabalho e o ciclo de trabalho.

2.4.3 Porta eletrodos

Os porta-eletrodos tem a função de fixar e energizar o eletrodo. Para que haja uma menor chance de choque é necessário que esteja corretamente fixado e os cabos estejam bem isolados. Para uma boa fixação é importante que as garras estejam bem conservadas, assim evitando que o eletrodo se solte (QUITES e DUTRA, 1979).

Figura 7 - Porta eletrodo.



Fonte: DANPLER²

Cada porta-eletrodo é fabricado para que trabalhe em uma faixa de diâmetro, isso ocorre devido a máxima abertura das garras para fixar o eletrodo e também pela corrente que pode conduzir. Para níveis de corrente mais elevado, é necessário que o porta-eletrodo seja maior, conseqüentemente o peso do será maior, logo o operador ficará mais suscetível a fadiga e para evitar a fadiga é importante escolher o menor porta-eletrodo para a faixa de corrente elétrica na qual o operador irá trabalhar (QUITES e DUTRA, 1979)

2.6 Tratamento térmico para alívio de tensões

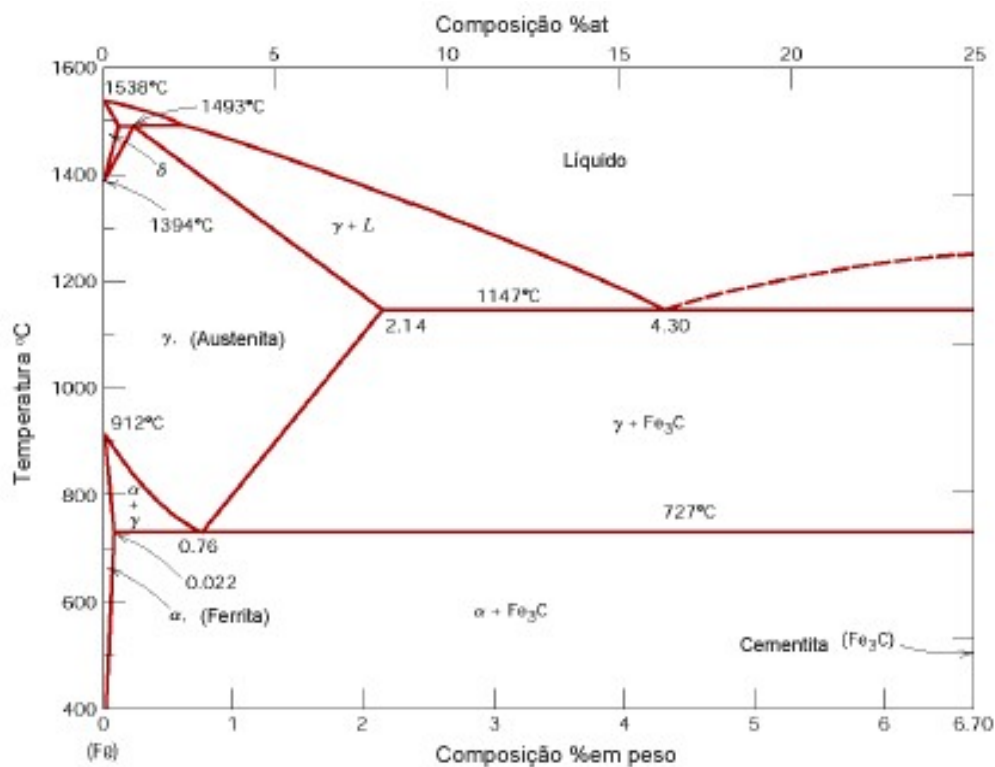
O surgimento das tensões residuais em peças metálicas ocorre quando a mesma sofre variações de temperatura e um resfriamento não uniforme, como uma solda ou um processo de fundição. Quando essas tensões não são removidas pode

² Disponível em:< <https://www.danpler.com.br/porta-eletrodo-300-a-25-63mm-9145355-mtx>
>Acessado em 22 fevereiro 2019

ocorrer distorções na peça. As tensões podem ser aliviadas por meio de um tratamento térmico de recozimento, onde a peça sofre um aquecimento até uma determinada temperatura e mantida por determinado tempo, logo após deve sofrer resfriamento ao ar até atingir temperatura ambiente (CALLISTER, 2002).

O tratamento térmico de alívio de tensões, o TTAT, consiste em aquecer a peça a uma temperatura abaixo da zona crítica de transformação do diagrama Fe-C como demonstrada na Figura 8, fazendo com que o limite de escoamento do material fique reduzido a valores a baixo das tensões residuais. Este tratamento proporciona um aumento da resistência à corrosão sob tensão e uma redução do percentual de hidrogênio dissolvido (SALVADOR, 1997).

Figura 8 - Diagrama Fe-C



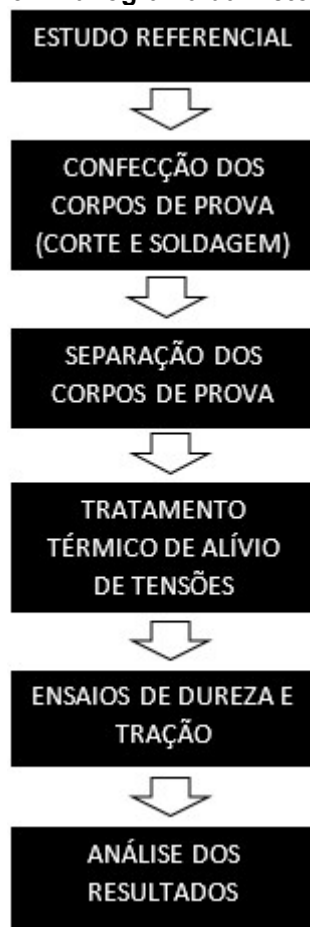
Fonte: (CALLISTER, 2002)

O TTAT apresenta uma transição dúctil-frágil para temperaturas mais elevadas, onde vale ressaltar que os aços liga possuem fragilização ao revenido, e este fenômeno é restrito aos aços liga, pois estes são resfriados ou mantidos à intervalos de temperaturas entre 350°C e 600°C (JORGE, 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste Capítulo serão descritos os materiais e equipamentos utilizados para a elaboração deste trabalho. A Figura 9 apresenta um fluxograma onde expõe os passos básicos efetuados ilustrando as atividades práticas do estudo.

