

ANÁLISE DA INFLUENCIA DO ÂNGULO DE CHANFRO NA RESISTÊNCIA EM UMA JUNTA DE AÇO INOXIDÁVEL¹

Jeverson Martini²

Paulo Vicari³

Daiane Carla Casonatto⁴

Paulo Miguel de Toni⁵

RESUMO

Na indústria metal mecânica os processos de soldagem são de grande importância, sendo utilizados na união de componentes para fabricação de máquinas e equipamentos. O estudo teve como objetivo analisar a influência do ângulo de chanfro em juntas de aço inoxidável austenítico AISI 304, soldadas de topo, pelo processo de soldagem TIG. Neste estudo foram preparados corpos de provas com espessura específica de 6mm e com ângulos de chanfro em V de 0°, 30°, 45° e 60° e realizado ensaio mecânico de tração em referência normativas (ASTM E8/E8M e ABNT NBR 6892-1). Considera-se com este estudo que, para limite de resistência mecânica, uma junta soldada com ângulo em V de 30°, no sentido de soldagem longitudinal obteve tensão de 578,80 MPa e para soldagem transversal uma tensão de 310,11 MPa, demonstrando que esses ângulos de chanfro mostraram-se mais resistente com os demais ângulos estudados, auxiliando na melhor escolha para soldagem no material aço inox, de forma a contribuir com os profissionais que realizam a atividade.

Palavras-chave: Aço inoxidável. Ensaio de tração. Ângulo de chanfro.

1 INTRODUÇÃO

As indústrias visam constantemente a evolução em seus processos de produção e redução de custos. Na soldagem a principal seleção de um processo de produção é a capacidade em alcançar os níveis de segurança e qualidade com o menor custo. O processo de soldagem quando realizado de forma inadequada pode ocasionar uma solda de baixa qualidade, não atendendo os requisitos de qualidade necessários na indústria alimentícia.

Na região do Oeste de Santa Catarina, a demanda de aço inoxidável AISI 304 pelas empresas é grande. A escolha do material inerte acontece pois o mesmo não forma microfissuras evitando a possibilidade de surgimento de bactérias. Segundo dados da Associação Brasileira do Aço Inoxidável, estimasse que o consumo nacional do material é de 298 mil toneladas por ano, sendo que destes, aproximadamente 350 toneladas são consumidas

¹ Pré-requisito para obtenção do título de Engenharia Mecânica.

² Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail: jeversonmartini@hotmail.com.

³ Engenheiro Mecânico, UCEFF Faculdades, Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: paulo.vicari@yahoo.com.

⁴ Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: daianecasonatto@uceff.edu.br.

⁵ Docente do curso de Engenharia Mecânica UCEFF. E-mail: paulomiguel@uceff.edu.br._

somente no Oeste Catarinense (ABINOX, 2017). A soldagem permite a união de diversos tipos de materiais, aliando rapidez, economia e segurança na montagem de conjuntos. Para Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a operação de soldagem é a união de duas ou mais peças de diferentes tipos de materiais, através de aquecimento até uma apropriada temperatura podendo-se usar material de adição. A soldagem de vários processos com a deposição de material sobre uma superfície intenciona a melhoria de peças desgastadas ou na união de metais.

Embora o processo de soldagem seja amplamente difundido no meio industrial, não há muita preocupação de algumas empresas com relação a qualificação dos soldadores, bem como conhecimento que alguns parâmetros de soldagem influenciam na resistência mecânica da junta soldada, podendo trazer consequências como falta de penetração e baixa resistência.

A falta de mão de obra qualificada pode estar relacionada com: o desinteresse dos profissionais soldadores em realizar capacitações sobre o tema, e a falta ou baixo investimento das empresas com a educação permanente de seus colaboradores. Assim, os trabalhadores muitas vezes não têm conhecimento operacional como os ângulos de chanfros influenciam na resistência mecânica da junta e acabam realizando os processos de forma empírica. Diante do exposto, surge o questionamento: **Qual é a influência do ângulo de chanfro na resistência mecânica de juntas de aço inoxidável, soldadas pelo processo TIG?**

Ademais, este estudo tem como objetivo geral analisar a influência do ângulo de chanfro em juntas de aço inoxidável, soldadas de topo, pelo processo de soldagem TIG e como objetivos específicos: executar teste com ensaio mecânico de tração em perfil de chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304, com espessura específica definida de 6mm e comparar as resistências mecânicas para diferentes ângulos de chanfro.

Neste ponto de vista, esta pesquisa se justifica pelo fato de auxiliar na melhor escolha do ângulo de chanfro para soldagem no material aço inox, pensando na resistência mecânica com base em normas técnicas, de forma a contribuir com os profissionais que realizam a atividade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA/REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O ARCO ELÉTRICO DE SOLDAGEM

O arco elétrico na soldagem é concebido pela ligação de uma corrente elétrica entre a ponta do eletrodo e a peça, sendo protegido por um gás inerte. A descarga elétrica é sustentada por um gás de alta temperatura, conhecido como plasma, que produz energia suficiente para ser

consumido na soldagem, pela fusão de materiais e peças a serem unidas (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

A soldagem TIG hoje pode ser usada em quase todos os materiais, mas principalmente em ligas de aço inoxidável e alumínio, produzindo uma solda limpa, de alta resistência com alta qualidade (SANTOS, 2015).

Outros motivos que levam ter uma boa aparência e acabamento neste processo, são a estabilidade e suavidade do arco elétrico, além da habilidade do soldador ao manusear a tocha (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Para esse processo a união dos materiais metálicos consiste em um aquecimento e fusão através do arco elétrico gerado pelo eletrodo de tungstênio. No decorrer da soldagem se faz presente um fluxo de gás inerte que auxilia na proteção do arco contra a contaminação atmosférica. O arco elétrico desse processo é formado pela passagem de corrente elétrica através por meio da ponta do eletrodo de tungstênio e o metal base, sendo protegido pelo gás inerte (CUNHA, 2013).

2.2.1 Parâmetros de soldagem TIG

A corrente de soldagem no processo TIG é um dos parâmetros mais importantes, que está ligado diretamente na influência da penetração do cordão de solda, ou seja, quanto maior a corrente, maior será a penetração. Contudo, altas correntes são difíceis de manusear e solicitam uma maior velocidade de soldagem. A velocidade de soldagem é ajustada conforme a corrente de soldagem (PRITCHARD, 2001).

