



FACULDADES
DOM BOSCO

**JOÃO VICTOR FERNANDES SILVA
MAYKON IURY ALVES SANTANA**

**MELHORIA DE PROCESSOS COMO SOLUÇÃO DE PROBLEMAS
OCASIONADOS POR ASPECTOS AMBIENTAIS NO PROCESSO DE SOLDAGEM**

Resende - RJ
2023

**ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DOM BOSCO
FACULDADE DE ENGENHARIA DE RESENDE
ENGENHARIA MECÂNICA**

**JOÃO VICTOR FERNANDES SILVA
MAYKON IURY ALVES SANTANA**

Trabalho de Graduação apresentado à
Associação Educacional Dom Bosco,
Faculdade de Engenharia de Resende,
Administrativas e da Computação Dom Bosco
Curso de Engenharia Mecânica, como requisito
parcial para obtenção do diploma de Bacharel
em Engenharia Mecânica

Orientador: Heloiza Alves Gomes Machado

Catálogo na fonte
Biblioteca Central da Associação Educacional Dom Bosco – Resende-RJ

S586 Silva, João Victor Fernandes
Melhoria de processos com solução de problemas ocasionados por aspectos ambientais no processo de soldagem / João Victor Fernandes Silva; Maykon Iuri Alves Santana - 2022.
43f.

Orientador: Heloiza Alves Gomes Machado
Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à finalização do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Resende da Associação Educacional Dom Bosco.

1. Engenharia mecânica. 2. Soldagem. 3. Meio ambiente. I. Santana, Maykon Iuri Alves. II. Machado, Heloiza Alves Gomes. III. Faculdade de Engenharia de Resende. IV. Associação Educacional Dom Bosco. V. Título.

CDU 621.791.053(043)



FACULDADES
DOM BOSCO

**JOÃO VICTOR FERNANDES SILVA
MAYKON IURY ALVES SANTANA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM NOME DO CURSO”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Esp. Diego da Silva Carvalho

Prof. D.C. Pedro Marins Bedê

Profª. MSC. Heloiza Alves Gomes Machado

(Orientadora)

Janeiro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos sustentar até aqui, a nossa família por todo apoio durante essa jornada, mesmo nos momentos difíceis, até mesmo quando pensamos em desistir, estiveram ao nosso lado para nos apoiar.

Agradecemos aos nossos professores por nos ensinar e nos guiar durante todo este período que estivemos neste curso.

RESUMO

Este estudo visa analisar o motivo pelo qual um número inaceitável de descontinuidades foi detectado nos cordões de solda dos produtos fabricados em uma empresa situada na região Sul Fluminense fabricante de maquinários pesados para uso na mineração e construção civil, devido à crescente demanda por seus produtos houve um aumento não planejado em sua produção, excedendo a capacidade para qual a planta da fábrica foi projetada, gerando assim alguns fatores negativos no resultado. Um dos fatores afetado é o local de armazenamento da matéria prima, que se encontra em um local inadequado. As chapas usadas na fabricação são armazenadas no pátio externo, entre o galpão de solda e a chaparia, ficando expostas diretamente as ações climáticas como a chuva e o sol. Tal exposição prejudica o processo de soldagem, uma vez que a umidade causada pela chuva acelera o processo de oxidação. Outro problema decorrente do aumento na produção foi a adaptação de alguns postos de soldagem, saindo do modelo original, fazendo com que as peças recém soldadas ficassem expostas as ações do ar frio causada pelo vento, interferindo no processo de resfriamento da estrutura soldada nesses postos. Isso é criticamente importante para o processo porque envolve mudanças na microestrutura do material, e quando isso não é bem controlado, pode fazer o produto final não ter as mesmas características que deveria para exercer o trabalho. Para obter os resultados deste estudo foram necessários coletar dados referentes as descontinuidades detectadas nos produtos da empresa; analisar a estrutura para o armazenamento da matéria prima e da planta onde se localizam os postos de solda; compilar os dados obtidos a fim de elaborar gráficos para a ilustração dos resultados. A partir da análise dos dados obtidos foi possível identificar a importância de se ter um local adequado para o armazenamento da matéria prima a ser utilizada no processo, a fim de diminuir o surgimento de descontinuidades provenientes da contaminação dos materiais utilizados, também foi possível observar a importância de uma estrutura adequada para vedação dos postos de solda com o intuito de minimizar os impactos da ação do vento sobre as estruturas recém soldadas que se encontram em processo de resfriamento.

Palavras-chave: Soldagem. Processos de soldagem. Fatores climáticos. Descontinuidades.

ABSTRACT

This study aims to analyze why an unacceptable number of discontinuities were detected in the structural components of products manufactured in a company located in the South Fluminense region, manufacturer of heavy machinery for use in mining and civil construction, due to the growing demand for its products there was a unplanned increase in its production, exceeding the capacity for which the factory plant was designed, thus generating some negative factors in the result. Due to the structural failure resulting from the growth in production, one of the factors affected is the storage location of the raw material, which is in an inappropriate location. The plates used in manufacturing are stored in the external patio, between the welding shed and the plating, being directly exposed to climatic actions such as rain and sun. Such exposure harms the welding process, since the humidity caused by rain accelerates the oxidation process. Another problem arising from the increase in production was the adaptation of some welding stations, departing from the original model, causing the newly welded parts to be exposed to the actions of cold air caused by the wind, interfering with the cooling process of the welded structure at these stations. This is critically important to the process because it involves changes in the structure of the material, and when this is not well controlled, it can result in the final product not having the same characteristics as it should to perform the job. To obtain the results of this study, it was necessary to collect data regarding the discontinuities detected in the company's products; analyze the structure for storing raw materials and the plant where the welding stations are located; compile the data obtained in order to create graphs to illustrate the results. From the analysis of the data obtained, it was possible to identify the importance of having a suitable place for the storage of the raw material to be used in the process, in order to reduce the appearance of discontinuities arising from the contamination of the materials used, it was also possible to observe the importance of an adequate structure for sealing the welding stations in order to minimize the impacts of wind action on the newly welded structures that are in the cooling process.

Keywords: Welding. Welding process. Defects. Climatic Factors. Discontinuities.

Índice de ilustrações

Figura 1 - Equipamento para soldagem a gás oxiacetileno	13
Figura 2 - Maçarico injetor.....	14
Figura 3 - Maçarico Misturador	14
Figura 4 - Regulador de pressão para oxigênio para cortes até 300mm.....	15
Figura 5 - Regulador de pressão para acetileno para cortes até 300mm	15
Figura 6 - Equipamento de soldagem MIG/MAG.....	17
Figura 7 - Alimentador simples de duas roldanas	18
Figura 8 - Tocha de Soldagem MIG/MAG	19
Figura 9 - Garra ou grampo terra	19
Figura 10 - Zona termicamente afetada.....	21
Figura 11 - Regiões da ZTA.....	21
Figura 12 - Trinca.....	23
Figura 13 - Porosidade agrupada.....	24
Figura 14 - Princípio básico de Inspeção por Ultrassom.....	26
Figura 15 - Método de magnetização longitudinal por bobina indutora	27
Figura 16 - Método de magnetização circular por um condutor	27
Figura 17 – Braço.....	29
Figura 18 - Antebraço	30
Figura 19 - Ensaio não destrutivo por ultrassom.....	30
Figura 20 - Ensaio por partículas magnéticas	31
Figura 21 – Layout do pátio externo	31
Figura 22 - Layout do prédio de fabricação	32
Figura 23 - Peças armazenadas no pátio externo	33
Figura 24 - Oxidação na superfície da chapa	34
Figura 25 - Porosidade e cordão descontinuo	34
Figura 26 - Junta realizada de forma correta.....	35
Figura 27 - Junta com Descontinuidade.....	35
Figura 28 - Postos de solda impactados pela ação do vento	36
Figura 29 - Trinca revelada por ensaio de partículas magnéticas fluorescentes	37
Figura 30 - Rompimento total da estrutura soldada	38
Figura 31 - Vedação do posto de soldagem restaurada.....	39
Figura 32 - Porcentagens de peças aprovadas (braço)	40
Figura 33 - Porcentagem de peças aprovadas (Antebraço)	40
Figura 34 - Porcentagem de peças liberadas (chassi).....	41
Figura 35 - Porcentagem de peças liberadas no total	42

Lista de abreviaturas e siglas

ASM	American Society for Metals
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AWS	American Welding Society
CO ₂	gás carbônico
END	ensaio não destrutivo
GMAW	Gas Metal Arc Welding
MAG	Metal Active Gas
MB	metal base
MIG	Metal Inert Gas
OFW	Oxi-Fuel Gas Welding
SMAW	Shielded metal arc welding
ZF	Zona Fundida
ZTA	Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 OBJETIVO GERAL	11
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. PROCESSOS DE SOLDAGEM.....	12
2.1.1. Processo de soldagem a gás a base de oxiacetileno	12
2.1.2. Processo de soldagem MIG-MAG	16
2.2. ZONA TERMICAMENTE AFETADA	21
2.2.1. Região de crescimento de grãos.....	22
2.2.2. Região de refino de grãos.....	22
2.2.3. Região Intercritica.....	22
2.3. DESCONTINUIDADES DE SOLDA.....	22
2.3.1. Trincas.....	22
2.3.2. Porosidade.....	23
2.4. CORROSÃO.....	24
2.5. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	25
2.5.1. Ensaio por ultrassom.....	25
2.5.2. Ensaio por partícula magnética	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4. RESULTADOS	33
4.1. IMPACTOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM CAUSADO PELA UMIDADE	33
4.2. IMPACTOS NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO CAUSADO PELA AÇÃO DO VENTO	36
4.3. RESULTADOS OBTIDOS COM A ANÁLISE.....	39
5. CONCLUSÃO	43
BIBLIOGRAFIA	44

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é um método utilizado para unir materiais de forma permanente empregado desde os primórdios da humanidade, sendo usado na idade média pelos ferreiros para produzir artefatos de ferro. Conforme descrito no livro da ASM, a soldagem é o único método de união capaz de garantir que as estruturas soldadas resistam a aplicações de forças externas como tração e compressão sem que haja rompimento na estrutura soldada. Desta forma, a soldagem é amplamente utilizada nas indústrias dos mais diversos ramos.

