



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



LÍVIA ALVES FREIRE ABRANTES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO MIG-BRAZING EM
CHAPAS REVESTIDAS COM Zn-Fe PARA APLICAÇÕES QUE
DEMANDAM APARÊNCIA DE INOX**

VOLTA REDONDA

2023

LÍVIA ALVES FREIRE ABRANTES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO MIG-BRAZING EM
CHAPAS REVESTIDAS COM Zn-Fe PARA APLICAÇÕES QUE
DEMANDAM APARÊNCIA DE INOX**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos, linha de pesquisa em materiais metálicos.

Aluna:

Lívia Alves Freire Abrantes

Orientador:

Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa

VOLTA REDONDA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

A161a Abrantes, Livia Alves Freire

Análise da influência do processo MIG-BRAZING em chapas revestidas com Zn-Fe para aplicações que demandam aparência de inox. / Livia Alves Freire Abrantes. - Volta Redonda: UniFOA, 2023. 73 p.: Il

Orientador (a): Profº Dr. Sandro Rosa Corrêa

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2023

1. Materiais - dissertação. 2. Brasagem. 3. Chapa de aço - zinco. 4. MIG-Brazing. I. Corrêa, Sandro Rosa. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



LÍVIA ALVES FREIRE ABRANTES

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO MIG-BRAZING EM CHAPAS REVESTIDAS COM Zn-Fe
PARA APLICAÇÕES QUE DEMANDAM APARÊNCIA INOX


Orientador: Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa


ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
“MESTRE EM MATERIAIS”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS


Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa
Presidente / UniFOA


Profa. Dra. Janaína da Costa Pereira T. de Oliveira
Examinador externo / UniFOA


Prof. Dr. Márcio Teodoro Fernandes

Examinador externo / UFF

Dezembro de 2023.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Ivana e José que sempre me apoiaram e me ajudaram a seguir pelo melhor caminho, ao meu esposo André por todo apoio, dedicação e companherismo com meus sonhos e principalmente ao meu filho lury, por ser ele, a força que me guia e me impulsiona a seguir sempre em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu esposo e ao meu filho por todo apoio e incentivo que me deram durante esse momento, foram dias difíceis e sem a insistência deles não teria conseguido, por compreenderem minhas ausências quando necessárias e fazer com que eu acreditasse que seria possível. Aos meus pais por confiarem que, mesmo com todos os percausos até esse momento, eu sou capaz de chegar ao fim da realização desse sonho.

Agradeço aos técnicos profissionais da UniFOA e da CSN que forneceram todo suporte e apoio na realização dos ensaios aqui apresentados, fazendo com que esse trabalho fosse realizado da melhor maneira, bem como ao meu grande amigo Thiago, por ter me auxiliado com seu conhecimento.

E principalmente, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Sandro Rosa Corrêa, que foi incasável em me guiar nesse caminho para realização de um sonho, ele que não deixou que eu desistesse, mesmo quando achei que fosse impossível atingir a meta, foi exemplo de mestre e ser humano incrível.

EPÍGRAFE

“Ninguém nasce feito, é experimentando-nos no mundo que nós nos fazemos.” (Paulo Freire)

ABRANTES, L. A. F. Análise da Influência do Processo MIG-Brazing em Chapas Revestidas com Zn-Fe para Aplicações que Demandam Aparência de Inox. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2023.

RESUMO

O processo de soldagem de chapas de aço com revestimentos exige todo o cuidado para não agredir a proteção cedida pelo revestimento, face a temperatura utilizada próxima a de fusão do substrato. Por apresentar o zinco baixa temperatura de evaporação, 906 °C, a sua soldagem requer todo um cuidado para não comprometer a resistência a corrosão dada pelo Zn. A utilização do processo MIG-Brazing é usual na indústria automobilística, mas não para outros seguimentos industriais. O processo MIG-Brazing é caracterizado pela utilização do método de soldagem MIG associado a um consumível de material com baixo ponto de fusão em relação ao aço. Nesse estudo foi realizada a brasagem por meio de um sistema automatizado adaptado de uma máquina de soldagem MIG com inclinação de tocha de 70° e 90°, utilizando como metal base uma chapa de aço com revestimento zinco-ferro na espessura de 1,0 mm, com um acabamento brilhoso obtido por meio de um tratamento mecânico de escovação, adotando parâmetros elétricos que apresentaram um cordão sem respingo, redução da queima da camada de zinco que protege a superfície da chapa e boa aparência visual do cordão. Após a brasagem do material, corpos de prova foram confeccionados para a realização dos ensaios de microscopia óptica e MEV, microdureza e corrosão acelerada em névoa salina. Para aportes térmicos maiores, foi observado aumento da dureza do metal de adição ficando próximo ao metal base, mostrando sua compatibilidade em termos de propriedade mecânica. Apesar da evaporação do zinco comprometer a resistência a corrosão do metal base, desenvolvido para aplicações estéticas e decorativas, na região adjacente ao cordão brasado, os resultados dos parâmetros de brasagem com a tocha a 90° e corrente 71 A, apresentou melhor desempenho de dureza e resistência a corrosão.

Palavras-chave: Brasagem; Chapa de aço; MIG-Brazing, zinco.

ABRANTES, L. A. F. Analysis of the influence of the MIG-brazing process on Zn-Fe coated plates for applications that require stainless steel appearance. 2023. Dissertation (Professional Master In Materials) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2023.

ABSTRACT

The process of welding steel sheets with coatings requires caution not to harm the protection provided by the coating, due the temperature used close to the melting of the substrate. Since the zinc has a low evaporation temperature, 906 °C, its welding requires caution not to compromise the corrosion resistance given by Zn. The use of the MIG-Brazing process is usual in the automotive industry, but not for other industrial segments. The MIG-Brazing process is characterized by the use of the MIG welding method associated with a material consumable with a low melting point in relation to steel. In this study, brazing was carried out by an automated system adapted from a MIG welding machine with a torch inclination of 70° and 90°, using as a base metal a steel plate with zinc-iron coating in the thickness of 1,0 mm, with a glossy finish obtained by a mechanical brushing treatment, adopting electrical parameters that presented a cord without splash, reduction of the burning of the layer of Zinc that protects the surface of the sheet and good visual appearance of the cord. After the brazing of the material, specimens were made to perform the tests of optical microscopy and SEM, microhardness and accelerated corrosion in salt spray. For larger thermal inputs, an increase in the hardness of the addition metal was observed being close to the base metal, showing its compatibility in terms of mechanical property. Despite the evaporation of zinc compromising the corrosion resistance of the base metal, developed for aesthetic and decorative applications, in the region adjacent to the brazed cord, the results of the brazing parameters with the torch at 90° and chain 71 A, showed better performance of hardness and corrosion resistance.

Keywords: brazing; steel plate; MIG-brazing, zinc.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de Soldagem MIG/MAG.....	22
Figura 2. Regiões do Arco Elétrico	23
Figura 3: Processo de zincagem por imersão à quente	30
Figura 4: Aspecto dos revestimentos zincados	31
Figura 5: Zincagem por imersão à quente.....	33
Figura 6: Fluxograma da Metodologia Proposta.....	34
Figura 7: Equipamento de Brasagem.....	35
Figura 8: Sistema Automatizado	35
Figura 9: Metal Base	36
Figura 10: Embutidora.....	38
Figura 11: Politriz	39
Figura 12: Microscópio - Microscopia Óptica.....	40
Figura 13: Microscópio Eletrônico de Varredura	40
Figura 14: Microdurômetro	41
Figura 15: Equipamento de Corrosão	42
Figura 16: Amostra 1.1 a) face superior e b) inferior	45
Figura 17: Amostra 1.2 a) face superior	46
Figura 18: Amostra 1.3 a) face superior e b) inferior	46
Figura 19: Amostra 1.4 a) face superior	46
Figura 20: Amostra 2.1 a) face superior e b) inferior	47
Figura 21: Amostra 2.2 a) face superior e b) inferior	47
Figura 22: Amostra 2.3 a) face superior e b) inferior	47
Figura 23: Amostra 2.4 a) face superior e b) inferior	48

Figura 24: Micrografia do Metal Base – Aumento 100X	49
Figura 25: Amostra 1.2 - Antes do ataque químico	49
Figura 26: Amostra 1.4 - Antes do ataque químico	50
Figura 27: Amostra 2.2 - Antes do ataque químico	50
Figura 28: Amostra 2.4 - Antes do ataque químico	50
Figura 29: Amostra 1.2 - Após ataque.....	51
Figura 30: Amostra 1.4 - Após ataque.....	51
Figura 31: Amostra 2.2 - Após ataque.....	52
Figura 32: Amostra 2.4 - Após ataque.....	52
Figura 33: MEV – Região Central da Amostra 1.2	53
Figura 34: MEV – Região Central da Amostra 1.4	53
Figura 35: MEV - Região Central da Amostra 2.2	54
Figura 36: MEV - Região Central da Amostra 2.4	54
Figura 37: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 1.2.....	55
Figura 38: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 1.4.....	55
Figura 39: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 2.2.....	56
Figura 40: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 2.4.....	56
Figura 41: MEV - Lado Direito da Amostra 1.2.....	57
Figura 42: MEV - Lado Direito da Amostra 1.4.....	57
Figura 43: MEV - Lado Direito da Amostra 2.2.....	58
Figura 44: Lado Direito da Amostra 2.4.....	58
Figura 45: Gráfico valores de Microdureza	60
Figura 46: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 1.1	61
Figura 47: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 2.3	62

Figura 48: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 2.1	63
Figura 49: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 1.3	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros de Brasagem	37
Tabela 2: Parâmetros Nominais de Brasagem	37
Tabela 3: Parâmetros Reais de Brasagem	44
Tabela 4: Resultado do Ensaio Microdureza Vickers	59
Tabela 5: Resultado Ensaio na Região de Corrosão e do Cordão	65
Tabela 6: Procedimento de Brasagem	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	44
Equação 2	59