A escolha do diâmetro do eletrodo é proporcional a corrente de soldagem, visto que eletrodos com maior diâmetro aguentam maiores correntes de soldagem. Os eletrodos são afiados de forma longitudinal em relação ao seu corpo, para que a corrente de soldagem haja diretamente na penetração do cordão de solda. Quanto mais agudo sua ponta, maior será a penetração e menor largura do cordão de solda (PRITCHARD, 2001).

A seleção correta da vazão do gás de proteção influencia na estabilidade do arco elétrico, geometria do cordão de solda e proteção da poça de fusão. Não pode ser excessivo e nem deficiente, isso ocasiona descontinuidades e aumento dos custos na soldagem (MACHADO, 1996).

O Quadro 1 demonstra os parâmetros operacionais recomendados para o processo TIG.

Quadro 1 - Valores utilizados no processo de soldagem TIG em aço inoxidável

Espessura (mm)	Tipo de junta	Diâmetro do eletrodo(mm)	Diâmetro do metal de adição (mm)	Corrente(A)	Vazão de argônio (l/min)	Número de passes	Velocidade da soldagem (cm/min)
4	Chanfroem V	2.4	3	120-200	5	1	25
5		2.4	3.4	200-250	5	1	25
6		2.4	3.4	200-250	12	2	25

Fonte: (Adaptado de WAINER; BRANDI; DE MELLO, 1992).

A escolha correta do parâmetro de soldagem será responsável pela qualidade do cordão de solda, assim é preciso entender e conhecer cada variáveis para o desenvolvimento do processo.

2.3 CONSUMÍVEIS

A escolha do consumível no processo de soldagem TIG é definido em função de várias condições do seu uso, sejam elas: Pelo metal base, a fonte de energia, produtividade, espessura, tipo de junta, entre outros fatores (CUNHA, 2013).

2.3.1 Material de adição

A adição de material é muito importante, pois na escolha correta dará um bom resultado e características ideais desejadas no cordão de solda. Para atender a Norma AWS A5. 18-79, na soldagem TIG em aços inoxidáveis o metal de adição é comercializado em formas de varetas ou eletrodo nu, que varia de acordo com sua composição química, Carbono (C), Silício (Si) e Manganês (Mn). Logo o diâmetro da vareta é selecionado conforme aplicação e espessura das chapas a serem soldadas (SANTOS, 2015).

2.3.2 Gás de proteção

O gás de proteção tem como objetivo proteger a solda de gases externos evitando a contaminação na poça de fusão e auxilia na penetração da solda e estética do cordão. O argônio, hélio ou misturas (com pureza de aproximadamente 99,9%), são gases que não reagem com os metais utilizados no processo de soldagem, tendo em vista que eles proporcionam um arco mais

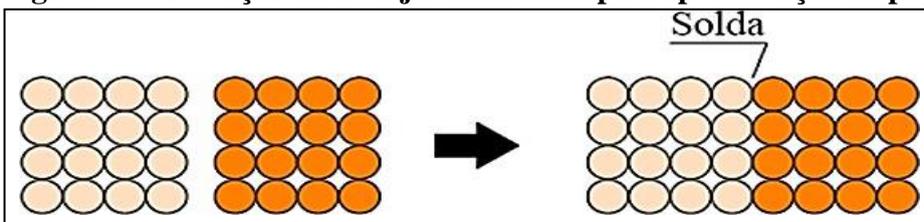
estável, facilidade no controle e grande penetração.

Independente do gás a se utilizar, sua pureza deve ser de aproximadamente 99,9%, pois com a presença de gases oxidantes como O₂ e CO₂ provoca uma rápida deterioração do eletrodo de tungstênio (OKUMURA, TANIGUCHI, 1982).

2.4 FORMAÇÃO DE UMA JUNTA SOLDADA

A Figura 1 mostra a formação de uma junta soldada, que de acordo com o processo os átomos da região superficial da peça, na qual nem todas as ligações atômicas estão estabelecidas se unem com os átomos da peça vizinha, assim, unindo dois elementos metálicos por uma pequena distância, realizados pela solda (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Figura 1 - Formação de uma junta soldada pela aproximação de peças



Fonte: (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

A realização da junta soldada tem como operação, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas, na região de contato entre as peças metálicas que estão sendo unidas (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

2.4.1 Chanfros

Em algumas situações onde se exige a preparação das peças a serem unidas são realizadas aberturas ou sulcos que indicam a região para conter a solda, chamados de chanfro. Inúmeros tipos de chanfros são utilizados para diferentes aplicações, na qual é escolhido de acordo com o processo de soldagem, espessura da peça e tipo de junta (MODENESI, 2008).

Para a soldagem de topo em chapas de espessuras até 20 milímetros utilizam-se chanfros em V e espessuras superiores propõe-se chanfros em X (OKUMURA, TANIGUCHI, 1982). Dependendo das dimensões das peças e a facilidade de movimentação torna-se necessária a operação de usinagem no material para abertura do chanfro (MODENESI, 2008).

2.5 AÇOS INOXIDÁVEIS

Os aços inoxidáveis apresentam teor de cromo na faixa de 12% e níquel 30%, além de outros elementos como, molibdênio, titânio e nióbio, que podem ser acrescentados em sua estrutura, a fim de ajudar nas propriedades mecânicas aprimorando a tenacidade e soldabilidade, que fazem desse material relevante na engenharia (COLPAERT, 2008).

2.5.1 Aços inoxidáveis Austeníticos

Os aços inoxidáveis Austeníticos são considerados os mais importantes da classe, que de acordo com sua aplicação eles podem suportar elevadas temperaturas podendo suportar até 1100°C. Eles contêm ligas de ferro, cromo e níquel, não são endurecíveis e magnéticos, devido a sua estrutura austenítica (CHIAVERINI, 1986).

Dentre a série 300, o aço inoxidável AISI 304 é o tipo mais comum na aplicabilidade da indústria alimentícia. Apresenta baixo limite ao escoamento, limite a resistência elevado, excelente ductilidade, melhor soldabilidade e resistente a corrosão. Esse aço oferece maior segurança na limpeza e manutenção da higiene, evitando contaminações de microrganismos. (ARAÚJO et al., 2010). As principais propriedades mecânicas e composição química do metal, estão indicados no Quadro 2.

Quadro 2 - Composição e propriedades do aço inoxidável AISI 304

Designação da liga	Composição Química	Resistência à Tração	Dureza	Alongamento	Aplicações
AISI 304	18% de Cromo; 10% de Níquel; 3% de Molibdênio.	580 MPa	140	55 %	Equipamentos para indústria alimentícia e processamento químico.