Os processos de soldagem usados atualmente foram desenvolvidos a fim de suprir diferentes necessidades criadas pelos seres humanos, cada método apresenta características distintas, o que possibilita a utilização da soldagem em outros tipos de materiais além dos metais, como plástico por exemplo. Cada tipo de processo tem suas limitações, porém, de forma generalizada as condições da matéria prima e do ambiente onde o processo é executado podem interferir na execução do mesmo.

Uma característica comum dos processos de soldagem é a presença de variáveis que interferem em sua execução podendo ser variáveis diretamente ligadas ao processo como exemplo a voltagem utilizada, disposição do material de adição, proficiência do soldador, como também as variáveis inerentes ao processo, que serão analisadas neste estudo, sendo elas relacionadas a fatores presentes no ambiente de soldagem como umidade, o vento e o ar frio.

O processo de soldagem devido a sua natureza altera a microestrutura dos componentes utilizados, sendo assim caso as variáveis não sejam controladas, principalmente o ar frio e o vento ocorrerão o surgimento de descontinuidades que podem ser classificadas de acordo com seu impacto no produto.

Este estudo foi realizado por meio da coleta de dados de inspeções realizadas nos componentes braços, antebraços e chassis, sendo coletados por meio de relatórios produzidos pelos inspetores e técnicos de inspeção após a realização de ensaios visuais e não destrutivos nas juntas soldadas de tais componentes. Assim, foram analisados os ambientes onde a matéria prima é armazenada, a localização dos postos de solda, e onde são depositadas as peças recém soldadas. Com isso, foram levantados gráficos referentes ao número de descontinuidades detectadas em uma quantidade amostral de componentes soldados a fim de ilustrar os resultados obtidos. Sendo assim, este presente trabalho tem como objetivo, estudar o surgimento das descontinuidades nos produtos da empresa e analisar meios para evitar a ação das variáveis presentes no ambiente de soldagem sobre os produtos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O estudo do processo de soldagem é de grande importância pois se trata da união de metais mediante a um processo que envolve calor, que quando em contato com metais pode causar mudanças em sua microestrutura e conseqüentemente em suas propriedades mecânicas, tornando necessário se atentar para suas características e limitações.

Caso os processos não sejam realizados de forma adequada ou não observados os devidos cuidados quanto ao ambiente onde são realizados, são suscetíveis a ocorrência de descontinuidades.

Na empresa na qual foi realizado os estudos em relação ao seu processo de soldagem, foi detectado um número incomum de descontinuidades nos componentes principais dos produtos fabricados, sendo estes acima dos padrões impostos pela diretoria. Tais descontinuidades fazem gerar um aumento nos gastos para a produção devido a retrabalhos e descartes de materiais que poderiam ser evitados.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar os fatores responsáveis pelo surgimento das descontinuidades detectadas nos componentes soldados e propor soluções a fim de diminuir os gastos referentes a retrabalhos e descartes de materiais.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o ambiente onde a matéria prima é armazenada;
- Estudar a estrutura da disposição dos postos de solda da planta da empresa;
- Avaliar sugestões de reestruturação dos postos a fim de minimizar os impactos do vento sobre as estruturas recém soldadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. PROCESSOS DE SOLDAGEM

Segundo Brandi (2004), denomina-se soldagem o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão, e a solda seria o resultado dessa aplicação.

Como dito por Casarin (2018), nos processos de soldagem tradicional, é usado uma fonte de calor suficiente para fundir o material de base, e com isso tem-se a soldagem por fusão. Nesta soldagem a união dos metais ocorre por junção parcial das partes próximas.

Os processos de soldagem foram criados com o intuito de permitir a aplicação da soldagem a diferentes tipos de situações que variam em torno das necessidades criadas pelo ser humano ao longo dos anos conforme definido por Geary e Miller (2014).

De acordo com Geary e Miller (2014), os processos de soldagem podem ser classificados em três diferentes tipos baseados nas formas de fontes de calor, sendo eles: processos que utilizam gás, processos que utilizam corrente elétrica, e processos que utilizam gás e corrente elétrica.

Como citado por Casarin (2018, apud Portal Metálica), o processo soldagem assim como qualquer outro tem suas vantagens e suas desvantagens. Como vantagens, podem ser citadas: juntas de integridade e eficiência elevadas; grande variedade de processos; aplicável a diversos materiais; operação manual ou automática; pode ser altamente portátil; juntas podem ser isentas de vazamentos; custo, em geral, razoável; junta não apresenta problemas de perda de aperto. Como desvantagens, pode-se citar os seguintes pontos: não pode ser desmontada; pode afetar a microestrutura e propriedades das partes; pode causar distorções e tensões residuais; requer considerável habilidade do operador; pode exigir operações auxiliares de elevado custo e duração (por exemplo, tratamentos térmicos); estrutura resultante é monolítica e pode ser sensível à falha total.

2.1.1. Processo de soldagem a gás a base de oxiacetileno

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2016), a definição deste processo pode ser caracterizada como:

A soldagem a gás oxicom bustível (Oxy-Fuel Gás Welding – OFW) ou simplesmente soldagem a gás é um processo no qual a coalescência ou união dos metais é obtida pelo aquecimento destes até a fusão com uma chama de um gás combustí vel e oxigênio. O metal de adição, se usado, também é fundido durante a operação.

O processo de soldagem a gás oxiacetileno é indicado para a soldagem de chapas finas, tubos de pequeno diâmetro e para soldagem de reparo, baseado na descrição de Marques, Modenesi e Bracarense (2016). Sendo também os materiais soldáveis por este processo a maioria dos metais não ferrosos e aços, principalmente os de baixo carbono.

De acordo com o livro de soldagem do SENAI (1997), o equipamento para soldagem oxicom bustível é mais barato e versátil, sendo uma ótima opção para chapas finas, pois solda mais rapidamente que o método por eletrodo revestido, além de diminuir a fadiga para o soldador e não utilizar energia elétrica.

O processo por oxi-gás tem como desvantagens a sua inviabilidade econômica em relação a chapas mais grossas, além de seus cordões serem mais largos, necessitando mais habilidade do soldador conforme exposto por Bracarense (2000).

Conforme a figura 1, o equipamento para soldagem oxicom bustível é composto de cilindros de oxigênio e acetileno, maçaricos e acessórios e componentes, como válvulas de redução, limitadores de pressão, válvulas anti-retrocesso, interceptores e canalizações de distribuição. (SENAI, 1997)

Figura 1 - Equipamento para soldagem a gás oxiacetileno

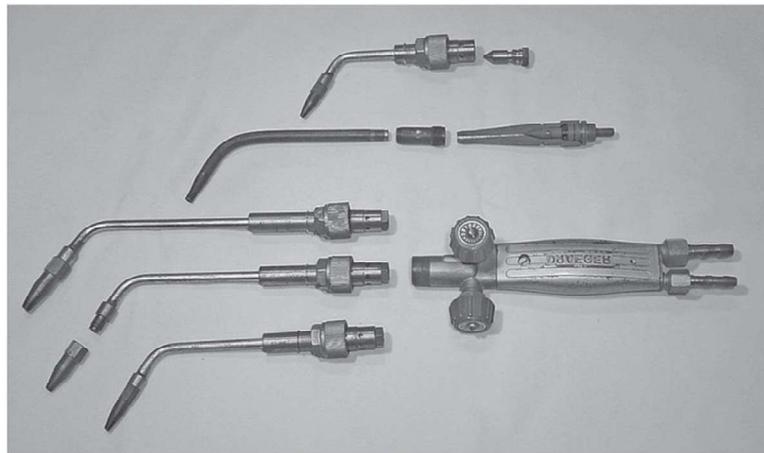


Fonte: Marques, Modenesi e Bracarense (2016)

O maçarico é o equipamento responsável por reproduzir a chama utilizada no processo de soldagem, sendo ela realizada por meio da mistura do oxigênio com o acetileno e podem ser classificados de acordo o tipo de funcionamento conforme descrito no livro de soldagem do SENAI (1997).

O maçarico do tipo injetor é utilizado com o gás acetileno a baixa pressão, uma vez que utiliza um sistema em que o a pressão do oxigênio é utilizada para aspirar o oxigênio, conforme descrito por Marques, Modenesi e Bracarense (2016), podendo ser analisado na figura 2.

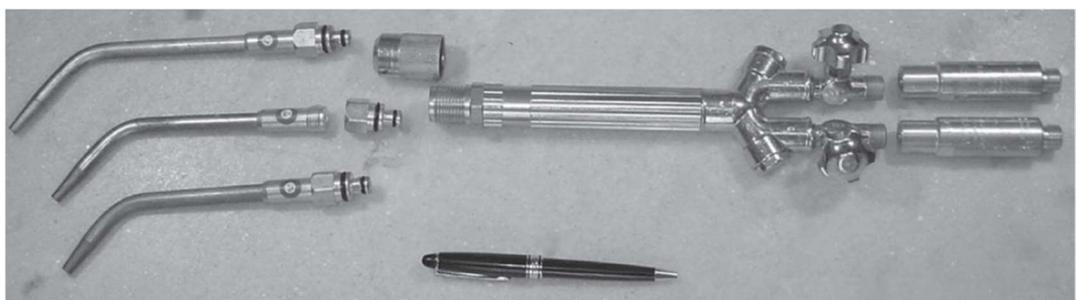
Figura 2 - Maçarico injetor



Fonte: Marques, Modenesi, & Bracarense (2016)

Como descrito por Marques, Modenesi e Bracarense (2016) os maçaricos do tipo misturador, presente na figura 3, são usados juntamente com cilindros de acetileno de média pressão onde é utilizado a mesma pressão para os dois gases.

