

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG  
RENATO ANTONIO STORMOSKI**

**TESTE DE TRAÇÃO EM CHAPAS SOLDADA PELO PROCESSO MAG**

**CASCADEL – PR  
2017**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG  
RENATO ANTONIO STORMOSKI**

**TESTE DE TRAÇÃO EM CHAPAS SOLDADA PELO PROCESSO MAG**

Trabalho apresentado à disciplina de Conclusão de curso de Engenharia mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial de conclusão do curso.

Professor Me. Eng. Orientador: Sergio Henrique Rodrigues Mota

**CASCADEL - PR**

**2017**

## EPÍGRAFE

“A gravidade explica os movimentos dos planetas, mas não pode explicar quem colocou os planetas em movimento. Deus governa todas as coisas e sabe tudo que é ou que pode ser feito”.

Isaac Newton

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, pela sua presença em minha vida, e o privilégio de me conceder a possibilidade do conhecimento.

A minha família meus pais e irmão pelo apoio, em especial a minha esposa Jaqueline Carla Scherer e meu filho João Renato Scherer Stormoscki pela paciência em meus horários de estudos.

Aos amigos e colegas Cleberson de Sousa Pereira, Jeferson Manenti Acorci e Welington Douglas Koch pela companhia em todos estes anos de estudos que estivemos juntos.

A empresa Mascarello em especial ao meu gerente Deivison pelo apoio com material e máquinas para se tornar possível o experimento.

Ao Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, pela disponibilização das instalações, possibilitando assim a realização do trabalho, e a todos os professores que ao longo desses cinco anos me passaram com muita dedicação seu conhecimento.

E em especial a meu professor orientador Sergio Henrique Rodrigues Mota pelo apoio e conhecimento me passado, neste trabalho e nas disciplinas que foi meu professor.

## **RESUMO**

Com a crescente demanda no ramo de transporte público, e com o mercado buscando produtos que tenham um certificado de qualidade confiável. O presente trabalho foi realizado com a finalidade de propor uma melhoria na qualidade das juntas soldadas, as quais são utilizadas em veículos para transporte de pessoas, utilizando-se do processo de soldagem e limitando-se a solda MAG. Este estudo teve a pretensão de analisar e avaliar os parâmetros de soldagem e qualificar os soldadores. Esta análise consiste em determinar os dados da soldagem para avaliação, utilizando-se do ensaio mecânico de tração para comprovar se o soldador está apto ou não. Para esses ensaios mecânicos empregou-se de corpos de prova, estabeleceu-se a matéria prima e após isso se utilizou de uma máquina de ensaio de tração. Através dos resultados destes ensaios pode se avaliar o comportamento mecânico tanto do material base como o material de adição da solda.

Palavras chaves: soldagem MAG, ZAR 230, corpo de prova.

## **ABSTRACT**

With the growing demand in the field of public transport, and with the market looking for products that have a reliable quality certificate. The present work was carried out with the purpose of proposing an improvement in the quality of the welded joints, which are used in vehicles to transport people, using the welding process and limiting MAG welding. This study had the pretension to analyze and evaluate the welding parameters and to qualify the welders. This analysis consists of determining the welding data for evaluation, using the mechanical tensile test to verify if the welder is fit or not. For these mechanical tests were used of test bodies, the raw material was established and after that a tensile testing machine was used. Through the results of these tests the mechanical behavior of both the base material and the solder addition material can be evaluated. Keywords: tensile test, MAG welding, ZAR 230, test body.

Keywords: MAG welding, ZAR 230, test body.

## LISTA DE EQUAÇÕES

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Equação 1: Equação da resistência à ruptura de uma chapa. ....                     | 30 |
| Equação 2: Equação da resistência do material da solda. ....                       | 30 |
| Equação 3; Equação do esforço admissível por tração soldado por um filete. ....    | 31 |
| Equação 4: Equação do esforço admissível por tração soldado por dois filetes. .... | 32 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Esquema de soldagem MIG/MAG.....                                     | 19 |
| Figura 2: Característica de fratura dúctil. ....                               | 20 |
| Figura 3: Esquema de um equipamento para o processo de solda MIG/MAG. ....     | 25 |
| Figura 4: Gráfico tensão/deformação. ....                                      | 27 |
| Figura 5: Esquema de um corpo de prova retangular .....                        | 28 |
| Figura 6: Esquema de como será retirado às amostras para teste. ....           | 29 |
| Figura 7: Dimensionamento de soldas à tração numa junta de topo.....           | 31 |
| Figura 8: Amostras já soldada.....                                             | 34 |
| Figura 9: Posições de soldagem. ....                                           | 34 |
| Figura 10: Máquina de solda utilizada ESAB LAI 407 .....                       | 36 |
| Figura 11: Corpo de prova cortado no laser.....                                | 37 |
| Figura 12: Corpo de prova já usinado. ....                                     | 38 |
| Figura 13: Corpos de prova rompidos do soldador 01. ....                       | 41 |
| Figura 14: Corpos de prova rompidos do soldador 02. ....                       | 42 |
| Figura 15: Corpos de prova rompidos do soldador 03. ....                       | 43 |
| Figura 16: Sequencia de um ensaio de tração alongamento ate o rompimento. .... | 43 |
| Figura 17: Gráfico da carga pelo tempo da amostra 01. ....                     | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Preparação da junta para diversas espessuras de chapa a soldar pelo processo MIG/MAG..... | 15 |
| Tabela 2: Faixa ótima de corrente de curto-circuito para vários diâmetros de arame.<br>.....        | 16 |
| Tabela 3: Faixa de composição química % ER 70 S-6. ....                                             | 21 |
| Tabela 4: Faixa de propriedades mecânicas do arame ER 70 S-6.....                                   | 22 |
| Tabela 5: Seleção dos gases para solda com transferência por curto-circuito. ....                   | 24 |
| Tabela 6: Dimensões de um corpo de prova retangular (unidades em mm).....                           | 29 |
| Tabela 7: Parâmetros de solda utilizados nos testes. ....                                           | 37 |
| Tabela 8: Tabela de acompanhamento dos corpos de prova.....                                         | 39 |
| Tabela 9: Resultados dos ensaios de tração soldador 01.....                                         | 41 |
| Tabela 10: Resultados dos ensaios de tração soldador 02.....                                        | 42 |
| Tabela 11: Resultados dos ensaios de tração soldador 03.....                                        | 42 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

**ASME** - American Society of Mechanical Engineers.

**ASTM** – American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para testes e materiais).

**AWS** - American Welding Society.

**°C** – GRAUS CELSIUS.

**CSN**- Companhia Siderúrgica Nacional.

**CTO** – Centro de Treinamento Operacional.

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de Carbono.

**GMAW** - Gas Metal Arc Welding (Soldagem por arco elétrico com gás de proteção).

**ISO** - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização).

**MAG** - Metal Active Gas (Gás ativo de Metal).

**MIG** – Metal Inert Gas (Gás Inerte de Metal

**NBR** – Norma brasileira regulamentadora.).

**S** – SEGUNDO.

**ZAR** - GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE.

**ZTA** - ZONA TERMICAMENTE AFETADA.

## SUMÁRIO

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO.....</b>                                            | <b>5</b>  |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                     | <b>10</b> |
| 1.2 PROBLEMAS DA PESQUISA.....                                | 11        |
| 1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA .....                            | 11        |
| 1.4 OBJETIVO.....                                             | 12        |
| 1.4.1 Objetivo Geral .....                                    | 12        |
| 1.4.2 Objetivos Específicos .....                             | 12        |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>13</b> |
| 2.1 SOLDABILIDADE DO AÇO CARBONO DE BAIXA LIGA .....          | 14        |
| 2.2 ANÁLISE DO PROCESSO DE SOLDAGEM MAG .....                 | 15        |
| 2.2.1 Características da corrente de soldagem .....           | 17        |
| 2.2.2 Fatores que podem influenciar no valor da energia ..... | 18        |
| 2.3 ANÁLISE DO ARCO ELÉTRICO.....                             | 19        |
| 2.4 ANÁLISE DO MATERIAL BASE (ZAR 230).....                   | 20        |
| 2.5 ANÁLISE DO MATERIAL DE ADIÇÃO (CONSUMIVEL) .....          | 21        |
| 2.6 ANÁLISE DOS GASES DE PROTEÇÃO .....                       | 22        |
| 2.6.1 Mistura de gás Argônio e Dióxido de Carbono .....       | 24        |
| 2.7 EQUIPAMENTOS DE SOLDA .....                               | 25        |
| 2.8 ANÁLISE DO PROCESSO DO ENSAIO DE TRAÇÃO.....              | 26        |
| 2.9 ANÁLISE DOS DADOS DE ENSAIO DE TRAÇÃO. ....               | 30        |
| 2.9.1 Cálculos de ensaios de tração .....                     | 31        |
| <b>3 MATERIAIS E METODOS .....</b>                            | <b>33</b> |
| 3.1 LOCAL DO ESTUDO .....                                     | 33        |
| 3.2 DETERMINAÇÕES DOS ENSAIOS .....                           | 33        |
| 3.3 MATERIAIS UTILIZADOS .....                                | 33        |
| 3.3.1 Corpo de prova.....                                     | 33        |
| 3.3.2 Posição de soldagem .....                               | 34        |
| 3.3.3 Material de adição .....                                | 35        |
| 3.3.4 Tipo da junta.....                                      | 35        |
| 3.3.5 Tipo de transferência.....                              | 35        |
| 3.3.6 Equipamento de solda.....                               | 35        |
| 3.3.7 Gás de proteção .....                                   | 36        |

|                                              |           |
|----------------------------------------------|-----------|
| 3.3.8 Parâmetros de solda utilizados .....   | 36        |
| 3.3.9 Preparação das amostras .....          | 37        |
| 3.3.10 Ensaio de tração .....                | 38        |
| 3.4 CARACTERIZAÇÕES DO PROCESSO .....        | 38        |
| 3.4.1 Processo de soldagem .....             | 38        |
| 3.4.2 Monitoramento das amostras .....       | 39        |
| 3.5 INSPEÇÕES VISUAIS .....                  | 39        |
| 3.6 INSPEÇÕES DAS AMOSTRAS JÁ USINADAS ..... | 40        |
| <b>4 RESULTADOS .....</b>                    | <b>41</b> |
| 4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS .....   | 41        |
| 4.2 MÉDIAS DOS RESULTADOS .....              | 43        |
| 4.3 RESULTADOS OBTIDOS .....                 | 44        |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                     | <b>46</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>      | <b>47</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, na indústria metal mecânica um dos principais objetivos é a busca da maior produtividade com o menor custo de fabricação e com a melhor qualidade. Neste âmbito, na área de soldagem têm sido utilizados vários processos dentre os quais, tem-se destacado o processo GMAW (Gás Metal Arc Welding).