Fonte: (Adaptado de CHIAVERINI, 1986).

O aço inox 304 depois do tratamento térmico é austenitizado, onde, é aquecido a elevada temperatura e resfriado rapidamente ao ar ou em água, assim, estabelecem valores citados acima (CHIAVERINI, 1986).

2.6 ENSAIO MECÂNICO NA SOLDAGEM

Na área de soldagem para análise e qualificação do processo sistematiza de vários tipos de ensaios mecânicos, para fim de determinação das propriedades que a solda possui. As

propriedades da solda realizada na junta devem ser compatíveis com as propriedades mecânicas do metal de base (SOUZA, 1982). A determinação do tipo de ensaio a ser utilizado em uma estrutura metálica varia de acordo com o material a ser empregado, sob a ação de esforços (CUNHA, 2013).

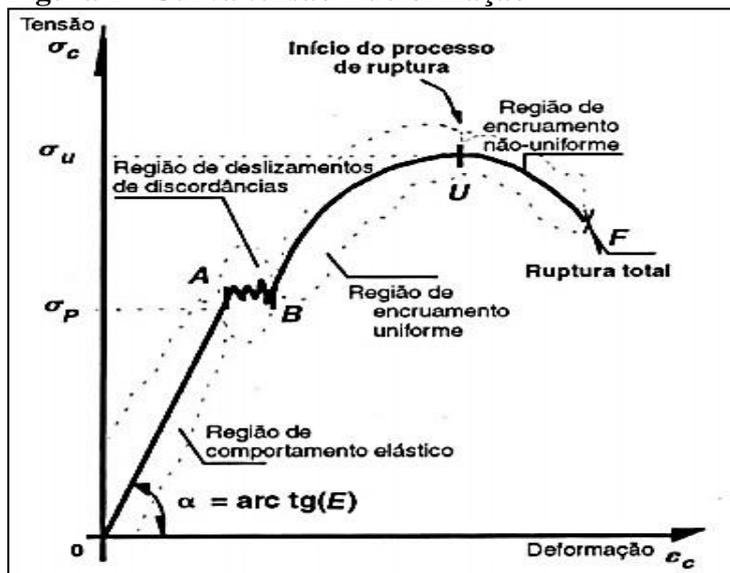
2.6.1 Ensaio de tração

O ensaio mecânico de tração é utilizado nas indústrias, pelas vantagens de oferecer dados quantitativos das propriedades e características dos materiais, além da produtividade dos resultados (GARCIA; SPIM; SANTOS, 1999).

Para padronização do ensaio de tração é utilizada a norma ASTM E8/E8M (2001), como objetivo de conceder a capacidade do material em suportar cargas aplicadas que tende a alongá-lo em direção uniaxial, de maneira constante até sua ruptura. O ensaio é realizado em corpo de prova com medidas e formas normalizados para que os resultados sejam comparados e reproduzidos.

Os resultados obtidos no ensaio, entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o processo, são fornecidos em forma de gráfico chamado de tensão x deformação, conforme Figura 2 (SOUZA, 1982).

Figura 2 - Curva tensão x deformação



Fonte: (GARCIA; SPIM; SANTOS, 1999)

Pode-se destacar as fases importantes do ensaio mecânico de tração:

0A – Fase elástica: Onde o material volta a suas dimensões originais após retirada de

esforços sobre ele.

AB – Escoamento: Caracteriza-se o alongamento do material (deformação plástica).

BF – Fase plástica: A partir do ponto B o material sofre uma deformação permanente, assim, não consegue retomar suas dimensões originais.

Limite de resistência – O material suporta uma máxima carga de tensão sem ter o rompimento. O material sofre uma redução de sua área, chamado de estrição (ZOLIN, 2010). A ABNT NBR 6892-1 (2015) refere-se aos ensaios de tração em temperatura ambiente nos materiais metálicos, que apresenta os parâmetros para a realização do ensaio em corpos de prova com diversas seções: retangular, quadrada e circular. A velocidade do ensaio de tração que rege a norma, deve-se estar dentro dos limites fornecido no Quadro 3.

Quadro 3 - Velocidade do ensaio de tração

Módulo de elasticidade do material(E) N/mm ²	Velocidade do ensaio N/mm ² . S ⁻¹	
	mín	máx
E < 150 000	2	10
E ≥ 150 000	6	30

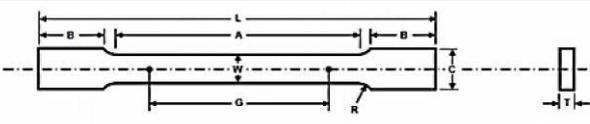
Fonte: (Adaptado de ABNT NBR 6892-1, 2015).

Não se tem um valor definido para o ensaio de tração, mas existem faixas e valores adequados que evitam tensões de escoamento altas (ABNT NBR 6892-1, 2015).

2.6.2 Corpo de prova

O corpo de prova é normalizado pelas diversas associações de normas técnicas e podem ser realizados com a retirada de pedaços diretamente da peça que se deseja ensaiar. Para descobrir algumas características e propriedades do material e ter comparação e certeza, é necessário um corpo de prova padrão que rege a norma ASTM E8/E8M (ASTM, 2001). A Figura 3 demonstra forma, dimensão e tolerância das chapas para a confecção dos corpos de provas metálicos de seção retangular.

Figura 3 - Formas do corpo de prova para ensaio de tração



Dimensão nominal	Dimensões, mm		
	Corpos de prova padrões		Corpo de prova reduzido
	Chapa grossa 40 mm	Chapa fina 12,5 mm	6 mm
G – Comprimento da parte útil	200,0 ± 0,2	50,0 ± 0,1	25,0±0,1
W – Largura da parte útil	40,0 ± 2,0	12,5 ± 0,2	6,0±0,1
T – Espessura	Espessura do material		
R – Raio de concordância, mín.	25	12,5	6
L – Comprimento total	450	200	100
A – Comprimento da parte útil	225	57	32
B – Comprimento da cabeça	75	50	30
C – Largura da cabeça, aprox.	50	20	10

Fonte: (ASTM, 2001).

Os corpos de prova podem ter sua parte útil de seção retangular e são extraídos de chapas ou placas. A parte útil é a região onde são feitas as medições das propriedades e características do material no ensaio de tração (SOUZA, 1982).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos e equipamentos utilizados para o desenvolvimento do trabalho proposto.

