

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
ENGENHARIA MECÂNICA  
AUGUSTO SERGIO FROGERI**

**ALTERAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM DE ARCO SUBMERSO PARA  
SOLDAGEM MIG/MAG EM BUSCA DA REDUÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO  
DE RESERVÁTORIO DE AR PARA SISTEMA DE FREIOS DE VEICULOS  
PESADOS**

**Varginha  
2020**

**AUGUSTO SERGIO FROGERI**

**ALTERAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM DE ARCO SUBMERSO PARA  
SOLDAGEM MIG/MAG EM BUSCA DA REDUÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO  
DE RESERVÁTORIO DE AR PARA SISTEMA DE FREIOS PARA VEICULOS  
PESADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentados ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira.

**Varginha  
2020**

**AUGUSTO SERGIO FROGERI**

**ALTERAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDAGEM DE ARCO SUBMERSO PARA  
SOLDAGEM MIG/MAG EM BUSCA DA REDUÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO  
DE RESERVÁTARIO DE AR PARA SISTEMA DE FREIO DE VEICULOS  
PESADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em     /     /

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico esse trabalho aos meus pais, meus irmãos, minha namorada e aos meus amigos que fiz no decorrer do curso, e a todos que sempre me apoiaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família (meu pai Sergio, minha mãe Rosana, meus irmãos Otavio e Gustavo, e principalmente minha namorada Brenda) por me ajudarem a iniciar e agora de poder estar concluindo mais esse ciclo em minha vida. Agradeço a todos meus amigos e colegas de trabalho que me ajudaram desde o início até a conclusão com êxito deste trabalho, em especial ao Francis Mesquita. Agradeço as amizades que fiz antes e durante a graduação, que sempre me incentivaram e me apoiaram.

A viga é feita de momentos, sim, a vida.  
(Estudantes de engenharia)

## RESUMO

Este trabalho aborda um estudo na alteração no processo de soldagem de Arco Submerso para o de soldagem MIG/MAG na fabricação de reservatório de ar para sistema de freios de caminhões, ônibus e máquinas agrícolas na empresa no ramo metalúrgico. Para ser mais competitivo no mercado, a empresa busca a redução de custo e otimização nas operações para entrega do produto final, tal abordagem trata-se de uma modificação em uma das linhas de produção de reservatório de ar na solda circular, que era produzido pela solda a arco submerso na qual utiliza o fluxo de mineral granulado, passando para o processo de MIG/MAG que é realizado pela mistura dos gases dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e argônio (Ar). A alteração levou em consideração a relação entre o fluxo e o gás de solda utilizado, a comparação foi o ponto de partida para que a modificação acontecesse, uma prévia foi realizada de acordo com diâmetro de cada tanque. Com a alteração foi possível observar uma redução de custo anual de 60% no processo de soldagem, além da redução de mão de obra.

**Palavras-chave:** Processo de Soldagem. Arco Submerso. Processo de Soldagem MIG/MAG.

## **ABSTRACT**

*This work addresses a study on the change in the Submerged Arc welding process to the MIG / MAG welding process in the manufacture of air reservoirs for the brake system of trucks, buses and agricultural machinery in the company in the metallurgical industry. In order to be more competitive in the market, the company seeks to reduce costs and optimize operations for the delivery of the final product, such an approach involves a modification in one of the production lines of air reservoir in circular weld, which was produced by submerged arc welding in which it uses the flow of granulated mineral, passing to the MIG / MAG process that is carried out by mixing the gases carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and argon (Ar). The change took into account the relationship between the flux and the solder gas used, the comparison was the starting point for the change to take place, a preview was made according to the diameter of each tank. With the change it was possible to observe a 60% annual cost reduction in the welding process, in addition to a reduction in labor.*

**Keywords:** *Welding process. Submerged Arc. MIG / MAG Welding Process.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo básico de soldagem MIG/MAG .....	13
Figura 2 – Modos de transferência do metal de solda .....	15
Figura 3 – Tocha MIG/MAG.....	17
Figura 4 – Equipamentos para soldagem manual .....	18
Figura 5 – Equipamentos para soldagem automática .....	19
Figura 6 – O processo de soldagem por arco submerso .....	20
Figura 7 – Equipamento de soldagem a Arco Submerso.....	21
Figura 8 – Corpo de prova.....	22
Figura 9 – Máquina de tração e dobramento .....	23
Figura 10 – Dispositivo de dobramento .....	23
Figura 11 – Representação dos principais formatos de vasos de pressão .....	24
Figura 12 – Vaso de horizontal bi apoiado.....	25
Figura 13 – Macrografia de solda.....	26
Figura 14 – Micrografia de solda aumentada em 1000x .....	27
Figura 15 – Máscara para solda.....	28
Figura 16 – Avental de raspa.....	28
Figura 17 – Luva de raspa .....	29
Figura 18 – Perneira de raspa .....	29
Figura 19 – Óculos de proteção.....	30
Figura 20 – Mascara descartável com válvula contra pó e nevoas.....	30
Figura 21 – Abafador de ruído .....	30
Figura 22 – Botina de couro .....	31
Figura 23 – Máquina de solda a Arco Submerso.....	33
Figura 24 – Máquina de solda MIG/MAG adaptada.....	34
Figura 25 – Válvulas solenoide de alimentação dos gases .....	34
Figura 26 – Voltímetro e amperímetro da solda arco submerso.....	35
Figura 27 – Voltímetro e amperímetro do processo MIG/MAG.....	36
Figura 28 – Cabine de ruptura hidrostática .....	37
Figura 29 – Máquina de tração e dobramento .....	37
Figura 30 – Preparação dos corpos de prova.....	38
Figura 31 – Dispositivos de dobramento .....	39
Figura 32 – Corpos de prova MIG/MAG e arco submerso .....	39

Figura 33 – Pressão no manômetro de 1500 Psi.....	42
Figura 34 – Reservatório com ruptura de 1500 Psi .....	42
Figura 35 – Pressão no manômetro de 1400 Psi.....	43
Figura 36 – Reservatório com ruptura de 1400 Psi .....	43
Figura 37 – Ensaio macrografico na solda MIG/MAG .....	45
Figura 38 – Ensaio de macrografia na solda arco submerso com penetração de 3,1mm .....	45
Figura 39 – Ensaio de macrografia na solda MIG/MAG com penetração de 4,2mm .....	46
Figura 40 – Gráfico de custos dos processos de acordo com o diâmetro de cada produto .....	47
Figura 41 – Gráfico de redução do retrabalho na fabricação de tanques no processo de soldagem.....	48

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Processo MIG/MAG .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 Modos de transferência de metal .....	14
2.1.2 Soldagem por Curto-Circuito (Short arc) .....	15
2.1.3 Soldagem Globular (Globular) .....	16
2.1.4 Soldagem por Aerosol (Spray).....	16
2.1.5 Equipamentos .....	17
<b>2.2 Processo de Soldagem a Arco Submerso .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Equipamentos .....	21
<b>2.3 Normas Técnicas.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 ASME IX.....	22
2.3.2 ASME VIII .....	24
2.3.3 SAE J10 .....	25
<b>2.4 Metalografia .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Segurança no Processo de Soldagem .....</b>	<b>27</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Processos de Fabricação do Reservatório de Ar.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Modificações no Equipamento .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Parâmetros de Soldagem Utilizados .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Ensaio Hidrostático .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Ensaio de Tração .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6 Ensaio de Dobramento .....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Macrografia.....</b>	<b>40</b>
<b>3.8 Redução de Custos no Processo.....</b>	<b>40</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem conceituado por Neris (2012, p.5) como “ operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias ao seu desempenho”. São utilizados nas mais diversas situações que vão desde um simples reparo, como o conserto de uma perna de cadeira metálica, até a construção de pontes.

Um enorme número de diferentes processos aplicados na produção e recuperação de peças, máquinas e estruturas é conhecido pelo termo de soldagem. A soldagem é conhecida como um método de união, no entanto, vários processos de soldagem, são utilizados para deposição de material sobre uma superfície, em busca da restauração de componentes danificados ou para formação de um revestimento com propriedades especiais (MODENESI; MARQUES, 2000).

A soldagem envolve alguns fenômenos metalúrgicos como, por exemplo, fusão, solidificação, modificações no estado sólidos, deformações ocasionadas pelo calor e tensões de contração, que são capazes de causar muitos problemas práticos. Essas situações podem ser evitadas ou resolvidas aplicando-se os princípios metalúrgicos apropriados aos processos de soldagem (ESAB Brasil, 2005).

Hoje em dia, a maioria dos produtos fabricados utiliza algum processo de solda. No mercado encontra-se vários processos de solda, tais como, MIG/MAG, Arco Submerso, por explosão, Tig, em materiais elétricos e eletrônico, plástico por ultrassom e entre outros tipos de soldagens, e conforme a cada classe de material existe um processo de solda com características específicas (ALMEIDA, 2014).

O processo de soldagem circular era realizado pelo processo de arco submerso, porém algumas análises foram realizadas observando os setores de manutenção e engenharia da unidade, e a partir disto, foi realizada a modificação no sistema elétrico e mecânico do equipamento de uma das linhas de produção para soldagem MIG/MAG, a fim de realizar testes e comparações de resultados. Com a modificação visa-se uma ampla melhoria no processo, como aumento de produtividade, melhores parâmetros, acabamento da solda, melhor penetração na raiz e diminuição do custo de produção. O objetivo deste trabalho é apontar estatisticamente as melhorias obtidas e o quanto de valor esta mudança acrescentou ao processo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

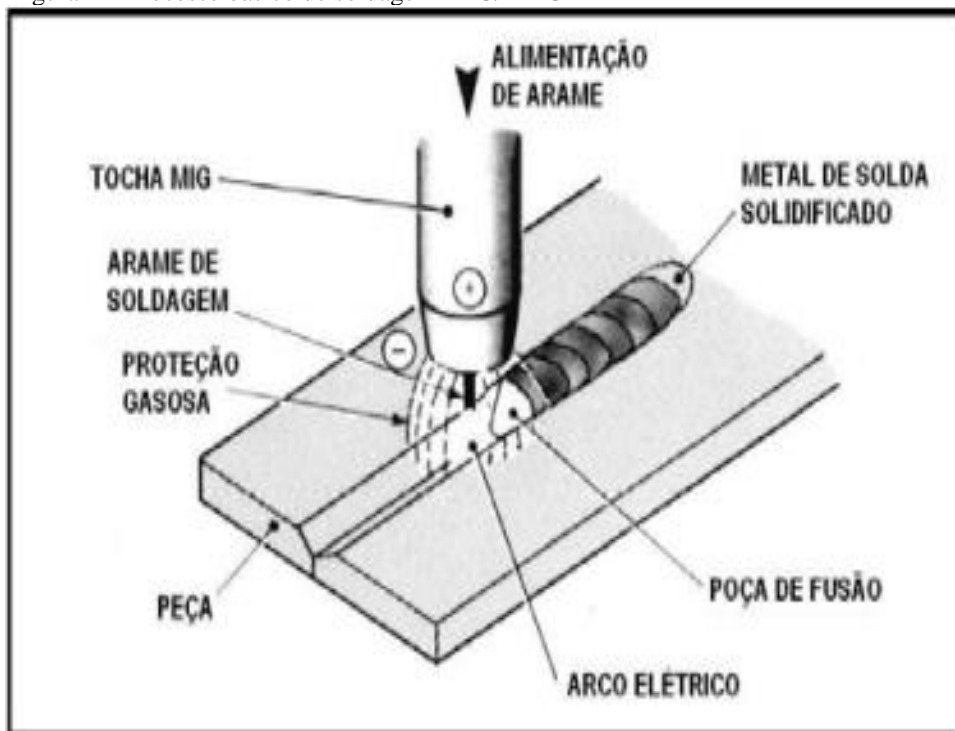
Atualmente, existem mais de 50 processos de soldagem diferentes utilizados no campo industrial, a soldagem é o método mais importante de fixação permanente de metal (MODENESI; MARQUES, 2000).

Tal abordagem está mostrando os processos de soldagem a arco submerso e MIG/MAG, afim de apresentar quais os parâmetros utilizados, normas técnicas, equipamentos, vantagens e desvantagens.

### 2.1 Processo MIG/MAG

“A soldagem MIG/MAG é um processo de soldagem a arco que produz união dos metais pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo contínuo e consumível e a peça”. (MODENESI; MARQUES, 2000, p.18). Os processos MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gas) utilizam como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo num consumível, alimentado continuamente, e a peça a soldar. A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte (MIG) ou gás ativo (MAG). A soldagem pode ser semiautomática ou automática (ESAB Brasil, 2005).

Figura 1 – Processo básico de soldagem MIG/MAG



Fonte: (ESAB Brasil, 2005)

O processo MIG/MAG é um dos processos de soldagem mais amplamente usados na indústria hoje. Por sua importância na fabricação, caracteriza a necessidade de garantir a qualidade do cordão de solda (SOUZA, 2011).

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no polo positivo e a peça ao polo negativo. Essa configuração é conhecida como polaridade reversa (GROETELAARS, 2005).