A soldagem envolve muitos fenômenos metalúrgicos como, por exemplo, fusão, solidificação, transformações no estado sólido, deformações causadas pelo calor e tensões de contração, que podem causar muitos problemas. Os problemas podem ser evitados ou resolvidos aplicando-se princípios metalúrgicos apropriados ao processo de soldagem.

Nas operações de soldagem, a realização de soldas inadequadas durante a fabricação de certos tipos de estruturas ou equipamentos, tais como navios, pontes, oleodutos, componentes automotivos e vasos de pressão, pode resultar em sérios acidentes com perdas materiais e, eventualmente, humanas e danos ao meio ambiente. Para minimizar a chance destas ocorrências e garantir uma maior uniformidade, as soldas passam por um processo de certificação.

Para essa certificação, é necessário realizar um ensaio de tração o qual consiste em submeter um corpo de prova a um esforço que tende alongá-lo até a ruptura, no qual o corpo de prova deve ser de formato padronizado para que seu resultado possa ser comparado ou reproduzido. Esse ensaio permite verificar a resistência do material, além de determinar a curva de escoamento e ruptura, e também é possível verificar se o material possui alguma falha proveniente de sua fabricação ou beneficiamento.

A abordagem do sistema de gestão da qualidade ISO 9001 incentiva às organizações a analisar os requisitos do cliente, definir os processos que contribuem para a obtenção de um produto que é aceitável para o cliente e manter estes processos.

O presente trabalho limita-se a testar e comparar as amostras de chapa de aço ZAR 230 com espessura de 2,65 mm soldadas pelo processo MAG.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O trabalho tem sua relevância, pois a empresa onde será aplicado este teste fabrica veículos para transporte de pessoas. É certificada pela norma ISO 9001 2008, e tem por obrigação qualificar e certificar seus colaboradores que executam o processo de soldagem, este novo procedimento trará uma melhor avaliação do processo de solda buscando o aprimoramento da solda sendo assim trazendo um grande benefício para a empresa, pois haverá um ganho em qualidade no processo de soldagem.

## 1.2 PROBLEMAS DA PESQUISA

Como a empresa certifica seus soldadores somente pelo processo de dobramento de suas amostras, este processo não mede até o limite da resistência do material. Como o processo de tração das amostras será tracionado até chegar ao limite da resistência do material podendo assim desenvolver um novo padrão para avaliar seus colaboradores?

## 1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O projeto se limita a testar e comparar as amostras de chapa de aço ZAR 230 com espessura de 2,65 mm, as mesmas que são feitos os testes por dobramento. As quais são utilizadas para a fabricação de peças da linha automotiva, atendendo as particularidades da norma NBR 6152 (2002) a qual regulamenta o procedimento.

## 1.4 OBJETIVO

### 1.4.1 Objetivo Geral

Verificar a soldabilidade e o comportamento mecânico, ou seja, a resistência mecânica nas juntas soldadas pelo processo GMAW (MAG) e criar um padrão para que possa se repetir como certificação dos soldadores.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Retirar amostras de chapas soldadas ZAR 230 conforme norma ABNT NBR 6152 (2002);
- Comparar os resultados obtidos com a resistência à ruptura do material de base e o adicionado pela solda;
- Verificar o comportamento mecânico do material na zona termicamente afetada (ZTA);
- Verificar a viabilidade de implantação deste teste em uma empresa da área como qualificação de soldadores com nível três.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA / REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo AWS *American Welding Society* soldagem é a união entre duas ou mais peças ou partes mantendo-se a quantidade física química do material.

A soldagem é um processo mecânico ou metalúrgico que tem por objetivo unir duas ou mais peças, ou ainda depositar uma camada de revestimento metálico na superfície de uma peça, mediante a aplicação de calor assistido ou não, onde as superfícies unidas podem fundir ou simplesmente escoar (CUNHA, 2005).

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), a soldagem é considerada como um processo de união, porem atualmente muitos processos de solda ou variação destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de revestimentos com características especiais.

A soldagem é o principal processo de união entre metais utilizando fontes de calor, podendo ou não ter aplicação de pressão. Suas aplicações vão desde a fabricação de grades e portões até equipamentos da indústria petrolífera e nuclear, (BRACARENSE, 2009).

Existem vários processos de soldagem, tais como: soldagem por explosão, por atrito, por resistência, oxi-acetilênica, eletrodo revestido, arco submerso, TIG, MIG/MAG, por plasma, por eletro escória, por feixe de elétrons e por laser, conforme explanado por, (BRANDI 2004).

Segundo Vaz (2005), o processo de soldagem MIG/MAG proporciona muitas vantagens na soldagem manual e automática dos metais para aplicações de alta e baixa produção. Suas vantagens combinadas quando comparado ao eletrodo revestido, arco submerso e TIG são:

- A soldagem pode ser executada em todas as posições;
- Não há necessidade de remoção de escória;
- Alta taxa de deposição do metal de solda;
- Tempo total de execução de soldas de cerca da metade do tempo se comparado ao eletrodo revestido;
- Altas velocidades de soldagem; menos distorção das peças;
- Largas aberturas preenchidas ou amanteigadas facilmente, tornando certos tipos de soldagem de reparo mais eficientes;

## 2.1 SOLDABILIDADE DO AÇO CARBONO DE BAIXA LIGA

Segundo a AWS (2010), define soldabilidade como “a capacidade de um material ser soldado nas condições de fabricação impostas por uma estrutura específica projetada de forma adequada e de se comportar adequadamente em serviço”.

Segundo Modenesi (2011) uma definição alternativa, mais prática, seria: “a facilidade relativa com que uma solda satisfatória, que resulte em uma junta similar ao metal sendo soldado, pode ser produzida”.

Segundo Modenesi (2011) aços de baixo teor de carbono varia entre 0,10 e 0,25%, o de manganês entre 0,25 e 0,15%, o teor de fósforo máximo é de 0,04% e o de enxofre é de 0,05% Estes são os aços mais comumente usados em fabricação e construção. São materiais facilmente soldáveis por qualquer processo a arco, gás ou resistência.

A maioria das ligas metálicas é soldável, mas, certamente, algumas são muito mais difíceis de serem soldadas por um dado processo que outras. Por outro lado, o desempenho esperado para uma junta soldada depende fundamentalmente da aplicação a que esta se destina. Assim, para determinar a soldabilidade de um material, é fundamental considerar o processo e procedimento de soldagem e a sua aplicação. Assim, é importante conhecer bem o material sendo soldado, o projeto da solda e da estrutura e os requerimentos de serviço cargas, ambiente. (MODENESI 2011).

Segundo Modenesi (2011) o maior problema de soldabilidade dos aços de baixa liga é a formação de trincas induzidas pelo hidrogênio, principalmente na zona termicamente afetada (ZTA).

Ainda segundo este autor outros problemas mais específicos incluem a perda de tenacidade na ZTA, ou na zona fundida (associada com a formação de estruturas de granulação grosseira, durante a soldagem com elevado aporte térmica, ou com a formação de martensita na soldagem com baixo aporte térmico) e a formação de trincas de solidificação.

Ainda, segundo Wainer (1992) em função de uma seleção inadequada de consumíveis ou de um projeto ou execução incorreta podem ocorrer problemas de porosidade, mordedura, falta de fusão, corrosão, etc. É necessário, então, avaliar a própria junta soldada, uma junta deve apresentar resistência mecânica, ductilidade, tenacidade, resistências à fadiga e à corrosão uniformes ao longo da solda e similares às propriedades do material adjacente.

## 2.2 ANÁLISE DO PROCESSO DE SOLDAGEM MAG

Segundo Brandi (1992), o processo de solda GMAW (Gás Metal Arc Welding) utiliza como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo consumível, alimentado continuamente a uma poça de fusão, e a peça a soldar. A proteção é feita por um fluxo de gás. A soldagem pode ser semiautomática ou automática.

Ainda segundo Brandi (1992), o processo MIG é adequado à soldagem de aço carbono, aço de baixa media e alta liga, aços inoxidáveis, alumínio e suas ligas, magnésio e ligas cobre e ligas. O processo MAG é utilizado na soldagem de aço de baixo carbono e aço de baixa liga.

Há um aumento da participação dos processos de soldagem com arames tubulares e arames maciços em todo o mundo. Isto vem ocorrendo porque os processos de soldagem a arco elétrico com atmosfera protetora têm apresentado um contínuo desenvolvimento devido à qualidade, custos e flexibilidade deste processo, sendo o mais adequado à mecanização (MOREIRA, MODENESI e BRACARENSE 2011 p137).

Segundo Moreira, Modenesi e Bracarense (2011), o processo de soldagem (MAG) pode ser usado em uma grande faixa de espessura, de materiais ferrosos com gás de proteção CO<sub>2</sub> ou mistura rica neste gás. Os diâmetros dos eletrodos variam de 0,8 a 2,4mm.

Tabela 1: Preparação da junta para diversas espessuras de chapa a soldar pelo processo MIG/MAG.

| Espessura da chapa em (mm) | 0,4 | 1,6 | 3,2 | 4,8 | 6,4 | 10,0 | 12,7 |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Passe único sem preparação | X   | X   | X   | X   |     |      |      |
| Passe único com preparação |     | X   | X   | X   | X   | X    |      |
| Passes múltiplos           |     |     | X   | X   | X   | X    | X    |

Fonte: MOREIRA, MODENESI e BRACARENSE (2011).

Segundo Moreira, Modenesi e Bracarense (2011), as vantagens do processo MIG/MAG em relação aos eletrodos revestidos são: alta taxa de deposição, versatilidade quanto ao tipo de matérias e as espessuras a ser usado não têm escorio para remoção e exige menor habilidade do soldador.