Figura 9 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autoria Própria

Foi necessário determinar quantidades de corpos de prova para a produção dos mesmos, e elaboração deste trabalho. Assim como demonstrado na Tabela 3, os corpos de prova foram separados por tipos de tratamento térmico e tipos de ensaios, totalizando 18 peças. Portanto os corpos de prova foram divididos em três grupos, sem tratamento térmico, com tratamento térmico de 15 minutos e com tratamento térmico de 30 minutos.

Tabela 3 - quantitativo de corpos de prova para ensaios

Corpos de prova	Quantidades	
	Ensaio de tração	Microdureza HV
Sem tratamento (ST)	3	3
Com tratamento térmico de 15min (CT15)	3	3
Com tratamento térmico de 30min (CT30)	3	3

Fonte: Autoria própria

3.1 Materiais

3.1.1 Aço ASTM-A36

O material utilizado para a realização desta pesquisa é o aço carbono ASTM-A36, foi feita a aquisição de barras chata com dimensões de 1" x 3/16", este aço carbono é classificado como um aço de média resistência mecânica, e boa soldabilidade por apresentar pequeno percentual de carbono.

A representação das propriedades mecânicas e composição química do aço ASTM A36 está representada nas Tabelas 4 e 5, estabelecidas pela norma ASTM A36 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS).

Tabela 4 - Propriedades mecânicas do aço ASTM A36

PROPRIEDADES MECÂNICAS	
LE min. (MPa)	250
LR. (MPa)	400/550
ALOGAMENTO (%)	18 min

Fonte: Autoria própria, modificado de ACOBRIL³

Tabela 5 - Composição química do aço ASTM A36

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		
	Espessura	%
C. máx.	< 38,10mm	0,25
	38,11 a 63,50mm	0,26
	63,51 a 101,60mm	0,27
	101,61 a 150,00mm	0,29
Mn	19,06 a 63,50mm	0,80 a 1,20
	6,51 a 150,00mm	0,85 a 1,20
P máx.	0,040	
S máx.	0,050	
Si.	< 19,05mm	0,40 máx.
	19,06 a 150,00mm	0,15 a 0,40

Fonte: Autoria própria, modificado de ACOBRIL³

O aço ASTM A36 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS), tem uma vasta usualidade em estruturas e aplicações comuns na indústria. Na construção civil é bastante empregada, já que é classificado como um aço estrutural, estes aços apresentam média e alta resistência mecânica, suas propriedades são bastante adequadas para serem submetidos a carregamentos, pois possuem boa resistência, ductilidade e outras propriedades (METAPLAN)⁴.

Este aço é categorizado como um material de boa soldabilidade e aço carbono de média resistência mecânica, pois possui pequeno percentual de carbono. Dentre os aços estruturais existentes no mercado, o mais empregado é o aço ASTM A36.

Segundo a AWS – American Welding Society (2003), a soldabilidade é caracterizada como a possibilidade de um material ser soldado nos requisitos de

³ Disponível em: < <http://www.acobril.com.br/wp-content/uploads/2018/07/astm-a36.pdf> > Acessado em: 24 fevereiro 2019

⁴ Disponível em: < <http://www.metalplanestruturas.com.br/processos/fabricacao/aco-estrutural> > Acessado em 23 fevereiro 2019

fabricação conferidas por uma estrutura particular, projetada de forma cabível e de se comportar adequadamente em serviço.

Para Moreira (2008), os níveis de impureza juntamente com os teores de C e Mn influenciam diretamente na soldabilidade dos aços carbono. Os percentuais de carbono presente nos aços diferenciam seu nível de soldabilidade, pois aços com até 0,15% de carbono são considerados aços com excelente soldabilidade, entre 0,15% e 0,30% de carbono possuem boa soldabilidade, neste caso, há a possibilidade de endurecimento.

3.2.2 Eletrodo Revestido E6013

No presente trabalho, será utilizado o eletrodo E6013 para produção dos corpos de prova, estes eletrodos apresenta um revestimento rutilico com alto teor de dióxido de titânio. O seu uso é indicado para chapas de pequenas espessuras, pois sua penetração é baixa e não danifica perfurando a peça, apresenta uma transferência de material suave (MARQUES, MODENESI e BRACARENSE, 2011).

Figura 10 - Eletrodo Revestido E6013



Fonte: CLASF⁵

Este eletrodo é projetado para ser usado em todas as posições de trabalho e corrente, seu revestimento contém potássio e desta maneira é capaz de estabilizar o arco na soldagem com corrente alternada (ESAB, 2010)

⁵ Disponível em: < <https://www.clasf.com.br/q/eletrodos/> > Acessado em: 01 Março 2019

3.2 Confeções dos corpos de prova

As dimensões dos corpos de prova foram baseadas na norma NBR 6892, e para isso foi necessário o uso de um equipamento denominado “Cut-Off”, esta máquina, como ilustrada na Figura 11, utiliza um disco abrasivo de fina espessura, podendo assim realizar cortes mais precisos, possui também um sistema de refrigeração interno.