São comumente empregadas correntes de soldagem de 50 A até mais que 600 A e tensões de soldagem de 15 V até 32 V (ESAB Brasil, 2005).

O processo MIG é adequado a soldagem de aço carbono, aços de baixa, média e alta liga, aços inoxidáveis, alumínio e ligas, magnésio e ligas e cobre e ligas. O processo MAG é utilizado na soldagem de aços de baixo carbono e aços de baixa liga (ESAB Brasil, 2005).

As principais vantagens deste processo são: processo semiautomático bastante versátil, podendo ser adaptado facilmente para a soldagem automática; a soldagem pode ser executada em todas as posições; a velocidade da solda é elevada; problemas de distorção e tensões residuais diminuídos; soldagem com visibilidade total da poça de fusão; possibilidade de controlar a penetração e a diluição durante a soldagem; facilidade de execução da soldagem; o soldador pode ser facilmente treinado para soldar em todas as posições (ESAB Brasil, 2005).

Suas principais desvantagens são: maior velocidade de resfriamento por não haver escória, o que aumenta a ocorrência de trincas, principalmente no caso de aços temperáveis; a soldagem deve ser protegida de correntes de ar; projeções de gotas de metal líquido durante a soldagem; grande emissão de raios ultravioleta; equipamento de soldagem mais caro e complexo que o do processo com eletrodo revestido (ESAB Brasil, 2005).

### 2.1.1 Modos de transferência de Metal

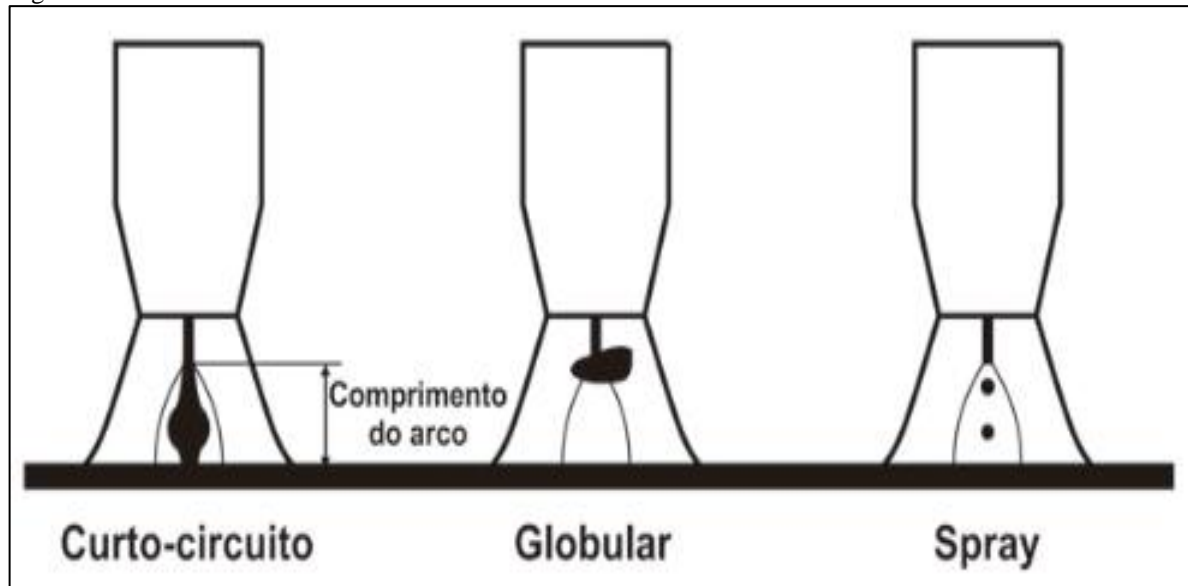
Basicamente o processo MIG/MAG inclui três técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito (short arc), globular (globular) e aerossol (spray arc). Essas técnicas descrevem a maneira pela qual o metal é transferido do arame para a poça de fusão. Na transferência por curto-circuito — short arc, dip transfer, microwire — a transferência ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isso acontece quando o metal fundido na ponta do arame toca a poça de fusão. Na transferência por aerossol — spray arc — pequenas gotas de metal fundido são desprendidas da ponta do arame e projetadas por forças eletromagnéticas em direção à poça de fusão. A transferência globular — globular — ocorre

quando as gotas de metal fundido são muito grandes e movem-se em direção à poça de fusão sob a influência da gravidade (ESAB Brasil, 2005).

Os fatores que determinam o modo de transferência de metal são a corrente de soldagem, o diâmetro do arame, o comprimento do arco (tensão), as características da fonte e o gás de proteção (ESAB Brasil, 2005).

A função do gás de proteção é não permitir que a poça fundida entre em contato com os gases atmosféricos, principalmente oxigênio e fornecem atmosfera ideal e ionizável para arco. Caso ocorra do oxigênio entrar em contato com o material aquecido que está se solidificando podem ocorrer poros (internos ou externos), rachaduras e deformações, também afetam as propriedades mecânicas da juntas soldadas (MARINO, 2010).

Figura 2 – Modos de transferência do metal de solda



Fonte: (ESAB Brasil, 2005)

### 2.1.2 Soldagem por Curto-Circuito (Short arc)

A ponta do arame de soldagem pode estar em contato com a poça de fusão e, se a velocidade de alimentação do arame de soldagem ocasionalmente exceder sua taxa de fusão, ocorrerá um modo de curto-circuito. O metal é transferido nesse modo em baixas corrente e tensão, normalmente de 30 a 200 A e 15 a 22 V, relativamente sendo por isso também dominado “arco curto” (Short arc), utilizando o arame de pequena bitola (MACHADO, 2007).

Como não existe arco no momento em que ocorre o curto-circuito, o metal fundido é modificado devido a tensão superficial. Este método de transferência produz uma pequena poça

de fusão e uma solidificação rápida, adequada para soldar seções finas em todas as posições (MACHADO, 2007).

O diâmetro do arame e a tensão realiza uma profunda influência sobre a frequência do curto-circuito, para aço ao carbono e o gás de proteção CO<sub>2</sub>. Percebe-se que para um mesmo diâmetro de arame, poucos curtos-circuitos ocorrem em alta tensão (outro é o modo de transferência) mas, de acordo com que a tensão é reduzida, existe um máximo nessa frequência. Se a tensão for ainda menor, cessa a transferência; o arco se torna instável, e a seguir o arame de solda na peça sendo interrompida a operação. Por outro lado, conforme cresce a frequência dos curtos-circuitos (MACHADO, 2007).

### 2.1.3 Soldagem Globular (Globular)

No caso em que a corrente e a tensão são maiores do que o anterior (este último parâmetro é maior para evitar curto-circuito), o modo de transmissão se tornará em forma de gota. A força dominante é causada pela tensão superficial e aceleração gravitacional. O diâmetro da gota é geralmente maior do que o do fio de arame (MACHADO, 2007).

### 2.1.4 Soldagem por Aerossol (Spray)

Aumentando-se a corrente e a tensão de soldagem ainda mais, a transferência de metal torna-se um verdadeiro arco em aerossol (spray). A corrente mínima à qual esse fenômeno ocorre é chamada corrente de transição. A corrente de transição depende do diâmetro do arame e do gás de proteção. Entretanto, se o gás de proteção para soldar aços carbono contiver mais que cerca de 15% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), não haverá transição de transferência globular para transferência por aerossol. As gotas que saem do arame são muito pequenas, proporcionando boa estabilidade ao arco. Curtos-circuitos são raros. Poucos respingos são associados com essa técnica de soldagem (ESAB Brasil, 2005).

Uma variação da técnica de arco em aerossol é conhecida como soldagem pulsada em aerossol. Nessa técnica, a corrente é variada entre um valor alto e um baixo. O nível baixo de corrente fica abaixo da corrente de transição, enquanto que o nível alto fica dentro da faixa de arco em aerossol. O metal é transferido para a peça apenas durante o período de aplicação de corrente alta. Geralmente é transferida uma gota durante cada pulso de corrente alta. O período de baixa corrente mantém o arco aberto e serve para reduzir a corrente média. Assim, a técnica



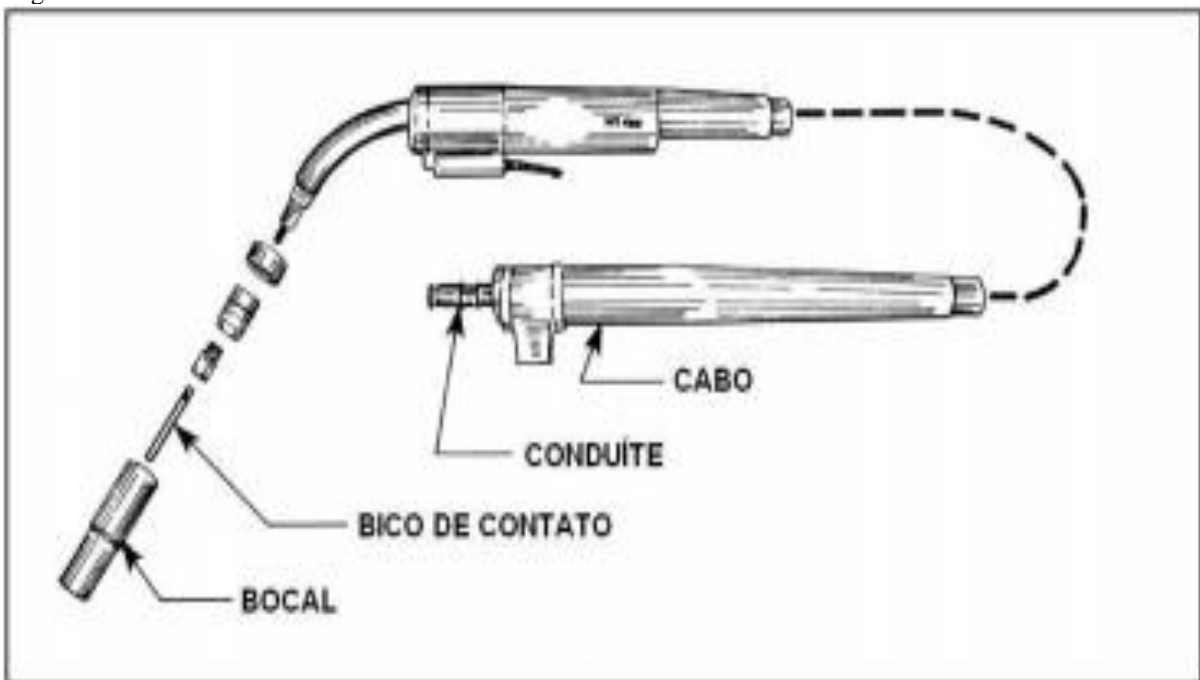
pulsada em aerossol produzirá um arco em aerossol com níveis de corrente mais baixos que os necessários para a soldagem em aerossol convencional (ESAB Brasil, 2005).

### 2.1.5 Equipamentos

Os equipamentos de soldagem MIG/MAG podem ser usados de forma manual, semi-automática ou automática. Na soldagem manual, os equipamentos são fáceis de instalar. Como o trajeto do arco é realizado pelo soldador, somente três elementos principais são necessários: tocha de soldagem e acessórios, motor de alimentação do arame, fonte de energia (MODENESI; MARQUES, 2000).

A tocha de soldagem guia o arame de soldagem e o gás de proteção para a área de soldagem e também traz a energia de soldagem para o arame de soldagem. Existem vários tipos de pistolas de soldagem, variando de tochas pesadas (alta corrente) a leves (baixa corrente) para várias posições de soldagem (ESAB Brasil, 2005).

Figura 3 – Tocha MIG/MAG

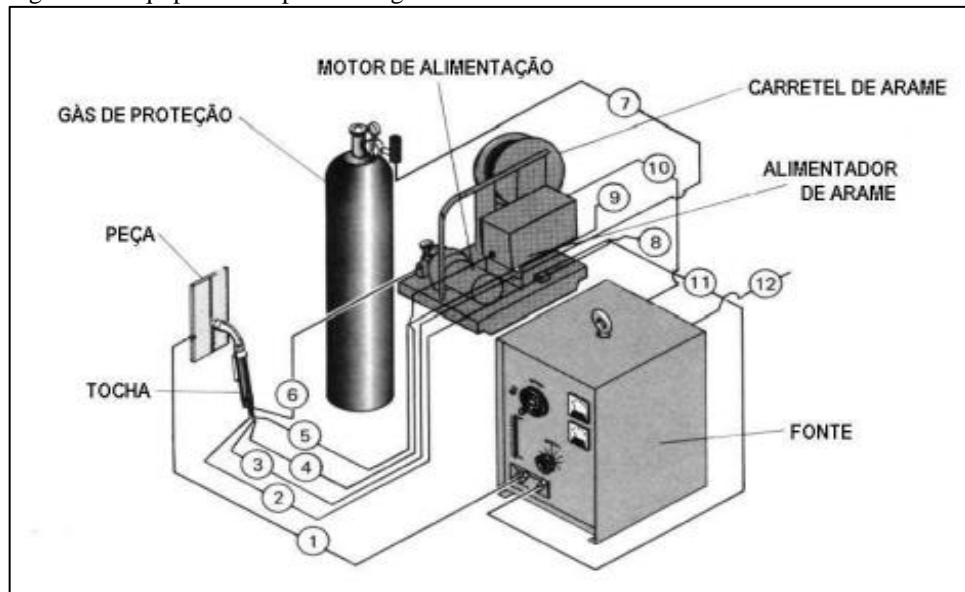


Fonte: (ESAB Brasil, 2005)

O motor de alimentação de arame e o controle de soldagem são frequentemente fornecidos em um único módulo — o alimentador de arame. Sua principal função é puxar o arame do carretel e alimentá-lo ao arco (ESAB Brasil, 2005).