Segundo Moreira, Modenesi e Bracarense (2011), a limitação da soldagem MIG/MAG e a maior sensibilidade a variação dos parâmetros de elétricos do arco da solda, que influenciam na qualidade do cordão de solda, além de ajustes rigorosos nos parâmetros para se obter as características desejadas da solda. Maior custo do equipamento e manutenção deste.

O Processo MIG/MAG pode ser aplicado de forma automática, quando o movimento da tocha é feito por uma máquina, ou semiautomática quando é conduzida pelo operador (SCOTTI, 2008).

Segundo Wainer (1992) existe quatro tipos de transferência metálica no processo MIG/MAG: globular, por curto-circuito, por pulverização axial e rotacional, e por arco pulsado.

Transferência globular ocorre para baixa densidade de corrente e qualquer tipo de gás de proteção. A gota se forma na ponta do eletrodo nu e tem o diâmetro maior que ele, tem-se a dificuldade de solda fora de posição (Wainer 2011).

Segundo Moreira, Modenesi e Bracarense (2011), a transferência por curto-circuito ocorre quando se usa baixos valores de tensão e corrente, e usado para soldagem fora de posição e para peças de pequena espessura. Este processo de transferência tem uma grande instabilidade no arco com formação de muitos respingos.

Tabela 2: Faixa ótima de corrente de curto-circuito para vários diâmetros de arame.

| Diâmetro do arame | Corrente de soldagem |        |
|-------------------|----------------------|--------|
| Mm                | Mínima               | Máxima |
| 0,76              | 50                   | 150    |
| 0,89              | 75                   | 175    |
| 1,10              | 100                  | 225    |

Fone: VAZ (2005).

Transferência por pulverização ocorre pela elevada densidade de corrente e quando se usa argônio ou mistura rica em argônio como gás de proteção. A gota que se forma na ponta do eletrodo tem o adiantamento menos que o próprio eletrodo e é axial mente direcionada, exige uma quantidade de calor elevada ideal para chapas grossas (WAINER 1992).

Transferência com arco pulsado e tipo pulverização axial, o equipamento de solda gera dois níveis de corrente, no primeiro a corrente de base e baixa que não há transferência, mas somente no início da fusão do arrame, no segundo na corrente de pico e superior a corrente de transição globular pulverização ocasionando a transferência por uma única gota. É mais adequada para ter um arco estável com alta taxa de deposição (WAINER 1992).

### 2.2.1 Características da corrente de soldagem

Segundo Wainer (1992), a intensidade de soldagem influencia no modo da transferência metálica. Além disso, a polaridade da corrente também tem grande influência no modo de transferência.

Corrente contínua com polaridade reversa CCPR (+): e o tipo de corrente utilizada para o processo de soldagem MIG/MAG. No caso o gás de proteção ser argônio ou mistura rica em argônio, pode-se ter os quatro modos de transferência metálica dependam do valor da corrente de soldagem e de ser pulsada ou não, mistura rica em CO<sub>2</sub>, Hélio e mistura rica em Hélio obtém-se transferência globular e curto circuito com CO<sub>2</sub> (Wainer 1992).

Corrente contínua com polaridade direta CCPD (-): neste caso existe a repulsão da gota gerada pela força dos jatos de plasma e de vapor de plasma. Tanto com argônio o CO<sub>2</sub>, a gota é empurrada para cima e pode desviar de sua trajetória normal, a transferência torna-se bastante instável (WAINER 1992).

Tensão de soldagem: ela está associada a seu comprimento. Uma tensão baixa acarreta em pequeno comprimento do arco, tensão alta proporciona larguras maiores, tensões abaixo de 22 A favorecem a transferência por curto-circuito. Acima desse valor a transferência é globular ou por pulverização axial (WAINER 1992).

Ainda segundo Wainer (1992), conforme muda os valores de tensão introduzem-se defeitos de soldagem, valores elevados podem gerar porosidade, excesso de respingo e mordeduras valores baixos proporcionam porosidade e sobreposição.

Segundo Wainer (1992), o tipo de fonte geradora e de potencial constante, o que permite uma auto regulagem para manter o arco constante. Esta característica é importante, pois o eletrodo é alimentado continuamente e a fonte deve fornecer

energia para fundi-lo. Esta energia tem dois componentes: a que esta associada ao arco, dado pelo produto  $V.I$ , e energia de aquecimento por efeito Joule dado por  $R.I^2$ , onde  $R$  e a resistência do eletrodo.

### 2.2.2 Fatores que podem influenciar no valor da energia

Segundo Wainer (1992) a mudança da distancia entre a pistola e o metal base, quando se muda a distância da pistola com o metal base a tensão e a correta de soldagem e a distância do arco são adequados para fundir o eletrodo. Se a distância for aumentada a energia disponível diminui a velocidade de fusão do eletrodo também diminui. O raciocínio e análogo para o caso de diminuição da distância.

Segundo Wainer (1992) a mudança na velocidade de alimentação do eletrodo nu, neste caso há diminuição na distancia do arco e aumento do comprimento do eletrodo, aumentando então a energia para fundir, o que proporciona a volta da distância do arco original.

Segundo Wainer (1992) a mudança de regulagem na tensão de soldagem na fonte de energia, não havendo variação da distancia da pistola ao metal base e da velocidade de alimentação do eletrodo, ocorre aumento na tensão e corrente de soldagem no comportamento do arco e na largura do cordão.

Segundo Wainer (1992), conclui-se que tanto a distância do arco como a velocidade de alimentação do eletrodo influenciam a tensão e a corrente de soldagem, para uma dada regulagem de tensão. Assim uma variação momentânea da distância do arco acarreta uma mudança da velocidade de alimentação do eletrodo, para que a distância do arco volte a se estabelecer.

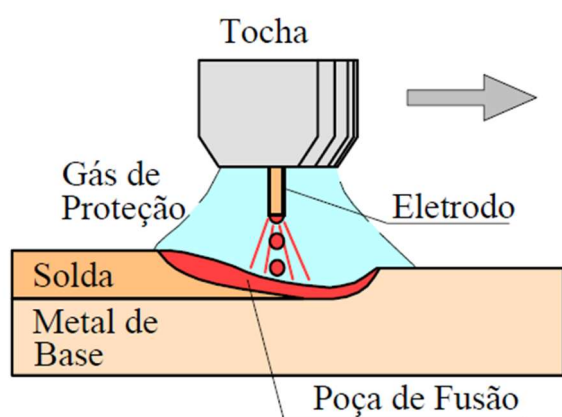
Segundo Pinheiro (2005), de acordo com a posição relativa das peças a serem soldadas existem cinco tipos básicos de juntas soldadas, junta de topo, tipo "T", de canto, sobreposta e junta de borda.

Junta de Topo esta junta é utilizada principalmente para unir as extremidades de chapas planas de mesma ou aproximadamente a mesma espessura. A principal vantagem deste tipo de junta é eliminar a excentricidade que apareceria numa junta sobreposta. Este tipo de junta é recomendado para ser executado em fábrica onde o processo de soldagem pode ser mais bem controlado, (PINHEIRO 2005).

## 2.3 ANÁLISE DO ARCO ELÉTRICO

Segundo Brandi (1992), pode definir arco elétrico a descarga elétrica mantida através de um gás ionizante, iniciada por uma quantidade de elétrons emitida do eletrodo negativo (catodo) aquecido e mantido pela ionização térmica do gás aquecido. Nesta definição existem três conceitos importantes para o conhecimento do arco elétrico, calor, ionização e emissão.

Figura 1: Esquema de soldagem MIG/MAG.



Fonte: MOREIRA, MODENESI e BRACARENSE (2011).

Segundo Brandi (1992), o calor é devido à movimentação de cargas elétricas no arco elétrico de um eletrodo permanente, a ocorrência de choques entre essas cargas gera o calor. No arco elétrico os íons positivos podem ser considerados imóveis quando comparado com a velocidade dos elétrons sendo estes os responsáveis pela geração de calor.

Segundo Brandi (1992), a ionização ocorre quando o elétron localizado em uma órbita recebe uma quantidade de energia, sendo forçado para a órbita de maior energia. Conforme a quantidade de energia que o elétron recebe ele pode ou não sair da influência eletromagnética do átomo e se tornar livre. A energia necessária à produção de um elétron livre é chamada de potencial de ionização.

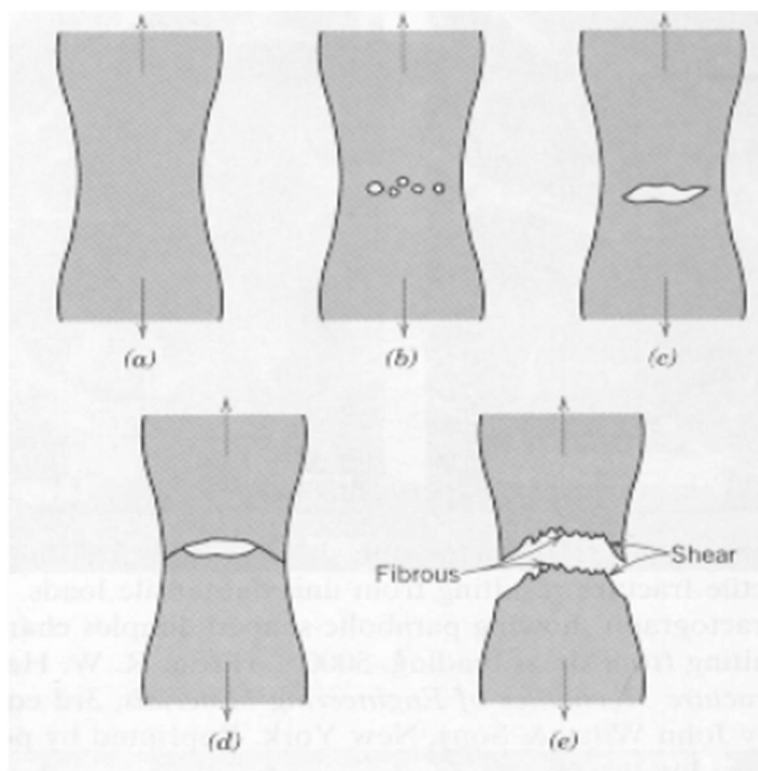
## 2.4 ANÁLISE DO MATERIAL BASE (ZAR 230)

ZAR 230 é um aço estrutural que possui alta resistência mecânica com boa ductilidade são indicados principalmente para uso plano e em aplicações que requeiram dobramentos simples, corrugações ou estampagem leve, tais como: telhas, silos, perfis estruturais para a construção civil e estrutura de ônibus (CSN, 2016).