Figura 11 - Máquina Cut-Off



Fonte: Autoria própria

As barras chatas de aço ASTM A36, foram cortadas de acordo com as dimensões requeridas, e com o auxílio da máquina “Cut-Off”.

Foram executados cortes e elaborados os 18 corpos de prova para poder realizar a soldagem dos mesmos.

3.3 Soldagens dos corpos de prova

As soldas foram realizadas no laboratório de usinagem da própria universidade (UFERSA – Caraúbas), a máquina retificadora de marca ESAB, modelo Origo Arc 426 como demonstrada na Figura 12.

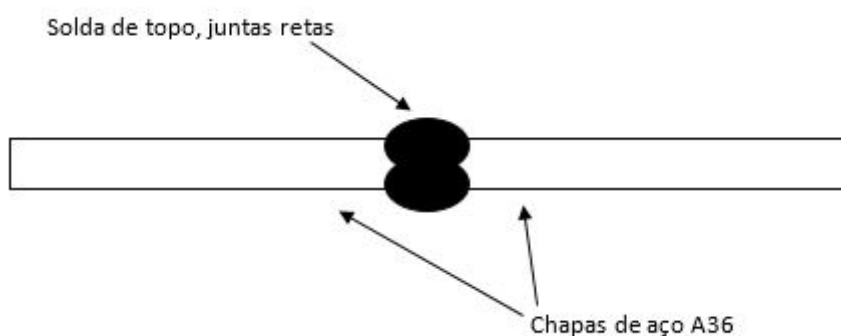
Figura 12 - Máquina retificadora utilizada para soldagem



Fonte: Autoria própria

A máquina foi configurada com corrente de 100A e mantida esta configuração na produção da soldagem de todas as 18 peças. Como ilustrado na Figura 13, todos os corpos de prova foram soldados com eletrodo E6013, com juntas retas e dos dois lados da peça.

Figura 13 – Ilustração das peças após soldagem.



Fonte: Autoria própria

3.4 Tratamento térmico das peças produzidas

Os tratamentos térmicos dos aços têm como objetivos principais reduzir as tensões residuais, melhoria da usinabilidade, aumento da ductilidade, aumento da resistência ao desgaste, melhoria da resistência ao desgaste, a corrosão e a

fluência, aumento ou diminuição da dureza e resistência mecânica, assim também capaz de modificar as propriedades elétricas e magnéticas. (CHIAVERINI, 1996)

Para a realização do tratamento térmico foi determinado fatores, como temperatura, tempo de permanência e resfriamento.

Figura 14 - Forno Lucadema, modelo Luca 200



Fonte: Autoria própria

Após processo de soldagem de todos os corpos de prova, foi necessário aguardar o forno atingir a temperatura de 600°C como demonstrado na Figura 14, logo após foram inseridos os 12 corpos de prova, os seis primeiros permaneceram por 15 minutos a esta temperatura, e os outros seis permaneceram por 30 minutos na mesma temperatura de 600°C.

Assim que retirada as peças do forno, foram expostos ao ar livre para um resfriamento lento.

O tratamento térmico para alívio de tensões, segundo James (2011), deve-se manter a temperatura em 600°C por uma hora para cada 25mm de espessura.

3.5 Ensaio de Microdureza

Para realizar os ensaios de microdureza, foi necessário preparar as amostras de forma adequada, as peças foram cortadas horizontalmente como mostrada na Figura 15, para que seja possível visualizar o perfil do cordão de solda do corpo de prova.

Figura 15 – Corpo de prova cortado para ensaio de microdureza



Fonte: Autoria própria

Para que possa ser possível fazer o ensaio de microdureza, é necessário preparar a superfície da peça, e pra isso existe o procedimento de lixamento. O lixamento das peças deve ser realizado com alternância das lixas com granulometria cada vez menor, e deve ser alternada a posição da peça na direção de (90°) para cada lixa subsequente até desaparecer os riscos deixados pela lixa anterior (ROHDE, 2010).

ROHDE (2010) diz que para se conseguir um lixamento eficaz, existem fatores que devem ser evitados para não ocasionar uma imagem falseada da amostra, deve-se usar técnicas adequadas de lixamento para que não surjam deformações plásticas diante a pressão de trabalho e velocidade de lixamento.

O lixamento e preparação das peças para o ensaio de microdureza foi realizado com o auxílio da máquina Politriz como demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Politriz de velocidade variável

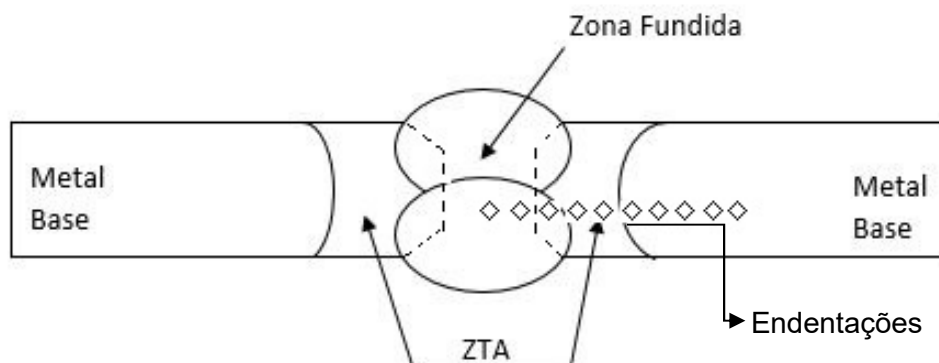


Fonte: autoria própria

Logo após todo o processo de preparação das superfícies das peças, se deu início ao ensaio de microdureza.