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

MIG	<i>Metal Inert Gas</i> (Gás Inerte de Metal)
MAG	<i>Metal Active Gas</i> (Gás Ativo de Metal)
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i> (Soldagem ao Arco Elétrico com Atmosfera de Proteção Gasosa)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 JUSTIFICATIVA	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)	21
2.1.1 Arco Elétrico	22
2.1.2 Brasagem (MIG Brazing)	24
2.1.2.1 Definição de Brasagem	24
2.1.2.2 Brasagem MIG (MIG-Brazing).....	25
2.1.2.3 Aço	27
2.1.2.4 Aço Galvanizado	28
2.1.2.5 Aço Galvanizado por Eletrodeposição.....	29
2.1.2.5 Aço Galvanizado pelo Processo Imersão a Quente	29
2.1.2.6 Processo de Zincagem por Imersão a Quente	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 MATERIAIS BRASAGEM.....	35
3.2 METODOLOGIA DA BRASAGEM	36
3.2.1 Parâmetros Nominais de Brasagem	36
3.2.1.1 Sistema de Brasagem Automatizado	37
3.3 ENSAIO DE METALOGRAFIA.....	37

3.4 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS.....	41
3.6 ENSAIO DE CORROSÃO ACELERADO	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE BRASAGEM	44
4.1.1 Cordões de Brasagem	45
4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE METALOGRAFIA	48
4.2.1 RESULTADOS DO METAL BASE	48
4.2.2 RESULTADOS DO MATERIAL SOLDADO	49
4.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV	52
4.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE MICRODUREZA.....	59
4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE CORROSÃO	60
5 CONCLUSÕES.....	66
6 TRABALHOS FUTUROS.....	67
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO 1.....	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o atual cenário de constante progresso da sociedade, é inconcebível o mundo sem a utilização do aço. A chapa de aço é um produto muito versátil, possui baixo custo e excelente conformabilidade, de aplicação em diversas áreas, sendo a produção do aço um bom parâmetro de progresso econômico de uma nação. Porém, a produção de elementos contendo aço requer procedimentos que precisam de intermitentes renovações, por esse motivo, o sucessivo investimento das indústrias em pesquisas (AÇO BRASIL, 2021).

Contudo, o aço é um material muito vulnerável ao processo de reações de oxidação, ou seja, a corrosão, condição que pode ser definida como a deterioração do metal, a partir da superfície, pelo meio no qual está inserido, convertendo o material em óxido, hidróxido ou sal (SILVA et al., 2015).

Por essas razões a proteção do aço contra corrosão possui uma grande importância econômica, podendo o processo ser impedido, por exemplo, com aplicação de um revestimento superficial protetor, tendo como objetivo a melhoria da resistência à corrosão, proporcionando uma aparência estética decorativa além de condições de soldagem que garantam a aceitação satisfatória do produto (ICZ, 2009).

Felizmente existem vários tipos de revestimentos, entre eles aqueles a base de zinco, que são possíveis de aplicação ao aço, conferindo-lhe a proteção suficiente para que possa ser utilizado nas diversas aplicações exigidas. Sendo o zinco caracterizado por temperatura de fusão e evaporação relativamente baixas 420 °C e 906 °C, respectivamente (SEJČ et al., 2015).

A galvanização do aço utilizando revestimento de zinco é um dos mais efetivos e econômicos processos de proteção ao aço, pois o zinco tem grande capacidade de proteger o substrato contra a corrosão e ao mesmo tempo manter as boas características no metal, como por exemplo, custo e peso baixos (BREPOHL, 2013), além de possuir excelente plasticidade, leveza, resistência mecânica e boa estética. A galvanização com zinco dá origem ao produto denominado aço zincado.

Como o mercado consumidor vem exigindo a cada dia materiais, principalmente aqueles utilizados para fins domésticos, onde a boa aparência é tão importante quanto sua funcionalidade, as indústrias vêm aprimorando seu processo de fabricação com o uso de aço zincado, contudo também é necessário aprimorar as técnicas para união, o que proporcionou o crescimento do processo denominado MIG-Brazing.

O processo MIG-Brazing possui ao mesmo tempo as características da brasagem e da soldagem MIG, através da utilização de um arco elétrico como fonte de calor, a união é feita através da difusão molecular entre o metal base e o metal de adição, por esse motivo o processo é denominado Brasagem à Arco ocorrendo apenas a fusão do material de adição e não do metal de base (MENDES, 2005; MARQUES et al, 2011).

Sendo assim, esse processo por utilizar consumíveis com baixo ponto de fusão, alta velocidade de soldagem e baixo aporte térmico, é considerada a mais acessível técnica de brasagem para substituir a soldagem a arco de chapas finas com revestimento de zinco, pois reduz a evaporação de zinco durante a brasagem, menores tensões residuais e distorção, garantindo uma operação estável e boas propriedades de junta em termos de aparência, microestrutura, resistência mecânica e resistência à corrosão, mantendo a proteção contra a corrosão na região submetida à solda (QUINTINO et al, 2006; SHOME et al, 2015).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal é o desenvolvimento de um procedimento para união de chapas de aço revestidas com zinco, visando gerar um produto de qualidade sem degradação do material de revestimento, evitando o impacto negativo no aspecto visual do produto

1.2.2 Objetivos específicos

Realização do ensaio metalográfico, óptico e MEV, para caracterização do metal base e revestimento e peso de revestimento;

Brasagem pelo processo MIG-Brazing automatizado de corpos de provas;

Ensaio de corrosão e ensaio metalográfico, óptico e MEV, para caracterização dos corpos de prova brasados.

1.3 JUSTIFICATIVA

A avaliação do aporte térmico e a definição de procedimentos contendo parâmetros adequados, visando a união pela técnica MIG-Brazing, poderá proporcionar a utilização de um novo material com revestimento Zn-Fe, tendo como diferencial o aspecto visual, com o mínimo de degradação do revestimento, substituindo algumas aplicações do aço inoxidável, mais caro, por um de menor custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)

O processo GMAW tornou-se comercialmente viável na década de 40, onde foi inicialmente empregado com gás inerte na soldagem do alumínio, contudo, atualmente, é muito difundido na indústria sendo empregado em materiais de várias espessuras, aços inoxidáveis, ferrosos e não ferrosos, como cobre, magnésio, níquel e ligas, aços de alta resistência e em várias posições, visto suas características de elevada taxa de deposição, versatilidade, fácil adaptação para automação e custo baixo quando comparado à outros processos (COSTA et al., 2019).

Durante o processo de soldagem conhecido como GMAW, é realizado o aquecimento de um eletrodo partindo de uma temperatura inicial, que está perto da temperatura ambiente, até que ocorra a fusão e desprendimento, em gotas de metal na forma líquida, chegando a uma temperatura próxima ou ainda acima de 2000°C. O aumento de temperatura no eletrodo pode acontecer, principalmente, por meio de um arco elétrico e através do efeito Joule (MODENESI et al., 2011).

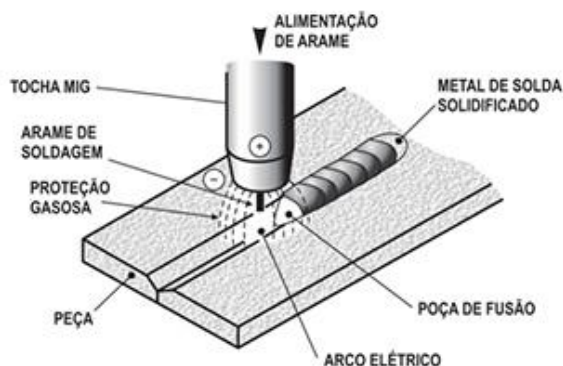
A técnica de soldagem a arco utilizando proteção gasosa - GMAW (Gás Metal Arc Welding) é um processo que faz uso de um arco entre o fornecimento contínuo de metal e a poça de fusão, ou seja, o arame consumível entra em contato com o metal base pelo aquecimento até a temperatura de fusão desses materiais através de um arco elétrico, resultando em uma “poça de fusão utilizando como proteção à poça uma fonte externa de gás (BRACARENSE, 2003), a poça é composta pelo metal de adição e pela fusão do metal de adição e o metal base, após o resfriamento da “poça”, ou seja após solidificar-se, ocorre a união entre os metais (Figura 1).

A poça de fusão e as regiões adjacentes ao processo de solda, são protegidas por um gás de proteção ou por uma mistura de gases inertes ou ativos, contra os impactos daninhos do oxigênio presente no ambiente, onde, relacionado aos padrões da fonte de energia bem como aos metais de adição, poderá ajudar na melhoria da qualidade, funcionamento e produtividade da soldagem dos metais (SOARES et al., 2012). Sendo assim, o que caracteriza a diferença desse processo, MIG/MAG, é simplesmente fazer uso de um gás de proteção durante o processo. Quando falamos

de gases inertes, como Argônio e Hélio ou mistura desses dois, podemos chamar o processo de Soldagem MIG (*Metal Inert Gas*), nesse caso o gás de proteção atua na formação do arco elétrico como principal fator de utilização e não tem interação com a poça de fusão. Porém se a proteção gasosa empregar gases ativos, ou seja, gases que irão interagir com a poça de fusão, denominamos o processo por Soldagem MAG (*Metal Active Gas*) (MENDES, 2005).

Os gases utilizados como proteção, a depender de sua estrutura e composição, poderão influenciar: o aspecto do arco; o modelo de transferência metálica; a velocidade do processo de soldagem; na perda por projeção (respingos) bem como na penetração; na forma do cordão de solda; no custo operacional; as perdas dos componentes químicos; a temperatura da poça de fusão; a vulnerabilidade ao rompimento e porosidade; a facilidade no processo de soldagem em variados posicionamentos (SOARES et al., 2012).