O aço ZAR 230 é um aço liga laminado o quente com uma composição de carbono 0,20% potássio 0,04%, e enxofre 0,04%, e depois coberto com uma camada de zinco pelo processo de galvanização por imersão a quente, sua resistência ao escoamento 230 (Mpa) e sua resistência à ruptura e de 360(Mpa) (CSN, 2016).

Analizando as características de uma fratura dúctil observamos que o material vai reduzindo a área formando trincas e somente depois o rompimento do material BECKER (2017).

Figura 2: Característica de fratura dúctil.



Fonte: BECKER (2017).

- a) Formação de pescoço;
- b) Formação de cavidades;
- c) Coalescimento das cavidades para promover uma trinca ou fissura;
- d) Formação e propagação da trinca em um ângulo de 45 graus em relação à tensão aplicada;
- e) Rompimento do material por propagação da trinca;

## 2.5 ANÁLISE DO MATERIAL DE ADIÇÃO (CONSUMIVEL)

Segundo AWS (2010), os consumíveis são definidos pela Terminologia de soldagem como todos os materiais empregados na deposição ou proteção da solda. Exemplos de consumíveis são os eletrodos revestidos, as varetas, os arames sólidos e tubulares, os fluxos, os gases e os anéis consumíveis.

Arames são contínuos e maciços, podendo em alguns casos serem protegidos por uma fina camada de cobre com o objetivo de evitar a oxidação. Os arames sólidos podem ser utilizados para soldar diversos materiais, como: aços carbono, aços de alta liga, alumínio, cobre e aços inoxidáveis. A soldagem com arames maciços não apresenta escória e a produção da poça de fusão é totalmente dependente do gás de proteção (MOREIRA, 2008).

O arame AWS ER 70 S-6 é utilizado em praticamente todas as aplicações de soldagem MIG-MAG de Aços ao Carbono em geral: ASTM A36, A285-C, A515-60, A516-55/60, SAE 1010, 1020, etc. Indicado para a soldagem de chapas finas (tubos e estampados em geral) e chapas grossas (máquinas pesadas, vasos de pressão, estruturas soldadas, construção naval, etc.), inclusive com CO<sub>2</sub> puro (Acelormital, 2016).

Extremamente versátil, o AWS ER70S-6 é um arame sólido com boa fluidez da poça de fusão. Quando é usado na transferência por curto-circuito, apresenta grande eficiência de deposição (Acelormital, 2016).

Tabela 3: Faixa de composição química % ER 70 S-6.

| C           | Si         | P          | S          | Cu       | Mn         |
|-------------|------------|------------|------------|----------|------------|
| Carbono     | Silício    | Fosforo    | Enxofre    | Cobre    | Manganês   |
| 0,06 a 0,15 | 0,8 a 1,15 | 0,025 máx. | 0,035 máx. | 0,5 máx. | 1,4 a 1,85 |

Fonte: ACELORMITAL (2016).

Tabela 4: Faixa de propriedades mecânicas do arrame ER 70 S-6.

| Resistência à tração<br>(Mpa) | Limite de escoamento<br>(Mpa) | Alongamento (%) |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 480 mín.                      | 400 mín.                      | 22 mín.         |

Fonte: ACELORMITAL (2016).

A classificação dos arrames de solda segundo a especificação AWS A 5.28 e A 5.28, para arrames sólidos e com enchimento metálico tem o seguinte formato (Marques, Modenesi e Bracarense 2011).

#### **AWS ER XXXA – YY HZ.**

- ER:** eletrodo para soldagem a arco (A) e/ou vareta (E).
- XXXA:** indica o limite de resistência mínima do material depositado em Ksi (2 ou 3 dígitos) ou em Mpa (3 dígitos).
- A:** pode ser “S” para arrame sólido ou “C” para arrame tubular com enchimento metálico.
- YYY:** indica requisitos de composição química do eletrodo.
- HZ:** indica opcionalmente o teor de difusível (ml/100g de material depositado) pode ser 2, 4, 8 ou 16.

Segundo Modenesi (2010), eletrodos da classe E60XX devem ser usados para aços com limite de escoamento inferior a 350 Mpa e eletrodos E70XX devem ser usados com aços com limite de escoamento de até 420 Mpa. Para seleção do tipo de eletrodo, as características operacionais desejadas devem ser consideradas.

## **2.6 ANÁLISE DOS GASES DE PROTEÇÃO**

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011) a proteção do arco na região da solda contra contaminação pela atmosfera e feita por um gás ou uma mistura de gases, que podem ser inertes ou ativos. No Brasil o processo é conhecido como MIG (*metal Inert Gas*) quando a proteção usada é inerte ou MAG (Metal Active Gás) quando o gás usado é ativo.

O ar atmosférico é expulso da região de soldagem por um gás de proteção com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão. A contaminação é

causada principalmente pelo nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ) e vapor d'água ( $H_2O$ ) presentes na atmosfera (VAZ 2005).

Para evitar esses problemas associados com a contaminação da poça de fusão, três gases principais são utilizados como proteção: argônio (Ar), hélio (He) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Além desses, pequenas quantidades de oxigênio ( $O_2$ ), nitrogênio ( $N_2$ ) e hidrogênio ( $H_2$ ) provaram ser benéficas em algumas aplicações (VAZ 2005).

Segundo Wainer (1992), as misturas de gases inertes visam obter características intermediárias, já que a adição de Hélio ao Argônio melhora o contorno do cordão. A adição de gás ativo ( $CO_2$  ou oxigênio) aos gases inertes visa melhorar a estabilidade do arco porem neste caso o processo de soldagem e MAG além de estabilizar o arco a adição de gás ativo tem outra função:

- mudar o contorno do cordão.
- diminuir a ocorrência de respingos e de mordeduras.
- aumentar a penetração.

Gases ativos: o dióxido de carbono e utilizado na forma pura ou com adição de oxigênio ou argônio. E usado exclusivamente para a soldagem de aço carbono e aço de baixa liga. As vantagens são seu baixo custo em relação a outros gases maior velocidade de soldagem e penetração. Desvantagens excesso de respingos atmosfera do arco oxidante pode causar porosidade caso o eletrodo não tenha desoxidante pode influenciar na propriedade mecânica do deposito (WAINER 1992).

Já a adição de Argônio ao  $CO_2$ , apesar de encarecer a mistura da uma melhor aparência ao cordão, diminui a quantidade de respingos e a temperatura do arco é menor para chapas finas (tabela 5).

Tabela 5: Seleção dos gases para solda com transferência por curto-circuito.

| Metal                                                  | Gás de proteção                                                  | Vantagens                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aço carbono                                            | Argônio + (20 -25%) CO <sub>2</sub>                              | Espessura ate 3,5 mm; velocidade de soldagem elevada diminui respingo, boa penetração.                                              |
|                                                        | Argônio +50% CO <sub>2</sub>                                     | Espessura maiores de 3,5 mm diminui os respingos aparência limpa, bom controla da poça de fusão na posição vertical e sobre cabeça. |
|                                                        | CO <sub>2</sub>                                                  | Grande penetração velocidade de solda elevada, baixo custo.                                                                         |
| Aço de baixa liga                                      | (60 – 70%) hélio + (25 – 35%) argônio + (1 – 5%) CO <sub>2</sub> | Tenacidade razoável, estabilidade no arco excelente poucos respingos.                                                               |
| Aço inoxidável                                         | 90% hélio + 7,4% argônio + 2,5% CO <sub>2</sub>                  | ZTA pequena, não há mordeduras minimiza a distorção, boa estabilidade do arco.                                                      |
| Alumínio<br>cobre<br>magnésio e<br>Níquel e suas ligas | Argônio                                                          | Adequado para pequenas espessuras.                                                                                                  |
|                                                        | Argônio + Hélio                                                  | Para chapas grossas.                                                                                                                |

Fonte: WEINER (1992).

### 2.6.1 Mistura de gás Argônio e Dióxido de Carbono

As misturas argônio-dióxido de carbono são usadas principalmente nos aços carbono e de baixa liga e, com aplicação limitada, em aços inoxidáveis. As adições de argônio ao dióxido de carbono diminuem os níveis de respingo normalmente experimentados com o dióxido de carbono puro. Na soldagem MIG/MAG com adições de dióxido de carbono um nível de corrente ligeiramente maior deve ser atingido para estabelecer e manter uma transferência de metal estável em aerossol através do arco (VAZ 2005).

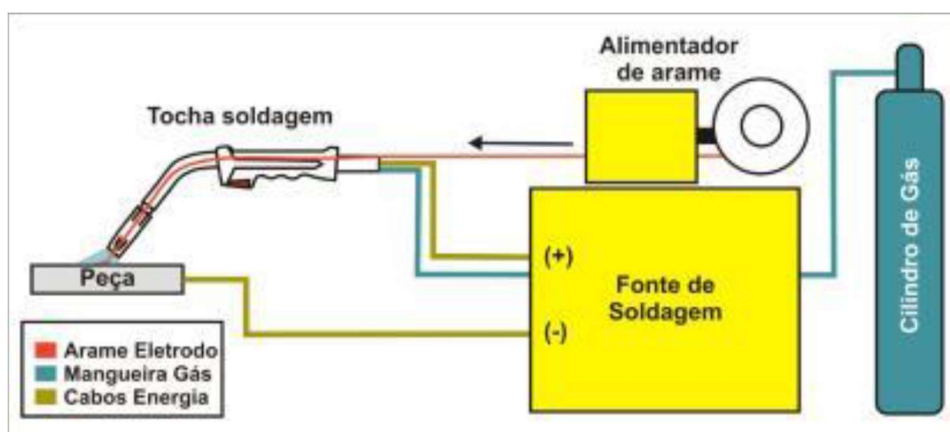
Argônio (11-20%)  $\text{CO}_2$  – essa faixa de misturas tem sido empregada em diversas aplicações de soldagem MIG/MAG como chanfro estreito, soldagem fora de posição de chapas finas e soldagem a altas velocidades. A maioria das aplicações é em aços carbono e de baixa liga. Misturando o dióxido de carbono nessa faixa, pode ser alcançada a produtividade máxima na soldagem de peças de pequena espessura. Isso é feito minimizando a possibilidade de furar a peça e simultaneamente maximizando as taxas de deposição e as velocidades de soldagem (VAZ 2005).