Figura 3 - Maçarico Misturador



Fonte: Marques, Modenesi, & Bracarense (2016)

O maçarico de alta pressão é utilizado quando o oxigênio e o acetileno são fornecidos sob pressões elevadas, devido à pressão fornecida, ambos os gases podem ser misturados em

um compartimento chamado câmara de mistura, tendo como base o livro soldagem do SENAI (1997).

O regulador de pressão é um dispositivo que permite diminuir a pressão interna de armazenagem dos gases nos cilindros para a pressão de trabalho, mantendo-a aproximadamente constante. (Marques, Modenesi, & Bracarense, 2016)

De acordo com Figueiredo (2014), os reguladores devem ser escolhidos de acordo com cada condição de corte, solda ou aquecimento e a espessura do material a ser trabalhado. Nas figuras 4 e 5 são apresentados dois tipos de reguladores de pressão, sendo um para oxigênio e o outro para acetileno, respectivamente.

Figura 4 - Regulador de pressão para oxigênio para cortes até 300mm



Fonte: Figueiredo (2014)

Figura 5 - Regulador de pressão para acetileno para cortes até 300mm



Fonte: Figueiredo (2014)

A diferença entre os reguladores de pressão está na válvula anti-retrocesso que é responsável por manter o fluxo de saída de gás em apenas um sentido, sendo colocada em canalizações para impedir a propagação de ondas explosivas conforme definido por Figueiredo (2014).

Os limitadores de pressão são responsáveis por expelir o gás para fora do equipamento quando ultrapassa a pressão determinada pelo modelo aplicado no equipamento. Já a válvula de redução é usada para reduzir a pressão de gás ao valor utilizado para trabalho conforme exposto na apostila do SENAI (1997).

2.1.2. Processo de soldagem MIG-MAG

De acordo com o Modenesi, Marques, e Santos (2012), MIG e MAG são as identificações para o processo de soldagem onde se utilizam gases ativos ou inertes para proteção da poça de fusão.

O processo de soldagem MIG-MAG foi criado para solucionar os problemas de soldagem TIG como descrito por Marques, Modenesi e Bracarense (2016), onde:

A soldagem a arco com proteção gasosa (Gas Metal Arc Welding – GMAW) é um processo em que a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento destas com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico nu, consumível, e a peça de trabalho. A proteção do arco e da região da solda contra contaminação pela atmosfera é feita por um gás ou mistura de gases, que podem ser inertes ou ativos. O processo é conhecido também como MIG (Metal Inert Gas) quando a proteção usada é inerte ou rica em “gases inertes ou MAG (Metal Active Gas) quando o gás usado é ativo ou contém misturas ricas em gases ativos.

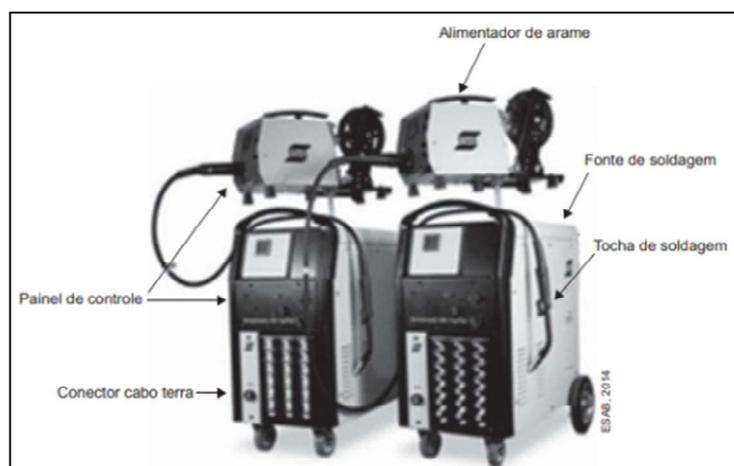
De acordo com livro de soldagem do SENAI (1997), os gases utilizados no processo de soldagem MIG são o argônio e o hélio, podendo ser utilizados de forma separada ou uma mistura de ambos. Já no processo MAG, é utilizado o gás CO₂ ou uma mistura de de CO₂ com argônio ou hélio como gases protetivos.

A função do gás protetivo no processo é evitar que a atmosfera contamine a poça de fusão. Na ausência desta proteção, os óxidos formados pela temperatura de fusão dos metais em contato com o ar provocam descontinuidades no cordão de solda, como porosidades e trincas. Outra função do gás protetivo é ionizar o espaço do arco elétrico e estabilizar. (SENAI, 1997)

O processo MIG/MAG é recomendado na soldagem de materiais com varias espessuras, sejam eles ferrosos ou não, como alumínio, cobre e magnézio. Portanto, o gás protetivo deve ser escolhido baseando-se nestes parâmetros conforme definido pelo livro de soldagem do SENAI (1997).

Conforme descrito por Figueiredo (2014) e ilustrado na figura 6, os equipamentos utilizado para a soldagem MIG/MAG são, alimentador de arame, fonte de soldagem, painel de controle, tocha de soldagem e conector cabo terra.

Figura 6 - Equipamento de soldagem MIG/MAG

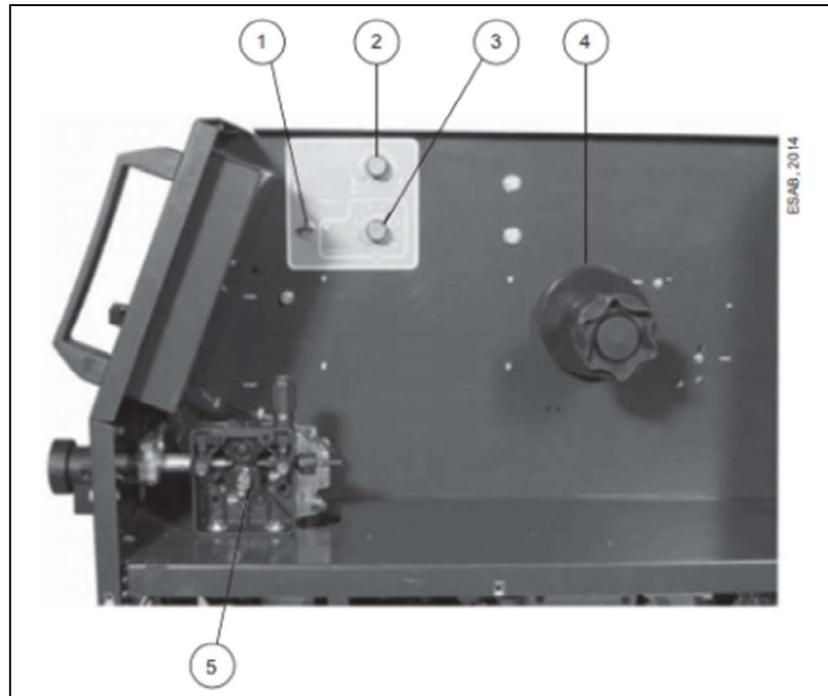


Fonte: Figueiredo (2014)

De acordo com Marques, Modenesi, e Bracarense (2016), a alimentação de arame é feita de forma mecânica, através de um alimentador motorizado, sendo responsabilidade do soldador iniciar e interromper a soldagem, como também mover a tocha ao longo da junta.

O alimentador de arame tem a função de alimentar o arame-eletrodo no processo de soldagem, porém o sistema pode ser simples ou duplo, cada um com suas características, conforme exposto na figura 7. (Figueiredo, 2014)

Figura 7 - Alimentador simples de duas roldanas



Fonte: Figueiredo.(2014)

1. Chave seletora do modo de soldagem em contínuo, ponto ou intermitente.
2. Potenciômetro antistick: para ajustar o tempo em que a fonte ainda fornece corrente de solda quando a soldagem é interrompida. Esse recurso evita a colagem do arame na poça de fusão.
3. Potenciômetro tempo: para ajustar o tempo de ponto ou solda intermitente.
4. Miolofreador: para instalação do carretel de arame.
5. Mecanismo de avanço de arame: para alimentar o arame por meio da pistola de solda.

Conforme definido por Figueiredo (2014), as fontes de energia ou fontes de soldagem são consideradas a fonte de alimentação elétrica para a alimentação do arco voltaico utilizado no processo de soldagem e possuem a função de produzir saída de alta corrente e baixa tensão com características específicas para o processo e permitir o controle adequado dos valores de corrente e o de tensão para o controle do arco elétrico de acordo com a aplicação.

A tocha de soldagem convencional consiste em punho ou suporte, que sustenta um bico de contato, que é responsável pela energização do arame eletrodo, um bocal que orienta o fluxo de gás protetor e um gatilho de acionamento, conforme ilustrado na figura 8. O bocal é feito de cobre ou material cerâmico, e deve ter um diâmetro compatível com a corrente de soldagem e o fluxo de gás a serem usados em uma determinada aplicação conforme exposto com Marques, Modenesi e Bracarense (2016).