Figura 1. Processo de Soldagem MIG/MAG



Fonte: ESAB BR, 2005

2.1.1 Arco Elétrico

O arco elétrico de soldagem, atualmente, é o método mais utilizado na soldagem por fusão, pois possui adequada concentração de energia de fusão do metal base, baixo custo e facilidade de controle (MODENESI, 2012). Esse método consiste em uma descarga elétrica entre o metal base e o eletrodo, por meio de um gás ionizado em alta temperatura, produzindo assim, a energia térmica.

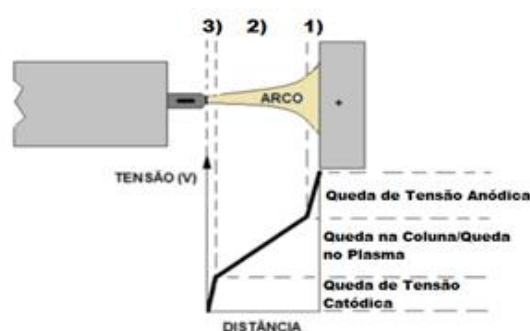
Segundo a Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem – FBTS, 2004 o gás utilizado como proteção exerce uma influência sobre as propriedades operacionais do arco bem como na forma de inserção da solda. O CO₂, por exemplo, quando comparado a um gás inerte produz muitos respingos, porém promove boa penetração, então muitas vezes o gás de proteção utilizado poderá ser uma mistura de gás inerte e ativo, assim é possível obter um equilíbrio entre penetração e respingos.

De maneira geral, o arco elétrico opera entre uma peça plana ou aproximadamente plana, e um outro eletrodo localizado na extremidade de um cilindro com área relativamente menor que a da peça, razão pela qual os arcos elétricos de soldagem apresentam um formato cônico, o arco vai fundindo o arame enquanto este vai incorporando à poça de fusão (FORTES, 2005).

Na soldagem por arco elétrico a descarga elétrica tem alta corrente e baixa tensão que ocorre através de um plasma altamente condutivo que irá produzir energia térmica suficientemente capaz de unir metais por fusão. Na soldagem a arco elétrico por corrente contínua, a polaridade comum é a reversa onde os elétrons se movem do metal base para o eletrodo, e os íons positivos se movem do eletrodo para o metal base (DALTRO, 2000).

O arco elétrico se caracteriza pela diferença de potencial entre as suas extremidades e a corrente elétrica que passa pelo arco. A queda de potencial na extensão do arco é desigual, e pode ser fragmentada, figura 2, nos seguintes tipos: 1) Queda de Tensão Anódica; 2) Queda na Coluna ou Queda de Tensão no Plasma; 3) Queda de Tensão Catódica (MENDES, 2005).

Figura 2. Regiões do Arco Elétrico



Fonte: Adaptado de (Souza, 2014)

Apesar das quedas de tensão catódicas e anódicas serem curtas, elas são caracterizadas por apresentarem elevados gradientes de tensão, além do somatório das quedas de potencial nessas regiões ser aproximadamente constante.

A transferência do metal por curto-circuito acontece através da ponta fundida do arame mantida por um jato de catodo, onde o arame é alimentado a uma velocidade alta de modo que a ponta fundida entrará em contato com a poça de solda, ocorrendo o curto circuito que irá gerar uma ponte através da distância entre o arame e a poça fundida, extinguido assim o arco, o arame se separa da poça e restabelece o arco (DALTRO, 2000).

2.1.2 Brasagem (MIG Brazing)

2.1.2.1 Definição de Brasagem

A brasagem geralmente é definida como um método de união com um metal de adição fundido e os substratos sólidos, esse método pode oferecer muitas vantagens sobre outros métodos de soldagem por fusão, tais como: uma temperatura de brasagem relativamente baixa, a possibilidade de união de materiais diferentes e estruturas complexas, alta precisão e melhor propriedades conjuntas (CAO et al., 2014).

Segundo a definição da American Welding Society (AWS), 2004 “o termo brasagem refere-se a um conjunto de procedimentos de junção onde as juntas brasadas são formadas quando um conjunto de materiais é aquecido à temperatura de brasagem na presença de um metal de adição tendo a linha “Líquidus” superior aos 450 ° C, porém inferior do “solidus”, ou ponto de fusão, dos materiais de base. O metal de adição se distribui entre as superfícies próximas da junta por ação capilar. O calor é fornecido por um sistema apropriado ao processo e à aplicação.”

Ou seja, a brasagem é um processo originário da solda forte, conhecida como “brazing”, onde o metal de adição apresenta temperatura de fusão superior a 450°C e ao mesmo tempo, abaixo da temperatura de fusão do metal base.

Nesse processo, ao contrário da soldagem, o material de adição utilizado apresenta ponto de fusão inferior ao do material de base o qual está sendo soldado, sendo que a temperatura solidus do material de base não é atingida. Os materiais de

adição da brasagem são sempre constituídos de metais puros ou ligas (BATALHA, 2003). Esses metais de adição podem ser zinco, estanho, prata, chumbo, zinco-chumbo, cobre, ligas de adição à base de alumínio, ligas à base de níquel e metais nobres.

O metal base, nesse processo de união, não irá se fundir, fato que faz com a brasagem se diferencie dos demais procedimentos de união por fusão. Além disso a união é formada pelo metal que enche a junta por meio do fenômeno da capilaridade, isto é, o material líquido preenche os espaços vazios existentes entre as superfícies que serão soldadas, as partes são fixadas muito próximas e o trabalho é realizado por junção molecular entre as superfícies do metal (MENDES, 2005).

2.1.2.2 Brasagem MIG (MIG-Brazing)

O processo conhecido como Brasagem MIG (MIG-Brazing) possui, ao mesmo tempo, as características da brasagem e da soldagem MIG, ou seja, a brasagem MIG realiza a brasagem dos materiais através da utilização de um arco elétrico. Da mesma maneira como na brasagem convencional, existe apenas a fusão do material de adição e não do metal base, o que diferencia a Brasagem MIG da brasagem convencional é o fato do material de adição não ser depositado nas juntas por atração capilar, mas sim, o que é possível observar, é uma difusão interatômica através da molhabilidade em uma estreita área de junta, logo, a capilaridade, nesse processo, não será o fator determinante da união (MENDES, 2005). Nesse processo o arco elétrico é utilizado como fonte de calor e a transferência pode ocorrer por spray, corrente pulsada e curto-circuito, é um processo de baixo aporte térmico e efeitos térmicos mínimos, sendo, então amplamente utilizado na união de chapas galvanizadas onde é fundamental a preservação das características da camada de zinco (MARQUES et al., 2011).

Logo, a razão do processo ser denominado por Brasagem MIG (MIG-Brazing) é exatamente por unir características do processo MIG e da brasagem, através de arco elétrico, sendo capaz de manter ao mesmo tempo os benefícios de não promover fusão do material base, manter as propriedades mecânicas, possuir alta velocidade de soldagem e elevadas taxas de deposição.

Nesse processo de brasagem o material de adição é em forma de arame e alimentado por meio de um arco elétrico empregando um gás como meio de proteção. É utilizado um eletrodo consumível alimentado de um carretel através da pistola de solda com uma velocidade controlada. Conforme o fio passa pelo tubo de contato da pistola ele irá captar a corrente de soldagem. O eletrodo de fio consumível terá a função de manter o arco e de fornecer metal de adição à junta, onde o metal de solda será preservado do ambiente por um fluxo de gás inerte (CHOVET et al., 2006). Os gases mais comuns utilizados nesse processo são argônio puro ou ainda uma mistura de argônio com poucos teores de oxigênio ou então CO₂, ou ainda, H₂. O acréscimo de pequenas quantidades de gases ativos tem como função garantir melhor fluidez do metal de adição, estabilidade do arco.

Para soldagem de chapas finas de aço carbono contendo revestimento a base de Zinco, ou até mesmo, sem esse componente, o processo brasagem MIG vem ganhando grande espaço em todos os ramos da indústria. A brasagem MIG possui menor entrada térmica no local da união, levando a menor destruição do revestimento dos materiais unidos, os danos são menos significativos devido à composição química da brasagem e a área de evaporação do zinco é relativamente pequena, logo a resistência à corrosão é fornecida pela passiva evaporação do zinco (VIÑÁŠ et al., 2012).

O processo MIG-Brazing é considerada a mais acessível técnica de soldagem para substituir a soldagem a arco de chapas finas com revestimento de zinco, isso porque apresenta uma redução da queima de zinco durante a brasagem, um estresse residual menor bem como menor distorção geométrica (QUINTINO et al., 2006).

Como são utilizados consumíveis com baixo ponto de fusão, a alta velocidade de soldagem e a baixa entrada térmica garantem uma operação estável e boas propriedades de junta em termos de aparência, microestrutura, resistência e resistência à corrosão (SHOME et al., 2015).

A aplicabilidade de consumível que apresente ponto de fusão abaixo do aço carbono traz como uma das principais vantagens o baixo aporte térmico, reduzindo a deterioração dos materiais pelo calor (CASTILLO, 2016). Tendo como princípio de que o zinco possui um baixo ponto de fusão, iniciando em temperaturas próximas de 420°C, o uso deste componente no processo de soldagem deve ser feito respeitando

baixas temperaturas, pois se o zinco evaporar logo que se inicia o arco, os vapores e óxidos de zinco que são gerados, faz com que o zinco, presente na região próxima à solda, seja extraído, deixando a chapa sem revestimento e proteção contra a corrosão. Sendo assim o processo brasagem MIG, por exigir baixa quantidade de calor, mostra-se extremamente adequado para soldar chapas galvanizadas (SILVA, 2013).