Ainda segundo este autor a quantidade de gás que se deve usar para fazer a proteção da poça de fusão, com esta mistura de gás deve ser de 10 litros para cada 1 mm de diâmetro do eletrodo no consumível.

## 2.7 EQUIPAMENTOS DE SOLDA

Basicamente um equipamento para soldagem MIG/MAG é composto pelos seguintes elementos: fonte de energia, alimentador de arame, tocha de soldagem e gás de proteção (SCOTTI, 2008), conforme Figura (02).

Figura 3: Esquema de um equipamento para o processo de solda MIG/MAG.



Fonte: SCOTTI, 2008.

A fonte de energia aplicada a este processo pode ser considerado como o ponto de energia elétrica ao processo, podendo ser um gerador ou um retificador, ambos com características de potencial constante. Geralmente, se utiliza corrente

contínua para este tipo de processo de soldagem, podendo ser em alguns casos até pulsada (BRANDI, 2004).

O alimentador de arame é o responsável pela alimentação do material de consumo, o qual é impulsionado em direção à tocha. O alimentador pode vir em alguns equipamentos, acoplado a fonte de energia, formando um único bloco, (SCOTTI, 2008).

A tocha de soldagem constitui de punho ou suporte que sustenta o bico de contato, geralmente feito a base de cobre, que é responsável por fazer a energização do eletrodo (aramé), de um bocal que instrui o fluxo de gás protetor e de um gatilho de acionamento do sistema. A tocha pode ser resfriada com ar, água ou até mesmo utilizando o próprio gás de proteção, dependendo de sua capacidade e do fator de trabalho (MARQUES, 2009).

## 2.8 ANÁLISE DO PROCESSO DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Segundo Ruckert (2016) o ensaio de tração é um dos testes mecânicos de tensão-deformação, esse ensaio pode ser usado para avaliar diversas propriedades mecânicas dos materiais (tenacidade, elasticidade, deformação, tensão, dentre outros). O ensaio consiste em deformar uma amostra até a sua ruptura, mediante uma carga de tração gradativamente crescente que é aplicada ao longo do eixo mais comprido de um corpo de prova.

Segundo Neto (2013), o ensaio de tração como ensaio mecânico, pode ser considerado como um dos melhores ensaios visando à relação custo-benefício uma vez que o seu custo efetivo tomado às devidas condições e exigências, pode ser muito menor que outros ensaios de mesmo cunho.

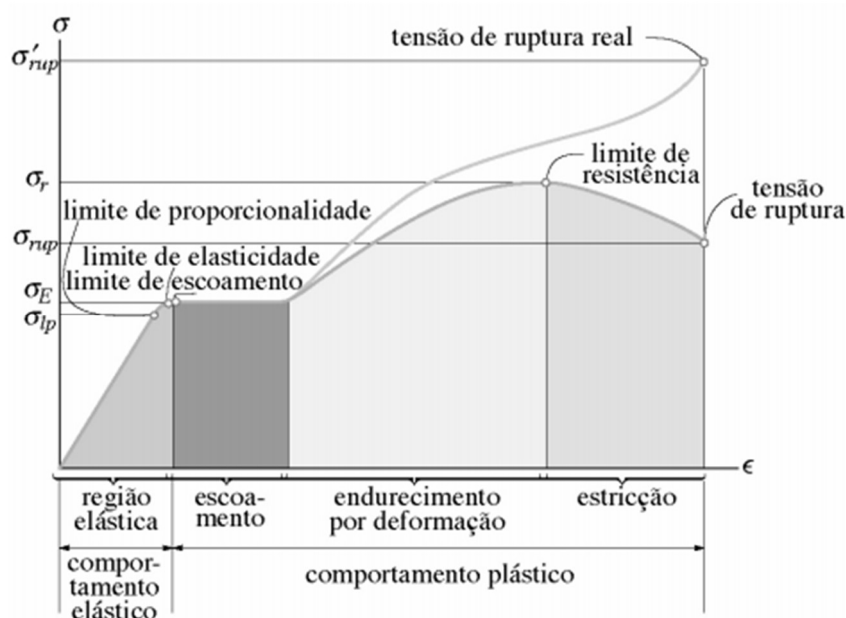
As tensões residuais são aquelas que permanecem na peça quando todas as forças externas e/ou gradientes de temperatura são removidos. Estas tensões são formadas pelo estado de tensões internas do material, que se mantém equilibrados quando livre de forças externas. Elas estão presentes em todos os componentes mecânicos utilizados pela engenharia (MOREIRA, MODENESI e BRACARENSE, 2011 p142).

As tensões residuais podem surgir por três meios diferentes, os quais podem atuar de forma individual ou combinada, são eles:

- Carregamentos mecânicos: podem surgir por meio de ensaios mecânicos. (tração, compressão, torção), jateamento por partículas sólidas, dentre outros.
- Transformações metalúrgicas: fundição, forjamento, trefilação, extrusão.
- Efeitos térmicos: têmpera e soldagem são os mais comuns.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2011), uma das principais causas de seu aparecimento são as ocorrências de deformações plásticas não uniformes ao longo de uma seção da peça, causadas por efeito térmico e mecânico.

Figura 4: Gráfico tensão/deformação.



Fonte: HIBBELER (2000).

Segundo Hibbeler (2009) a máquina de ensaios de tração e rígida tal que suas deformações não sejam atingidas durante teste de tração, e a velocidade de alongamentos da amostra é constante, é possível medir tanto a carga aplicada quanto deslocamento. O resultado de um ensaio de tração deste tipo é registrado em um computador, na forma de carga ou força em função do alongamento.

Segundo Leal (2013), o ensaio de tração como ensaio mecânico, pode ser considerado como um dos melhores ensaios visando à relação custo-benefício uma vez que o seu custo efetivo, tomado às devidas condições e exigências, pode ser muito menor que outros ensaios de mesmo cunho.

A norma da ABNT NBR 6152 (2002) regulamenta os ensaios de tração à temperatura ambiente em materiais metálicos, nela é apresentado os parâmetros para a realização de ensaios de tração em corpos de prova com seção transversal retangular, quadrada, anelar, circular, em casos especiais podem ter alguma outra forma.

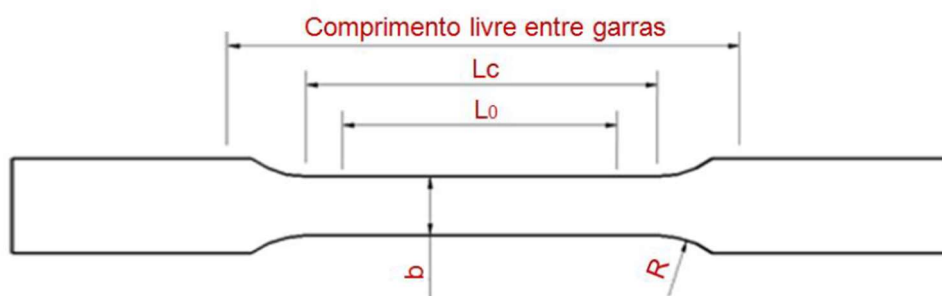
Segundo a norma os corpos de provas usinados devem ter um raio de concordância na saída da região de redução, caso haja uma diferença de dimensão entre as extremidades e a região reduzida. Vale frisar que as extremidades da amostra devem ter as dimensões transversais maiores ou iguais a da região de redução, e elas podem ter qualquer geometria, desde que seja compatível com o dispositivo de fixação da máquina de tração. Outro detalhe importante é que o comprimento de redução não deve ser menor que o comprimento útil quando não houver raio de concordância (NBR 6152).

O relatório de ensaio de tração deve ser contemplado, no mínimo, as seguintes informações (NBR 6152):

- referência à norma;
- identificação do corpo de prova;
- natureza do material ensaiado, se conhecida;
- tipo de corpo de prova;
- localização e orientação da retirada do corpo de prova se conhecidas;
- características medidas e respectivos resultados.

Com relação a corpos de prova com seção transversal retangular ou quadrado, existem algumas particularidades. A norma (ABNT 2002) regulamenta que as chapas não excedem o intervalo compreendido entre 0,1 mm e 3,0 mm de espessura

Figura 5: Esquema de um corpo de prova retangular



Fonte: ABNT (2002).

Onde,

- $L_c$  é o comprimento paralelo.
- $L_0$  é o comprimento útil ou original.
- $b$  é a largura da seção de redução.
- $R$  é o raio de concordância.

Para amostras ter as extremidades mais largas do que o comprimento paralelo ( $L_c$ ), raio mínimo de concordância deve ser de 20 mm. A largura destas extremidades deve ser no mínimo 20 mm e no máximo 40 mm.

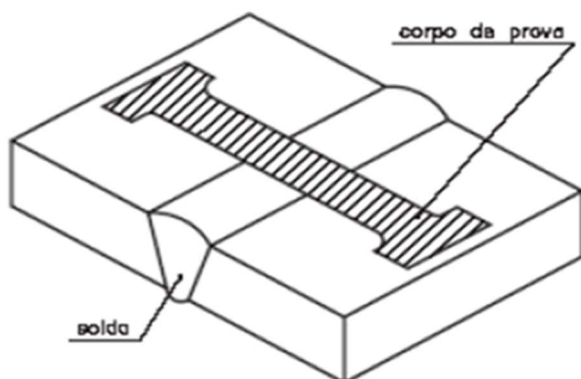
Tabela 6: Dimensões de um corpo de prova retangular (unidades em mm).

| Tipo de corpo de prova | Largura      | Comprimento da medida original ( $L_0$ ) | Comprimento paralelo ( $L_c$ ) | Comprimento livre entre as garras para corpo de prova de lados paralelos |
|------------------------|--------------|------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1                      | $12,5 \pm 1$ | 50                                       | 75                             | 87,5                                                                     |
| 2                      | $20,0 \pm 1$ | 80                                       | 120                            | 140                                                                      |

Fonte: ABNT (2002).