Figura 8 - Tocha de Soldagem MIG/MAG



Fonte: Marques, Modenesi, & Bracarense (2016)

De acordo com Figueiredo (2014), para execução da soldagem é necessária a utilização de um alicate de retorno ou grampo terra, presente na figura 9, pois é um acessório utilizado para fazer o retorno da corrente para a fonte de soldagem fechando o circuito. Sem ele não se consegue executar a soldagem.

Figura 9 - Garra ou grampo terra



Fonte: Figueiredo (2014)

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2016) A fonte de gás consiste normalmente em um cilindro do gás ou mistura de gases a serem usados na proteção do cordão de solda e reguladores de pressão e/ou vazão.

As válvulas solenoide para abertura e fechamento do fluxo de gás são colocadas geralmente no alimentador de arame ou na fonte de energia como exposto por Marques, Modenesi e Bracarense (2016).

Os arames para soldagem são constituídos de metais ou ligas metálicas que possuem composição química, dureza, condições superficiais e dimensões bem controladas. (Marques, Modenesi, & Bracarense, 2016)

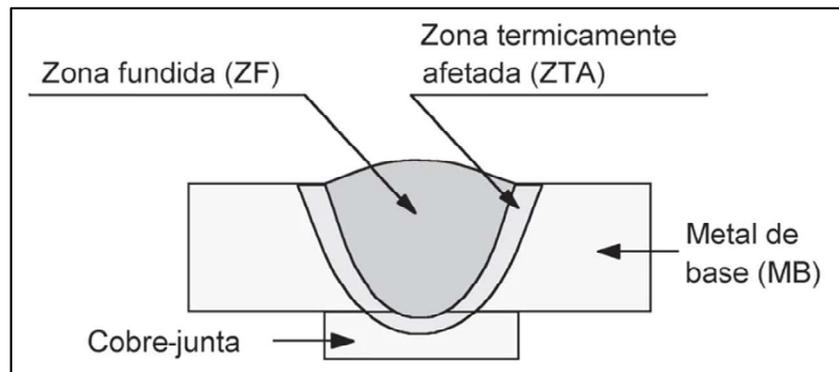
De acordo com o livro de soldagem da coleção tecnológica do SENAI (1997):

A composição química do arame ou eletrodo deve ser o mais similar possível à do metal de base, pois essa composição determina o metal fundido que, por sua vez, vai influenciar as características da junta soldada. Também o gás de proteção deve ser adequado à composição química do arame. Fatores como o estado e a limpeza do metal de base, as propriedades mecânicas desejadas, o tipo de trabalho, a posição de soldagem e o modo de transferência devem ser também considerados.

2.2. ZONA TERMICAMENTE AFETADA

De acordo com Figueiredo (2014), a zona termicamente afetada (ZTA) se refere a região lateral da zona fundida que teve um aporte térmico muito alto que não se diluiu, conforme demonstrado na figura 10.

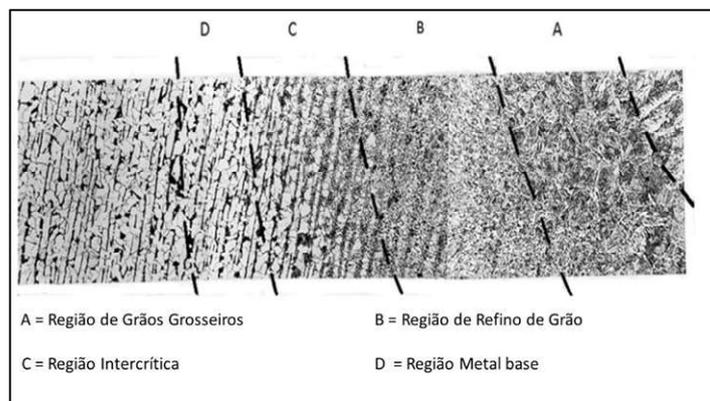
Figura 10 - Zona termicamente afetada



Fonte: Marques, Modenesi, & Bracarense (2016)

Segundo Marques, Modenesi, & Bracarense (2016), no caso de aços transformáveis, esta apresentará três distintas regiões, como ilustrado pela figura 11, sendo elas a região de crescimento dos grãos, a região de refino de grão e a região Intercrítica.

Figura 11 - Regiões da ZTA



Fonte: Adaptado pelos autores

Deve ser lembrado que as citadas regiões têm distintas velocidades de resfriamento. (Wainer, Brandi, & Mello, 2004)

2.2.1. Região de crescimento de grãos

Segundo Wainer, Brandi e Mello (2004), o crescimento de grãos ocorre na faixa de temperatura de 1100°C a 1500°C e acreditam que ele é influenciado pela transformação de fase da ferrita para a austenita durante o aquecimento, sendo o resultado da decomposição da austenita no processo de resfriamento o fator que determinará, junto com o crescimento de grãos, as propriedades mecânicas dessa região.

2.2.2. Região de refino de grãos

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2016) a região de refino dos grãos compreende a parte da junta que foi aquecida a uma temperatura entre 900°C a 1200°C e é caracterizada por possuir uma fina estrutura ferrita e perlita.

2.2.3. Região Intercritica

Como descrito Silva (2010), nesta região, a temperatura de pico varia entre 727°C sendo caracterizada pela transformação parcial da estrutura original do metal de base. Nesta faixa de temperatura, somente uma parte do material é austenitizada. Em casos como o de soldagem com vários passes, constituintes de elevada dureza e baixa tenacidade podem se formar nesta região.

2.3. DESCONTINUIDADES DE SOLDA

Descontinuidades de solda são deformações que aparecem no material que podem causar a fragilização em sua estrutura. Dependendo do número de descontinuidades em um determinado local no mesmo material, pode ser caracterizado como um defeito conforme descrito por Figueiredo (2014).

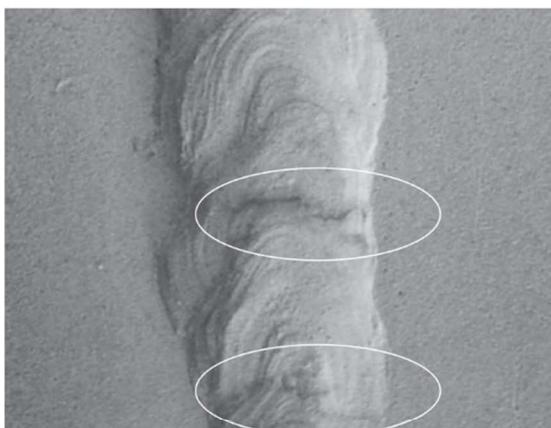
2.3.1. Trincas

Conforme definido no livro Welding Handbook da AWS (2001), as trincas ocorrem em metais soldados ou de base quando as tensões aplicadas ao metal excedem a sua resistência máxima, causando assim o rompimento da estrutura.

Em conformidade com o livro Metal Handbook da ASM (2011), as trincas podem ser classificadas em dois tipos, as trincas a quente e a frio, as trincas a quente ocorrem geralmente nas ligas que possuem baixa ductilidade em uma faixa de temperatura abaixo do ponto de fusão e as trincas a frio ocorrem normalmente horas ou dias após o processo de soldagem devido a fatores como presença de hidrogênio dissolvido no metal fundido, tensões externas, microestrutura frágil e baixa temperatura.

De acordo com o livro de soldagem do Barra e Pereira (1999) as trincas, conforme ilustrado na figura 12, podem ser caracterizadas de diversas formas, sendo algumas delas a trinca de cratera, a trinca na raiz, a trinca ramificada e a trinca na ZTA.

Figura 12 - Trinca



Fonte: Figueiredo (2014)

Conforme o livro Welding Handbook da AWS (2001), as trincas na ZTA ocorrem quando há um aumento excessivo da dureza e a diminuição da ductilidade do material causado pelo aumento da taxa de resfriamento.

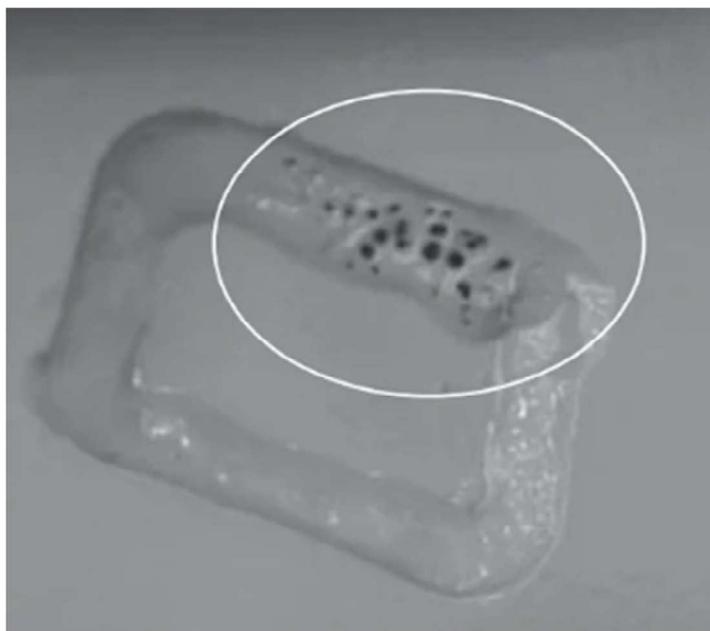
De acordo com o livro Welding Handbook da AWS (2001), as trincas podem ser evitadas por métodos como a utilização de processos de soldagem que utilizem pouco hidrogênio, pré-aquecimento e realização do processo em locais isolados com temperatura e vazão de ar controladas.

2.3.2. Porosidade

De acordo com o livro Welding Handbook da AWS (2001), as porosidades são descontinuidades semelhantes a uma cavidade vazia que se forma quando o gás é aprisionado

no metal de solda durante a solidificação e podem ocorrer na parte interna ou na superfície do cordão de solda, conforme exemplificado na figura 13.