São muitas as vantagens da aplicação do processo brasagem MIG, onde destacam-se: menor entrada de calor em uma junta soldada quando comparado ao processo GMAW, pois a temperatura de fusão dos materiais de enchimento está entre 950 e 1080°C; principalmente para união de chapas de finas, apresenta menos deformações e tensões induzidas pelo calor; resistência da junta contra corrosão atmosférica; alta produtividade; baixo custo de investimento; o equipamento utilizado pode ser o mesmo do processo GMAW, necessitando apenas da troca do arame; o processo pode ser realizado tanto no modo semiautomático quanto no modo automático, permitindo assim uma maior produtividade em comparação aos processos na forma manual (SEJČ et al., 2015).

Com a redução da temperatura de soldagem no processo MIG a área afetada pelo calor, minimiza as transformações do metal de base e resulta em algumas vantagens, tais como: baixa destruição do revestimento protetor; cordões de solda sem corrosão; baixo nível de distorção; possibilidade de soldagem de juntas dissimilares; baixo nível de respingo (CASTILLO, 2016).

2.1.2.3 Aço

O aço é uma liga metálica obtida por processo siderúrgico, através do aquecimento do minério de ferro, composto por aproximadamente 98% de ferro (Fe), e o restante de carbono, enxofre, fósforo e traços de silício. O minério de ferro é aquecido nos altos-fornos em companhia de carvão vegetal e de fundentes ou coque, e o teor de oxigênio, presente em FeO, será reduzido o máximo possível, obtendo o ferro gusa após esse primeiro processo. O ferro fundido será obtido por meio de uma segunda fusão, com teores de carbono variando entre 2% e 6,7%. O ferro fundido segue para aciaria, unidade da siderurgia, onde, finalmente, será transformado em

aço, ou seja, o ferro gusa passará pela descarbonatação para atingir o máximo de 2% de carbono em sua composição (FERRAZ, 2003).

Em suma, o aço então se define por ser uma liga de ferro e carbono, obtido por processo siderúrgico, de variadas formas e tamanhos, para utilização em suas infinitas aplicabilidades.

Um dos grandes problemas do aço exposto ao ambiente é a corrosão, que segundo a Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO, 2020 “é um processo que deteriora os materiais por meio da ação química ou eletroquímica do meio, estando ou não, associado a esforços mecânicos.” Esses processos são geralmente espontâneos e transformam, constantemente, as características físicas prejudicando a aparência, e químicas de materiais metálicos interferindo, conseqüentemente, em sua estrutura, durabilidade, propriedades mecânicas e desempenho (ROSSI et al., 2007). Por essa razão os aços recebem tratamentos (revestimentos) para protegê-lo da ação do meio contra esse fenômeno.

2.1.2.4 Aço Galvanizado

Conforme a American Galvanizers Association – AGA, o aço galvanizado teve como primeiro registro de utilização no ano de 1742 quando PJ Malouin, um químico francês, apresentou à Royal Academy of Sciences várias experiências envolvendo revestimento de ferro com zinco fundido, porém, apenas em 1837, que o químico francês Stanislaus Tranquille Modeste Sorel obteve a patente para o processo de galvanização. O processo, então, começou a se difundir entre os diversos setores industriais que precisavam adicionar proteção contra a corrosão das placas metálicas.

As chapas galvanizadas, por apresentarem excelente resistência à corrosão, estão em crescente substituição das chapas de aço comum nas indústrias em todo ramo de atividades. Existe uma grande variedade de revestimento utilizado na indústria, porém dois processos de galvanização são destacados: o processo de eletrodeposição e o processo por imersão a quente (TURETTA, 2016).

A galvanização do aço utilizando revestimento de zinco é um dos mais efetivos e econômicos processos de proteção ao aço, pois o zinco tem grande capacidade de proteger o substrato de aço contra a corrosão e ao mesmo tempo manter as boas

características no metal, como por exemplo, baixo custo e menor peso (BREPOHL, 2013). A galvanização com zinco dá origem ao produto denominado aço zincado.

2.1.2.5 Aço Galvanizado por Eletrodeposição

O processo de eletrodeposição é considerado um processo de baixa temperatura, onde o zinco é transferido de um ânodo para uma chapa de aço carregada negativamente, a camada é aplicada apenas em um dos lados da chapa, produzindo um revestimento muito fino na superfície podendo sua espessura ser controlada. As chapas de aço revestidas com Zn por esse processo apresentam acabamento mais liso, brilhante e uniforme e, quando comparado ao processo por imersão, um custo mais baixo (TURETTA, 2016).

A chapa é colocada em uma cuba eletrolítica, onde a energia elétrica de uma fonte externa irá realizar a reação eletroquímica. O sistema é constituído por uma solução eletrolítica, um ou mais eletrólitos que contém o sal do metal a ser depositado dissolvido no solvente que irá conduzir eletricidade (COSTA, 2014).

2.1.2.5 Aço Galvanizado pelo Processo Imersão a Quente

A galvanização por imersão à quente de revestimento das chapas de aço, é um processo em que uma tira de metal é imersa em um banho contínuo de metal fundido. Os metais e ligas que podem ser utilizados no processo de imersão à quente devem possuir baixo ponto de fusão permitindo assim, a passagem da tira pelo banho sem deformação do material, são, por exemplos, zinco puro, liga zinco – ferro, alumínio puro, liga de alumínio – silício, entre outros, escolhido de acordo com a demanda da indústria, para melhor aplicabilidade no produto final (CONI, 2004).

O processo de imersão à quente para aplicação de revestimentos metálicos é um dos métodos mais utilizados para proteção das chapas de aço, sendo também conhecido por zincagem.

O processo de zincagem nas siderurgias é realizado pela imersão das chapas de aço, em formas de bobinas, carregada no desenrolador de entrada passando por um forno de queima direta, com a finalidade de queimar resíduos de óleo contido na

superfície da chapa, aquecendo assim a peça até uma temperatura de recozimento. A chapa limpa é então mergulhada no banho de revestimento de metal, contendo zinco e/ou metal fundido de liga de zinco, ao passar pelo banho, uma camada de zinco ou de liga de zinco é formada, ligando-se com o ferro na superfície da peça, figura 3. A espessura do revestimento pode ser controlada por um conjunto de bicos de decapagem, para remover qualquer quantidade excessiva de revestimento (CHEN, 2003).

Figura 3: Processo de zincagem por imersão à quente



Fonte: Adaptado de (Costa, 2013)

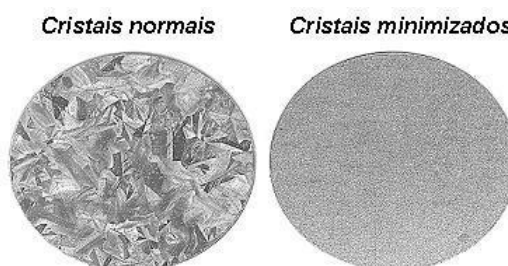
A resistência a corrosão do aço zincado por imersão à quente é atribuída por dois mecanismos: 1) Proteção por barreira realizada por meio da camada de revestimento e 2) proteção catódica ou sacrificial (BIDETTI et al., 2012).

Na proteção por barreira ocorre a introdução do zinco no retículo cristalino do metal base, o que resulta na formação de ligas de Fe-Zn, o revestimento de zinco isola as regiões internas e externas de contato com os agentes oxidantes existentes no ambiente. Nesse processo o revestimento é integrado desde o metal base até a superfície (ICZ, 2018).

Já na proteção catódica, sendo o zinco mais eletronegativo que o ferro presente no aço, ele gera uma barreira de proteção catódica à peça. Também chamada de proteção sacrificial, pois o zinco sofre a corrosão preferencialmente ao aço, ou seja, se sacrifica a fim de proteger o elemento ferro. Esse método gera aumento na proteção, por exemplo, caso ocorra danificações que provoquem cavidades na camada de zinco, os sais de zinco se depositam sobre a superfície em exposição do aço isolando-o do meio ambiente (JÚNIOR et al., 2014).

A Companhia Siderúrgica Nacional, 2019, classifica os revestimentos de zinco em: a) zinco puro, denominado cristal; b) normal e cristais minimizados (GI) e também c) liga zinco-ferro (GA).

Figura 4: Aspecto dos revestimentos zincados



Fonte: GALVABRASIL, 2013

As Chapas que possuem o tipo cristais normais se caracterizam pelo brilho metálico e por desenhos que se assemelham às flores, isso ocorre pois os cristais apresentam livre crescimento no decorrer da solidificação, chapas com cristais normais possuem mais utilização na área civil sem necessidade prévia de pintura. Porém, as chapas que foram galvanizadas com cristais minimizados possuem uma superfície regular e lisa, logo, são mais aconselháveis para aplicabilidade nas áreas em que necessitam pintura posterior, são esteticamente mais adequadas (BIDETTI et al., 2012), conforme representado na figura 4.

Em linhas gerais, as chapas zincadas são revestidas, em cada lado, com camada de zinco de $19\mu\text{m}$ de espessura o que corresponde ao total de $275\text{g}/\text{m}^2$. Porém para aplicações onde requer maior resistência à corrosão, por exemplo onde terá muita presença de umidade, o revestimento de zinco poderá ser mais espesso, já no caso das indústrias automobilísticas, onde conformabilidade e soldabilidade são prioridades, o revestimento poderá ser mais leve, usualmente de $90\text{g}/\text{m}^2$ (CONI, 2004).

2.1.2.6 Processo de Zincagem por Imersão a Quente

Antes de receber a zincagem, as chapas de aço (Bobinas) passam por processos rigorosos. No processo comum de galvanização por imersão a quente, oito etapas são realizadas: desengraxe; primeira lavagem; decapagem; segunda lavagem; fluxagem; secagem; imersão a quente e resfriamento (GALVANIZA, 2013).