Quase todas as soldas com o processo MIG/MAG são executadas com polaridade reversa (CC+). O polo positivo é conectado à tocha, enquanto o negativo é conectado à peça. Já que a velocidade de alimentação do arame e, portanto, a corrente, é regulada pelo controle de soldagem, o ajuste básico feito pela fonte de soldagem é no comprimento do arco, que é ajustado pela tensão de soldagem (ESAB Brasil, 2005).

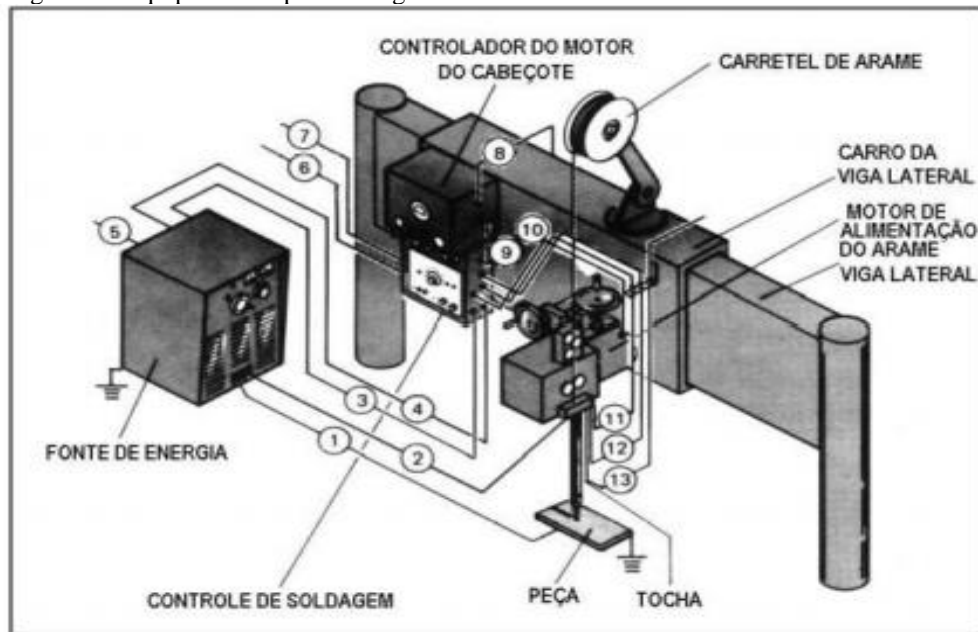
Figura 4 – Equipamentos para soldagem manual



Fonte: (ESAB Brasil, 2005)

Na soldagem automática, o caminho do arco é automático e controlado pela velocidade de deslocamento do dispositivo. Normalmente a qualidade da solda é melhor e a velocidade de soldagem é maior. Como pode ser observado na figura a seguir, o equipamento de soldagem em uma configuração automática é o mesmo que em uma configuração manual, com exceção da tocha que é normalmente montada diretamente sob o motor de alimentação do arame, eliminando a necessidade de um conduíte; dependendo da aplicação, essa configuração pode mudar. Podem ser empregados; adicionalmente, outros dispositivos (ESAB Brasil, 2005).

Figura 5 – Equipamentos para soldagem automática



Fonte: (ESAB Brasil, 2005)

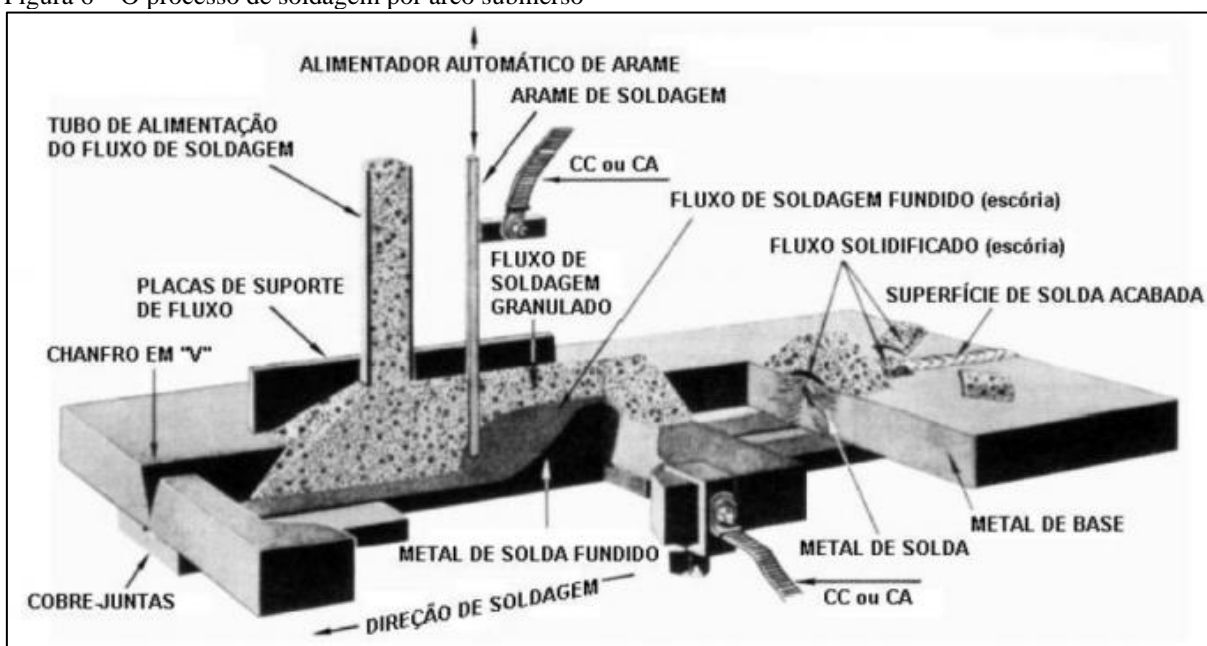
## 2.2 Processo de Soldagem a Arco Submerso

A soldagem por arco submerso (SAW) é um método no qual o calor requerido para fundir o metal é gerado por um arco formado pela corrente elétrica passando entre o arame de soldagem e a peça de trabalho. A ponta do arame de soldagem, o arco elétrico e a peça de trabalho são cobertos por uma camada de um material mineral granulado conhecido por fluxo para soldagem por arco submerso. Este material granulado possibilita a proteção da poça de fusão contra a contaminação atmosférica. Não há arco visível nem faíscas, respingos ou fumos (ESAB Brasil, 2004).

O Prof. Luiz Gimenes Jr (2013, p.2) destaca em sua obra “Processo de Soldagem por Arco Submerso” que a “maior limitação deste processo de soldagem é o fato de não permitir soldagem em posições que não sejam planas ou horizontais, e ainda assim a soldagem em posições horizontais somente é possível com a utilização de retentores de fluxo de soldagem”.

De acordo com Micalli Jr. et al. (2002), uma característica do processo de soldagem por arco submerso está em seu rendimento, pois, praticamente não existe perda de material por projeções (respingos).

Figura 6 – O processo de soldagem por arco submerso



Fonte: (ESAB BRASIL, 2004)

Em virtude do processo SAW ser empregado na união de grandes espessuras, o mesmo é utilizado principalmente na construção naval, fabricação de tubos e vasos de pressão. Além da união, este processo também pode ser utilizado em aplicações de revestimento de peças.

Neste tipo de aplicação, o processo SAW é frequentemente empregado no depósito de aços inoxidáveis ou resistentes ao desgaste como rolos de aço para lingotamento contínuo, vasos de pressão, rodas de vagões e equipamentos para mineração, processamento de minério, construção e agricultura. Os processos SAW são:

Arco submerso semiautomático - o soldador empunhar a tocha que conduz o eletrodo e, acoplado a tocha, há um pequeno recipiente que conduz o fluxo. Os controles dos parâmetros de soldagem são feitos na própria fonte, com exceção da velocidade de avanço que é determinada pelo movimento da mão do soldador.

Arco submerso geminado, (twin-arc) – São dois eletrodos nus soldando simultaneamente, acoplados a um mesmo cabeçote e utilizando uma única fonte de energia. O processo fornece pequena penetração e baixa diluição, sendo normalmente usados para a execução de revestimentos.

Arco submerso tandem com 2 ou 3 eletrodos - há 2 ou 3 eletrodos sendo soldados simultaneamente, cada um acoplado em cabeçotes diferentes, formando arcos elétricos distintos, ligados a uma fonte de energia separada.

Arco submerso para soldagem com fita - neste processo o equipamento utiliza um cabeçote, que conduz uma fita como eletrodo permitindo a confecção de cordões de solda com

até 100 mm de largura. Devido à largura da fita (30 a 100mm), o processo fornece penetração e diluição extremamente baixas, e elevada deposição. Ideal para a aplicação de revestimentos, principalmente de aços inoxidáveis e aço-carbono (ESAB Brasil, 2004).

### 2.2.1 Equipamentos

O conjunto básico utilizado na soldagem a Arco Submerso é composta por: Fonte de Energia, Sistema de Controle, Unidade de alimentação de arame, Tocha, Reservatório de Fluxo. Esses equipamentos fornecem corrente contínua obtida através da retificação da corrente por meio de diodos ou tiristores. O sistema de controle desses equipamentos geralmente possui, medidores de corrente e tensão, chave liga/desliga, comando para posicionar o arame e regular a velocidade de deslocamento (ALUSOLDA, 2018).

A unidade de alimentação do arame possui um motor-reductor que aciona o conjunto de roldana de tracionamento que são adaptadas de acordo com o tipo e dimensões do material utilizados. O contato elétrico é feito através do bico de contato montado na extremidade da tocha. O fluxo é enviado por gravidade de um reservatório até a poça de fusão através de mangueiras e bocais apropriados. O fluxo não fundido durante a operação de soldagem pode ser aspirado por um sistema de recuperação que o devolve ao reservatório, permitindo sua reciclagem (ALUSOLDA, 2018).

Dependendo do tipo de aplicação, podem ser utilizadas unidades de movimentação tipo trator, manipulador, posicionadores, mesas e viadores (ALUSOLDA, 2018).

Figura 7 – Equipamento de soldagem a Arco Submerso



Fonte: (ESAB Brasil, 2004)

## 2.3 Normas Técnicas

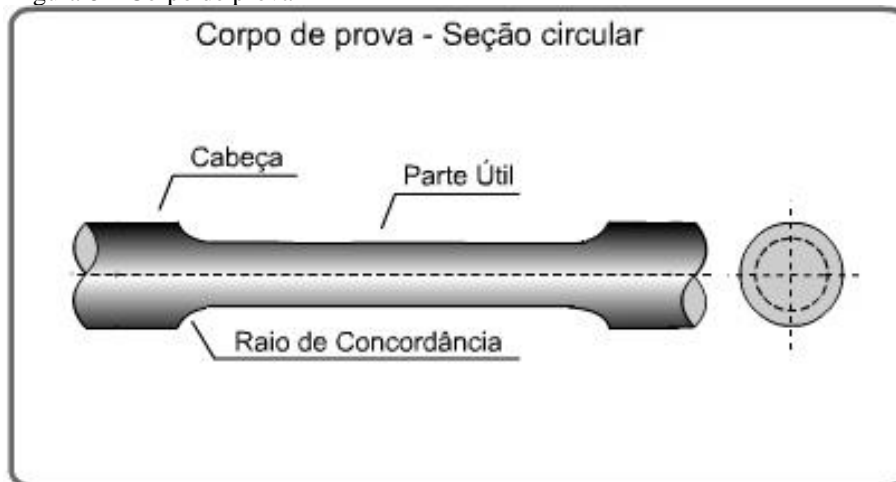
### 2.3.1 ASME IX

A soldagem é um processo que exige muita técnica e habilidade. Por esse motivo, a importância da qualificação dos processos de soldagem e dos soldadores é aplicado a norma *The American Society of Mechanical Engineers* (ASME IX), é considerada uma das mais importante. Considerando a seção IX do código que estabelece todos os procedimentos de qualificação de soldagem e brasagem, a norma é muito significativa, pois determina os critérios básicos para a os processos de soldagem.

De acordo com a ASME, a finalidade da especificação do procedimento de soldagem (EPS) e do registro da qualificação do procedimento (RQP) é determinar se a solda realizada na fabricação é capaz de alcançar as propriedades exigidas para sua pretendida aplicação.