Figura 13 - Porosidade agrupada



Fonte: Figueiredo (2014)

Conforme exposto no livro metal handbook da ASM (2011), a porosidade é geralmente causada pela vazão insuficiente ou excessiva do gás protetivo, devido a tal fato as bolhas de gás que geram a porosidade originam-se da falta de proteção contra a atmosfera, presença de contaminantes como água, óleo, graxa e sujeira no material ou devido ao excesso de gás protetivo.

De acordo com o livro Welding Science and Technology da AWS (2001), as porosidades podem ser evitadas ao limpar as faces do material que serão soldadas e suas faces adjacentes, usar material de adição limpos e livres de contaminação, como também utilizando o parâmetro vazão de gás de forma controlada e correta.

2.4. CORROSÃO

De acordo com Gentil (2011), a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos.

Segundo o livro Handbooks da ASM (2003), o ambiente mais comum de ocorrer problemas relacionados à corrosão é o ar atmosférico, porém em soluções aquosas, incluindo águas naturais, umidade e chuva, bem como soluções feitas pelo homem, estes problemas também ocorrem de forma frequente.

2.5. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Em conformidade com o livro Welding Handbook da AWS (2001), o termo ensaios não destrutivo é utilizado designar métodos que permitem que o material seja examinado sem modificar ou destruir a sua estrutura.

Como citado por Garcia, Spim e Santos (2012), os ensaios não destrutivos podem ser realizados em peças finalizadas ou semiacabadas sem causar nenhum dano a sua estrutura.

2.5.1. Ensaio por ultrassom

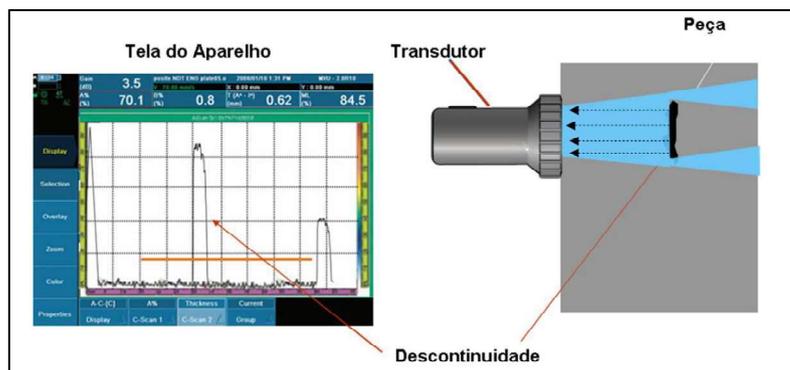
Conforme definido por Modenesi (2001) o ensaio por ultrassom consiste em introduzir um feixe ultrassônico no material ensaiado a fim de obter informações do interior deste material através da reflexão deste feixe no material.

De acordo com Andreucci (2018) o ensaio por ultrassom pode ser aplicado de diversos tipos de materiais sejam eles ferrosos ou não, que é utilizado para a detecção de defeitos ou descontinuidades internas presente no material.

Para Garcia, Spim e Santos (2012) o ensaio por ultrassom é bastante utilizado para a avaliação ou a inspeção da qualidade de vários componentes, sejam eles nas indústrias aeroespacial, automobilística, petroquímica, química e outras.

Como ilustrado na figura 14, e de acordo com Garcia, Spim e Santos (2012) o ensaio não destrutivo por ultrassom deve-se considerar o efeito de propagação da onda mecânica no interior do material a ser ensaiado, em que a velocidade de propagação é uma função do meio de perturbação.

Figura 14 - Princípio básico de Inspeção por Ultrassom



Fonte: Andreucci (2018)

Algumas das vantagens do ensaio por ultrassom citados por Andreucci (2018) em relação aos outros tipos de ensaio são: a alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades, a dispensa de métodos intermediários para detecção delas, e a desobrigação de planos de segurança e de equipamentos especiais para sua realização e possibilita determinar fatores como tamanho da descontinuidade e sua interpretação.

Já as desvantagens também definidas por Andreucci (2018) são que para realizar o ensaio requer: grande conhecimento técnico dos inspetores, possui dificuldade de obter registros permanentes e requer a preparação da superfície a ser inspecionada.

2.5.2 Ensaio por partícula magnética

A inspeção por partículas magnéticas é um ensaio para detectar falhas ou defeitos em materiais magnetizáveis, com o qual é possível visualizar defeitos superficiais e, em alguns casos, defeitos subsuperficiais. (Garcia, Spim, & Santos, 2012)

De acordo com Andreucci (2009), o processo de ensaio por partícula magnética pode ser realizado por diferentes métodos e utilizando diferente tipos de partículas, consistindo em submeter a peça ou parte dela a um campo magnético onde as descontinuidades presentes causarão o surgimento de campos de fuga, fazendo com que as partículas se aglomerem nestes campos revelando as descontinuidades.

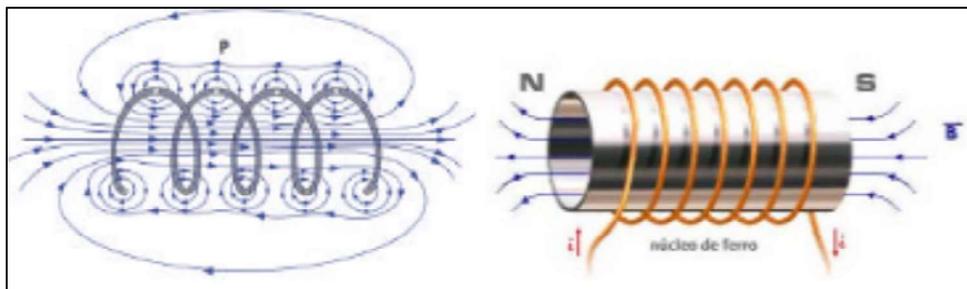
Conforme dito por Garcia, Spim e Santos (2012), os ensaios por partículas magnéticas são mais utilizados para inspeção durante a fabricação de partes ou componentes mecânicos, para inspeção de peças soldadas, fundidos, forjados e laminados, também como inspeção de protótipos de fundição e para localização de trincas em componentes de operação.

O espectro magnético formado pelas partículas colocadas sobre a peça indica, por uma concentração de partículas, as regiões das trincas ou falhas superficiais. Após a observação das descontinuidades, é necessário desmagnetizar a peça. (Garcia, Spim, & Santos, 2012)

De acordo com Andreucci (2009), a magnetização longitudinal é o método de magnetização que produz um campo magnético longitudinal na peça e fechando o circuito através do ar. Para tal é recomendado a indução de campo por bobinas ou eletroímãs, como exposto pela figura 15.

Em concordância com o livro de soldagem do SENAI (1997), o método longitudinal também pode utilizar o yoke, instrumento que produz magnetização pela indução em campo magnético, gerado por um eletroímã em forma de U invertido apoiado na peça a ser examinada.

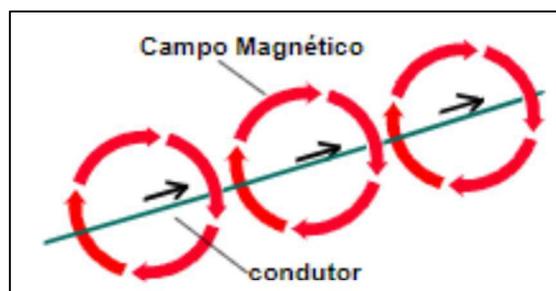
Figura 15 - Método de magnetização longitudinal por bobina indutora



Fonte: Andreucci (2009)

Segundo o livro de Soldagem SENAI (1997), a magnetização circular pode ocorrer por indução ou por passagem de corrente elétrica através da peça, pois as linhas de força geradora circulam através da peça em um circuito fechado. Tal método é usado para detectar descontinuidades longitudinais, podendo ser observado na figura 16.

Figura 16 - Método de magnetização circular por um condutor



Fonte: Andreucci (2009)

Conforme descrito por Andreucci (2009), o método de magnetização multidirecional, também conhecido como magnetização combinada ou vetorial, é um método pelo qual são

aplicados na peça dois ou mais campos magnéticos simultaneamente. Um pelo método longitudinal e outro pelo método circular, como também pode ser aplicado campos circulares em várias direções.

De acordo com o livro *Partículas magnéticas* de Andreucci (2009), algumas das vantagens deste método de magnetização são as inspeções decomponentes seriadas, menor possibilidade de erros por parte do inspetor e maior rapidez no ensaio.

Conforme citado no livro *Soldagem* (SENAI, 1997), algumas desvantagens deste método são as restrições quanto as peças de geometrias mais complexas, menor detectabilidade dos defeitos quando os campos são aplicados sequencialmente e a impossibilidade de efetuar inspeções pelo método residual.

Para Andreucci (2009), a utilização do método por ensaio de partícula magnéticas é limitada pelo ajuste da intensidade dos campos magnéticos, que é necessário para obtenção de uma resultante capaz de detectar adequadamente as descontinuidades nas duas direções da peça em ensaio.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de caso foi realizado no período correspondente aos meses de abril e agosto pela coleta de dados por relatórios de inspeções por meios visuais e por ensaios não destrutivos usando os métodos por ultrassom e partícula magnética, onde são descritas informações como localização, tipo e quantidade de descontinuidades presentes no componente, como também identificação do componente, soldador e data de inspeção.

O foco da pesquisa relacionada aos impactos da umidade proveniente da chuva ocorreu no mês de abril de 2022, pois de forma excepcional ocorreu um alto índice de chuvas na região em que a fábrica está localizada. Nos demais meses ocorreram menores índices pluviométricos limitando o progresso do estudo.