As etapas desse processo são detalhadas a seguir conforme Lumegal Indústria e Comércio, 2007, em seu Manual de Zincagem por imersão a quente:

A primeira etapa desse processo é a de desengraxe, onde a peça é banhada por um preparo contendo principalmente soda cáustica (Hidróxido de Sódio) e tensoativos, com o objetivo principal de remover graxas e/ou óleos.

Posteriormente, o desengraxante é removido por uma primeira lavagem em água e as peças passam pelo processo de decapagem usualmente com ácido clorídrico, que tem por finalidade remover imperfeições como, camadas de ferrugem, oxidação, cascas, entre outras. As chapas então passam por uma segunda lavagem.

Como o processo de decapagem pode fazer surgir sais de metal, faz-se necessário a etapa de fluxagem, composta por cloreto de zinco e cloreto de amônio, que tem por objetivo eliminar esses sais, bem como, melhorar a camada de zinco com relação a sua uniformidade no decorrer da peça que será zincada. Após, as chapas passarão por uma secagem tendo como objetivo diminuir os respingos em torno da cuba, bem como o choque térmico.

Imediatamente após a secagem, a superfície está preparada para o procedimento de zincagem pelo método de imersão à quente. Nesse momento a peça é imersa no tanque de zincagem sendo totalmente molhada pelo zinco em estado líquido e bem quente, a temperatura usual de zincagem é de aproximadamente 450°C. A peça é retirada desse banho e sobre sua camada de liga, uma porção de zinco é carregada.

Após a camada de revestimento que foi aplicada se solidificar, tem-se uma peça revestida de zinco quase puro e o resultado é uma peça coberta externamente de zinco e diversas camadas de ligas Fe-Zn unidas ao metal base.

As chapas finalizadas serão resfriadas para cessar o crescimento das subcamadas de ligas, evitando que a peça apresente escurecimento e uma cristalização grosseira. Visando também a proteção contra o processo de oxidação

branca na camada de revestimento, nessa etapa temos a passivação do material, onde são utilizadas soluções cromatizantes.

Figura 5: Zincagem por imersão à quente



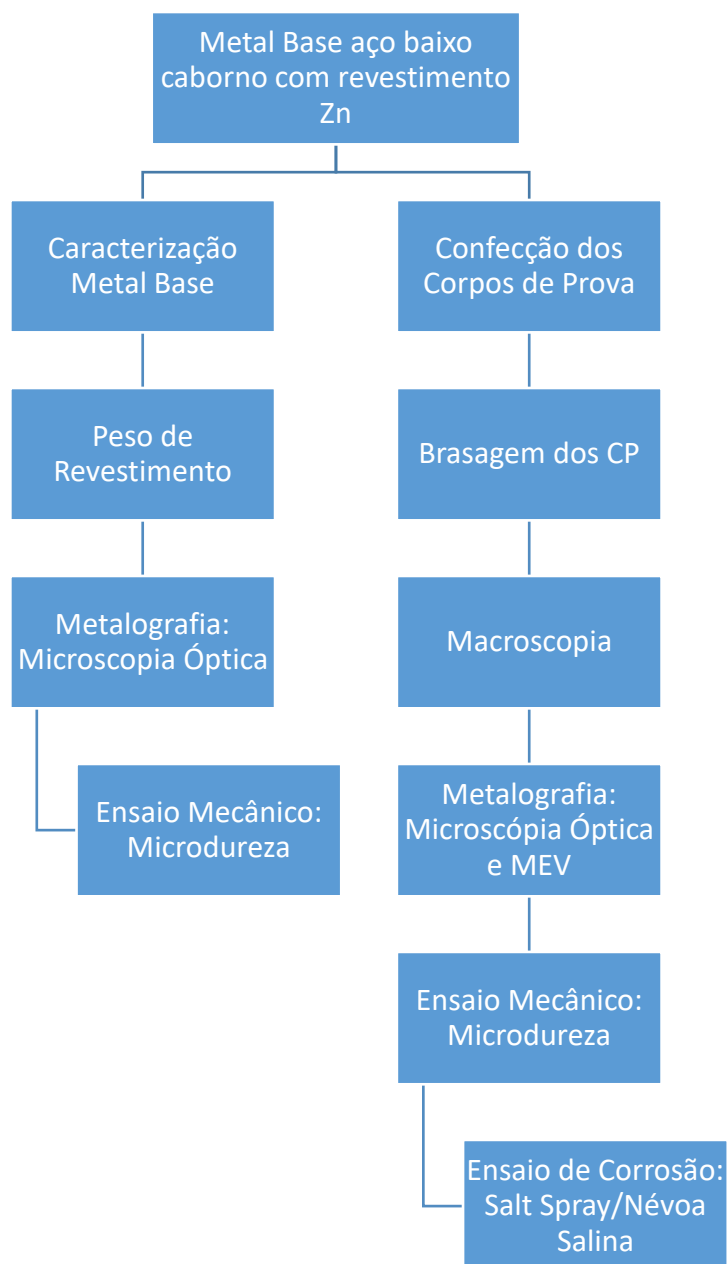
Fonte: ICZ, 2014

Várias etapas de tratamento posteriores à zincagem são realizadas, são os tratamentos pós imersão, como passagem da pele, nivelamento de tensão (envolvendo trabalho a frio para melhorar a aparência da superfície, forma e propriedades de tração) e passivação química à base de cromato para impedir qualquer corrosão por via úmida inesperada durante um armazenamento ou transporte, como por exemplo a corrosão branca que, apesar de não comprometer o revestimento de zinco, deve ser impedida, e também pode-se aplicar um revestimento orgânico a alguns aços revestidos de alumínio-zinco para fornecer lubrificação.(CHEN, 2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho, foi adotada uma metodologia de desenvolvimento e ensaios para caracterização e propriedades mecânicas do produto, conforme apresentado no fluxograma da figura 6:

Figura 6: Fluxograma da Metodologia Proposta



Fonte: Autor (2023)

3.1 MATERIAIS BRASAGEM

A brasagem foi realizada utilizando o equipamento de soldagem modelo MIGPulse Sinérgico 4000R fabricado pela empresa Castolin/Eutectic, figura 7, com sistema automatizado de movimentação da tocha, figura 8, localizado na Universidade Federal Fluminense (UFF) – Campus Volta Redonda.

Figura 7: Equipamento de Brasagem



Fonte: Autor (2023)

Figura 8: Sistema Automatizado



Fonte: Autor (2023)

O metal base utilizado foi uma chapa de aço baixo carbono nas dimensões de 95 x 95 x 1,0 mm e peso de revestimento de zinco de 38 g/m², submetida a escovação com o objetivo de gerar um aspecto brilhoso semelhante ao aço inoxidável na superfície, figura 9. O gás de proteção utilizado foi o argônio e o consumível de CuSi₃.

Figura 9: Metal Base



Fonte: Autor (2023)

3.2 METODOLOGIA DA BRASAGEM

A elaboração do método de brasagem utilizado nos corpos de prova, foi obtida após vários testes executados para escolha dos parâmetros elétricos e de velocidade mais favoráveis.

A brasagem foi realizada através do equipamento de soldagem MIGPulse Sinéxico 4000R fabricado pela empresa Castolin/Eutectic, com sistema automatizado de movimentação da tocha, localizado na UFF. A corrente e a tensão foram obtidas diretamente do display de controle da máquina de solda após a soldagem com corrente contínua com polaridade inversa (CC+).

3.2.1 Parâmetros Nominais de Brasagem

Adotou-se como uma brasagem de qualidade os parâmetros que geraram um cordão homogêneo, arco estável e baixa quantidade de respingos.

Tabela 1: Parâmetros de Brasagem

Consumível	Arame CastoMag 45706 (CuSi ₃) Fornecedor: Eutectic Castolin
Diâmetro do Arame	1,0 mm
Velocidade de Brasagem	4,85 mm/s
Rendimento	80%
Tipo de Gás	Argônio
Vazão do Gás	17 L/min
Comprimento do Arco	1,0 mm

Fonte: Autor (2023)

3.2.1.1 Sistema de Brasagem Automatizado

Durante a brasagem a tocha foi mantida inclinada a 70° e perpendicular (90°) ao cordão brasado e o comprimento do arco foi mantido constante ao longo do processo. Na tabela 2 são mostrados os parâmetros nominais para corrente, voltagem e inclinação da tocha que foram aplicados nas 08 amostras: 1.1, 1.2 1.3, 1.4, 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4.

Tabela 2: Parâmetros Nominiais de Brasagem

Amostra	Corrente(A)	Voltagem(V)	Inclinação da Tocha
1.1	51	15,3	70°
1.2	51	15,3	70°
1.3	71	16,2	70°
1.4	71	16,2	70°
2.1	51	15,3	90°
2.2	51	15,3	90°
2.3	71	16,2	90°
2.4	71	16,2	90°

Fonte: Autor (2023)

3.3 ENSAIO DE METALOGRAFIA

Posteriormente a realização da brasagem, foram confeccionados corpos de provas cortados em uma serra Tico Tico no Centro Integrado de Tecnologia da UniFOA e identificados para realização dos demais ensaios.

Para o ensaio metalográfico foi utilizada a embutidora Metalográfica da marca Teclago e modelo EM30D, figura 10, localizada no Centro Integardo de Tecnologia da UniFOA, em Volta Redonda.

Figura 10: Embutidora



Fonte: Autor (2023)

As etapas de lixamento e polimento foram realizadas na Politriz da marca AROTEC e modelo AROPOL 2V, figura 11, localizada no Centro Integrado de Tecnologia da UniFOA, em Volta Redonda.