Há vários meios para se obter o corpo de prova, o mais utilizado é o processo de usinagem, mas também pode ser obtido por forjamento ou fundição.

Figura 6: Esquema de como será retirado às amostras para teste.



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado AWS (2010).

## 2.9 ANÁLISE DOS DADOS DE ENSAIO DE TRAÇÃO.

Seria ideal se o metal de solda e a zona afetada pelo calor tivessem exatamente as mesmas propriedades e características que as do metal de base. Entretanto, isso não é possível, porque o metal de solda é fundido, enquanto que a maioria dos metais de base é utilizada no estado forjado ou no laminado. Materiais conformados sempre apresentam maior resistência, ductilidade e tenacidade que os materiais comparáveis no estado fundido. O metal de solda é, no entanto, uma miniatura de um fundido que é rapidamente resfriado, e suas propriedades frequentemente se assemelha às de um material conformado (VAZ 2005).

Segundo Pinheiro (2005), se uma chapa for soldada em toda sua ligação com outra chapa ou estrutura na forma de entalhe reto com um eletrodo com maior resistente não devesse romper nas partes unidas pela solda, somente no material base. Prova com as seguintes formulas.

Equação 1: Equação da resistência à ruptura de uma chapa.

$$R_n = A_e \cdot (0,6 \cdot F_u) \cdot C_t \cdot \phi \quad (01)$$

Fonte: PINHEIRO (2005).

Onde:

$R_n$  = Resistência da peça.

$A_e$  = Área efetiva da peça.

$F_u$  = Resistência a ruptura do material.

$C_t$  = Constante (no caso igual a 0,9).

$\phi$  = índice segurança (0,75).

Equação 2: Equação da resistência do material da solda.

$$R_n = A_w \cdot (0,6 \cdot F_w) \cdot C_t \cdot \phi \quad (02)$$

Fonte: PINHEIRO (2005).

Onde:

$R_n$  = Resistência do material da solda.

$A_w$  = Área efetiva do material soldado.

$F_w$  = Resistência a ruptura do material de solda.

$C_t$  = Constante (no caso igual a 0,9).

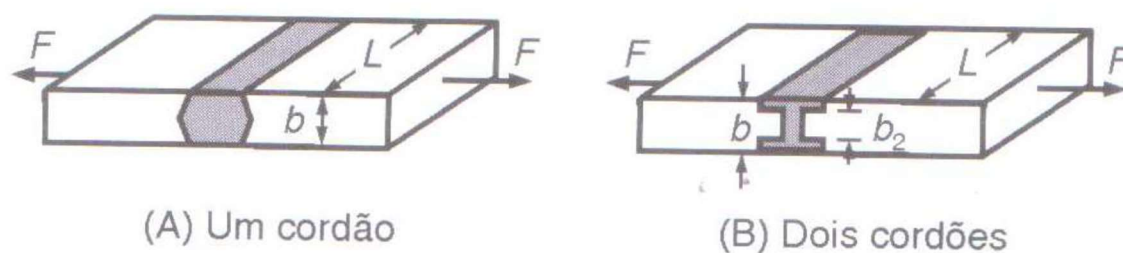
$\phi$  = índice de segurança (0,75)

Como o material soldado a resistência a material é maior (480 Mpa) que a da chapa soldada (360 Mpa) e tem a mesma área efetiva ele deverá se romper na chapa.

### 2.9.1 Cálculos de ensaios de tração

Está representado na figura 6 o dimensionamento de solda segundo WEINER (1992).

Figura 7: Dimensionamento de soldas à tração numa junta de topo.



Fonte: WEINER (1992)

Como o esforço é de tração, a tensão atuante é normal ( $\sigma$ ), por sua vez a definição desta é, onde o valor de  $A = L \times b$ , resultará na equação (3).

Equação 3; Equação do esforço admissível por tração soldado por um filete.

$$\sigma = \frac{F}{b.L} \quad (03)$$

Fonte: WEINER (1992)

Onde:

$\sigma$  = esforço admissível por tração;

L = comprimento do cordão ou largura da peça;

b = espessura da chapa, neste caso, igual à penetração (t) da solda;

F = força de tração.

Supondo que em vez de um só cordão de solda, efetuam-se dois cordões, como mostra na Figura 5 (B), a espessura do cordão anterior (b) é subdividida em (b1 + b2) e a expressão resultante é a equação (4):

Equação 4: Equação do esforço admissível por tração soldado por dois filetes.

$$\sigma = \frac{F}{(b_1+b_2).L} \quad (04)$$

Fonte: WEINER (1992).

### 3 MATERIAIS E METODOS

#### 3.1 LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi realizado em uma empresa do ramo metalúrgico, localizada na cidade de Cascavel – PR – Brasil. Os ensaios responsáveis pela obtenção dos objetivos deste trabalho foram realizados nas dependências da empresa e nos laboratórios do Centro Universitário FAG, Cascavel, em uma temperatura ambiente de 22 °C.

#### 3.2 DETERMINAÇÕES DOS ENSAIOS

Para determinação dos ensaios realizados neste trabalho, foram levados em consideração dois fatores: ensaios pelo qual se consiga alcançar os objetivos esperados e que possam ser realizados na empresa ou na instituição de ensino.

#### 3.3 MATERIAIS UTILIZADOS

##### 3.3.1 Corpo de prova

Os corpos de prova foram soldados em chapa de aço galvanizado *Acelormital* ZAR 230 com espessura de 2,65 mm laminado a quente em bobinas e depois desbobinados e cortado em chapas de 3000 por 1200 mm.

Foram retiradas as seguintes amostras, medidas: 140 x 150 mm no sentido longitudinal da chapa, e soldados no lado que mede 140 mm que são as mesmas já utilizadas na empresa para os testes de solda por dobramento.

Figura 8: Amostras já soldada.

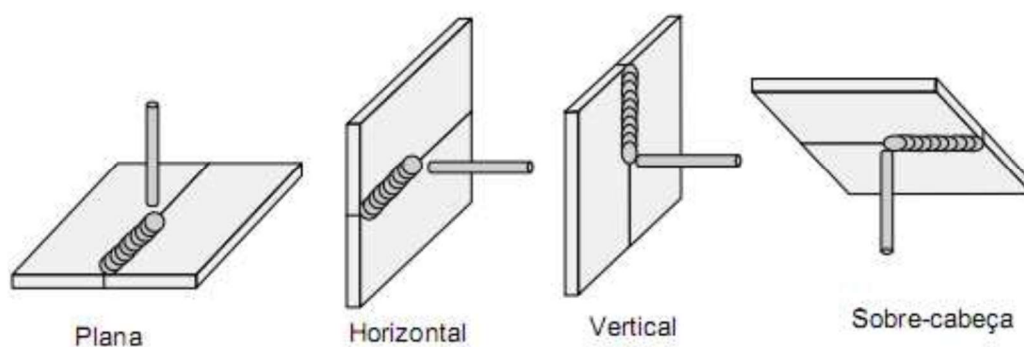


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 3.3.2 Posição de soldagem

A posição de soldagem pode ser, plana, horizontal, vertical e sobre cabeça conforme a figura abaixo.

Figura 9: Posições de soldagem.



Fonte: VAZ (2005).

Para este estudo foi utilizar somente a posição plana e o sistema de soldagem sistema empurrado (01G).

### 3.3.3 Material de adição

Neste ensaio é utilizado o arame solido *ESAB ER 70S-6*, com diâmetro de 1 mm o mesmo já utilizado pela empresa para o procedimento de soldagem.

### 3.3.4 Tipo da junta

Conforme tabela (01), diz que para chapa com espessura ate 4,8 mm pode se soldar com passe único sem preparação, o formato da junta será sem chanfro.

### 3.3.5 Tipo de transferência

Será utilizada transferência por curto-circuito, pois a chapa e de espessura considerada fina. Para baixos valores de tensão e corrente, e usado para soldagem fora de posição e para peças de pequena espessura por curto-circuito, (MODENESI e BRACARENSE 2011).

### 3.3.6 Equipamento de solda

Para a solda será utilizado o equipamento de solda *ESAB LAI 407*, disponível no CTO.

Figura 10: Máquina de solda utilizada ESAB LAI 407



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 3.3.7 Gás de proteção

No caso da vazão dos gases de proteção serão utilizados os parâmetros determinados pelo fabricante ESAB, que são os mesmos já utilizados pela empresa. A mistura é de Argônio (Ar) com 20% de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) *Lidner*, com vazão de 10 l/min.

### 3.3.8 Parâmetros de solda utilizados

Nos ensaios será avaliada tensão, corrente, velocidade do arrame e velocidade de soldagem em que as soldas serão realizadas conforme tabela (7).

Tabela 7: Parâmetros de solda utilizados nos testes.

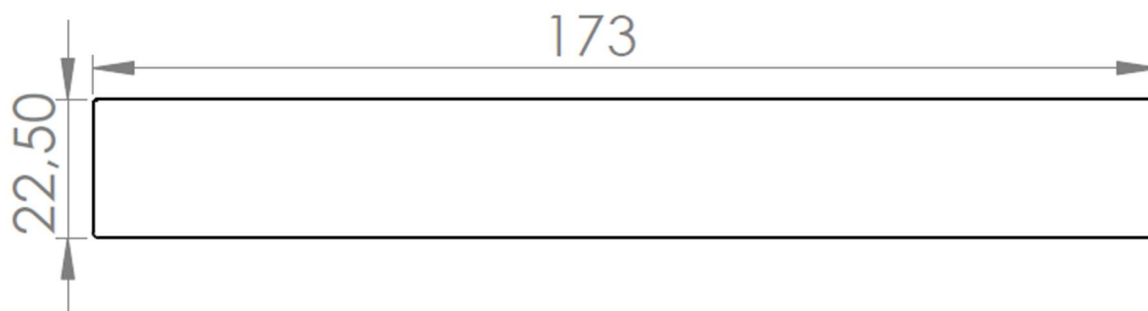
| Arame de solda ER70S-6 |                                           |        |            |       |
|------------------------|-------------------------------------------|--------|------------|-------|
| Diâmetro (mm)          | Variáveis                                 | Abaixo | Referencia | Acima |
| 1,0                    | Tensão (V)                                | 18     | 19         | 20    |
|                        | Corrente (A)                              | 155    | 157        | 160   |
|                        | Velocidade do arame (mm/s)                | 93     | 95         | 97    |
|                        | Velocidade de soldagem (mm/s)             | 10     | 11         | 12    |
|                        | Abertura da raiz (mm)                     | 1.2    | 1.25       | 1.27  |
|                        | Distancia consumível a poça de fusão (mm) | 05     | 06         | 07    |

Fonte: VAZ (2016).