A pesquisa referente aos impactos causados pelo vento foi estudada durante todo o período da pesquisa, onde os dados foram coletados todos os dias e com atenção especial nos dias em que um alto índice de vento ocorria.

Nesse período foram ensaiados 40 componentes sendo eles, 15 braços, 10 antebraços e 15 chassis. Nas figuras 17 e 18 é possível identificar respectivamente o componente braço e antebraço. Devido a restrições imposta pela empresa não foi possível identificar por foto o componente chassi.

Figura 17 – Braço



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 17 representa o componente braço, uma estrutura que pode ser fabricada de diversos tamanhos variando de acordo com a necessidade do cliente. É uma grande e pesada estrutura que é construída com mais de 3 toneladas e mais de 3 metros de comprimento. O braço é a estrutura responsável por conectar o chassi da máquina ao antebraço.

Figura 18 - Antebraço



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 18 ilustra o componente antebraço, responsável por fazer a conexão entre a caçamba e o braço. Sua estrutura conta com 2,5 toneladas e aproximadamente 2 metros de comprimento.

Os componentes braço e antebraço são os componentes que recebem a maior parte das forças externas, como tração e compressão devido à natureza do trabalho a qual são empregadas.

Esses componentes são responsáveis por conectar o chassi, lugar onde a cabine de operação é localizada, a caçamba que é utilizada para escavação.

Devido a tais esforços, o material utilizado para a construção destes componentes é o aço carbono, utilizando como método de união o processo de soldagem a arco elétrico MIG/MAG.

Para detecção destas discontinuidades, são utilizados os métodos de inspeção por ensaios não destrutivos, sendo nesta empresa utilizados os métodos por partículas magnéticas e ultrassom, conforme demonstrado na figura 19 e 20.

Figura 19 - Ensaio não destrutivo por ultrassom



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 20 - Ensaio por partículas magnéticas



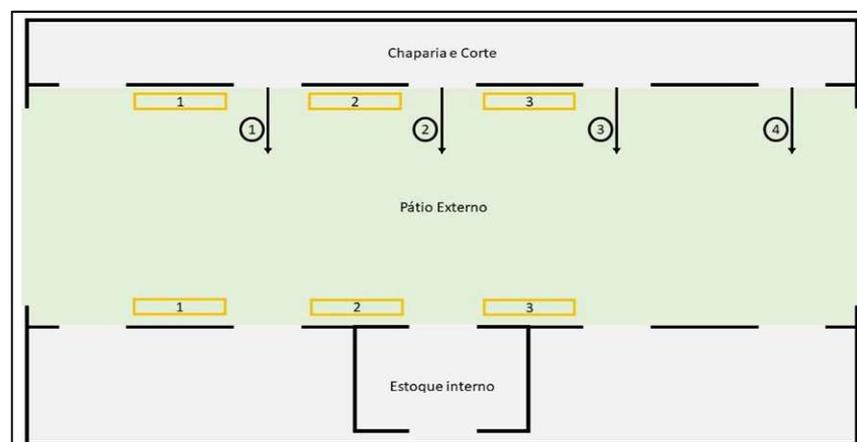
Fonte: Elaborado pelos autores

A análise do ambiente onde se deposita a matéria prima foi realizada por meio do estudo do local onde o mesmo é depositado após o processo de corte, pois o aço carbono utilizado é comprado no formato de chapas com diferentes espessuras. As chapas componentes dos produtos são cortadas na área de chaparia e corte, onde são divididas de acordo com as especificações para cada componente, sendo de forma geral dispostas em quatro tipos: as chapas maiores, chapas médias, chapas pequenas e as chapas usinadas.

As chapas usinadas são os menores componentes soldados ao produto, como por exemplo os suportes de cilindro, batoques de fixação etc. Estes componentes são levados para um pequeno estoque interno dentro do galpão de solda.

As demais chapas são utilizadas para construção da estrutura dos produtos, sendo depositadas no pátio externo ao lado da área de corte e fabricação em áreas separadas devido à falta de espaço no estoque interno, conforme exposto na figura 21 nas áreas demarcadas de laranja.

Figura 21 – Layout do pátio externo



Fonte: elaborado pelo autor

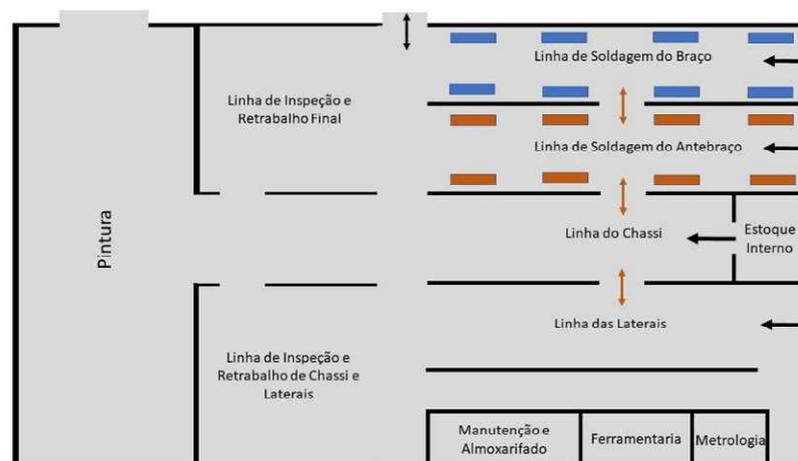
1. Chapas maiores
2. Chapas médias
3. Chapas menores
4. Chapas usinadas

Para estudar os impactos do vento no processo de soldagem dos componentes estudados primeiramente devemos entender como funciona o fluxo do processo de fabricação dos mesmos.

O início do fluxo do processo ocorre nas entradas do galpão e nas respectivas linhas de cada produto. Todos os produtos seguem o mesmo fluxo, começando pela montagem e ponteamto no primeiro posto, no segundo a solda da estrutura base, no terceiro a solda das chapas internas e por último a solda de fechamento da peça e componentes usinados.

A estrutura do galpão permite produzir duas peças simultaneamente, uma em cada lado da linha de produção. Este está dividido em ruas principais e ruas transversais. As linhas de solda estão situadas nas ruas principais e a conexão entre elas se dá pelas ruas transversais, conforme podemos ver na figura 22.

Figura 22 - Layout do prédio de fabricação



Fonte: Elaborado pelos autores

4. RESULTADOS

4.1. IMPACTOS NO PROCESSO DE SOLDAGEM CAUSADO PELA UMIDADE

Conforme pode ser observado na figura 23, as chapas que compõem a estrutura dos produtos são armazenadas no pátio externo, à mercê do tempo devido à falta de espaço no estoque interno. Em dias chuvosos, as chapas armazenadas no pátio ficam expostas à água da chuva, fato que pode causar o início de um processo chamado corrosão caso permaneçam por muito tempo nesta condição sem serem utilizadas.

Figura 23 - Peças armazenadas no pátio externo



Fonte: elaborado pelos autores

O processo de oxidação em seus estágios iniciais cria uma película de “ferrugem” na superfície da chapa, conforme exposto na figura 24, o que afeta as condições do material a ser utilizado. Caso esse material seja uma chapa sem nenhum tipo de dobra, basta apenas remover a camada de “ferrugem” com uma escova de aço ou lixa rotativa antes de utilizá-la no processo de soldagem. No caso de chapas onde há dobras, a estrutura do material é levemente danificada pois a dobra causa deformação acima do limite de deformação elástica do material, causando um quadro de maior fragilidade principalmente quando há presença de oxidação.

Figura 24 - Oxidação na superfície da chapa



Fonte: Elaborado pelos autores

Em tal situação o material deverá ser limpo e logo após deve-se realizar o ensaio de partículas magnéticas nestas regiões a fim de garantir a usabilidade da chapa, verificando se há descontinuidades estruturais no material.

Conforme descrito no subtópico 2.1.4, a limpeza do material base deve ser considerada antes da realização do processo de soldagem. Então, caso a limpeza não seja feita ou realizada de forma incorreta, haverá um quadro de contaminação, fator que gerará descontinuidades críticas no material.

Figura 25 - Porosidade e cordão descontinuo



Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 25 apresenta duas descontinuidades, uma causada pela falta de atenção do soldador na emenda do cordão e a outra a detecção de um agrupamento de porosidades na junta soldada. De acordo com o critério adotado pela empresa que tem como base a AWS, as

porosidades encontradas em componentes de uso crítico deverão ser apontadas e retrabalhadas em 100% dos casos.

De acordo com as figuras 26 e 27 pode-se observar a diferença de resultados do processo de soldagem em casos em que foi realizada a limpeza de forma correta e onde não ocorreu a limpeza de forma correta, respectivamente.

Figura 26 - Junta realizada de forma correta



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 27 - Junta com Descontinuidade



Fonte: Elaborado pelos autores

Como sugestão de contenção, foi estabelecida uma inspeção das chapas antes de serem soldadas, a fim de garantir que a preparação seja realizada de forma correta.