Figura 11: Politriz

Fonte: Autor (2023)

Para os ensaios de análise de microscopia óptica e o ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) foi utilizado Nital 3% para ataque das amostras.

O ensaio de microscopia óptica foi realizado no microscópio metalográfico invertido de fabricação Carl Zeiss, figura 12, modelo Axio Imager.M2m, integrado ao software AxioVision SE64, localizado no Centro de Pesquisas da Companhia Siderúrgica Nacional em Volta Redonda.

Figura 12: Microscópio - Microscopia Óptica

Fonte: Autor (2023)

Para ensaio de microscopia eletrônica por varredura (MEV) foi utilizado o equipamento, figura 13, microscópio eletrônico de varredura da fabricação FEI Company, modelo Quanta 3D FEG, integrado ao software XT Microscope Control localizado no Centro de Pesquisas da Companhia Siderúrgica Nacional em Volta Redonda.

Figura 13: Microscópio Eletrônico de Varredura

Fonte: Autor (2023)

O ensaio metalográfico óptico foi realizado seguindo as etapas de embutimento a quente até 180 °C sob pressão de 100Kg/cm² por 25 minutos, sendo 13 min de aquecimento e 12 min de resfriamento. Após embutimento as amostras foram identificadas e seguiu para etapa de lixamento utilizando as lixas nas gramaturas de

200, 360, 400, 600, 800, 1000, 1200 e 1500 mesh. O polimento foi realizado com feltro, alumina e água para lubrificação nas respectivas gramaturas 1,0 μ m, 0,3 μ m e 0,05 μ m.

Para caracterização microestrutural foi realizados os ensaios de análise de microscopia óptica e o ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV). Para os respectivos ensaios foi utilizado Nital 3% para ataque das amostras.

O ensaio de microscopia eletrônica por varredura (MEV) foi realizado para avaliação da Zona Termicamente Afetada (ZTA) e metal base.

3.4 ENSAIO DE MICRODUREZA VICKERS

Para realização do ensaio de microdureza vickers utilizou-se o equipamento Microdurômetro, figura 14, de fabricação Buehler, modelo Micromet 3, localizado no Centro de Pesquisas da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda.

Figura 14: Microdurômetro



Fonte: Autor (2023)

O ensaio de microdureza para caracterização das fases de composição da estrutura do material, foi realizado utilizando uma carga de 300 g, com tempo de permanência de 20 s e uma distância entre indentações de 0,25 mm.

3.6 ENSAIO DE CORROSÃO ACELERADO

O ensaio de corrosão foi realizado em equipamento Salt Spray Equilam, modelo SS1300EXP-Série 00170307, figura 15, localizado no Centro de Pesquisas da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda, utilizando uma solução aquosa de $\pm 5\%$ de cloreto de sódio (NaCl).

Figura 15: Equipamento de Corrosão



Fonte: Autor (2023)

O ensaio de corrosão acelerada foi realizado conforme as normas NBR 8094/83 e ASTM B117-19, por meio de uma solução aquosa de 5% de cloreto de sódio (NaCl) preparada pela dissolução de (50 ± 5) g de cloreto de sódio em um volume de água permitindo a obtenção de 1L de solução à temperatura ambiente. O pH utilizado na faixa de 6,5 a 7,2. Será utilizado ar comprimido isento de óleo com pressão constante entre 70 KPa ($0,7 \text{ Kgf/cm}^2$) e 170 KPa ($1,7 \text{ Kgf/cm}^2$).

Os corpos de prova foram dispostos em ângulo de 15° a 30° com a vertical, suportados por baixo. A zona de exposição da câmara foi mantida a uma temperatura de $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$. Após ensaio, os corpos de prova passaram pelo processo de lavagem em água corrente a uma temperatura inferior a 40°C .

A inspeção foi visual e periódica, foi planejado uma inspeção visual com registro fotográfico, após intervalos em horas de: 24, 48, 72, 120 e 168, porém após 48 horas

o processo de corrosão apresentado nas amostras já estava bem acentuado. O registro fotográfico foi realizado após exposição das amostras por 48 horas na câmara.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE BRASAGEM

Os resultados dos parâmetros de brasagem obtidos para as amostras 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4, são apresentados a seguir, na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros Reais de Brasagem

Amostra	Corrente (Real)	Corrente (Nominal)	Voltagem (Real)	Voltagem (Nominal)	Tocha	Aporte Térmico (J/mm)
1.1	39	51	18,7	15,3	70°	120,29
1.2	39	51	18,3	15,3	70°	117,72
1.3	48	71	19,7	16,2	70°	155,97
1.4	49	71	19,4	16,2	70°	156,80
2.1	42	51	19,3	15,3	90°	133,70
2.2	42	51	18,9	15,3	90°	130,93
2.3	50	71	21,0	16,2	90°	173,20
2.4	48	71	19,8	16,2	90°	156,77

Fonte: Autor (2023)

O valor do aporte térmico foi encontrado empregando a fórmula:

$$Ap = \eta \cdot \left(\frac{V \cdot I}{v} \right)$$

Equação 1

Onde:

Ap = Aporte Térmico

η = Rendimento 80% (conforme tabela 1)

V = Voltagem obtida (V)

I = Corrente obtida (A)

v = 4,85 mm/s (conforme tabela 1)

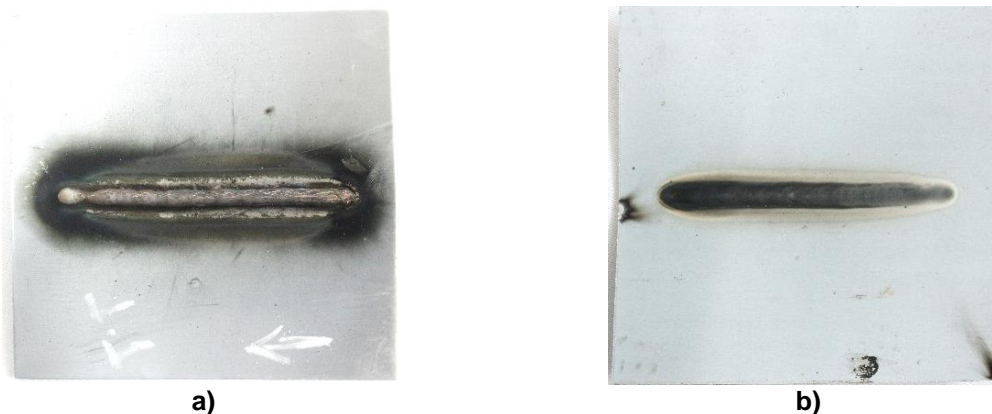
Observa-se aumento do aporte térmico com o aumento da corrente para ambas as inclinações da tocha, entretanto a tocha perpendicular ao cordão (90°) foi superior em relação a 70° . Para soldagem de aço utilizando consumível para soldagem ao invés de brasagem, foram encontrados resultados que mostram que ângulos de ataque puxando apresentam maiores valores de calor no metal base (HIRATA et al; 2014); (RESENDE E SCOTTI; 2015). Entretanto acredita-se que essa divergência encontrada no trabalho pode estar relacionada ao consumível utilizado que é a base de cobre.

O rendimento de 80% foi utilizado conforme norma ISO/TR 17671-1:2002.

4.1.1 Cordões de Brasagem

Nas figuras 16 a 23 são mostrados os cordões de brasagem e o efeito do aporte térmico na sua face inferior.

Figura 16: Amostra 1.1 a) face superior e b) inferior



Fonte: Autor (2023)

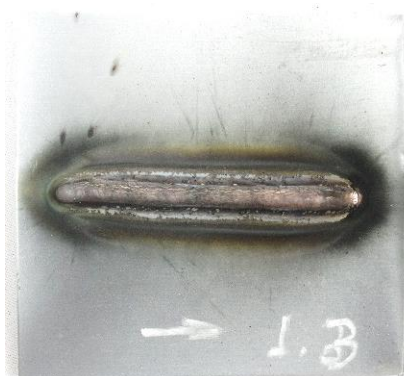
Figura 17: Amostra 1.2 a) face superior



a)

Fonte: Autor (2023)

Figura 18: Amostra 1.3 a) face superior e b) inferior



a)

Fonte: Autor (2023)



b)

Figura 19: Amostra 1.4 a) face superior



a)

Fonte: Autor (2023)

Figura 20: Amostra 2.1 a) face superior e b) inferior



a)



b)

Fonte: Autor (2023)

Figura 21: Amostra 2.2 a) face superior e b) inferior



a)



b)

Fonte: Autor (2023)

Figura 22: Amostra 2.3 a) face superior e b) inferior



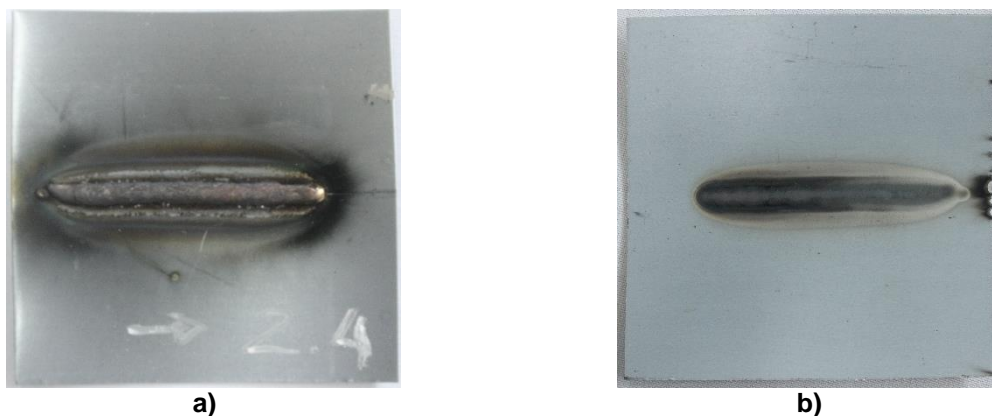
a)



b)

Fonte: Autor (2023)

Figura 23: Amostra 2.4 a) face superior e b) inferior



Fonte: Autor (2023)

Observam-se uma homogeneidade dos cordões, projeção do ciclo térmico em todas as faces inferiores e baixa quantidade de respingos nas faces superiores. Nota-se uma coloração escura em volta do cordão que está associado a evaporação do zinco (NASCIMENTO et al, 2010).