Alguns ensaios mecânicos são realizados nas qualificações dos procedimentos e do desempenho da solda, como exemplo o teste de tração, dobramento guiado e entre outros ensaios existentes. Os testes são realizados em corpos de prova, que podem ser obtidos de uma matéria prima ou de um produto acabado (*AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS*, 1983).

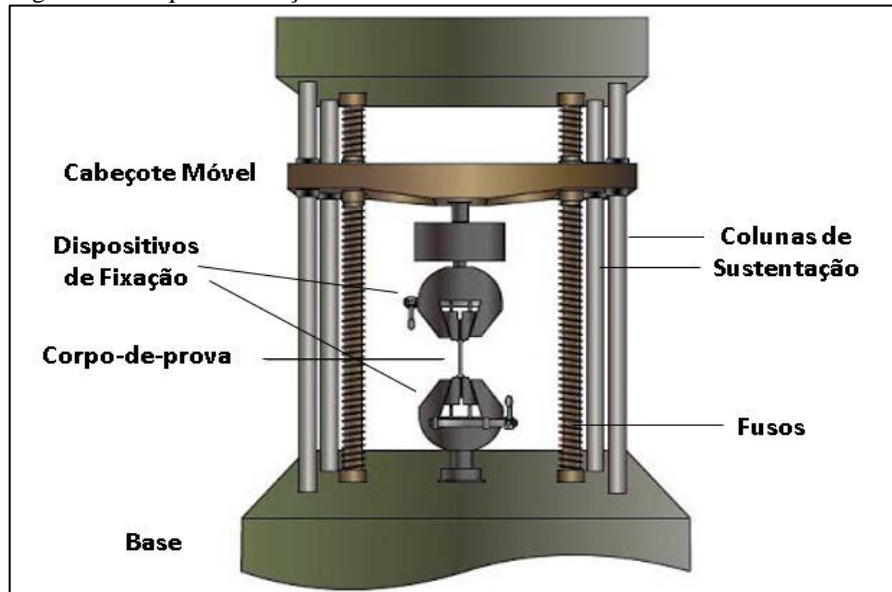
Figura 8 – Corpo de prova



Fonte: (CIMM, 2020)

a) Teste de Tração: São realizados para determinar o limite da resistência, aplicando uma força na axial em um corpo de prova padronizados (*AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS*, 1983).

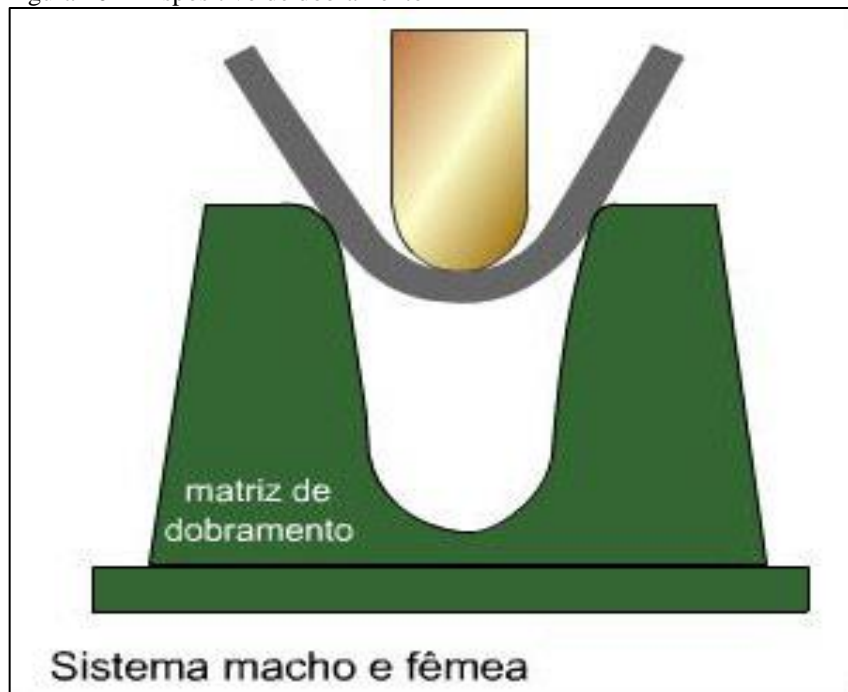
Figura 9 – Máquina de tração e dobramento



Fonte: (Adaptado de ITEN, 2020)

- a) Dobramento guiado: São empregados para determinar o grau de rigidez e a ductilidade de corpo de prova (*AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 1983*).

Figura 10 – Dispositivo de dobramento



Fonte: (GURU, 2016)

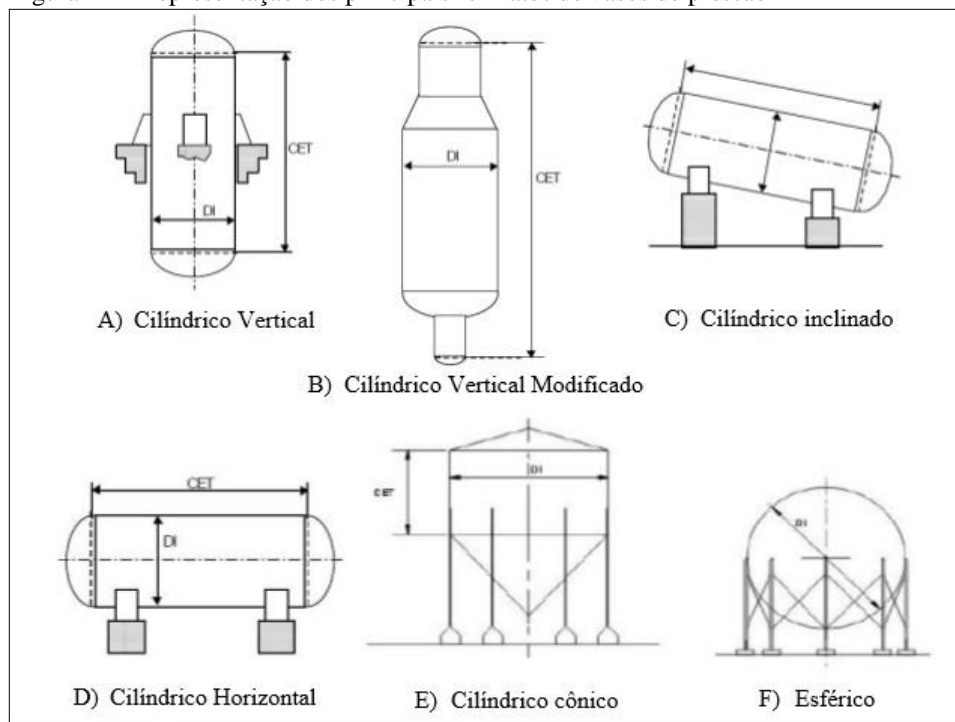
### 2.3.2 ASME VIII

Os padrões técnicos são documentos criados para estabelecer um conjunto de regras para tópicos ou atividades específicas. A norma ASME VIII se refere a definição dos requisitos de projetos de vasos de pressão, caldeiras e tanque de armazenamento.

Ao contrário do que acontece com quase todos os outros equipamentos, máquinas, veículos, objetos e materiais atualmente em uso, a maioria dos vasos de pressão não constituem projetos de linhas de produção industrial. Exceto em casos muito raros, os navios são geralmente projetados e fabricados para atender a certos fins ou certas condições de desempenho. Portanto, quase sempre é projetado para todos os navios a serem construídos (TELLES, 2007).

O projeto de um vaso de pressão não inclui apenas suas dimensões físicas para suportar a pressão e outras cargas ativas, mas também inclui escolhas técnicas e econômicas de materiais, processos de fabricação, detalhes, peças internas, etc. Para cada aplicação ou serviço, pode-se utilizar um tipo específico de vaso de pressão. Os recipientes mais comuns são: recipientes verticais e recipientes horizontais. E também pode ter algumas alterações, como: vaso inclinado, vaso cônico, vaso esférico, etc (TELLES, 2007).

Figura 11 – Representação dos principais formatos de vasos de pressão

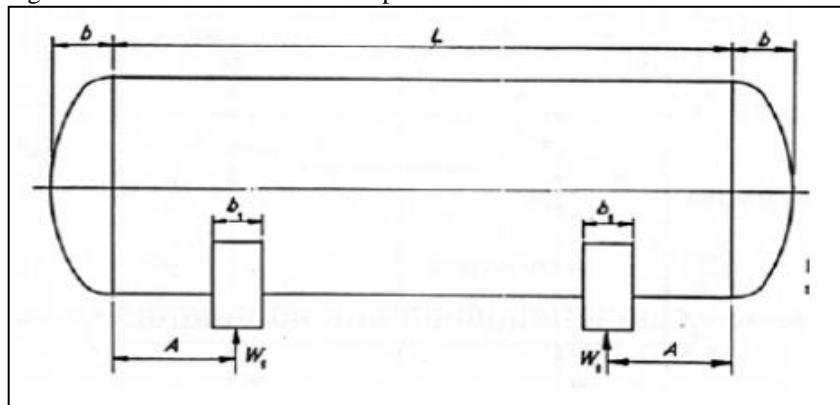


Fonte: (TELLES, 2007)



Neste trabalho, será abordado o vaso de pressão horizontal utilizados em sistemas de freios para veículos pesados como caminhões, ônibus e máquinas agrícolas. Segundo Telles (2007), vasos verticais são usados especialmente quando é necessário fazer o uso da ação da gravidade para o escoamento dos fluidos. Por exemplo, torres de fracionamento, destilação, fermentação, retificação e absorção. De modo geral, os vasos verticais são mais caros do que os horizontais. O vaso horizontal é cilíndrico e, na maioria dos casos, os horizontais são bi apoiados em uma sela soldada ao casco. Além de suportar a carga de pressão, o recipiente também funciona como uma estrutura tubular, com momento e força de corte devido à força de reação no suporte (FALCÃO, 2008).

Figura 12 – Vaso de horizontal bi apoiado



Fonte: (FALCÃO, 2008)

### 2.3.3 SAE J10

Para aprovação de projeto de reservatório de ar, o processo é baseado na norma SAE J10, que tem o objetivo de esclarecer como e quando o teste é realizado, quais testes são feitos em nos tanques, e quais testes são feitos em uma amostra e os teste de vazamento (*SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING*, 2018).

De acordo com a norma SAE J10, para projeto e validação de processo, todos os reservatórios de ar devem ser capazes de suportar uma pressão interna aplicada hidrostáticamente maior ou igual a cinco vezes a pressão de trabalho. Não deve haver nenhuma indicação de ruptura ou deformação circunferencial permanente superior a 1% após ter sido submetido a esta pressão de teste por 5 min.

## 2.4 Metalografia

O procedimento de metalografia examina e define a constituição e a estrutura dos componentes em metais, ligas e materiais. A análise metalográfica tem importância tanto quando se busca prever o comportamento do material quanto em análises de falhas (FILHO, 2013).

O teste encontra a estrutura básica do material a partir das propriedades físicas do material, processo de produção, com o desempenho de suas funções e outros. Pode ser: Macrográfico ou Micrográfico (ROHDE, 2010).

Segundo Rohde (2010) e Costa e Silva apud Colpaert (2008) a análise de macrografia é realizado a olho nu com o auxílio uma lupa ou microscópios estéreos com aumentos que variam de 5x até 50x ou 64x. Através disso é possível obter informes de caráter geral, um aspecto de conjunto sobre a homogeneidade do material da peça, a distribuição, natureza e quantidade de certas impurezas, processos de fabricação, etc.

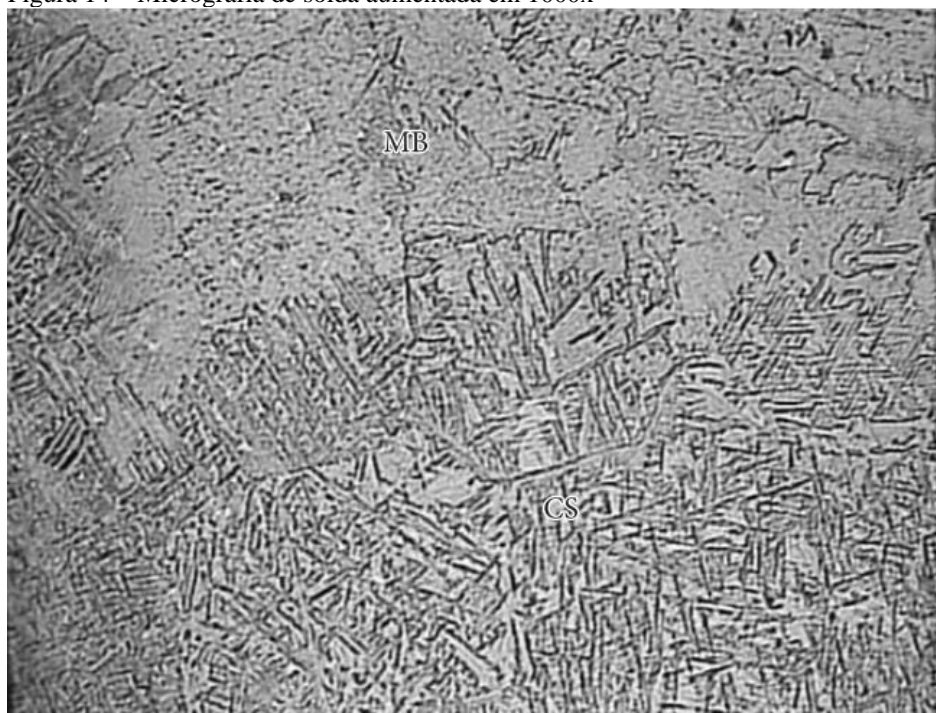
Figura 13 – Macrografia de solda



Fonte: (ROHDE, 2010)

A análise micrográfica pode observar as partículas do material, a natureza, quantidade, distribuição e forma de diferentes componentes, algumas inclusões, etc., que juntos têm tirado uma série de conclusões interessantes e têm praticidade (ROHDE, 2010).