Como sugestão de melhoria o grupo propôs que seja feito uma área coberta para estocar a matéria prima, evitando o contato direto das chapas com a ação da chuva, retardando o processo de oxidação causado pela exposição direta do material com a água e diminuindo o

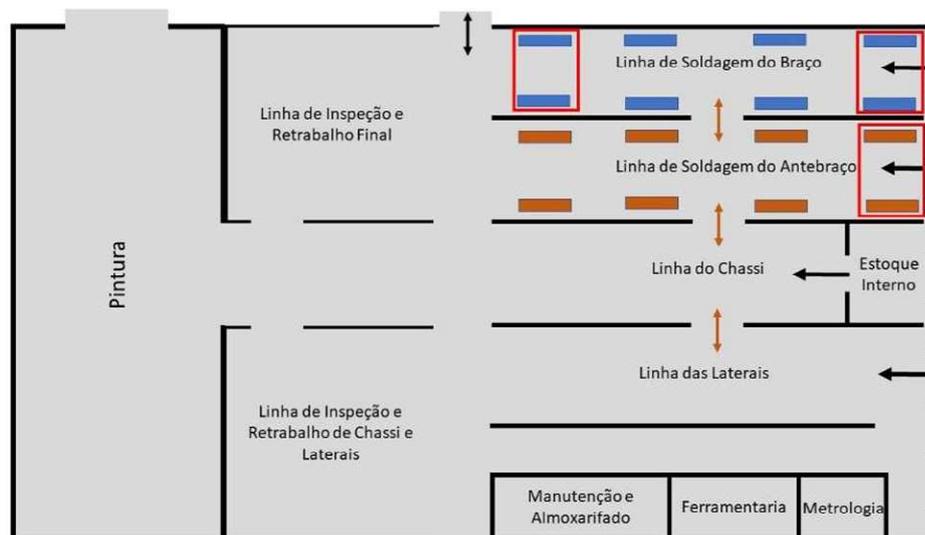
surgimento de materiais inadequados. Colaborando assim, com a redução dos custos devido a compra de chapas brutas para reposição do material inadequado, com o descarte desse material e com a compra de insumos para a realização de ensaios não destrutivos para a inspeção da matéria prima.

Outra sugestão do grupo é a utilização do equipamento de soldagem a gás oxiacetileno já adquirido pela empresa para a realização do processo de pré-aquecimento a fim de retirar a umidade do material antes de ser utilizado no processo de soldagem.

4.2. IMPACTOS NO PROCESSO DE RESFRIAMENTO CAUSADO PELA AÇÃO DO VENTO

Conforme ilustrado na figura 28, alguns postos de soldagem se encontram perto dos portões do galpão de fabricação. Por conta de suas localizações, em dias de fortes ventos, estes são impactados diretamente pela ação do vento, fato que interfere diretamente no processo de soldagem realizado nestes postos.

Figura 28 - Postos de solda impactados pela ação do vento



Fonte: Elaborado pelos autores

Os postos de soldagem demarcados de vermelho são os postos afetados diretamente pelo vento sendo eles os pontos onde ocorrem o ponteamento do braço e do antebraço, como também a solda final do braço.

Quando ocorre o processo, o vento em contato direto com a tocha do equipamento de soldagem atrapalha a vazão de gás protetivo, fazendo com que o mesmo seja insuficiente e causa contaminação atmosférica na poça de fusão, causando porosidades.

Como abordado no tópico 2.3.1, o processo de resfriamento determinará as propriedades mecânicas do material na região de refinamento dos grãos da ZTA, ou seja, um resfriamento forçado causará um aumento na dureza do material, conseqüentemente possibilitará o surgimento de trincas na região.

Figura 29 - Trinca revelada por ensaio de partículas magnéticas fluorescentes



Fonte: Elaborado pelos autores

Tal resfriamento forçado pode ser obtido pela ação do vento em contato direto com a peça em processo de resfriamento. O resfriamento forçado é um dos principais fatores causadores de trincas conforme abordado no tópico 2.3.1 e exposto na figura 29 após a realização de END por partícula magnética em um componente.

Caso não seja tomada nenhuma medida para inibir a ação do vento algumas falhas críticas podem ocorrer com o passar do tempo e do uso, tais falhas tendem a evoluir causando a perda do componente como pode ser observado na figura 30.

Figura 30 - Rompimento total da estrutura soldada



Fonte: elaborado pelos autores

A figura 30 demonstra um componente que gerou uma ordem de troca devido a uma solicitação de um cliente que representa uma empresa do ramo de minerações na qual após analisado pela equipe de qualidade da empresa, foi constatado que uma trinca não detectada no cordão de solda causou a ruptura total do componente braço, utilizado por apenas 6 meses.

Como proposta de melhoria foi sugerido pelo grupo a restauração e reforço das vedações dos postos de solda de todo o galpão, a fim de evitar o contato direto da ação do vento sobre as estruturas soldadas.

Devido a restrições imposta pela empresa não foi possível registrar em fotos os postos de solda antes da aplicação da sugestão, pois seriam revelados os dispositivos utilizados e desenvolvidos pela empresa.

Após a aplicação foi possível registrar a melhoria na estrutura, conforme ilustrado na figura 31.

Figura 31 - Vedação do posto de soldagem restaurada



Fonte: elaborado pelos autores

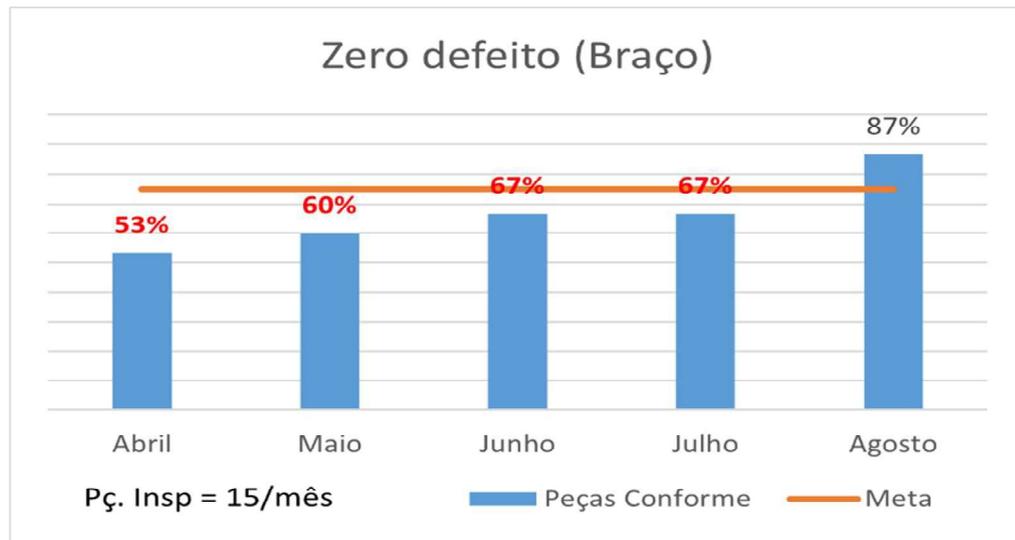
4.3. RESULTADOS OBTIDOS COM A ANÁLISE

A fim de demonstrar visualmente, alguns gráficos foram plotados baseando-se na coleta de dados realizada a partir da manipulação de informações relacionadas a detecção de descontinuidades nos componentes estudados por meio dos relatórios de inspeção, a partir da manipulação foram criados gráficos de porcentagem de aceitação por componente e de defeitos por unidade.

A meta criada para o estudo foi baseada na meta interna da empresa para o departamento responsáveis pelos ensaios, sendo 75% de aprovação para os gráficos de zero defeito e 0,25 para o gráfico de defeitos por unidade.

Os gráficos de porcentagem de aceitação ou como chamados pela empresa, gráficos de zero defeito, foram plotados utilizando o número de componentes inspecionados em cada mês que não foram detectadas nenhum tipo de descontinuidade.

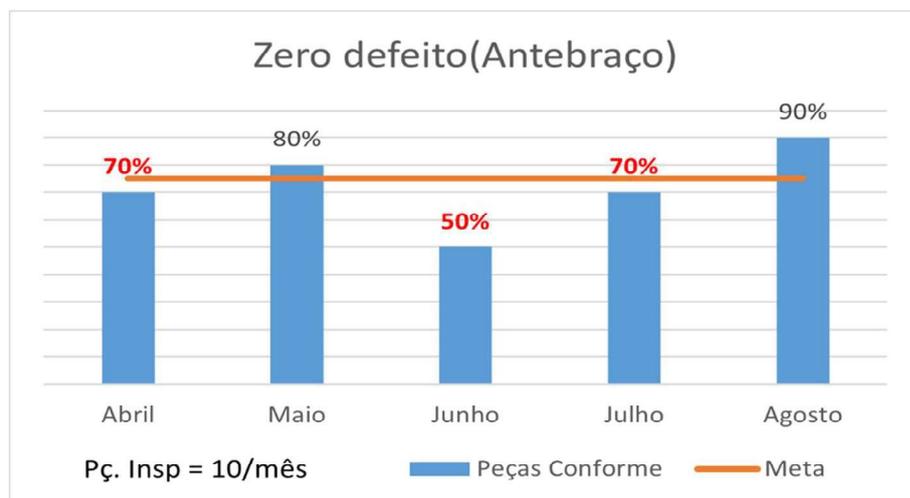
Figura 32 - Porcentagens de peças aprovadas (braço)



Fonte: elaborado pelos autores

A figura 32 representa o gráfico de zero defeitos relacionado as inspeções das amostras referente ao componente braço, onde durante os meses de abril a agosto apresentou um comportamento de índice de aprovação crescente como pode ser observado no primeiro mês, com 53% de aprovação direta e no último mês com 87% de aprovação, mantendo seu comportamento crescente e estável durante o período estudado.