3.1 MATERIAIS

Foram selecionados quatro materiais para atender o objetivo deste estudo: material base, gás de proteção, material de adição e equipamentos.

3.1.1 Material base

O estudo foi realizado a partir de chapas laminadas de aço inoxidável AISI 304 com espessura de 6 mm como metal base, devido a esse ser um aço utilizado de larga escala no ramo de fabricação de máquinas e equipamentos para o setor alimentício, sendo que a espessura é uma das principais características para o desenvolvimento do estudo.

3.1.2 Gás de proteção

Conforme descrito no tópico 2.3.2, foi utilizado o gás de proteção Argônio puro,

operando com vazão de 12 l/min, para evitar a contaminação dos gases externos na poça de fusão, deixando uma solda de boa aparência, exigidos pelas indústrias alimentícias.

3.1.3 Material de adição

No estudo a utilização do metal de adição varia de acordo com a espessura e tem como função, compensar as variações nas montagens e aumentar a espessura da junta. O metal de adição a qual foi utilizado é o AWS ER 308L que é comercializado em forma de vareta, com diâmetro 2,4 mm, aplicável nos aços inoxidáveis austeníticos e que oferece excelente resistência a corrosão.

3.1.4 Equipamentos

Para a execução da soldagem nas amostras, fez-se o uso da máquina de soldagem TIG, SUMIG TIGER 163 de alta frequência (DC), com pré e pós fluxo de gás dando proteção após o término da soldagem e fabricação dos corpos de prova com geometrias e dimensões requeridas, foi utilizado a fresadora ferramenteira da marca KONE, modelo KFE-3BR. Para o ensaio de tração foi utilizada uma máquina universal de ensaios mecânicos, EMIC modelo DL 10000, que apresenta uma capacidade máxima de 100 kN. É bifuso de bancada, com duas colunas guias cilíndricas paralelas e faz a medição de força através de cargas intercambiáveis.

3.2 MÉTODOS

Através de normas e bibliografias encontradas, foram elaborados corpos de prova, a partir do material selecionado. Diante disso, procedimento como preparação do material base, soldagem das amostras, parâmetros de soldagem, preparação dos corpos de prova e ensaio de tração serão fundamentais para a validação do projeto.

3.2.1 Preparação do material base

Com objetivo de preparar os corpos de prova para o presente estudo, foram selecionados retalhos de chapas de aço inoxidável AISI 304 na espessura de 6 mm, cortadas em uma guilhotina em formas de tiras, com dimensões preliminares 102 mm de comprimento e 15 mm de largura.

Para a realização do ensaio, foram previstas 24 amostras, sendo uma quantidade considerada suficiente para obter melhores resultados nas comparações esperadas. Através do processo de usinagem foi realizado um chanfro em uma das arestas, com abertura de quatro ângulos, 0°, 30°, 45° e 60°, para posterior análise. Estas amostras foram selecionadas em pares, para a realização da união de solda entre elas e assim cumprir o ensaio proposto.

3.2.2 Soldagem das amostras

As amostras foram dispostas em uma posição plana para soldagem de junta de topo (1G), no sentido longitudinal e transversal. Na mesa de soldagem, para fins de evitar distorções das amostras, pontos de solda foram executados nas suas extremidades. Em seguida realizou-se a soldagem das amostras, através do processo de soldagem TIG, com aplicação do metal de adição AWS ER 308L conforme norma, realizando apenas um passe em uma das faces da chapa de aço inóx AISI 304. Após o processo, cordões de solda passaram por um processo de limpeza, removendo a carbonização e incrustação da soldagem.

3.2.3 Parâmetros de soldagem

O Quadro 4, define os parâmetros de soldagem TIG empregados nas amostras, que foram tomados como base as referências bibliográficas que são citadas na seção 2.2.1.

Quadro 4 - Parâmetro definido para o processo TIG

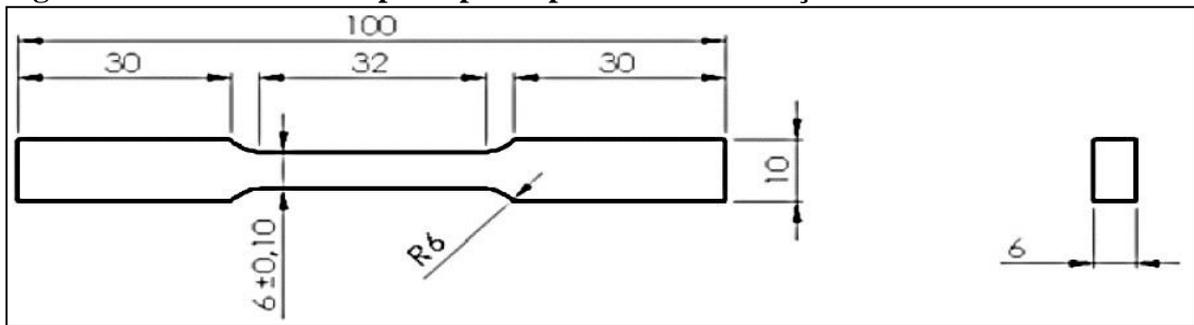
Espessura (mm)	Tipo de junta	Diâmetro do eletrodo (mm)	Diâmetro do metal de adição (mm)	Corrente (A)	Vazão de argônio (l/min)	Número de passes	Velocidade da soldagem (cm/min)
6	Chanfro (V)	2.4	3.4	200-250	12	1	25

Fonte: (Adaptado de WAINER; BRANDI; DE MELLO, 1992)

3.2.4 Preparação dos corpos de prova

Posteriormente à união, deu-se início à preparação dos corpos de prova. Conforme norma citada ASTM E8/E8M (2011), se faz a retirada de corpos de prova através da usinagem conforme Figura 4, deixando-as em formato adequado para a realização do ensaio mecânico, de que a forma a solda fique disposta em seu centro, no sentido transversal e longitudinal.

Figura 4 - Dimensão do corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: (Adaptado ASTM E8/E8M 2011).

3.2.5 Ensaio de tração

Para a execução do ensaio de tração, foram tomadas como referências as normas ABNT NBR 6892-1 (2015) que regulamenta ensaios a temperatura ambiente em materiais metálicos e ASTM E8/E8M (2011), que tem como objetivo conceder a capacidade do material em suportar cargas aplicadas, em que tende a alongá-lo até sua ruptura.