### 3.3.9 Preparação das amostras

Depois de unidas as amostras serão cortadas e furadas na máquina de corte a laser *Trumpf TruLaser 5030 fiber*, com as medidas, conforme figura (10), será feito este primeiro corte para facilitar a fixação da amostra na mesa do centro de usinagem.

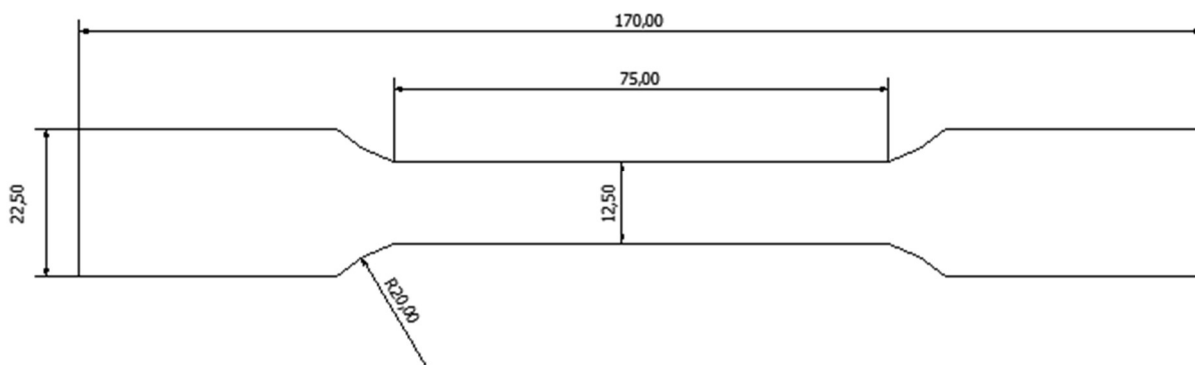
Figura 11: Corpo de prova cortado no laser.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Após as amostras serão usinadas no centro de usinagem *Romani D600* do setor de ferramentaria conforme figura (11), que seguem o padrão da norma NBR 6152 conforme tabela (05) corpo de prova 02.

Figura 12: Corpo de prova já usinado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

### 3.3.10 Ensaio de tração

Com as amostras prontas e devidamente identificadas os ensaios de tração serão feitos na máquina de ensaios de tração (*Pavistest 100t*) número de série 1.3058 do laboratório do Centro Universitário FAG .

## 3.4 CARACTERIZAÇÕES DO PROCESSO

### 3.4.1 Processo de soldagem

O processo de soldagem utilizado para a referente análise foi o MAG. Utilizaram-se 12 corpos de provas, foram soldados com Ag + CO<sub>2</sub> (20%), sendo 04 amostras de cada soldador, conforme figura (07).

### 3.4.2 Monitoramento das amostras

O monitoramento será feito através de uma planilha que acompanhará cada amostra até o seu teste final, armazenando todos os dados colhidos durante o processo conforme (NBR 6152).

Para controle e inspeção das amostras quando estiverem sendo executado e ensaio de tração será acompanhado por esta planilha.

Tabela 8: Tabela de acompanhamento dos corpos de prova.

| Teste de tração                                                     |         |           |      |       |                |                 |     |
|---------------------------------------------------------------------|---------|-----------|------|-------|----------------|-----------------|-----|
| Tipo do CP _____ Dimensões _____                                    |         |           |      |       |                |                 |     |
| Chanfro ( ) Reforço ( ) Pino ( ) Limite de resistência mínimo _____ |         |           |      |       |                |                 |     |
| CP                                                                  | Largura | Espessura | Área | Carga | Limite Resist. | Tipo de fratura | OBS |
|                                                                     |         |           |      |       |                |                 |     |
|                                                                     |         |           |      |       |                |                 |     |
|                                                                     |         |           |      |       |                |                 |     |
|                                                                     |         |           |      |       |                |                 |     |

Fonte: adaptação pelo autor segundo ABNT (6125).

### 3.5 INSPEÇÕES VISUAIS

Antes de enviar os corpos de prova para o corte a laser e usinagem, deverá ser feita uma inspeção visual, avaliando as seguintes discontinuidades:

- **Mordedura:** Máximo aceitável de 10 mm em cordões com 80 mm;
- **Trincas:** Não aceitável;
- **Bolhas:** Não aceitável;
- **Porosidade:** Máximo aceitável de quatro poros isolados em cordões de 80 mm;
- **Caroços de má aparência:** Não aceitável;
- **Cordão de solda com formato de pontos:** Não aceitável;
- **Deposição insuficiente:** Não aceitável;
- **Excesso de respingo:** Não aceitável;

- **Desalinhamento:** Não aceitável;
- **Falta de penetração:** Não aceitável.

### 3.6 INSPEÇÕES DAS AMOSTRAS JÁ USINADAS

Com as mostras já usinadas e prontas para realizar os ensaios de tração devesse ter uma inspeção para que estejam dentro da norma (NBR 6126).

- **Medidas:** inspeção das medidas e deverão estar dentro da tolerância conforme figura (11).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

Os resultados que serão apresentados têm por objetivo mostrar se os parâmetros de soldagem e a qualidade dos corpos de prova seguiram os requisitos da norma NBR (6152).

Na norma AWS (2010) “A resistência à tração não deve ser inferior ao mínimo da gama especificada de tração do metal de base utilizado”. Na tabela (09, 10, 11) mostra os resultados dos ensaios de tração, que devem ser  $\geq$  que 360 Mpa limite de resistência à ruptura do material base ZAR 230.

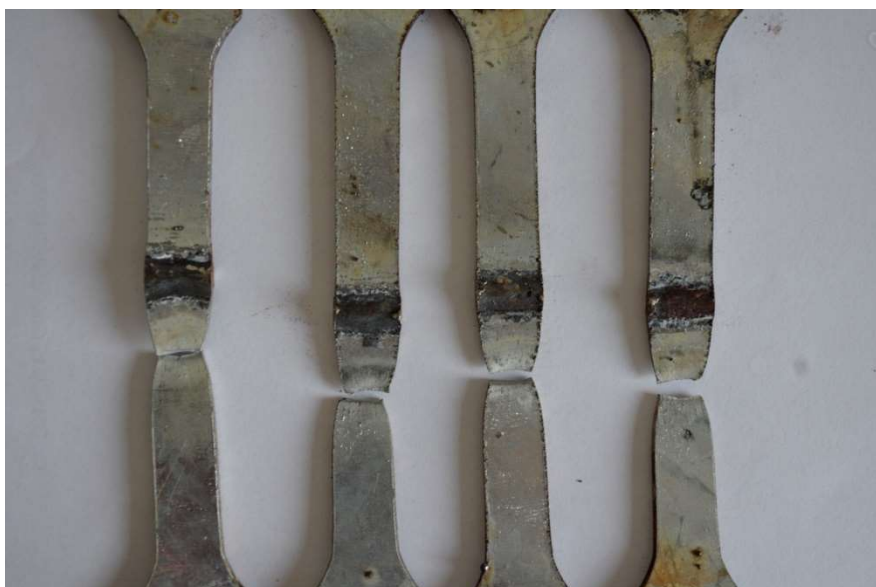
O cálculo da carga calculado seguindo a equação (3).

Tabela 9: Resultados dos ensaios de tração soldador 01.

| CP    | Área                  | Carga máxima | Tensão máxima | Cálculo analítico |
|-------|-----------------------|--------------|---------------|-------------------|
| CP 01 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1360 kgf     | 402,62 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 02 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1450 kgf     | 429,27 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 03 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1460 kgf     | 432,23 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 04 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1460 kgf     | 432,23 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017).

Figura 13: Corpos de prova rompidos do soldador 01.



Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

Tabela 10: Resultados dos ensaios de tração soldador 02.

| CP    | Área                  | Carga máxima | Tensão máxima | Cálculo analítico |
|-------|-----------------------|--------------|---------------|-------------------|
| CP 05 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1470 kgf     | 435,19 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 06 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1460 kgf     | 432,23 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 07 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1430 kgf     | 423,35 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 08 | 32,860mm <sup>2</sup> | 1450 kgf     | 429,27 (Mpa)  | 1272.86(kgf)      |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 14: Corpos de prova rompidos do soldador 02.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Tabela 11: Resultados dos ensaios de tração soldador 03.

| CP    | Área                  | Carga máxima | Tensão máxima | Cálculo analítico |
|-------|-----------------------|--------------|---------------|-------------------|
| CP 09 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1470 kgf     | 435,19 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 10 | 32,860mm <sup>2</sup> | 1440 kgf     | 429,75 (Mpa)  | 1272.86(kgf)      |
| CP 11 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1460 kgf     | 435,72 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |
| CP 12 | 33,125mm <sup>2</sup> | 1420 kgf     | 423,78 (Mpa)  | 1283.13(kgf)      |

Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 15: Corpos de prova rompidos do soldador 03.