A análise de microdureza foi feita através do método vickers, onde foi usada uma carga de 0,5 Kgf a 15 segundos, aplicada na seção transversal da solda em pontos espaçados igualmente, sendo possível medir dureza na zona fundida, na zona termicamente afetada e no metal base.

Figura 17 - esquematização da realização dos ensaios de microdureza.



Fonte: (WAINER, BRANDI e MELLO, 1992), com alterações

Este ensaio foi realizado através de um microdurômetro da marca Insize ish-tdv2000 (Figura 18), na qual foram realizados 30 pontos com distância de 0,5mm entre eles, a medição foi executada em apenas um dos lados do corpo de prova como demonstrado na Figura 17.

Figura 18 - Microdurômetro utilizado para ensaios de microdureza Vickers.



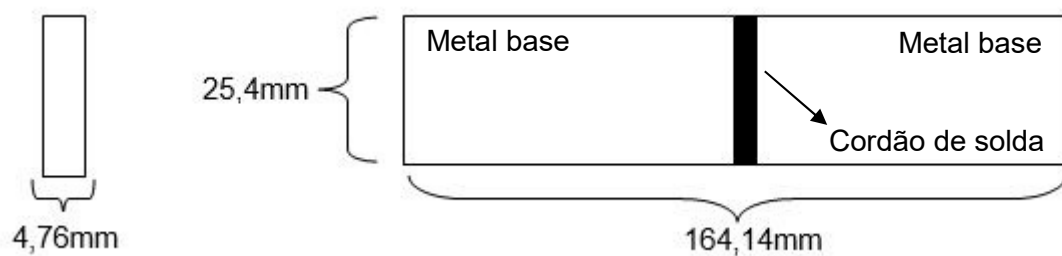
Fonte: Autoria própria

3.6 Ensaio de tração

Para o ensaio de tração foi necessário utilizar o laboratório da UFERSA campus Mossoró, pois a máquina de ensaio de tração não existe na universidade do campus Caraúbas. Foi utilizada a Máquina universal de ensaios, modelo DL3.000, contém capacidade de até 3000 kgf, de marca EMIC.

O dimensionamento dos corpos de prova soldados para o ensaio de tração, foram feitos de acordo com a norma NBR 6892. Após soldadas as peças, as mesmas caracterizavam medidas de 164,14mm conforme a Figura 19 mostra.

Figura 19 - Representação com medidas das vistas lateral e frontal do corpo de prova soldado



Fonte: Autoria própria

A Figura 19 representa respectivamente a vista lateral da peça com espessura de 3/16", e a vista frontal após soldagem. Foram realizados 9 ensaios no total, onde foi possível avaliar as possíveis mudanças nos limites de escoamento e ruptura do material antes e após o tratamento térmico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo serão expostos os resultados obtidos neste trabalho, e assim poder discutir sobre.

4.1 Resultados dos ensaios de tração

Os corpos de prova foram divididos em três grupos, o primeiro grupo composto por 3 corpos de prova sem tratamento térmico de alívio de tensões, o segundo grupo com 3 corpos de prova com TTAT com permanência de 15 minutos no forno, e por fim o terceiro grupo com 3 corpos de prova com TTAT com permanência de 30 minutos no forno.

4.1.1 Corpos de prova sem tratamento térmico

Iniciando com o primeiro grupo de corpos de prova sem tratamento térmico alcançamos os seguintes resultados:

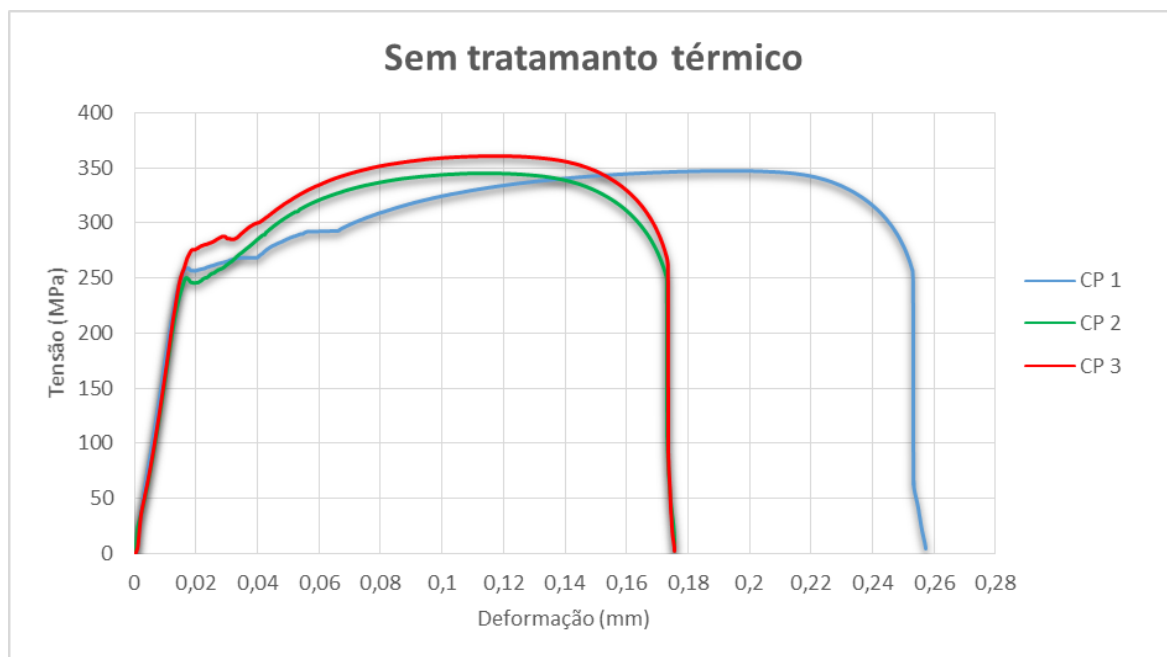
Figura 20 - Corpos de prova sem tratamento térmico, após ruptura.