Figura 33 - Porcentagem de peças aprovadas (Antebraço)

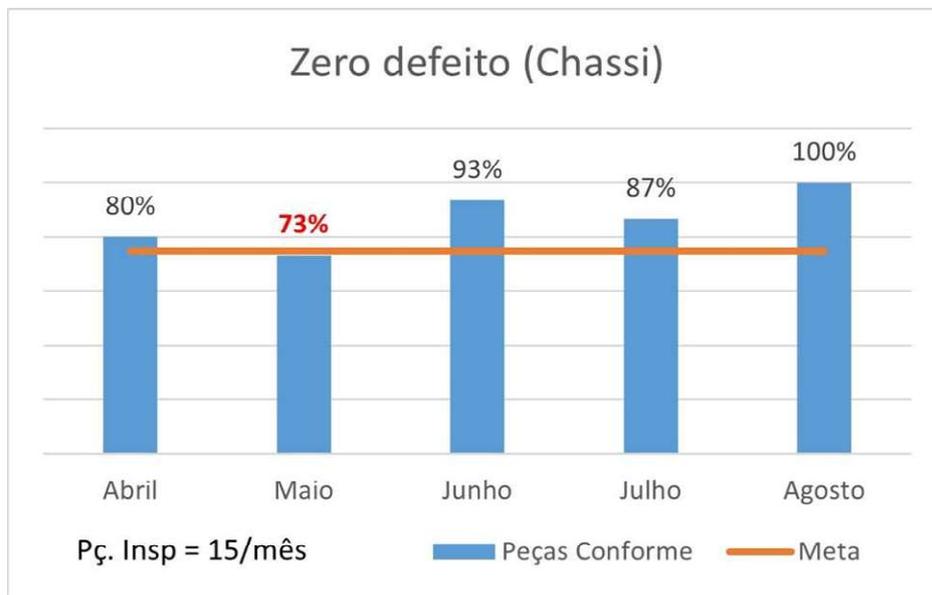


Fonte: elaborado pelos autores

O gráfico de zero defeito do antebraço, ilustrado na figura 33, apresentou um comportamento variável, pois durante o estudo foi verificado pelo time de qualidade da empresa que uma variável diferente das estudadas estava impactando nos resultados deste indicador

sendo ela a mão de obra , assim o mês de maio e agosto acima demonstraram uma porcentagem de aprovação acima do esperado e os demais meses abaixo do determinado.

Figura 34 - Porcentagem de peças liberadas (chassi)



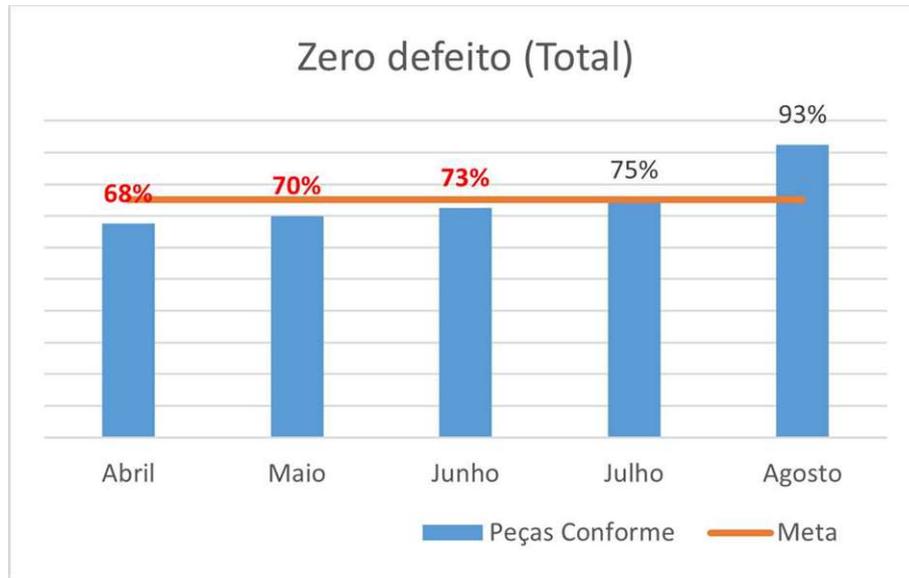
Fonte: elaborado pelos autores

A figura 34 expõe os resultados relacionados ao índice de zero defeito do chassi, que manteve um bom comportamento em relação a meta estipulada para estudo. Este componente não participa do estudo das discontinuidades pois seu método de soldagem é automático, ou seja, sua solda é realizada por robôs fazendo com que defeitos como porosidades e trincas apareçam em números reduzidos, sendo a principal causa da variação a descontinuidade mordedura causada pelos diferentes parâmetros de operação para cada espessura de chapa, sendo um erro do operador não os alterar.

Os cálculos do indicador oficial da empresa utilizam todos os dados referentes aos componentes em que são ensaiados por partícula magnética e ultrassom. Sendo assim, os autores da pesquisa julgaram importante apresentar os dados referente aos três componentes em que tais ensaios são aplicados, pois os mesmos são utilizados nos cálculos do indicador oficial da empresa.

A figura 35 representa os dados relacionados a manipulação de todas as informações referentes aos componentes estudados. O gráfico apresentou um comportamento crescente, tendo o mês de abril resultados abaixo do esperado, em julho resultados na faixa do estipulado e melhorando em agosto, fechando o estudo em 93% de aprovação.

Figura 35 - Porcentagem de peças liberadas no total



Fonte: elaborado pelos autores

5. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu analisar as diferentes formas em que o meio ambiente é capaz de impactar no processo de soldagem, demonstrando como a umidade influencia na condição da matéria prima devido ao armazenamento inadequado, como também a influência da ação do vento na execução do processo de soldagem e no processo de resfriamento das estruturas recém soldadas.

Como foi analisado, a estrutura de armazenamento da matéria prima é de suma importância a fim de diminuir o tempo gasto com o processo de soldagem, como também reduzir os custos com o descarte de materiais inadequados e insumos para a realização de ensaios END na matéria prima. Também foi possível observar como a estrutura de vedação dos postos de solda é capaz de criar um ambiente adequado, evitando com que o vento interfira na vazão do gás protetivo como também diminui os impactos relacionados ao resfriamento forçado.

Por meio da análise dos gráficos foi possível verificar que as medidas adotadas pela empresa após a sugestão dada pelo grupo foram efetivas, devido ao índice demonstrado no gráfico onde nos últimos meses de pesquisa os resultados obtidos alcançaram as metas definidas baseadas nos critérios da empresa.

Não foi possível obter uma análise da sugestão de criação do ambiente adequado para o armazenamento da matéria prima, pois a empresa julgou ser inviável a aplicação da sugestão nas condições econômicas atuais do Brasil. Já as sugestões de reestruturação dos postos de solda já existentes na planta e os implementados para suprir o aumento da produção foram executados pela empresa pois a mesma julgou necessário e viável economicamente a aplicação para o controle da vazão do vento no ambiente

Após a finalização do estudo, os autores do trabalho concluíram que a medida sugerida que foi adotada pela empresa, corresponde ao motivo que possibilita explicar a diminuição do surgimento de não conformidades nos componentes, pois o mesmo se mostrou eficiente para bloquear a exposição dos componentes recém soldados e dos postos de solda as ações do vento, reduzindo assim o resfriamento forçado e impedindo que o vento atrapalhe a vazão do gás protetivo.

Portanto, pode-se concluir que os aspectos climáticos são fatores influentes no processo de soldagem, sendo necessário compreender como são capazes de contaminar o processo e buscar meios para a contenção de tais agentes, pois sempre estarão presente de meios distintos interferindo no processo.

BIBLIOGRAFIA

- Andreucci, R. (2009). *Partículas Magnéticas*. São Paulo: ABENDI.
- Andreucci, R. (2018). *Ensaio por Ultrassom*. São Paulo: ABENDI.
- ASM, I. (2003). *ASM Handbook Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection* (Vol. 13A). Ohio: ASM International.
- ASM, I. (2011). *Metal handbook Welding fundamental and process* (Vol. V6a). Ohio: ASM International.
- AWS. (2001). *Welding Science and tecnologia*. Miami: American Welding Society.
- Barra, S. R., & Pereira, A. S. (1999). *Descontinuidades em Soldagem*. Florianópolis.
- Bracarense, A. Q. (2000). *Processo de Soldagem com Chama Oxi-Gás*. Belo Horizonte.
- Casarin, S. J. (2018). *Manufatura Mecânica: Soldagem*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A.
- Figueiredo, C. E. (2014). *Processos de Soldagem - Conceitos, Equipamentos e Normas de Segurança*. São Paulo: Editora Érica.
- Garcia, A., Spim, J. A., & Santos, C. A. (2012). *Ensaio dos Materiais*. Rio de Janeiro: Grupo Gen.
- Geary, D., & Miller, R. (2014). *Soldagem (Tekne)*. Porto Alegre: Grupo A.
- Marques, P. V., Modenesi, P. J., & Bracarense, A. Q. (2016). *Soldagem Fundamentos e Tecnologia*. Rio de Janeiro: Grupo Gen.
- Modenesi, P. J. (2001). *Soldagem 1 - Descontinuidades e Inspeção em juntas Soldadas*. Belo Horizonte.
- Modenesi, P., Marques, P., & Santos, D. (2012). *Introdução a metalurgia da soldagem*. Belo horizonte.
- Neris, M. M. (2012). *Soldagem*. São Paulo: Centro Paula Souza.
- SENAI. (1997). *Soldagem - Coleção Tecnológica do SENAI* (Vol. 1ª edição). São Paulo: SENAI Sao Paulo.
- Silva, R. F. (2010). *Caracterização da zona termicamente de aço produzido via resfriamento acelerado*. Belo Horizonte.
- Wainer, E., Brandi, S. D., & Mello, F. D. (2004). *Soldagem, Processos e metalurgia*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda.
- GENTIL, Vicente. *Corrosão*, 6ª edição. Grupo GEN, 2011.