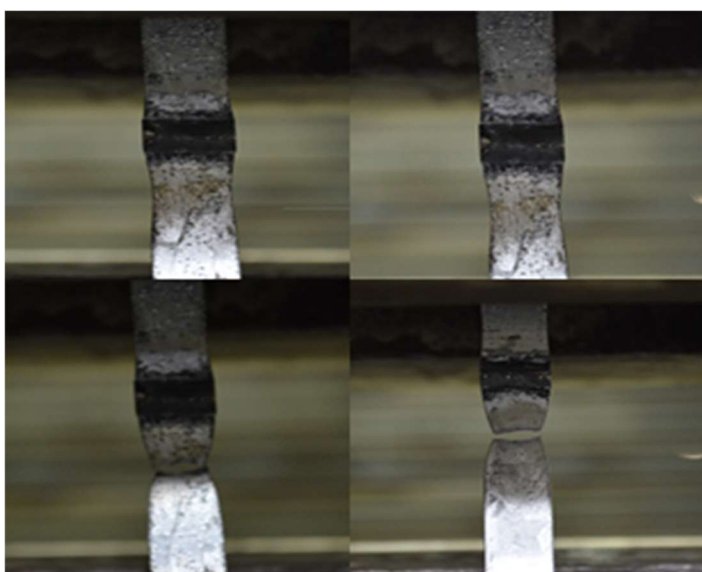


Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

## 4.2 MÉDIAS DOS RESULTADOS

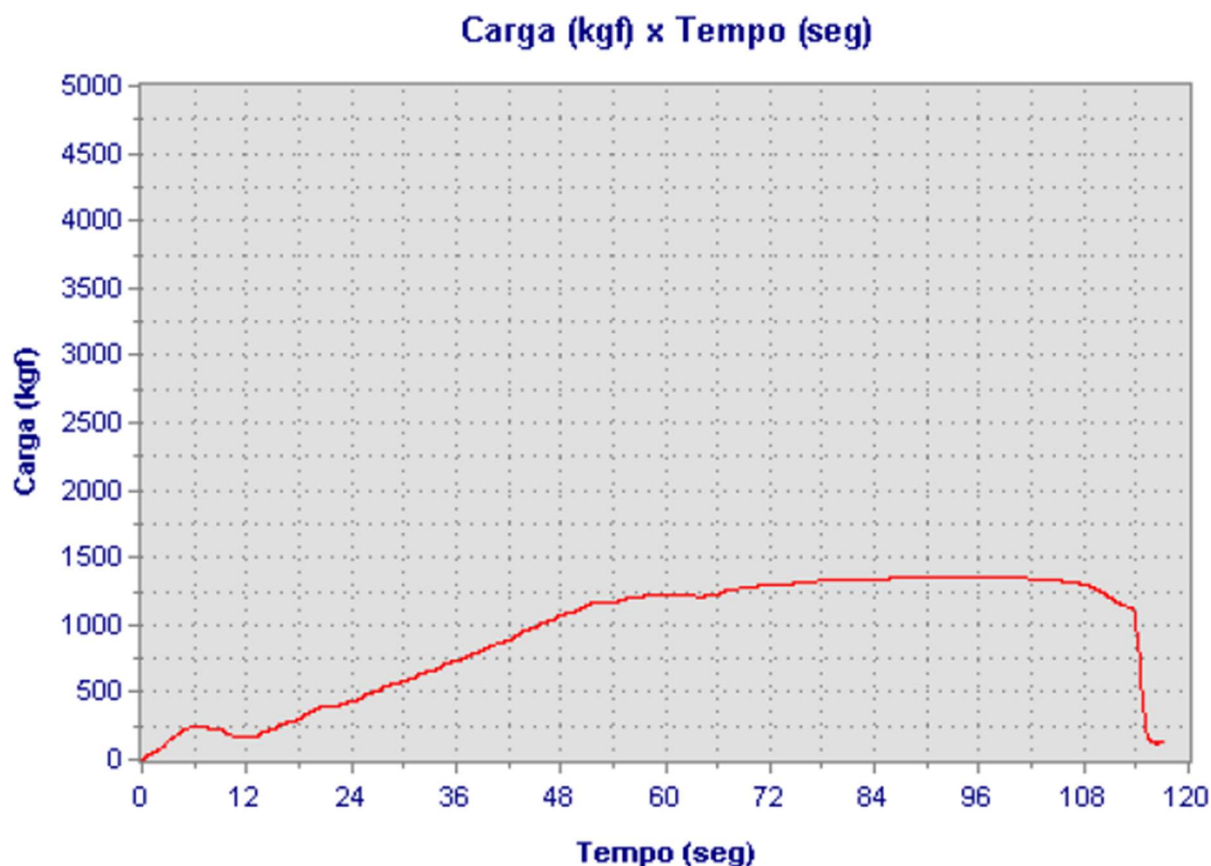
Com os resultados obtidos dos testes verificamos media da tensão máxima de 402,62 (Mpa), e a media da carga máxima, 1360 Kgf onde podemos observar que são superiores as apresentadas pela literatura que e 360 (Mpa).

Figura 16: Sequencia de um ensaio de tração alongamento ate o rompimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Figura 17: Gráfico da carga pelo tempo da amostra 01.



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

#### 4.3 RESULTADOS OBTIDOS

Em respostas aos objetivos propostos, obtiveram-se os resultados demonstrados no decorrer do trabalho concluindo assim:

Com base nos dados dos ensaios, comprovou que o material de adição demonstrou-se mais resistente à tração, assim a solda realizada conforme os padrões exigidos pelos autores, não rompeu na junta soldada e sim, no material base que possuía uma resistência a tração inferior e pelos fabricantes.

Segundo os critérios de avaliação da AWS (2010) e WEINER (1992), as doze amostras estão aprovadas no teste de tração, pois não romperam na solda e sim no material base durante o ensaio destrutivo de tração.

Sobre a soldabilidade discorreu Modenesi (2011): “A facilidade relativa com que uma solda satisfatória, que resulte em uma junta similar ao metal sendo

soldado, pode ser produzida.”, assim o material base aço ZAR 230 tem uma boa soldabilidade com a configuração da solda que foi utilizada neste trabalho.

A viabilidade de implantação deste teste na empresa como requisita de qualificação dos soldadores é possível, pois ela possui todos os equipamentos, os laboratórios e o pessoal com treinamento necessário, incluindo a máquina de ensaio de tração.

Observando os corpos de provas depois de rompidos pelo teste destrutivo de tração, a junta solta e a zona termicamente afetada não sofreu nenhuma deformação plástica quando verificados suas medidas estavam iguais, mas como não é dado suficiente para avaliar esta região, indico para trabalhos futuros outros testes como de dureza e metalográfico, para que seja mais bem analisado o comportamento da ZTA.

## 5 CONCLUSÃO

O ensaio de tração realizado em corpos de prova permitiu identificar e conhecer as propriedades mecânicas dos materiais utilizados. O ensaio obteve sucesso e demonstrou de forma objetiva, a ruptura de um material encontrado em diversas áreas do setor metal mecânico. Não foram identificadas possíveis fontes de erros nos dados em virtude do bom resultado obtido.

Além disso, o ensaio de tração permitiu conhecer o comportamento do material, através de um corpo de prova, durante o ensaio prático, e também foi possível a aplicação de equações para realizar o cálculo das propriedades mecânicas.

Observou-se que o material ZAR 230, suportou os esforços especificados pelo fabricante, resistência à ruptura de 380 Mpa onde os resultados variaram de 402,62 Mpa a 435,75 Mpa com uma media de 428.83 Mpa, um valor médio 13,4% maior que o especificado.

Diante da necessidade da empresa em se buscar a melhoria na qualidade e aspecto da solda, conclui-se que o referente estudo trouxe resultados satisfatórios, verificou-se pelos esforços dos soldadores que fizeram os testes em buscar executar a solda o mais perfeito o possível para que fosse aprovado conforme as exigências dos parâmetros do teste de tração onde todas as amostras foram aprovadas, assim trará melhores dados do processo de solda da empresa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, NBR 6152 Materiais Metálicos: **Ensaio de Tração à Temperatura Ambiente**, Rio de Janeiro, 2002.

ACELORMITAL, **Belgo Bekaert Arames**. Disponível em <<http://belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/Folder-Solda.pdf>>. Acesso em 16 outubro 2016.

AWS D 1.1/ D1.M1 American Welding Society. **Código de Soldagem Estrutural Aço**. EUA Denvers 2010.

BRACARENSE, Ataunde Queiros. MODONESI, Paulo Jose. MARQUES, Paulo Vilane. Soldagem – **Fundamentos e Tecnologia**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 362 p.

CSN. **Catálogo de zincados**. Disponível em <[http://www.csn.com.br/irj/go/km/docs/csn\\_documentos/CSN/CATALOGO\\_ZINCADO.pdf](http://www.csn.com.br/irj/go/km/docs/csn_documentos/CSN/CATALOGO_ZINCADO.pdf)>. Acesso em 09 de outubro 2016.

ESAB. **Apostila de Soldagem MIG/MAG**. Disponível em <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1\\_apostilasoldagemmigmag\\_nova.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1_apostilasoldagemmigmag_nova.pdf)>. Acesso em 30 de outubro 2016.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**, 3.º Ed., Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**, 7ª Edição. São Paulo: Pearson Education, 2010.

LEAL, Ricardo Mendes Neto. **Ensaio de Tração**. IEM-Instituto de Engenharia Mecânica, LEN-Laboratório de Ensaios Destrutivos e Não-Destrutivos, Universidade Federal de Itajubá, 2013.

MARQUES, Paulo Villiani. MODENESI, Paulo José. BRACARENSE, Alexandre Queiroz. Soldagem: **Fundamentos e Tecnologia**. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

MODENESI, Paulo Jose. , **Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas**. Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas**. 2ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2005.

RUCKERT, Dr Cassius O.F.Terra. **Ensaio Mecânicos dos Materiais – Tração**. Disponível em <[https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/217019/mod\\_resource/content/1/Ensaio%20de%20Tra%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/217019/mod_resource/content/1/Ensaio%20de%20Tra%C3%A7%C3%A3o.pdf)>. Acesso em 30 de outubro 2016.

SCOTTI, Américo; Ponomarev, V. **Soldagem MIG/MAG**: melhor entendimento, melhor desempenho, São Paulo: Artliber Editora, 2008.

VAZ, Turani. **ESAB Apostila Soldagem MIGMAG**. Disponível em <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1\\_apostilasoldagemmigmag\\_nova.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1_apostilasoldagemmigmag_nova.pdf)>. Acesso em 30 de outubro 2016

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fábio Duarte Homem. **Soldagem, Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.