Fonte: Autoria própria

Todos os três corpos de prova não romperam na solda como apresentado na Figura 20, mas aproximadamente nos mesmos locais, porém houveram algumas diferenças em seus resultados, na Figura 21 demonstram os dados encontrados nos três corpos de prova submetidos ao ensaio de tração

Figura 21 – Dados dos corpos de prova sem TTAT.



Fonte: Autoria própria

Os resultados do primeiro grupo de ensaio foram bastante cabíveis as propriedades mecânicas do material empregado, podemos averiguar que os três corpos de prova obtiveram valores bastante próximos, o ensaio que houve distinção nos dados colhidos, foi o ensaio do primeiro corpo de prova, na qual houve uma maior deformação plástica.

4.1.2 Corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos

O segundo grupo será os corpos de prova com tratamento térmico de alívio de tensões, as três peças foram submetidas a permanecer durante 15 minutos a uma temperatura de 600°C.

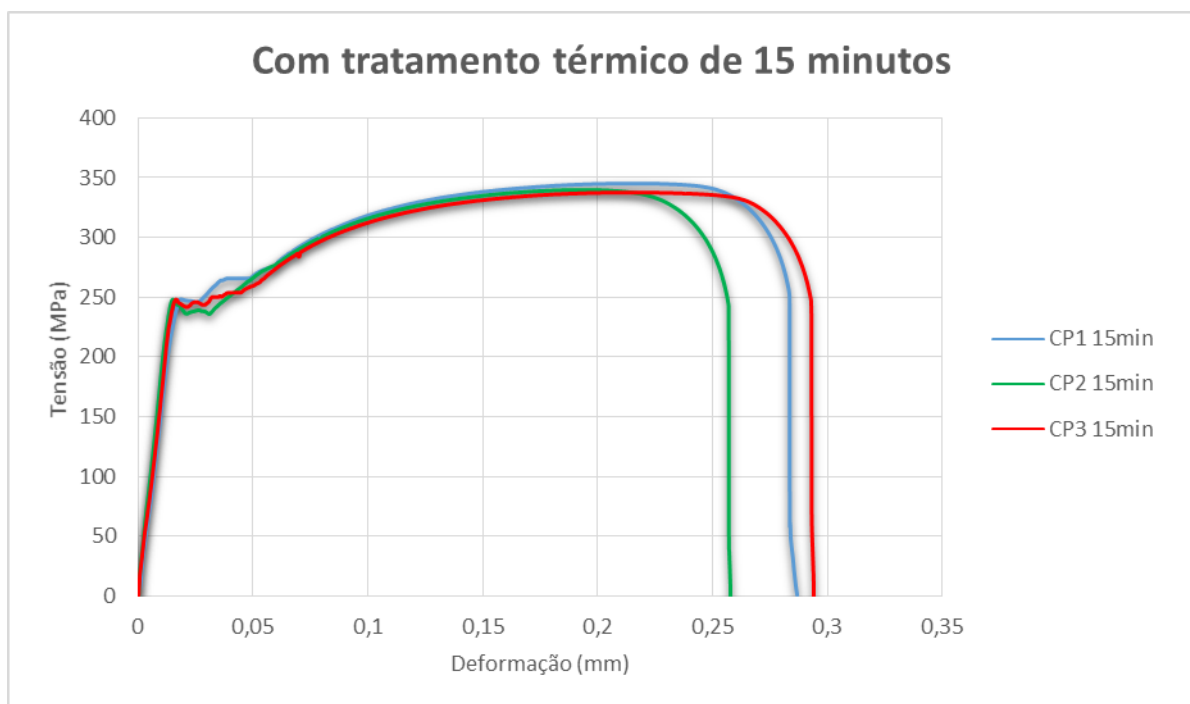
Na Figura 22, os três corpos de prova não caracterizaram rupturas na solda, as peças romperam em locais próximos nos três ensaios. Os dados foram coletados e confrontados.

Figura 22 - Corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos, após ruptura.



Fonte: Autoria própria

Figura 23 – Dados dos corpo de prova com tratamento térmico de 15 min



Fonte: Autoria própria

A Figura 23, demonstram os dados coletados após ensaios, podemos comparar os gráficos nos três ensaios e perceber que o comportamento dos resultados são bastante próximos e compatíveis.

4.1.3 Corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos

O terceiro grupo contém os corpos de prova que passaram por tratamento térmico de alívio de tensões, permanecendo a uma temperatura de 600°C durante 30 minutos.

A Figura 24 contém os três corpos de prova do terceiro grupo apresentado para ensaio de tração, podemos identificar que a ruptura em um dos corpos de prova foi localizada na solda, podendo existir vários fatores para o ocorrido, falta de penetração da solda, trincas, rechupe e entre outros fatores, porém os dados foram coletados e apresentados para poderem ser comparados com os outros grupos ensaiados.