Figura 14 – Micrografia de solda aumentada em 1000x



Fonte: (NAGLE et al, 2013)

## 2.5 Segurança no Processo de Soldagem

As regras de segurança é prioridade em qualquer empresa de algum ramo de produção, para proteção dos operadores e demais pessoas envolvidas no processo, o não cumprimento dessas regras, os riscos de acidentes podem ser maiores ou até mesmo fatais. Na soldagem alguns riscos como incêndio, explosões, choques elétricos, emissão de raio ultravioleta e infravermelhos estão presentes no ambiente (ESAB Brasil, 2004).

De acordo com a norma regulamentadora (NR18), os trabalhos que envolve soldagem e corte a quente podem ser realizados somente com profissional capacitado, obrigatória a utilização de equipamento de proteção eficaz para a proteger os trabalhadores (BRASIL, 2020).

O EPI tornou-se indispensável para os profissionais que estão expostos frequentemente a situações de riscos no ambiente de trabalho. No processo de soldagem, os operadores estão sujeitos a diversos riscos, que variam desde queimaduras, lesões na visão, perda auditiva, intoxicação, entre outros (CONECTA FG, 2020).

A máscara de soldagem pode ser um modelo regular sem alterar o grau de escurecimento ou automaticamente. O modelo automático pode proporcionar maior produtividade e qualidade de trabalho, pois o operador não precisa levantar a máscara após a soldagem, pois a própria lente irá limpar o campo lentamente (CONECTA FG, 2020).

Figura 15 – Máscara para solda



Fonte: (CONECTA FG, 2020)

O avental possibilita a segurança em atividades que oferece algum risco de respingo de materiais em fusão, queimaduras, componentes cortantes e principalmente em trabalhos com solda (CONECTA FG, 2020).

Figura 16 – Avental de raspa



Fonte: (CONECTA FG, 2020)

As fabricações das luvas podem ser de raspa ou vaqueta, são resistentes e alta durabilidade. A sua função é proteger as mãos de agentes abrasivos, solda, cortes, perfurações, queimaduras (CONECTA FG, 2020).

Figura 17 – Luva de raspa



Fonte: (CONECTA FG, 2020)

A perneira é para proteção das pernas e joelhos contra agentes abrasivos, térmicos, queimaduras, peças cortantes e perfurantes (CONECTA FG, 2020).

Figura 18 – Perneira de raspa



Fonte: (CONECTA FG, 2020)

Óculos de segurança são fabricados de materiais mais resistentes que os óculos comuns e tem como objetivo de proteger os olhos do colaborador de lesões provenientes de fagulhas e estilhaços de materiais (CONECTA FG, 2020).

Figura 19 – Óculos de proteção



Fonte: (CONNECTA FG, 2020)

A máscara é descartável e são utilizadas para controlar a inalação de gases tóxicos geradas das operações de soldagem em geral (CONNECTA FG, 2020).

Figura 20 – Mascara descartável com válvula contra pó e nevoas



Fonte: (CONNECTA FG, 2020)

O protetor auricular pode ser do formato plug ou tipo concha, este EPI dispositivo previne a perda de audição, onde ocorre os ruídos que são constantes (CONNECTA FG, 2020).

Figura 21 – Abafador de ruído



Fonte: (CONNECTA FG, 2020)

A botina de fabricação de bico de ferro, tem como finalidade proteger os pés contra queimaduras, batidas, cortes e escoriações (CONNECTA FG, 2020).

Figura 22 – Botina de couro



Fonte: (CONNECTA FG, 2020)

De acordo com secretaria especial de previdência e trabalho, estabelecem os procedimentos e os requisitos técnicos dos equipamentos de proteção antes de ser utilizado recebe um Certificado de Aprovação (CA). Os EPIS são submetidos a vários testes, antes que eles cheguem as mãos do profissional, dando garantia da sua eficiência, durabilidade, conforto e proteção (BRASIL, 2020).

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo será abordado o processo de fabricação dos reservatórios na empresa onde foi realizado o trabalho, assim como as modificações no equipamento, os parâmetros utilizados na soldagem, os ensaios realizados para certificar que a mudança não apresentou perda de qualidade da solda e os custos para a implantação do novo processo.

#### **3.1 Processo de Fabricação do Reservatório de Ar**

Na fabricação de cilindros, tanques, reservatórios de ar na empresa estudada, é aplicado atualmente o processo de soldagem MIG/MAG e arco submerso. Ao iniciar-se o processo, as chapas de aço são estampadas nas dimensões especificadas para cada operação e aplicação. Em seguida é realizado o processo de decapagem para retirar as impurezas presente no material e também o óleo. As chapas passam por um processo de calandragem, segundo Perfban (2020) “o processo de calandragem é um processo de conformação mecânica utilizado para efetuar o curvamento de um determinado material, seja estas chapas ou perfis metálicos (laminados ou trefilados)”. Após a calandragem e a obtenção do perfil circular, esta chapa é encaminhada para a máquina de solda longitudinal por arco submerso, para que seja efetuado a solda em toda a extensão do tanque.

Após a conclusão do processo de soldagem longitudinal por arco submerso, parte-se para o processo de soldagem circular com tempo de operação e parâmetros de soldagem pré-determinados. A alimentação das máquinas de soldagem é realizada através de um conjunto de roldanas que realiza o tracionamento do arame consumível no processo para o bico da tocha, a velocidade do consumível é regulada pelo inversor de frequência.

O processo de solda circular é utilizado para a realização da emenda do corpo na calota inferior e superior, conforme é descrito no anexo A. Atualmente a maior parte do processo é realizado por arco submerso, que utiliza um fluxo de soldagem para proteção da poça de fusão no momento de soldagem. Este processo é sensível a variação da umidade relativa do ar, devido ao fato do fluxo ser higroscópico. Em função disso existe a necessidade de ressecamento do fluxo, após o ressecamento a conservação em temperatura de no mínimo 90°.



### 3.2 Modificações no Equipamento

A alteração no processo, não houve a necessidade de uma compra de outro equipamento para realizar a soldagem MIG/MAG, onde o objetivo era adaptar e modificar a máquina utilizada na soldagem a arco submerso.

O equipamento adaptado inclui fonte, tocha de soldagem, alimentador de arame, reservatório de fluxo, sistema de controle, painel de operação, conjuntos de redutores e os cabeçotes de regulagem.

Figura 23 – Máquina de solda a Arco Submerso



Fonte: O autor.

Após a análise de causas identificou-se a necessidade das seguintes aplicações para efeito prático das melhorias estimadas no processo: Instalou-se um sistema com uma válvula solenoide no equipamento onde ocorrerá a alimentação da máquina com a mistura de 15% de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) e 85% de Argônio (Ar) com vazão de 15 a 25 l/min. Em seguida foi instalado a cortina na máquina para a contenção dos arcos voltaico e retirado o reservatório de fluxo.

Figura 24 – Máquina de solda MIG/MAG adaptada



Figura: O autor.

A válvula solenoide é um dispositivo versátil que pode ser usado em muitos campos. A válvula nada mais é do que uma válvula eletromecânica controlada composta por duas partes principais: o corpo da válvula e a bobina. O corpo da válvula é composto por uma tampa, uma mola e um diafragma.

Figura 25 – Válvulas solenoide de alimentação dos gases



Fonte: O autor.

### 3.3 Parâmetros de Soldagem Utilizados

Para definir os parâmetros de soldagem depende de vários fatores, primeiro é necessário verificar a espessura do material, espessura principal, tempo, corrente, tensão e entre outras diversas situações. Outro método importante é controlar os parâmetros de soldagem para entender sua influência na geometria e resistência mecânica do ponto de conformação. O objetivo demonstrar que todos os parâmetros são importantes e que podem interferir na qualidade das juntas de solda.

Na soldagem a arco submerso utilizavam os seguintes parâmetros: de 32 a 35 volts e de 350 a 400 amperes, essa regulagem é variada de acordo com a espessura de cada material e produto. No painel de operação, o voltímetro e amperímetro serve para o soldador regular os parâmetros de acordo com a necessidade de cada processo.

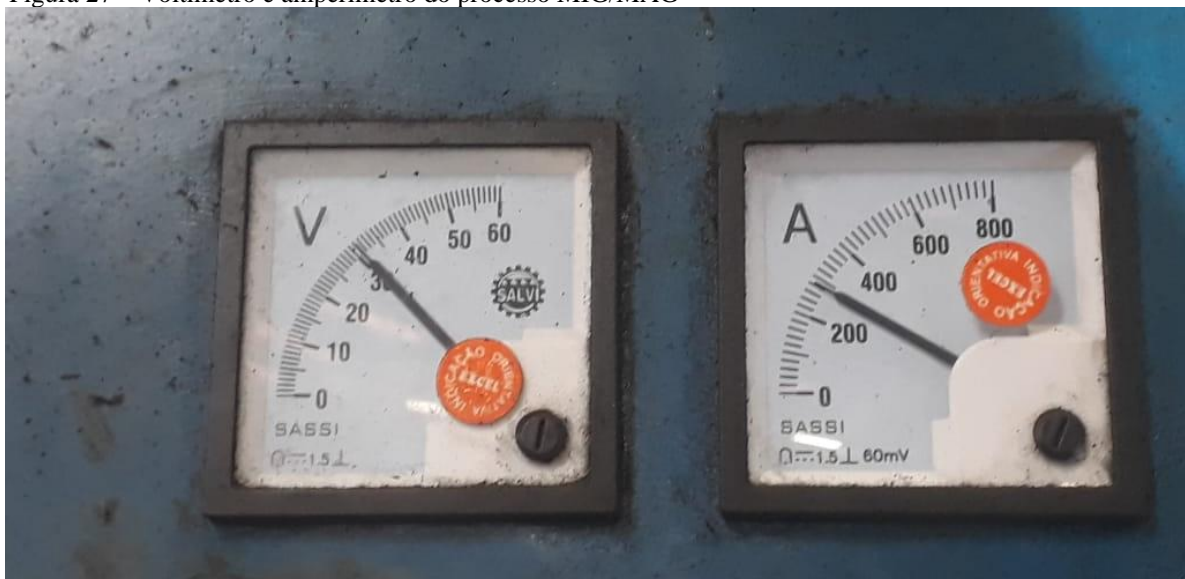
Figura 26 – Voltímetro e amperímetro da solda arco submerso



Fonte: O autor.

Após a alteração os parâmetros de soldagem utilizados passaram a ser de 20 a 30 volts e de 250 a 300 amperes, corrente contínua com polaridade reversa e o tipo de transferência por curto-circuito. As técnicas utilizadas: tamanho do bocal do gás de 20mm, distância do bico de contato a peça de 15 a 20 mm com a velocidade de soldagem de aproximadamente 25mm/s.

Figura 27 – Voltímetro e amperímetro do processo MIG/MAG



Fonte: O autor.

### 3.4 Ensaio Hidrostático

Durante o processo de revisão do produto acabado existe um exigente controle de qualidade, e de acordo com cada cliente é emitido um relatório de inspeção de layout e ensaios. Para emissão destes relatórios alguns ensaios que podem ou não serem destrutivos, foram realizados sob a revisão do engenheiro responsável.

Estabelecer a sistemática para ensaio hidrostático de ruptura, o inspetor da qualidade ou o analista químico deve preencher o relatório nos campos processo, produto, números de lote ou números de série. Primeiramente é verificada a capacidade volumétrica do produto, tara inicial que é o peso do tanque vazio menos a tara final do mesmo cheio de água.

Após a capacidade volumétrica, colocar o reservatório na cabine de ruptura, acoplar o dispositivo e a mangueira da máquina no material a ser testando. Aplicar uma pressão de aproximadamente de 580 Psi, depois aliviar a pressão para a retirada do ar. Acionar a máquina novamente até o rompimento, posteriormente após a ruptura calcular o aumento de volume. Levar o vasilhame após ruptura até a balança e completar o volume de água, pegar a diferença entre o peso da tara total após ruptura com a tara inicial antes do ensaio, Dividir o valor encontrado em litros pela capacidade volumétrica e multiplicar por 100, o resultado é o aumento do volume após ruptura é dada em (%).