Bem como, as amostras com maior aporte térmico apresentaram uma quantidade superior de metal de adição, que está associado a maior corrente de brasagem.

4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE METALOGRAFIA

Após realização do ensaio de metalografia foi possível comparar as imagens obtidas com ataque e sem ataque.

4.2.1 RESULTADOS DO METAL BASE

No metal base com ataque químico, figura 24, foi observado grãos recristalizados com leve heterogeneidade composto de grãos ferríticos e cementita no contorno de grãos.

Figura 24: Micrografia do Metal Base – Aumento 100X



Fonte: Autor (2023)

4.2.2 RESULTADOS DO MATERIAL SOLDADO

As figuras 25 a 28 apresentam as imagens referentes às amostras 1.2; 1.4; 2.2 e 2.4 obtidas através do microscópio óptico antes das mesmas sofrerem ataque químico.

Figura 25: Amostra 1.2 - Antes do ataque químico

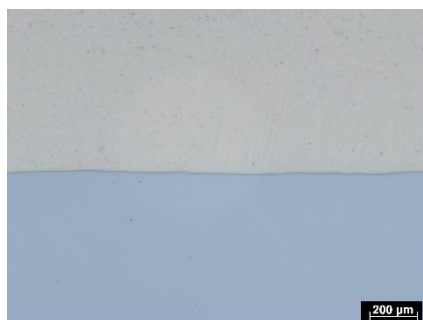


Ampliação 50X – Interface

Ampliação 50X

Ampliação 50X - Medida

Fonte: Autor (2023)

Figura 26: Amostra 1.4 - Antes do ataque químico

Ampliação 50X – Interface



Ampliação 50X

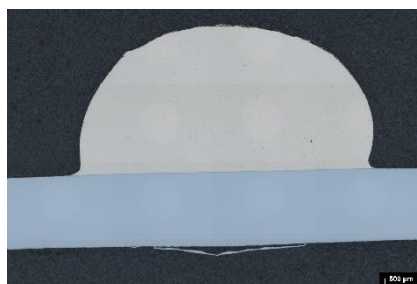
Fonte: Autor (2023)



Ampliação 50X - Medida

Figura 27: Amostra 2.2 - Antes do ataque químico

Ampliação 50X – Interface

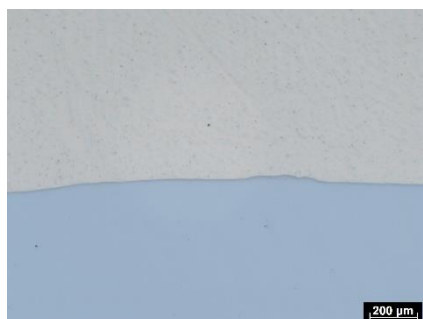


Ampliação 50X

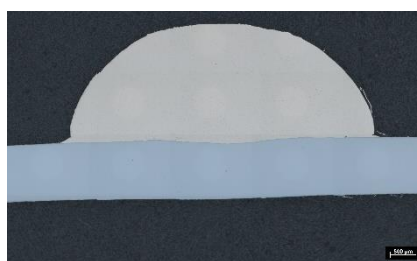
Fonte: Autor (2023)



Ampliação 50X - Medida

Figura 28: Amostra 2.4 - Antes do ataque químico

Ampliação 50X – Interface



Ampliação 50X

Fonte: Autor (2023)



Ampliação 50X - Medida

A seguir, as figuras 29 a 32 apresentam as imagens obtidas pelo microscópio óptico para as amostras 1.2; 1.4; 2.2 e 2.4 com ampliação de 50X e 100X após ataque das amostras com Nital 3%. Não foi observada nenhuma alteração na interface do metal depositado com o metal base.

Figura 29: Amostra 1.2 - Após ataque



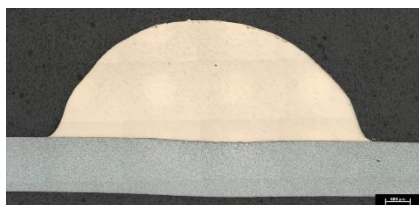
Ampliação 50X



Ampliação 100 X – Interface

Fonte: Autor (2023)

Figura 30: Amostra 1.4 - Após ataque

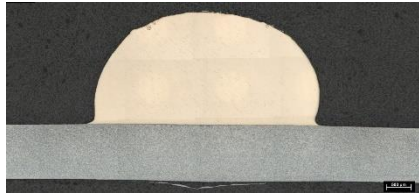


Ampliação 50X



Ampliação 100X – Interface

Fonte: Autor (2023)

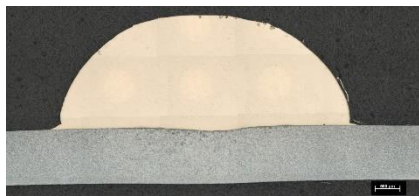
Figura 31: Amostra 2.2 - Após ataque

Ampliação 50X

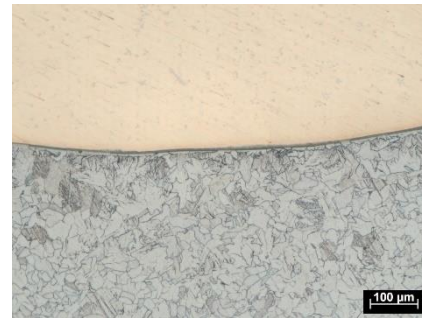


Ampliação 100X – Interface

Fonte: Autor (2023)

Figura 32: Amostra 2.4 - Após ataque

Ampliação 50X

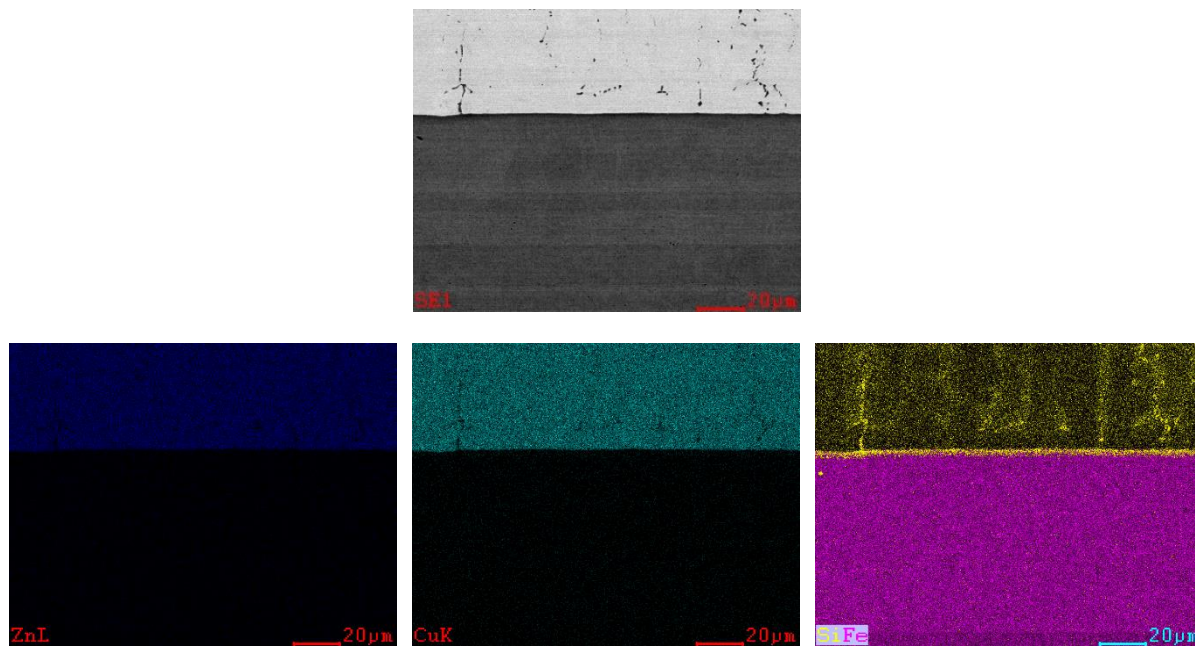


Ampliação 100X – Interface

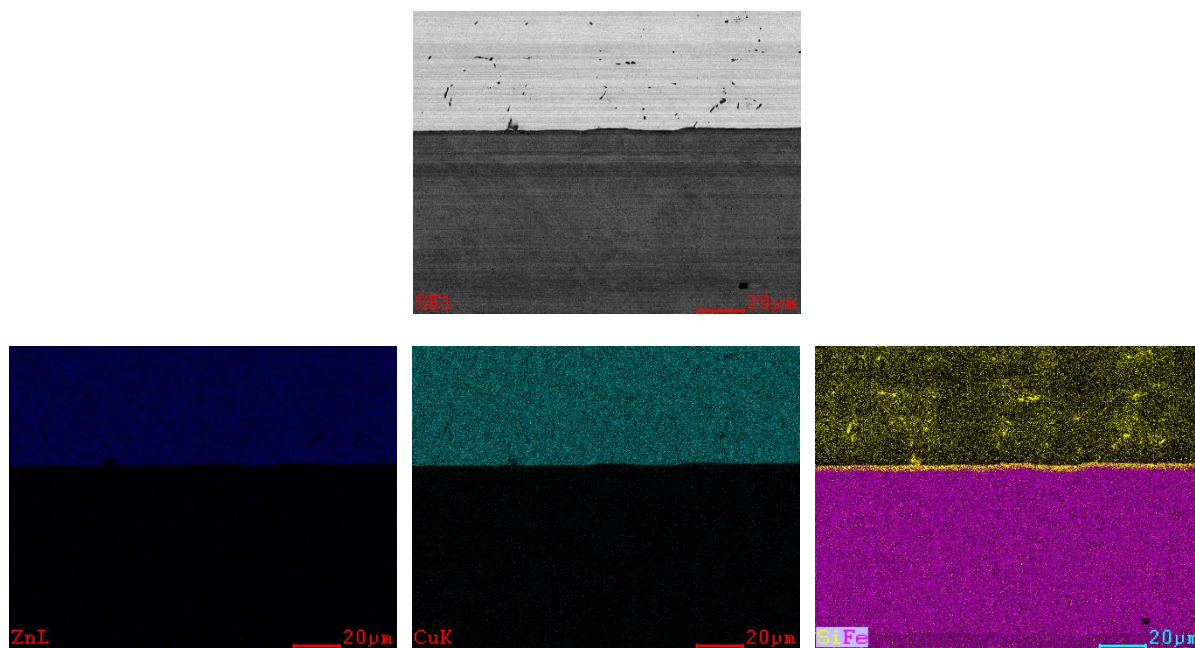
Fonte: Autor (2023)