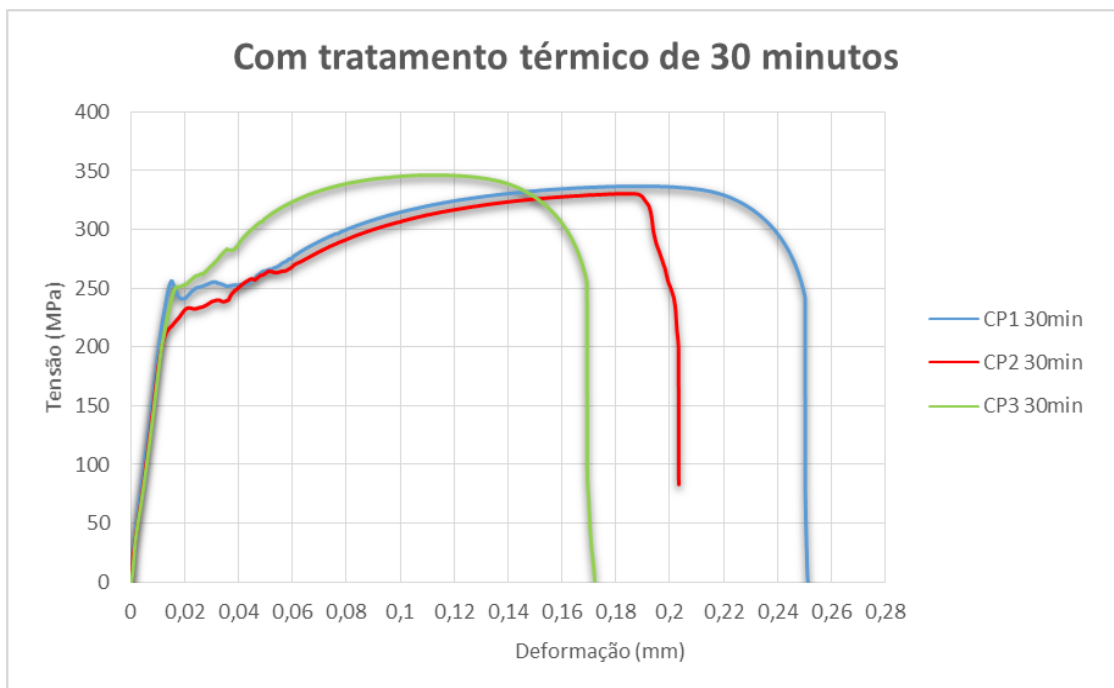
Figura 24 - Corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos, após ruptura.



Fonte: Autoria própria

A Figura 25 apresenta os dados adquiridos do terceiro grupo de corpos de prova, onde obtiveram dados relativamente próximos entre os mesmos.

Figura 25 - Terceiro corpo de prova, peça com tratamento térmico de 30 min



Fonte: Autoria própria

Neste grupo, uma das peças rompeu na junta soldada, porém os valores obtidos foram dentro da média entre os outros corpos de prova, apresentaram propriedades mecânicas similares.

Tabela 6 – Média das propriedades mecânicas obtidas das amostras.

Corpos de prova	Tensão máx. (Mpa)	Escoamento (Mpa)	Alongamento (%)
Sem Tratamento Térmico	350,6	250,6	20,0
Com Tratamento Térmico de 15min	340,7	243,6	27,7
Com Tratamento Térmico de 30min	336,1	234,8	20,7

Fonte: Autoria própria

Com a Tabela 6, é possível identificar as diferenças e semelhanças nos ensaios dos diferentes grupos, os dados estão organizados e sequenciados de

acordo com o tipo do corpo de prova, respectivamente as peças 1,2 e 3 de cada tipo de corpo de prova.

Com a média dos valores obtidos é possível averiguar as mudanças adquiridas após o tratamento térmico de alívio de tensões, o grupo de corpos de prova onde o TTAT permaneceu por 15 minutos, obteve alongamento superior aos outros grupos de corpos de prova, porém houve uma diminuição nos limites de escoamento e de tensão máxima.

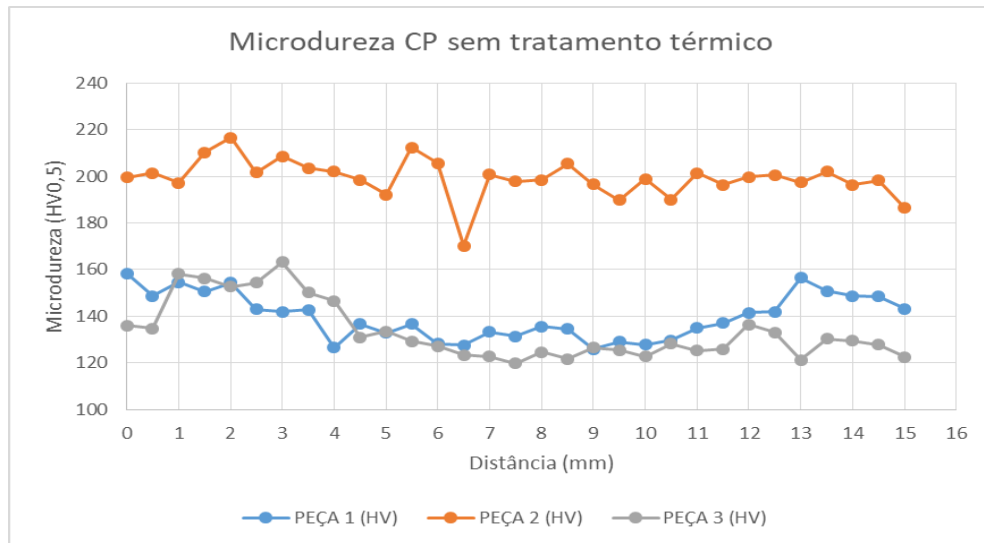
4.2 Resultados dos ensaios de microdureza

Nos ensaios de microdureza foram divididos em três grupos de corpos de prova, da mesma forma em que foram divididos no ensaio de tração, usando os mesmos critérios para cada grupo. Primeiro grupo com corpos de prova sem tratamento térmico, segundo grupo com tratamento térmico de alívio de tensões com duração de 15 minutos a uma temperatura de 600°C, e o terceiro grupo com tratamento térmico de alívio de tensões com duração de 30 minutos a uma temperatura de 600°C.