Figura 28 – Cabine de ruptura hidrostática



Fonte: O autor.

### 3.5 Ensaio de Tração

Os ensaios mecânicos de tração conforme mencionado no tópico 2.3, são para determinar o limite da resistência e apresentar os devidos resultados de acordo com cada processo, para certificar se o produto está dentro dos padrões e garantir a qualidade.

Figura 29 – Máquina de tração e dobramento



Fonte: O autor.

Para estabelecer a sistemática de ensaio de tração em soldas e matéria prima, o inspetor da qualidade da oficina de preparação de corpo de prova, enviar os corpos de prova devidamente identificados ao laboratório físico, o inspetor da qualidade ou analista químico deve transferir as identificações contidas no mesmos para planilha de ensaio, posteriormente se realiza a medição da largura do corpo de prova com paquímetro e a espessura com micrômetro, multiplica-se a largura pela espessura a fim de determinar a área do corpo de prova.

Figura 30 – Preparação dos corpos de prova



Fonte: O autor.

O limite de ruptura utilizado para aprovação do processo de 400 Mpa, onde calculo realizado para definir se o material atendeu o teste é a carga de tração em Kg, dividida pela área total do corpo de prova e multiplicado pela gravidade de 9,807 m/s<sup>2</sup>.

### 3.6 Ensaio de Dobramento

O ensaio de dobramento tem como objetivo medir o grau de rigidez de uma peça ou material. Após a preparação do corpo de prova, deve ser identificado corretamente identificados e enviado ao laboratório físico, o inspetor da qualidade ou analista químico deve transferir as identificações contidas nos mesmos para planilha de ensaio e realizar os testes. Para realizar o ensaio inicia-se acoplando o corpo de prova no dispositivo manual quando aplicável, o lado a ser ensaiado deve ficar na posição contrária à alavanca, empurrando a alavanca para efetuar o teste e retornando a alavanca para retira-lo.

Conforme imagem 1. Quando aplicável ao dispositivo máquina de tração deve se colocar o corpo de prova com o lado a ser examinado para baixo e acionar a alavanca de carga para iniciar o processo de dobramento, nesse início é possível ajuste da centralização do corpo de prova com o martelo, batendo para direita ou esquerda, após a centralização aumenta se a carga para maior velocidade.

Conforme imagem 2. Após ambos os processos o corpo de prova é dobrado até +/- 180° na morsa.

Conforme imagem 3. Verifica se visualmente se não houve nenhuma descontinuidade na área ensaiada, trincas visíveis, trincas superiores a 3,2mm, escoria, poro e falta de penetração.

Figura 31 – Dispositivos de dobramento



Fonte: O autor.

Figura 32 – Corpos de prova MIG/MAG e arco submerso



Fonte: O autor.

### 3.7 Macrografia

Estabelecer a sistemática na aplicação da macrografia, é obter as informações amplas da peça e determinar a região crítica para análise detalhada da junta soldada. Deve ser aplicado em todos os recipientes de botijões e cilindros novos, requalificados e tanques de ar. A responsabilidade pela aplicação deste procedimento é da produção do técnico de processo de soldagem e laboratório. Esse procedimento deve ser conforme a norma ASME IX.

- a) Corte: para efetuar o corte, pode ser utilizado como o auxílio das seguintes ferramentas: maçarico, serra ou cortador de disco abrasivo adequado ou processo a plasma, o material de ensaio macrográfico deverá ser extraído das mesmas peças que forem separadas para os ensaios mecânicos.
- b) Lixamento: deve-se preparar a superfície plana e polida com lixa adequada, onde a superfície deverá estar à uma temperatura suficiente para aplicação do reativo e posteriormente a revelação.
- c) Ataque da superfície: para aplicação do reativo em superfície plana deve-se proceder a um ataque químico, de acordo com o material e com a finalidade do exame, onde o reativo utilizado é o ácido fosfórico.

### 3.8 Redução de Custos no Processo

A necessidade de redução do custo foi o ponto de partida para a busca de novos procedimentos, que foram primeiro implantados na linha de solda circular nº 1. Algumas variáveis foram observadas e estudadas para encontrar maior viabilidade no processo, sendo elas: gás de solda em relação ao fluxo, arame MIG/MAG em relação a arco submerso, tempo e energia de soldagem e possibilidade de redução de mão de obra. Para a realização da troca da linha 1, foi gasto um valor em torno de R\$ 19.000,00, incluindo apenas a manutenção elétrica, mecânica e estrutural.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quando não se atende alguns requisitos de conservação do fluxo, o resultado é a geração de retrabalho com problemas como poros e porosidades. De acordo com o setor de meio ambiente da empresa, após visita técnica realizada no mês de dezembro, em 2019 foram aproximadamente 14 toneladas de escória de solda para um aterro industrial, gerando um alto custo por tonelada.

Com as informações obtidas através do engenheiro responsável pelo setor, sabe-se que foi realizado um Brainstorming junto da equipe de engenharia da empresa, apontando que o processo possui um custo muito elevado, alta contaminação no setor, baixa eficiência de tempo no chão de fábrica quando comparado a disponibilidade de tempo no mesmo setor, processo altamente sensível a umidade e necessidade de ressecamento do fluxo, além da falta de ergonomia no abastecimento do fluxo para o processo.

Com o intuito de apontar as raízes destes problemas utilizou-se a ferramenta “5 por quês”. O método dos 5 por quês é uma abordagem científica, utilizada no sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas óbvios (OHNO, 1997).

O primeiro ponto a ser tratado foi o desperdício de mão de obra devido a movimentação do fluxo para o processo, que por sua vez ocorre devido a necessidade de separação de escória e reabastecimento. Essa separação é realizada pois o fluxo é reaproveitado, sendo assim a escória pode gerar imperfeições na solda. Para este contexto, a medida tomada foi a avaliação da possibilidade de não utilizar o fluxo.

A contaminação no setor foi um fator importante para buscar novas opções de processos. A contaminação se dá devido a movimentação do fluxo, que por sua vez também ocorre pela necessidade de reabastecimento e reaproveitamento do mesmo. A ação de melhoria encontrada para este caso, foi estimar a possibilidade de mudança do processo.

O ensaio hidrostático foi realizado conforme os seguintes parâmetros: 5 vezes a pressão de trabalho por 5 minutos sem ruptura com expansão menor ou igual a 1,0%; verificação efetuada em 3 pontos distintos do produto onde a alteração ficou em 0,0% em todos. Obteve-se os seguintes resultados com o teste de ruptura fora das juntas soldadas:

- a) Resistiu sem ruptura por 5 minutos;
- b) Ruptura no corpo intermediário fora da solda com 1.500 Psi

Figura 33 – Pressão no manômetro de 1500 Psi



Fonte: O autor.

Figura 34 – Reservatório com ruptura de 1500 Psi

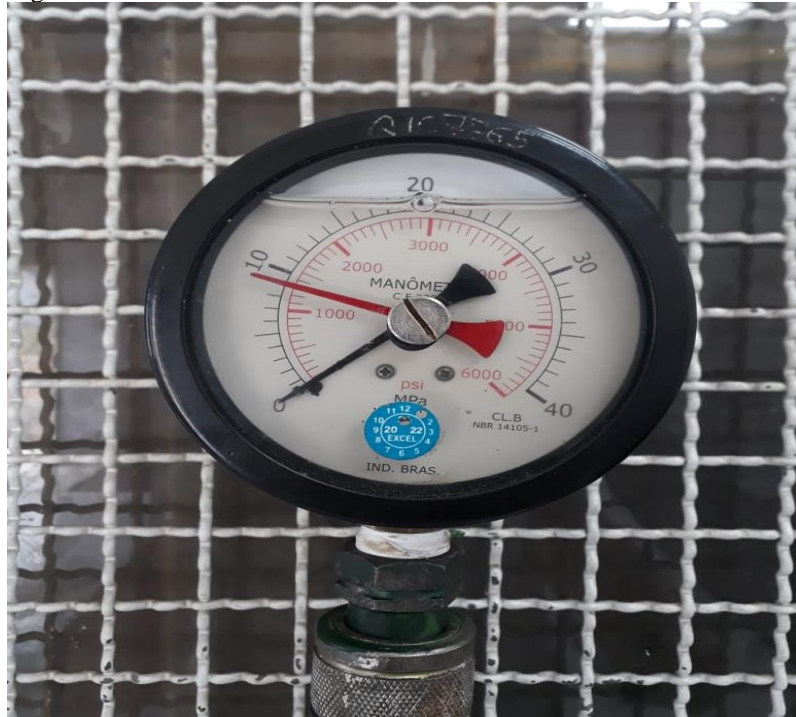


Fonte: O autor.

Em um novo corpo de prova foi realizado o ensaio seguindo as seguintes especificações: hidrostático correspondente a 5 vezes a pressão de trabalho por 5 minutos sem ruptura com expansão menor ou igual a 1,0%. Verificação efetuada em 3 pontos distintos do produto onde a alteração ficou em 0,0% em todos. Obteve-se os seguintes resultados no teste de ruptura fora das juntas soldadas;

- a) Resistiu sem ruptura por 5 minutos;
- b) Ruptura no corpo intermediário fora da solda com 1.400 Psi.

Figura 35 – Pressão no manômetro de 1400 Psi



Fonte: O autor.

Figura 36 – Reservatório com ruptura de 1400 Psi



Fonte: O autor.

Os testes de tração foram realizados em três corpos de provas da mesma peça e modelo, em ambos processos de soldagem, conforme os parâmetros mostrado na tabela abaixo.

Tabela 1 – Relatório de ensaio de tração das juntas soldada

Processo	Produto	Largura x Espessura (mm)		Área Total Corpo de Prova (mm <sup>2</sup> )	Carga Tr (Kg)	Limite de Ruptura (400 MPa)
MIG/MAG	Tanque 01	12,70	2,05	26,04	1350	509
		12,50	2,11	26,38	1300	483
		12,60	2,08	26,21	1330	498
ARCO SUB.	Tanque 01	12,10	2,04	24,68	1200	477
		12,80	2,02	25,86	1250	474
		12,70	2,04	25,91	1270	481

Fonte: O autor.

Os testes de dobramento foram realizados em três corpos de provas da mesma peça e modelo, em ambos processos de soldagem, conforme mostrado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Relatório de dobramento 180° das juntas soldadas

Processo	Produto	Dobramento 180°								Local da Ruptura Fora da Solda		Reteste	
		Face solda circunferencial		Raiz solda circunferencial		Face solda longitudinal		Raiz solda longitudinal					
		Ok	Não Ok	Ok	Não Ok	Ok	Não Ok	Ok	Não Ok	Sim	Não	OK	Não Ok
MIG/MAG	Tanque 01					x		x		x			
		x		x						x			
		x		x						x			
ARCO SUB.	Tanque 01					x		x		x			
		x		x						x			
		x		x						x			

Fonte: O autor.

Ensaio macrográfico considerado satisfatório, pois a raiz da solda estendeu até o baking permanente caracterizando penetração adequada conforme figura abaixo.

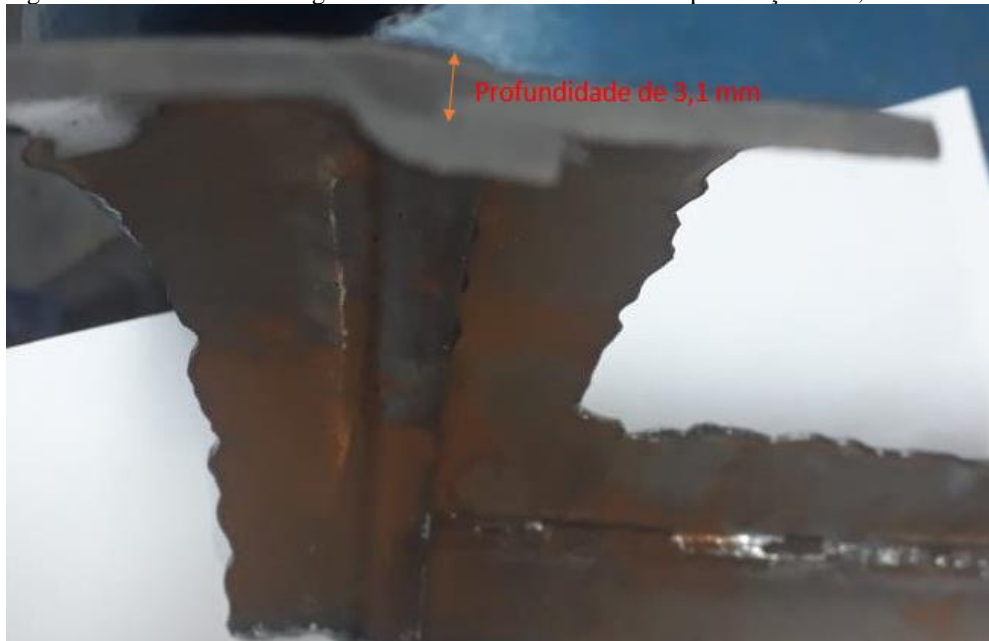
Figura 37 – Ensaio macrográfico na solda MIG/MAG



Fonte: O autor.