Para a realização deste ensaio foi definida uma velocidade de tensionamento igual à $10 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, a seleção desse parâmetro conforme sugere a norma ABNT NBR 6892-1, é citada na seção 2.6.1 (Quadro 3).

Para dar início ao ensaio, os parâmetros foram ajustados e o corpo de prova fixado nas garras da máquina. Cargas são aplicadas e o corpo de prova é levado à ruptura. Posteriormente, o equipamento gera um gráfico de tensão x deformação, que através de um *software* específico para este ensaio, será registrado em um computador interligado com o equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVAS

Conforme os métodos utilizados na seção 4.2.1 as amostras foram preparadas como podemos observar na Figura 5.

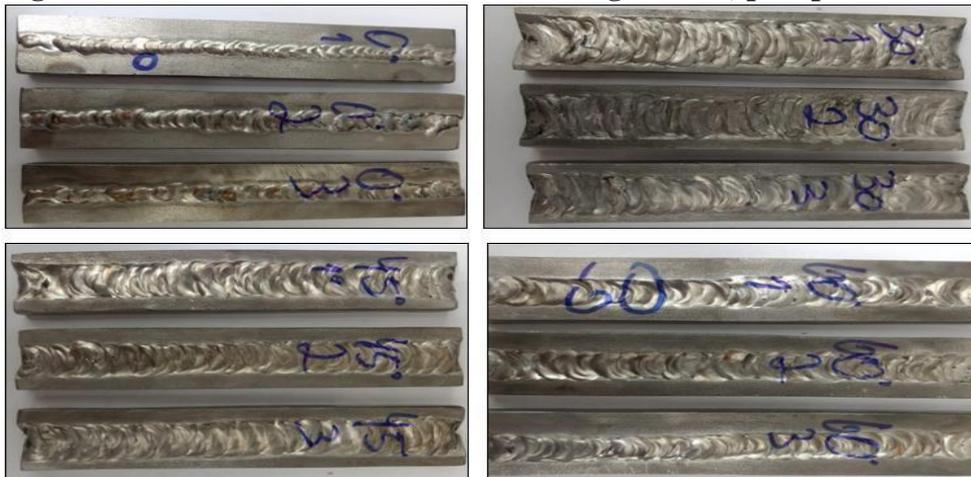
Figura 5 – Amostras preparadas



Fonte: Autor (2019).

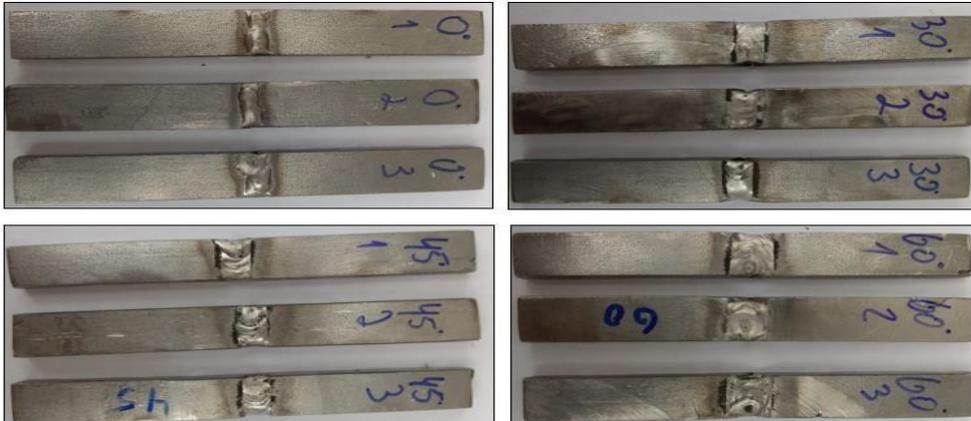
Os resultados obtidos dos métodos descritos na seção 3.2.2, são vistos nas Figuras 6 e 7, onde respectivamente as amostras passaram pelo processo de usinagem para a formação dos ângulos de chanfros em V de 0°, 30°, 45° e 60° e em seguida foram unidas pelo processo de soldagem TIG no sentido longitudinal e transversal.

Figura 6 – Amostras soldadas no sentido longitudinal, pelo processo TIG



Fonte: Autor, 2019

Figura 7 – Amostras soldadas no sentido transversal, pelo processo TIG



Fonte: Autor, 2019

A Figura 8 apresenta os corpos de prova, usinados e prontos para serem utilizados

no estudo.

Figura 8 – Corpos de prova usinados



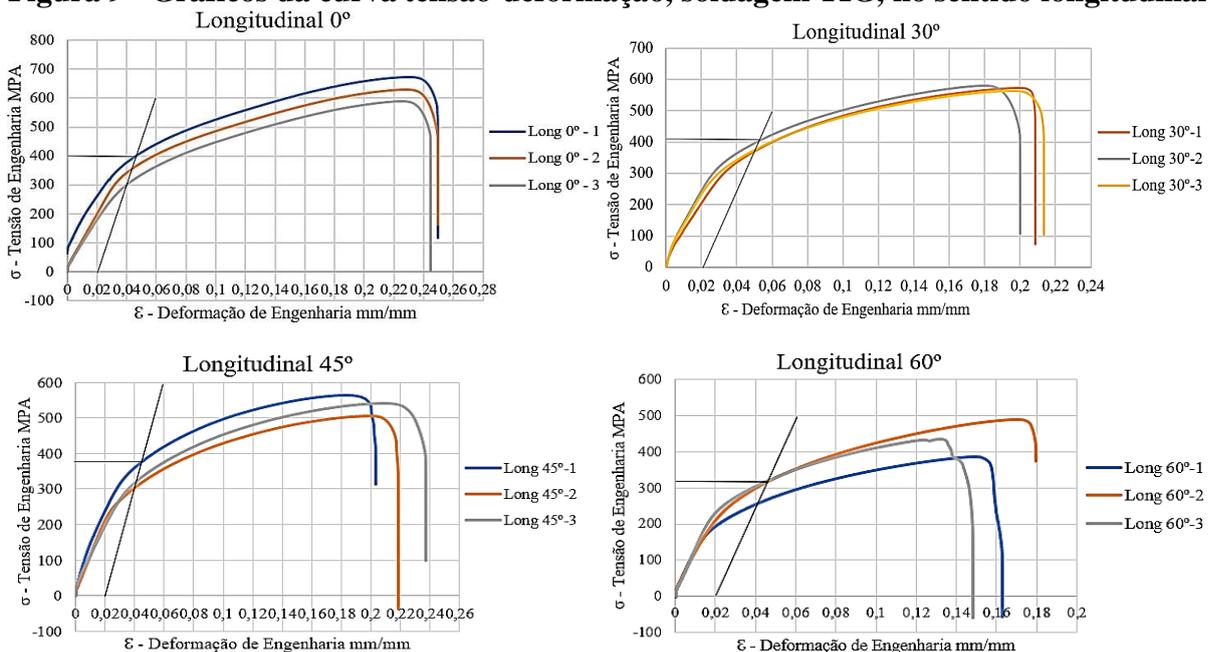
Fonte: Autor, 2019

O procedimento realizado buscou deixar os corpos de prova no formato adequado, segundo norma para o ensaio de tração.