As Figuras 26, 27 e 28 são referentes aos dados coletados nos ensaios de microdureza realizado nos 3 grupos de corpos de prova.

Os dados encontrados nos ensaios de microdureza apresentaram características semelhantes dentro de cada grupo de corpos de prova, porém, quando comparadas entre grupos, houveram comportamentos um pouco diferente, mas isso foi uma reação esperada durante este trabalho.

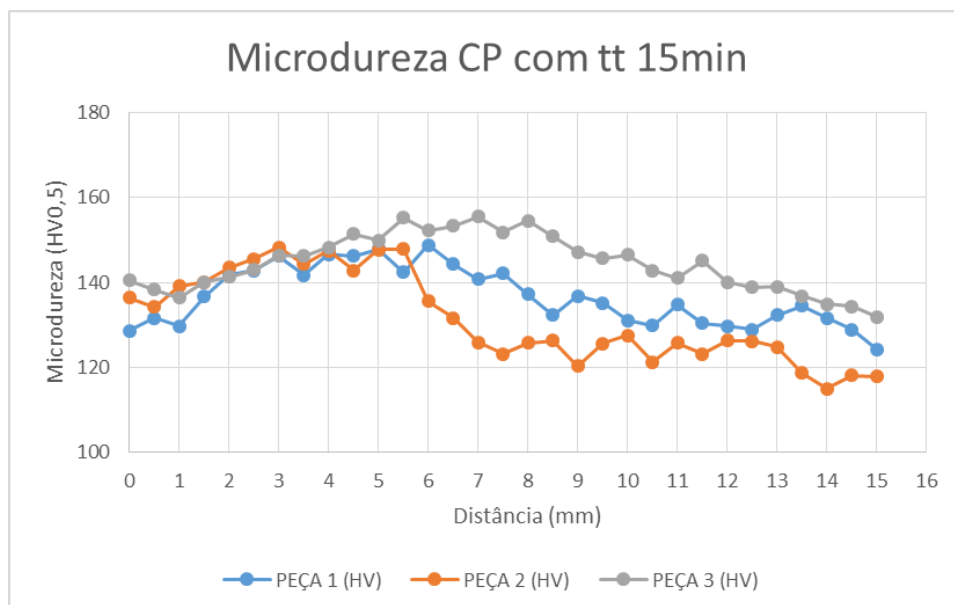
Figura 26 - Ensaio para corpos de prova sem tratamento térmico



Fonte: Autoria própria

Fazendo uma análise da Figura 26, é possível identificar nos dados obtidos nos primeiros 4 milímetros, existe uma constância nos valores, nesta zona se encontra a zona de fundida, logo após os dados tendem a uma leve baixa de dureza pois é a zona termicamente afetada. Neste grupo de corpos de prova, houve uma diferenciação de dureza entre 140HV e 200HV.

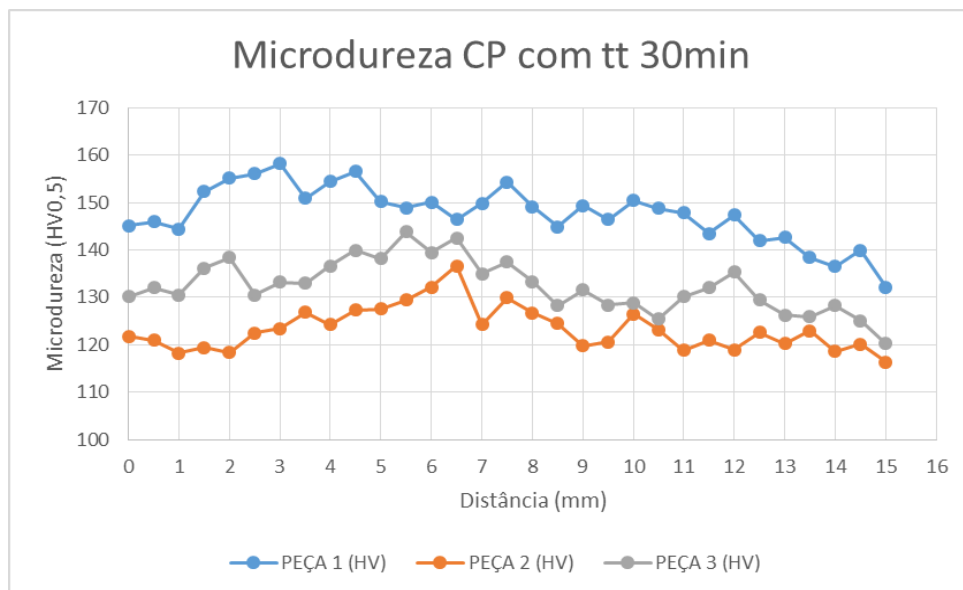
Figura 27 - Ensaio para corpos de prova com tratamento térmico de 15 minutos



Fonte: Autoria própria

As Figuras 27 e 28, referentes aos corpos de prova com tratamento térmico, onde a temperatura é mantida e alterado somente o tempo de permanência. Confrontando o comportamento dos dados destes dois grupos de ensaio, é possível perceber uma semelhança nos dados e que existe uma crescente dos dados entre a zona fundida e a zona termicamente afetada, porém os dados tendem a uma decrescente entre a zona termicamente afetada e o metal base.