Conforme mostrado nas figuras 38 e 39, no processo de soldagem a arco submerso a profundidade de penetração foi de 3,1mm, já na soldagem MIG/MAG a profundidade de penetração foi de 4,2mm. Os dois resultados abaixo, foram medidos a olho nu com paquímetro digital.

Figura 38 – Ensaio de macrografia na solda arco submerso com penetração de 3,1mm



Fonte: O autor.

Figura 39 – Ensaio de macrografia na solda MIG/MAG com penetração de 4,2mm

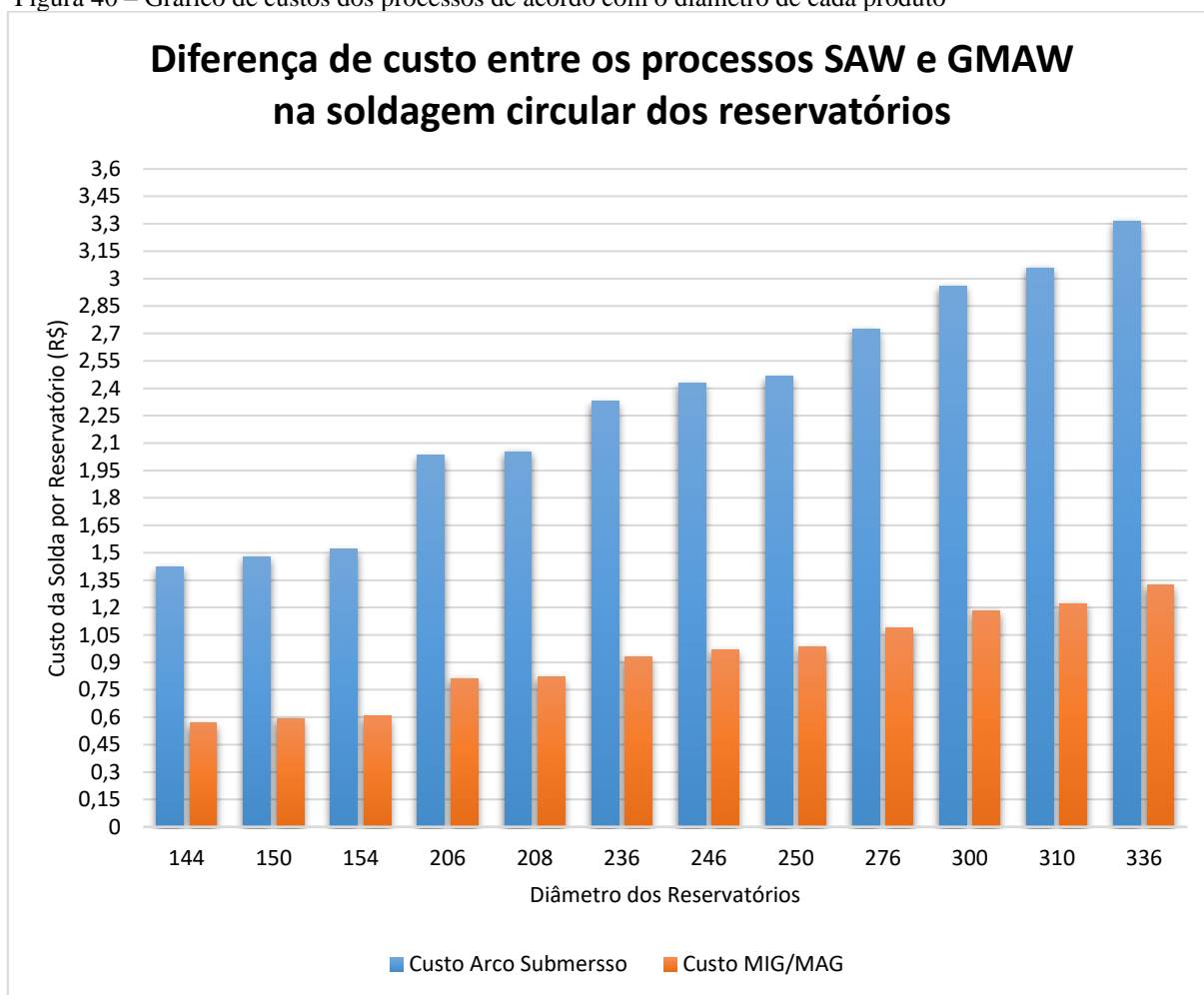


Fonte: O autor.

Todos os ensaios realizados e os resultados foram aprovados. Esses testes atestam ao cliente a eficiência do produto final, garantindo a segurança de trabalho graças a um material devidamente calculado e escolhido para construção do produto, e a excelente escolha e realização dos processos de soldagem, que garantiram a perfeita união dos componentes, fatores determinantes para a excelência do produto final.

Após o acompanhamento da mudança, observou-se em média uma redução de 20% da energia elétrica consumida e otimização de 10% no tempo do processo. Para estimar a viabilidade do processo, levou-se em conta somente a diferença de custo entre o gás e fluxo. Conforme é mostrado no gráfico abaixo, o custo do processo MIG/MAG é equivalente a 40% do valor do processo anterior de Arco Submerso.

Figura 40 – Gráfico de custos dos processos de acordo com o diâmetro de cada produto

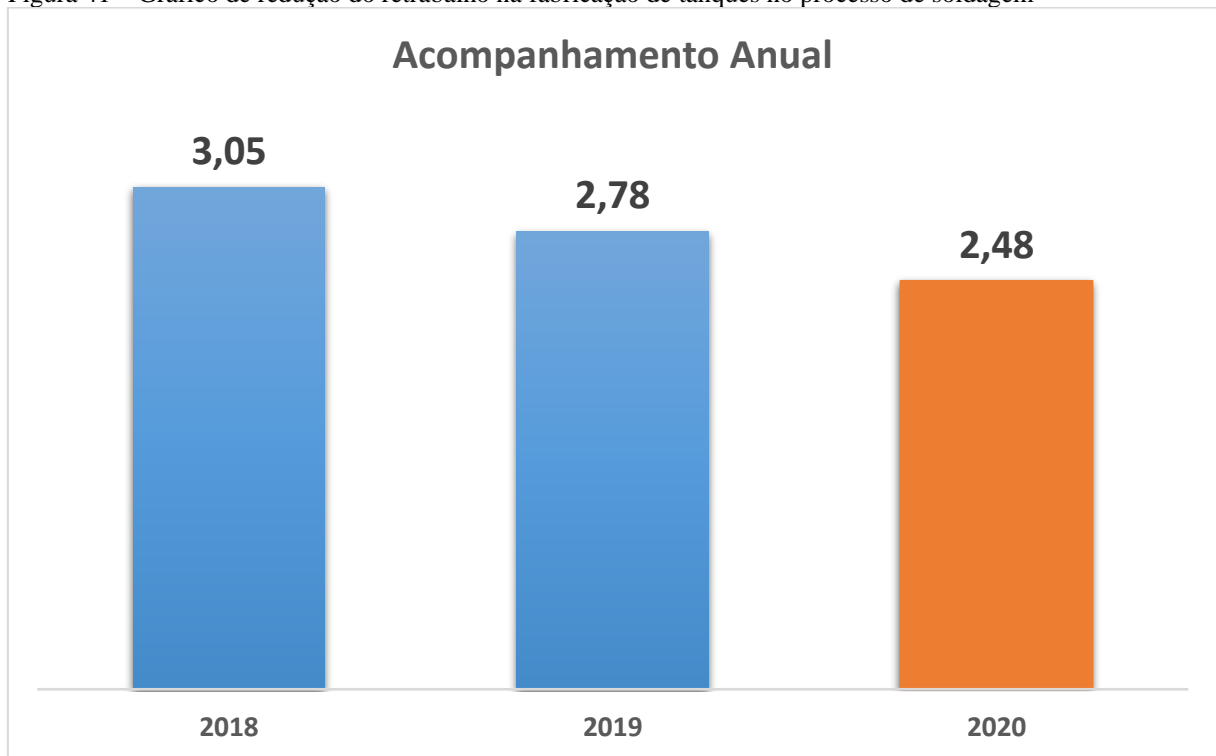


Fonte: O autor.

Com a modificação do processo de soldagem dos reservatórios circulares, o índice de retrabalho também reduziu. O retrabalho ocorre quando a mesma tarefa ou projeto precisa ser refeito parcial ou totalmente. Pode haver vários motivos para que isso aconteça na empresa: falta de consistência com os clientes, processos caóticos, perda de informações, problemas de comunicação entre os membros da equipe. Independentemente do motivo, o retrabalho tende a ter um impacto negativo sobre o andamento de qualquer projeto, portanto, o retrabalho deve ser minimizado ao máximo.

O retrabalho é visto como um prejuízo sem retorno, pois está gerando gasto em um processo que poderia ser evitado. No trabalho em questão, teve uma redução no retrabalho no processo de soldagem em comparação aos anos anteriores conforme mostrado no gráfico abaixo, que está apresentando uma média de redução de 10,8% em relação ao ano de 2019 para o ano de 2020. O cálculo realizado para esta estimativa é a quantidade de peças total de retrabalho, dividida pelo número de peças inspecionadas e multiplicada por 100.

Figura 41 – Gráfico de redução do retrabalho na fabricação de tanques no processo de soldagem



Fonte: O autor.



## 5 CONCLUSÃO

Como toda empresa tem como um dos objetivos principais a redução de custos operacionais, nesta empresa não foi diferente. Tal necessidade fez surgir a troca da solda arco submerso pela solda MIG/MAG. Assim, foi observado que com a troca, a qualidade do produto foi mantida com um menor custo de produção. A quantidade de material depositado se manteve exatamente a mesma com relação ao processo anterior, de arco submerso, porém, com um tempo de realização correspondente a 70% daquele processo.

Analisando a qualidade de ambas as soldas, foi constatado qualidade superior da solda MIG/MAG com relação a de arco submerso. Pelas imagens obtidas, conforme as figuras 38 e 39, pode-se perceber que a solda atingiu uma profundidade maior, caracterizando uma melhor qualidade da mesma. A qualidade superior das soldas MIG/MAG refletem diretamente no índice de retrabalho dos reservatórios que, como demonstrado anteriormente na figura 41, diminuiu 10,8% em 1 ano.

O gasto com a energia elétrica também sofreu uma redução significativa, pois houve uma redução de 20% com a alteração do processo. Além disso, o gás de solda e o arame utilizado na MIG/MAG é mais barato que o fluxo do arco submerso, apresentando uma redução de 60% do custo apenas com o fluxo. Essa redução de 60%, de Janeiro de 2020 até Outubro de 2020 já representou aproximadamente R\$ 393.000,00, como pode ser observado no anexo A, caracterizando uma economia 20x maior que o valor gasto (R\$ 19.000,00) para a implantação do novo processo.

Com isso, pode-se inferir que a redução do tempo de soldagem, a economia de energia, qualidade superior, possibilidade de redução de mão de obra e principalmente a redução dos custos necessários para a produção dos tanques, são vantagens obtidas ao escolher a soldagem MIG/MAG que fazem a total diferença no preço de venda do objeto acima, fazendo com que a empresa seja competitiva no mercado e reconhecida por sua qualidade e excelência.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, FÁBIO SCHOCK. **Análise comparativo entre procedimentos de soldagem com arames tubular (FCAW) e arco submerso (SAW), referente a anéis de um pré - distribuidor de uma turbina Kaplan vertical.** DECEENG – Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, UNIJUÍ, Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Panambi – RS, 2014.

ALUSOLDA. **Equipamentos Utilizados no Processo de Arco Submerso.** Disponível em: <<https://alusolda.com.br/equipamentos-utilizados-no-processo-de-arco-submerso/>>. Acesso em 02 maio 2020.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1** – Pressure Vessels. 1983.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX: Welding and Brazing Qualifications** – Pressure Vessels. 1983.

BRASIL. Ministério da Economia / Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Portaria Nº 3.733.** Fevereiro, 2020.

CIMM. **Corpos de prova para ensaio de tração.** Disponível em: <[https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/6543-corpos-de-prova-para-o-ensaio-de-tracao](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6543-corpos-de-prova-para-o-ensaio-de-tracao)>. Acesso em 12 out. 2020.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** Revisão técnica André Luiz V. da Costa e Silva. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

CONECTA FG. **SOLDADOR:** veja os EPISs essenciais para a profissão. Disponível em: <<http://conectafg.com.br/epis-essenciais-para-soldador/>>. Acesso em 26 set. 2020.

ESAB Brasil. **Equipamentos de Soldagem MIG/MAG.** Disponível em: <[https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0\\_apostilasoldagemmigmag\\_low.pdf](https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf)>. Acesso em 19 mar. 2020.

FALCÃO, Carlos. **Projeto mecânico vasos de pressão e trocadores de calor casco e tubos.** Fundação Biblioteca Nacional do Ministério da Cultura, 2008.