4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

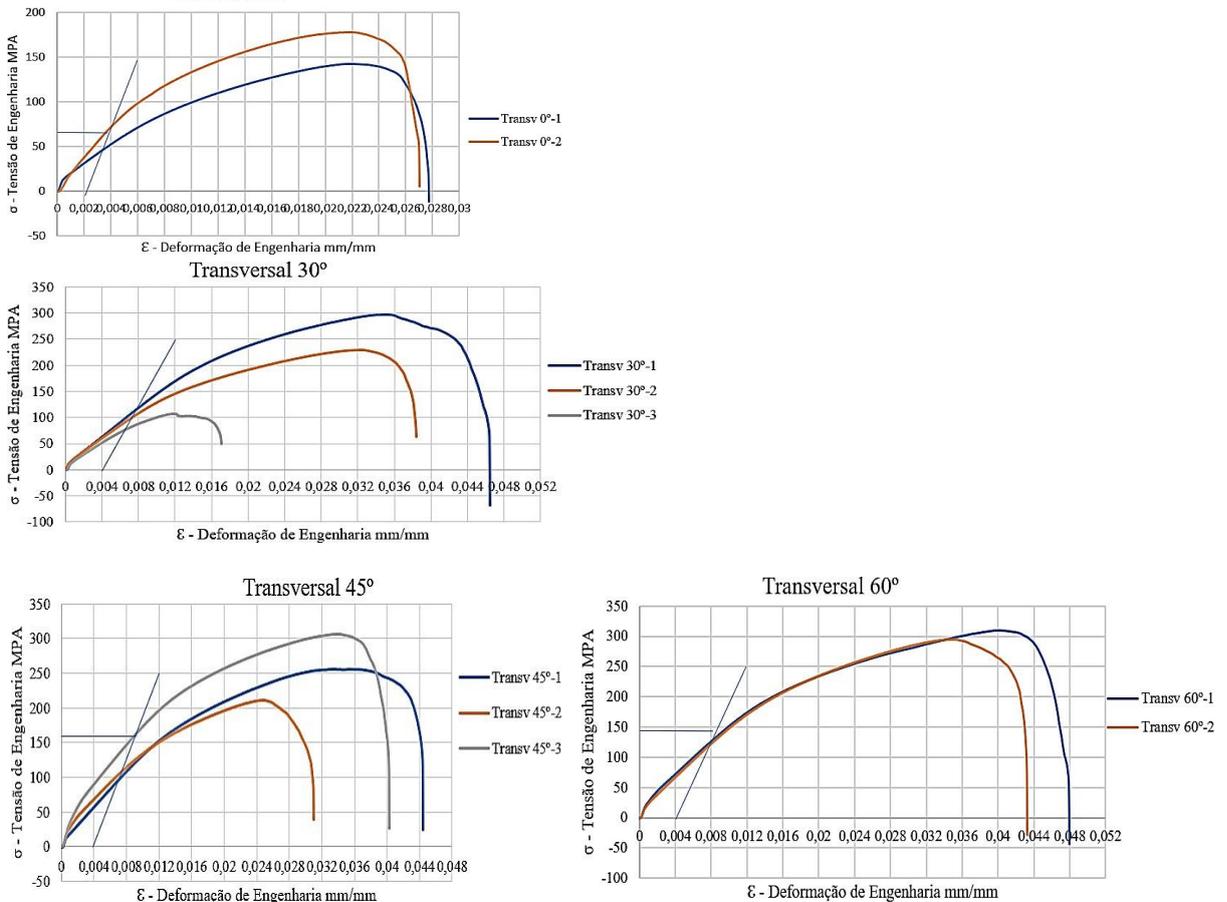
A partir do ensaio de tração realizado, constituiu-se os gráficos de tensão x deformação conforme podem ser vistos na Figuras 9 e 10, as curvas representam o comportamento geral apresentado nos ensaios. Foi possível conhecer as propriedades mecânicas dos corpos de prova após o processo de soldagem, como: escoamento, limite de resistência à tração.

Figura 9 - Gráficos da curva tensão-deformação, soldagem TIG, no sentido longitudinal



Fonte: Autor, 2019

Figura 10 – Gráficos da curva tensão-deformação, soldagem TIG, no sentido transversal



Fonte: Autor, 2019.

As curvas demonstram comportamentos do ensaio realizado para cada tipo de ângulo de chanfro, com soldagem no sentido longitudinal e transversal, e são apresentados os valores vistos no Quadro 5 e 6, para limite de escoamento (LE) e limite de resistência à tração (LR) para cada corpo de prova ensaiado.

Quadro 5 - Resultado limite de escoamento no sentido longitudinal e transversal

Processo de Soldagem TIG Sentido Longitudinal	Ângulo de chanfro	CPs	Deformação (mm)	Força de escoa. (N)	Deformação de Engenharia (mm/mm)	Escoamento Máx. Ruptura(MPa)	
	0°		01	3,96	13494	0,03	374,22
02			4,62	13121	0,04	364,47	
03			4,45	11428	0,04	317,44	
Desvio Padrão			0,34	1101,04	0,005	30,36	
		30°	01	5,05	13404	0,05	372,33
			02	5,42	13896	0,05	386
03	4,31		13452	0,04	373,66		
Desvio Padrão			0,56	271,26	0,005	7,53	
		01	5,14	14281	0,05	396,69	

	45°	02	4,76	11720	0,04	325,55
		03	4,90	12443	0,04	345,63
	Desvio Padrão		0,19	1320,33	0,005	36,67
	60°	01	3,98	9146	0,03	254,05
		02	4,69	11466	0,04	318,50
		03	4,41	11286	0,04	313,50
Desvio Padrão		0,35	1290,63	0,005	35,85	
Processo de Soldagem TIG Sentido Transversal	0°	01	0,56	2455,2	0,005	68,20
		02	0,25	1706,4	0,002	47,4
	Desvio Padrão		0,21	529,48	0,002	14,70
	30°	01	0,71	3811,4	0,007	105,87
		02	0,75	3711,8	0,007	103,10
		03	0,65	2776,6	0,006	77,12
	Desvio Padrão		0,05	570,86	0,0005	15,86
	45°	01	0,73	3621,8	0,007	100,60
		02	0,75	3952,8	0,007	109,8
		03	0,94	5990,2	0,009	166,39
	Desvio Padrão		0,11	1282,56	0,001	35,62
	60°	01	2,03	8503,3	0,02	236,20
02		1,72	7802,7	0,01	216,74	
Desvio Padrão		0,21	495,4	0,007	13,76	

Fonte: Autor, 2019.