Figura 28 - Ensaios para corpos de prova com tratamento térmico de 30 minutos



Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

A partir das análises e dados levantados nos ensaios, pode-se constatar que após o tratamento térmico de alívio de tensões, houveram alterações nos limites de ruptura e de escoamento, havendo também uma diferença no alongamento do material empregado. Com a aplicação do tratamento térmico de alívio de tensões as propriedades mecânicas foram alteradas, porém não foram tão distintas das peças sem tratamento térmico, mas ficou claro que o alongamento do material teve uma satisfatória evolução.

Os dados dos ensaios de microdureza nos mostrou que o alívio de tensões aplicado nas peças soldadas, alteraram os gráficos de dureza, onde a ZTA foi alterada em relação aos dados apresentados dos corpos de prova sem tratamento térmico, pode-se concluir que os efeitos do TTAT sobre as juntas soldadas são viáveis e cabíveis, alterando sua resistência e minimizando o aparecimento de empenos e trincas.

REFERÊNCIAS

- ÁQUILA, V. **Soldagem por eletrodo revestido**. Salvador: L&A SOLDAGEM, 2012.
- ASTM A36 / 36M. **Standard Specification for Carbon Structural Steel**: Annual Book of ASTM Standards. USA: [s.n.]. 2008. 4p.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CHIAVERINI, VICENTE. **Aços e Ferros Fundidos**: Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7a Edição. São Paulo. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996.
- DRIMAFER. Drimafer. **Drimafer máquinas e equipamentos**, 2014. ISSN 1. Disponível em: <<http://www.drimafer.com.br/soldagem/retificador-de-soldagem-ou-maquina-de-solda.html>>. Acesso em: 22 fevereiro 2019.
- ENGINEERS, A. S. O. M. **ASME**: boiler and pressure vessel code. New York: ASME international, 2013.
- ESAB, C. **Catalogo ESAB Consumíveis**. ESAB. [S.l.]. 2010.
- JAMES, M. N.; Residual Stress Influences on Structural Reliability, Engineering Failure Analysis, 2011.
- JOAQUIM, Roberto; RAMALHO, José. **Equipamentos para soldagem com eletrodo revestido**. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=823>. Acesso em: 09 nov. 2018.
- JORGE, J. C. F. et al. Desenvolvimento de Procedimentos de Reparo por Soldagem de Amarras de Aço para Ancoragem de Plataformas de Petróleo. In: **Anais** do XXVII Congresso Nacional de Soldagem, Campinas, SP, outubro, 2001.
- Kiran DV, Cho DW, Lee HK, Kang CY NASJ. **A study of the quality of two-wire** tandem submerged arc welds under iso-heat input condition. Int J Adv Manufact Technol 2015;78(1-4):53–62.
- Lei XW, Dong S, Huang JH, Yang J, Chen SH, Zhao XK. **Phase evolution and mechanical** properties of coarse-grained heat affected zone of a Cu-free high strength low alloy hull structure steel. Mater Sci Eng A 2018;718:437–48.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem**: Fundamentos e tecnologia. Minas Gerais: UFMG, 2011.
- MOREIRA, A. F. **Influência da atmosfera protetora no cordão de solda obtido através dos processos de soldagem GMAW e FCAW**. 2008. 147 p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

NEVES, Alisson Caetano. **Análise comparativa dos eletrodos revestidos E6010 e E6013 em aço SAE 1020**. 2013. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Eletromecânica, Senai, Santo Antônio da Platina, 2013. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgWVYAF/analise-comparativa-dos-eletrodos-revestidos-e6010-e6013>>. Acesso em: 1 nov. 2018.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC-Livros técnicos e Científicos Editora S.A., 1982.

Peng Y, Wang AH, Xiao HJ, Tian ZL. **Effect of interpass** temperature on microstructure and mechanical properties of weld metal of 690 MPa HSLA steel. Mater Sci Forum 2012;706–709:2246–52.

QUITES, A. M.; DUTRA, J. C. **Tecnologia da Soldagem a Arco Voltáico**. Florianópolis: Edeme, 1979.

ROHDE. R. Almir. **Metalografia preparação de amostras**. Santo Ângelo, 2010.

SALVADOR, L. S. F. **Efeito da Composição Química e Tratamento Térmico PósSoldagem nas Propriedades de Metal de Solda de Aços de Alta Resistência**. Dissertação M. Sc., COCPG/CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

SARNI, Mírian Isabel Junqueira. **Estudo da soldagem GMAW convencional e pulsada de aço estrutural temperado e revenido utilizando eletrodo de alma metálica**. 2011. 81 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/96485>>.

Scotti A, Li HJ, Mirand RM. **A Round-Robin test with thermal simulation** n of the welding HAZ to draw CCT diagrams: a need for harmonized procedures and microconstituent terminologies. Sold Insp 2014;19(3):279–90 [in Portuguese].

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: Processos e metalurgia**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1992.

Xue P, Ma ZY, Komizo Y, Fugii H. **Achieving ultra** fine-grained ferrite structure in friction stir processed weld metal. Mater Lett 2016;162:161–4.