FILHO, H. M. R. L. **Análises de ataques químicos para revelação de microestrutura de soldas dissimilares de aços inoxidáveis austeníticos e ferríticos.** Monografia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

GIMENES JR., LUIZ; RAMALHO, JOSÉ PINTO. **Processo de Soldagem por Arco Submerso.** Portal Brasileiro de Soldagem, 2013. Disponível em: <<https://infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/497-processo-de-soldagem-arco-submerso>>. Acesso em 17 out. 2020.

GROETELAARS, P. J. **Influência da variação de parâmetros de soldagem sobre a transferência metálica e perfil do cordão no processo MIG/MAG duplo-aramé.** Dissertação. Universidade Federal de Uberlândia, 2005.

GURU. **O que é e quais os tipos dos testes de dobramento.** Disponível em: <<https://www.cursosguru.com.br/o-que-e-e-quais-os-tipos-dos-testes-de-dobramento/>>. Acesso em 12 out. 2020.

ITEN. **Ensaio mecânicos destrutivos.** Disponível em: <<http://www.itensp.com.br/ensaios-mecanicos-destrutivos>>. Acesso em 20 out. 2020.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & técnicas conexas: processos.** Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996.

MARINO, Anderson Luís. **Comparação entre os processos de soldagem MIG/MAG eletrodo maciço e alma metálica.** Universidade Luterana do Brasil. Canoas, 2010.

MICALLI JR, ANTÔNIO R.; BATALHA, JOSÉ R.; RAZERA, ROGÉRIO; MARIUCCI, SANDRO L. **Manual de Tecnologia de Fabricação e Soldagem.** Núcleo Tecnológico de Soldagem e Qualidade. São Paulo, 2002.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V. **Introdução aos processos de soldagem.** Universidade Federal de Minas Gerais–Departamento de Engenharia Metalúrgica, 2000.

NAGLE et al. **Análise metalográfica do titânio puro submetido à soldagem laser Nd:YAG e TIG.** Revista de Odontologia da UNESP. 2013 Jan-Feb; 42(1): 1-6.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem. Eixo Tecnológico: Controle e Processos Industriais. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012.**

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção.** Bookman, 1997.

PERFBAN. **Calandragem.** Disponível em: <<http://www.perfban.com.br/blog/calandragem/>>. Acesso em 27 out. 2020

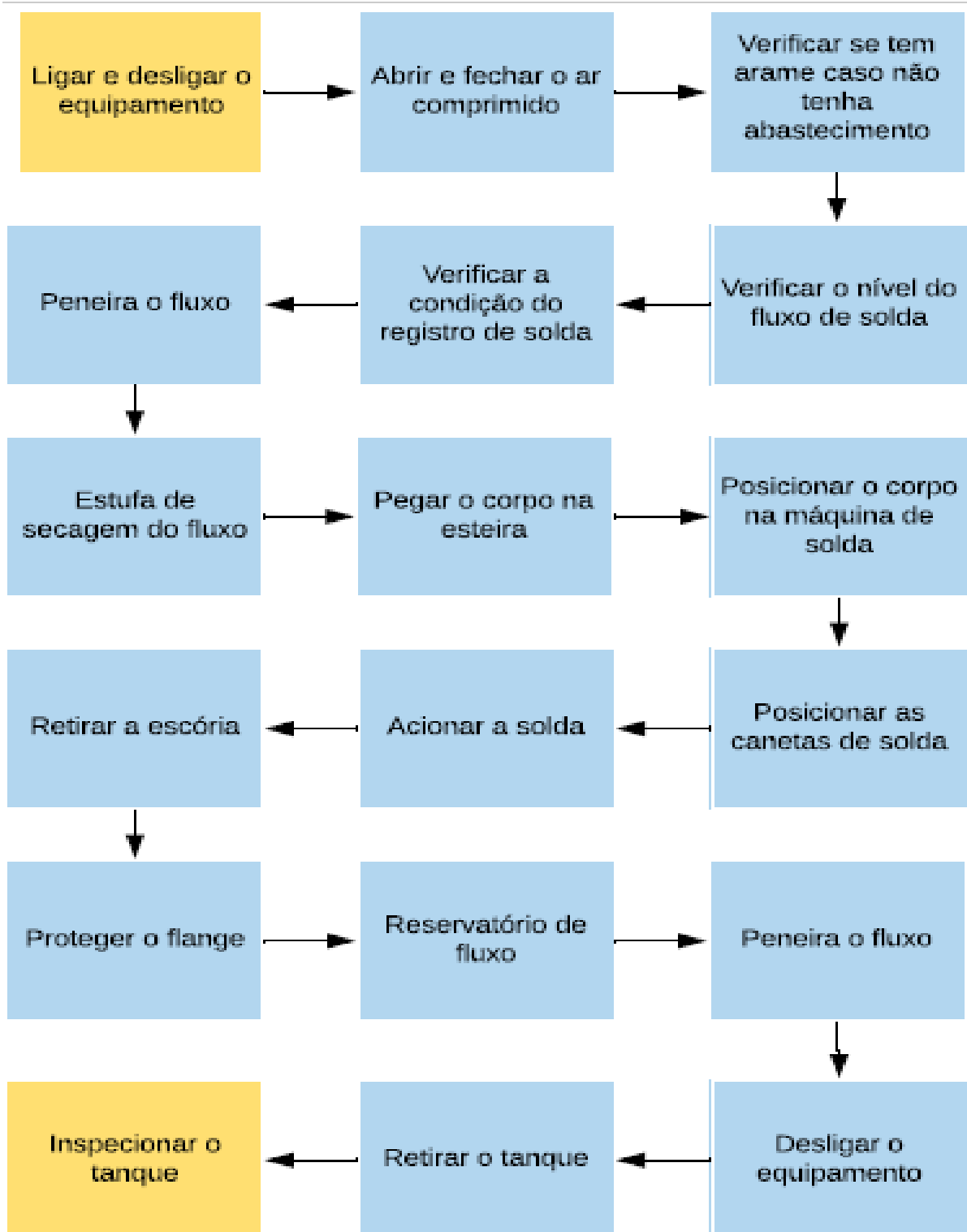
ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras.** Laboratório de ensaios mecânicos. Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e Missões, 3ª Edição, Rio Grande do Sul, 2010.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERING. **Automotive and Off-Highway Air Brake Reservoir Performance and Identification Requirements – Truck and Bus. SAE J10.** 2018

SOUZA, Daniel et al. **Influência da regulagem de parâmetros de soldagem sobre a estabilidade do processo MIG/MAG operando em curto-circuito.** Soldagem & Inspeção, v. 16, n. 1, p. 22-32, 2011.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Vasos de pressão.** Rio de Janeiro, v. 2, 1996.

### APÊNDICE A – Fluxograma do Processo de Soldagem dos Reservatórios



**ANEXO A – Tabela Comparativa dos Custos dos Processos Arco Submerso e MIG/MAG**

<b>Cliente</b>	<b>1° TRI</b>	<b>2° TRI</b>	<b>3° TRI</b>	<b>4° TRI</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Diâmetro</b>	<b>Custo AS (R\$)</b>	<b>Custo MM (R\$)</b>	<b>Diferença custo (R\$)</b>	<b>Economia (R\$)</b>
A	1020	1030	1100	1120	4270	150	1,480	0,591	0,889	3794,999
A	20	10	20	10	60	206	2,032	0,812	1,221	73,234
A	1388	1170	1230	712	4500	250	2,466	0,985	1,481	6665,690
A	80	40	50	60	230	206	2,032	0,812	1,221	280,729
A	2793	4143	4254	3952	15142	250	2,466	0,985	1,481	22429,306
A	2543	2184	2550	2604	9881	250	2,466	0,985	1,481	14636,374
B	0	5	4	0	9	150	1,480	0,591	0,889	7,999
B	0	18	0	0	18	246	2,427	0,969	1,458	26,236
C	140	80	40	0	260	246	2,427	0,969	1,458	378,967
D	0	50	0	0	50	144	1,421	0,567	0,853	42,660
E	10	75	25	0	110	300	2,959	1,182	1,778	195,527
E	15	75	40	0	130	300	2,959	1,182	1,778	231,077
E	0	64	13	0	77	150	1,480	0,591	0,889	68,434
E	268	142	13	0	423	208	2,052	0,819	1,232	521,310
E	322	97	8	8	435	208	2,052	0,819	1,232	536,099
E	651	1128	841	410	3030	300	2,959	1,182	1,778	5385,877
E	2688	2904	2412	2206	10210	150	1,480	0,591	0,889	9074,226
E	26	19	30	10	85	246	2,427	0,969	1,458	123,893
E	7	2	6	2	17	208	2,052	0,819	1,232	20,951
E	6	12	14	9	41	246	2,427	0,969	1,458	59,760
E	558	390	304	163	1415	246	2,427	0,969	1,458	2062,453
E	18	22	10	10	60	246	2,427	0,969	1,458	87,454
E	725	480	772	821	2798	154	1,519	0,607	0,912	2553,060
E	3	0	0	0	3	310	3,058	1,221	1,837	5,510
E	3	0	0	0	3	310	3,058	1,221	1,837	5,510
E	514	428	528	407	1877	206	2,032	0,812	1,221	2290,995
E	17	6	14	6	43	208	2,052	0,819	1,232	52,994
E	3	2	4	0	9	246	2,427	0,969	1,458	13,118
E	118	35	7	3	163	300	2,959	1,182	1,778	289,735
E	5	7	0	0	12	154	1,519	0,607	0,912	10,950
E	2	8	0	0	10	300	2,959	1,182	1,778	17,775
E	0	0	10	180	190	300	2,959	1,182	1,778	337,728
F	128	128	96	96	448	246	2,427	0,969	1,458	652,989
F	160	320	192	128	800	246	2,427	0,969	1,458	1166,051
G	20	20	40	0	80	276	2,723	1,087	1,635	130,825
G	60	150	190	105	505	276	2,723	1,087	1,635	825,835
G	1744	1368	1932	1871	6915	336	3,315	1,324	1,991	13766,516
G	265	315	525	227	1332	246	2,427	0,969	1,458	1941,475
G	180	85	222	78	565	206	2,032	0,812	1,221	689,617
G	10	0	11	0	21	246	2,427	0,969	1,458	30,609

Cliente	1º TRI	2º TRI	3º TRI	4º TRI	TOTAL	Diâmetro	Custo AS (R\$)	Custo MM (R\$)	Diferença custo (R\$)	Economia (R\$)
G	2400	3569	2324	1882	10175	206	2,032	0,812	1,221	12419,217
G	3934	3875	2760	1790	12359	246	2,427	0,969	1,458	18014,036
G	0	270	175	75	520	150	1,480	0,591	0,889	462,154
G	1952	2788	1544	1564	7848	150	1,480	0,591	0,889	6974,978
G	160	208	276	80	724	150	1,480	0,591	0,889	643,461
G	1384	1896	2461	1524	7265	150	1,480	0,591	0,889	6456,832
G	275	400	610	490	1775	276	2,723	1,087	1,635	2902,686
G	400	249	555	145	1349	276	2,723	1,087	1,635	2206,041
G	0	215	140	0	355	276	2,723	1,087	1,635	580,537
G	225	29	119	305	678	246	2,427	0,969	1,458	988,229
G	165	360	190	35	750	276	2,723	1,087	1,635	1226,487
G	35	55	40	25	155	276	2,723	1,087	1,635	253,474
G	90	60	55	70	275	276	2,723	1,087	1,635	449,712
G	10	0	0	6	16	206	2,032	0,812	1,221	19,529
G	6338	6127	5380	5636	23481	276	2,723	1,087	1,635	38398,853
G	7154	6610	7664	7154	28582	144	1,421	0,567	0,853	24386,399
G	77	352	0	6	435	144	1,421	0,567	0,853	371,146
G	360	408	818	384	1970	206	2,032	0,812	1,221	2404,507
G	110	372	230	80	792	206	2,032	0,812	1,221	966,685
G	1058	1477	1840	1666	6041	206	2,032	0,812	1,221	7373,414
G	240	210	525	360	1335	236	2,328	0,930	1,398	1866,749
G	8157	8365	10405	8431	35358	246	2,427	0,969	1,458	51536,554
G	545	722	640	220	2127	246	2,427	0,969	1,458	3100,239
G	3055	2745	3856	7200	16856	246	2,427	0,969	1,458	24568,702
G	8177	8580	8540	9050	34347	246	2,427	0,969	1,458	50062,957
G	0	40	120	5	165	276	2,723	1,087	1,635	269,827
G	6345	5345	8324	7555	27569	206	2,032	0,812	1,221	33649,670
G	1015	1334	1562	1762	5673	276	2,723	1,087	1,635	9277,147
H	8	8	0	0	16	246	2,427	0,969	1,458	23,321
<b>Total</b>	<b>70179</b>	<b>73681</b>	<b>78660</b>	<b>72698</b>	<b>295218</b>		<b>158,209</b>	<b>63,183</b>	<b>95,026</b>	<b>393.338,089</b>