Quadro 6 – Resultado limite de resistência a tração no sentido longitudinal e transversal

Proc esso de	Ângulo de chanfro	CPs	Deformação (mm)	Força Máx. (N)	Deformação de Engenharia (mm/mm)	Escoamento Máx. Ruptura (MPa)
Processo de Soldagem TIG Sentido Longitudinal	0°	01	23,02	24176	0,23	671,55
		02	22,85	22647	0,22	629,08
		03	22,62	21184	0,22	588,44
	Desvio Padrão		0,20	1496,12	0,005	41,55
	30°	01	19,86	20644	0,19	573,44
		02	18,12	20837	0,18	578,80
		03	19,58	20265	0,19	562,92
	Desvio Padrão		0,93	290,99	0,005	8,08
	45°	01	18,36	20346	0,18	565,16
		02	20,08	18212	0,20	505,88
		03	20,78	19478	0,20	241,05
	Desvio Padrão		1,24	1073,16	0,01	172,57
60°	01	14,91	13925	0,14	386,80	
	02	17,08	17601	0,17	488,91	
	03	12,44	15544	0,12	431,77	
Desvio Padrão		2,32	1842,34	0,02	51,17	
Proc esso de	0°	01	2,19	5116,1	0,02	142,11
		02	2,19	6395,2	0,02	177,64

Desvio Padrão		0	904,46	0	25,12
30°	01	3,51	10673	0,03	296,47
	02	3,24	8230,1	0,03	228,61
	03	1,35	3727,8	0,01	103,55
Desvio Padrão		1,17	3523,12	0,01	97,86
45°	01	3,22	9200,7	0,03	255,57
	02	2,48	7626	0,02	211,83
	03	3,40	11026	0,03	306,27
Desvio Padrão		0,48	1701,53	0,005	47,26
60°	01	4,01	11164	0,04	310,11
	02	3,51	10634	0,03	295,38
Desvio Padrão		0,35	374,76	0,007	10,41

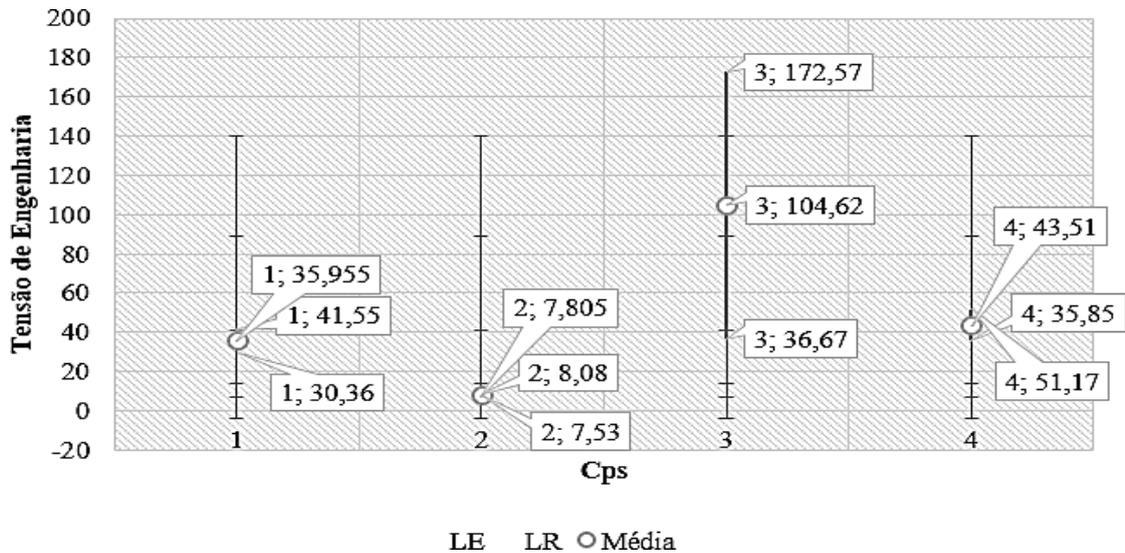
Fonte: Autor, 2019.

Percebe-se que para todos os ensaios o escoamento é indicado em um determinado ponto traçando uma linha reta e a ruptura aconteceu no ponto em que se obteve a tensão máxima de tração. Nota-se também que o acréscimo da força aplicada influencia diretamente no aumento dos valores de resistência à tração, deslocamento e deformação.

4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

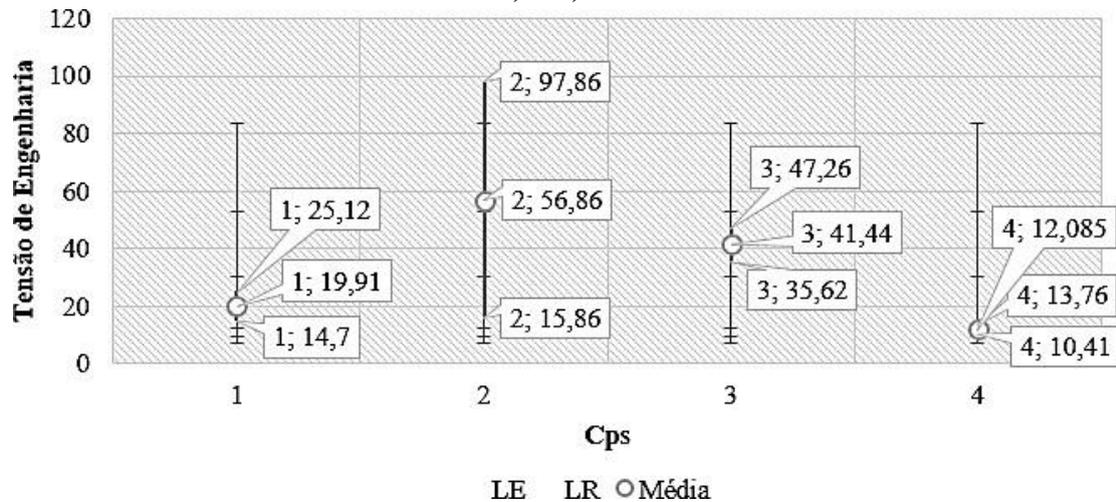
Para auxiliar na comparação de resultados entre os ângulos de chanfros de diferentes sentidos de soldagem, foi calculado o desvio padrão, que diz respeito nos dados do conjunto que estão mais próximos da média e elaborado um gráfico que pode ser visto na Figura 11 e 12, onde pode-se observar as tensões dos limites de escoamento (LE) e limites de resistência à tração (LR) suportadas em cada um dos corpos de prova nos diferentes sentidos de soldagem.

Figura 11 – Gráfico desvio padrão dos resultados de ensaio de tração no sentido longitudinal com chanfros em V de 0°, 30°, 45° e 60°



Fonte: Autor, 2019

Figura 12 – Gráfico desvio padrão dos resultados de ensaio de tração no sentido transversal com chanfros em V de 0°, 30°, 45° e 60°



Fonte: Autor, 2019

Com auxílio do gráfico é possível visualizar que os corpos de prova com ângulo de chanfro em V de 30°, com soldagem no sentido longitudinal os valores de limite de escoamento e resistência tiveram pouca variação e se mantiveram em resultados lineares, assim constatando que o mesmo é mais resistente que as demais juntas soldadas. Corpos de prova com ângulo de chanfro em V de 60°, com soldagem transversal, apresentam valores superiores no limite de escoamento e principalmente limite de resistência à tração quando comparados com o restante dos ângulos estudados. Tanto para a soldagem longitudinal e transversal os resultados tiveram influencia, a diferença na quantidade de metal depositado, dimensões e geometria do cordão de

solda no processo de soldagem TIG.

Ressalta-se que a comparação entre as tensões de engenharia suportadas, no limite de resistência à tração, a junta soldada com ângulo em V de 30°, no sentido de soldagem longitudinal apresenta-se no corpo de prova 2 com tensão de 578,80 MPa e força máxima de 20837 N, e para uma junta soldada com ângulo em V de 60°, no sentido transversal apresenta-se no corpo de prova 1 com tensão de 310,11 MPa e força máxima de 11164 N, e tiveram uma diferença de tensão que atinge 46,42% de resistência entre os corpos de prova.

Os dados obtidos na junta soldada com ângulo de chanfro em V de 30°, no sentido de soldagem longitudinal, apresentou valor aproximado e logo corroboram com a previsão teórica de (CHIAVERINI, 1986). Para o sentido de soldagem transversal com ângulo de chanfro em V de 60°, o valor obtido experimentalmente difere do valor real teórico.

Com relação a comparação dos resultados no limite de escoamento para o sentido de soldagem longitudinal com ângulo de chanfro em V de 30° obteve como resultado a força de escoamento de 13896 N e tensão de engenharia de 386 MPa e para ângulo de chanfro em V de 60°, força de escoamento de 8503,3 N e tensão de engenharia de 236,20 MPa, com 38,8% na resistência de escoamento.

Independente dos corpos de prova apresentarem uma geometria de cordão de solda de boa qualidade, a estrição e posterior ruptura ocorreram na zona termicamente afetada (ZTA).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proporcionou o entendimento de diversos conceitos das estruturas dentro de um contexto da resistência dos materiais, possibilitando assim a compreensão das propriedades mecânicas do material aço inoxidável AISI 304 nas diversas amostras utilizadas. Através do ensaio, notou-se que os ângulos de chanfro na soldagem têm uma elevada influencia na resistência mecânica de uma junta soldada de aço inoxidável nos sentidos longitudinal e transversal.

Considerando o objetivo proposto, e os resultados obtidos nos testes, constatou-se que o ângulo de chanfro em V de 30° para uma soldagem no sentido longitudinal teve valores lineares para o limite de resistência e de escoamento, e para a soldagem transversal o ângulo de chanfro em V de 60° teve valores superiores para o limite de resistência e escoamento, assim demonstrando que esses ângulos de chanfro mostraram-se mais resistente com os demais ângulos estudado.

Os efeitos de atrito, que podem resultar no desgaste e trincas da solda, não foram

abordados neste trabalho, sendo desta forma uma possibilidade para trabalhos futuros, da mesma forma é possível ampliar esta pesquisa na soldagem robotizada, analisando a influencia na velocidade do processo.

REFERÊNCIAS

ABINOX. **Estatísticas Anuais**. Disponível em: <<https://www.abinox.org.br/site/aco-inox-estatisticas-anuais.php>> Acesso em: 11 de ago de 2019.

ABNT NBR 6892-1: 2013 versão corrigida: 2015 **Materiais Metálicos Ensaio de Tração a Temperatura Ambiente**.

ARAÚJO, E. A. et al. **Aspectos Coloidais da Adesão de Micro-Organismos**. Química Nova. v.33 n.9 2010. p 1940-1948. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n9/22.pdf>> Acesso em: 20 de ago de 2019.

ASTM E8/E8M. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2001.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: Materiais de Construção Mecânica**. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2008

CUNHA, L. J. G. **Solda: como, quando e por quê**. 3 ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2013.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro. LTC, 1999.

MACHADO, I. G. **Soldagem & técnicas conexas: Processos**. Porto Alegre, 1996.
MARQUES, P.V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**. 3 ed. Belo Horizonte. UFMG, 2009.

MODENESI, P. J. **Terminologia Usual de Soldagem e Símbolo de Soldagem**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. UFMG, 2008.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

PRITCHARD, D. **Soldering, Brazing & Welding – A Manual of Techniques**. Crowood Press, 2001.

SANTOS, C. E. F. **Processos de soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança**. 1ed. São Paulo: Érica, 2015.

SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1982.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, S. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., v. 2a ed. 1992.

ZOLIN, I. **Ensaio Mecânico e Análise de Falhas**. Santa Maria: UFSM, 2010. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_autom_ind/ensaio_mec/161012_ens_mec_an_fal.pdf> Acesso em: 23 de ago de 2019.