4.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV

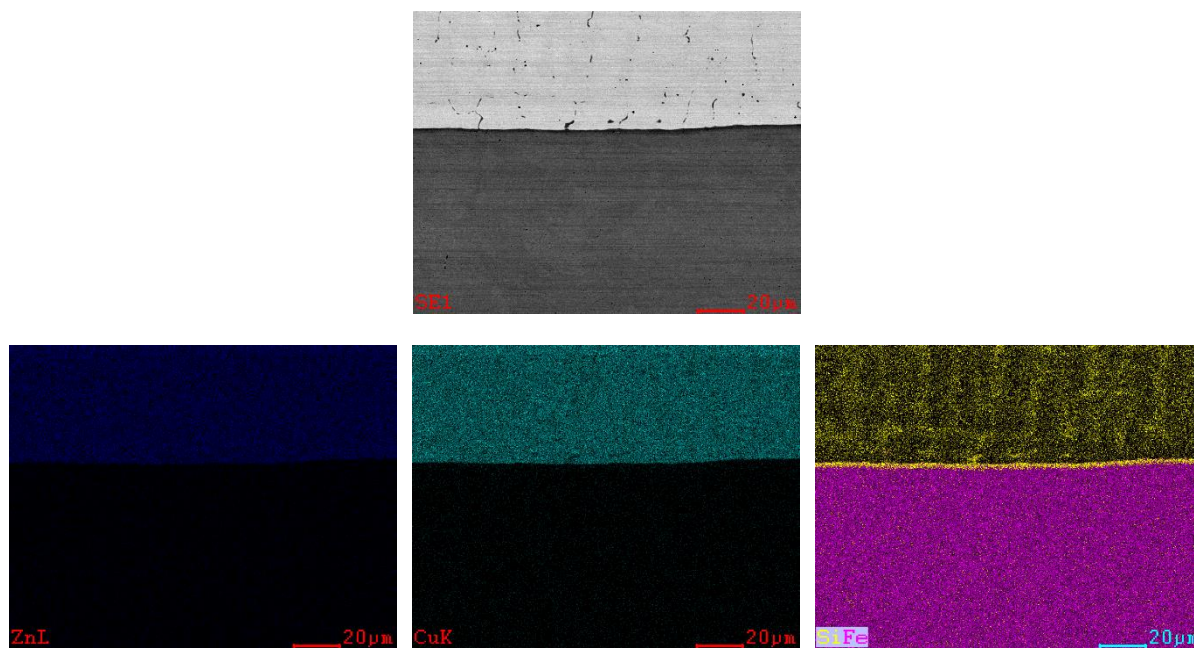
Nas figuras 33 até 35, não foi observado presença de Zn na interface, somente a presença de Si e Fe. A presença de Si está relacionada com a composição química do consumível. A evaporação do Zn está relacionado com a temperatura do processo de brasagem.

Figura 33: MEV – Região Central da Amostra 1.2

Fonte: Autor (2023)

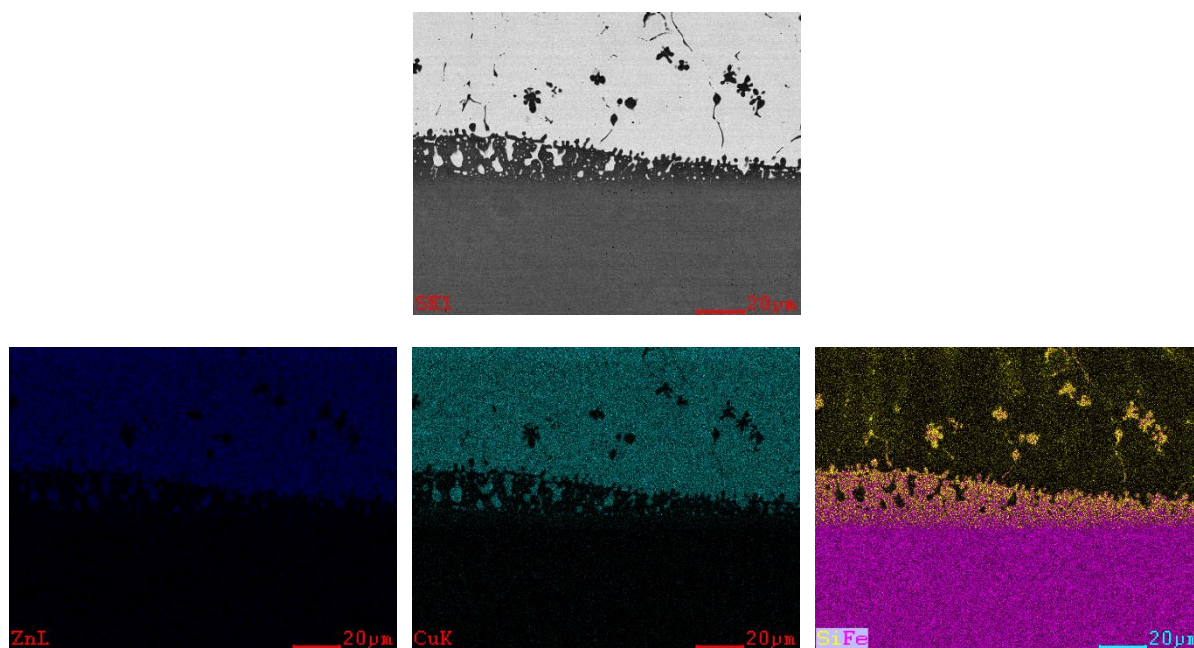
Figura 34: MEV – Região Central da Amostra 1.4

Fonte: Autor (2023)

Figura 35: MEV - Região Central da Amostra 2.2

Fonte: Autor (2023)

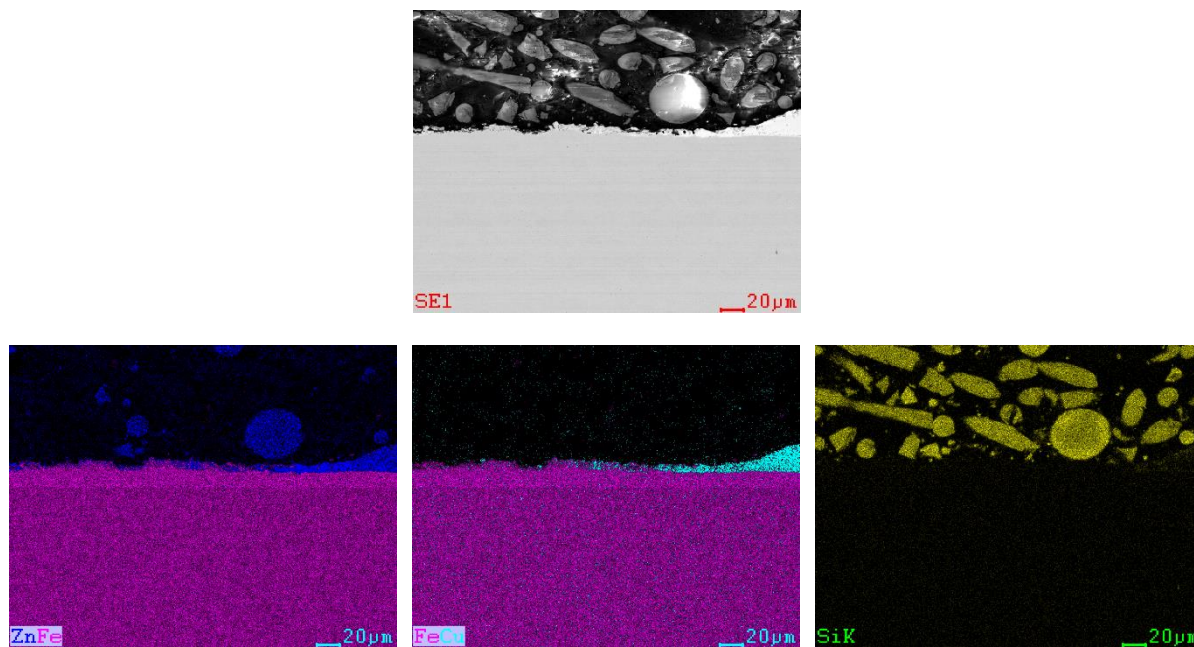
Porém na figura 36 observou-se no metal depositado próximo a interface e na interface, propriamente dita, a presença de FeSi.

Figura 36: MEV - Região Central da Amostra 2.4

Fonte: Autor (2023)

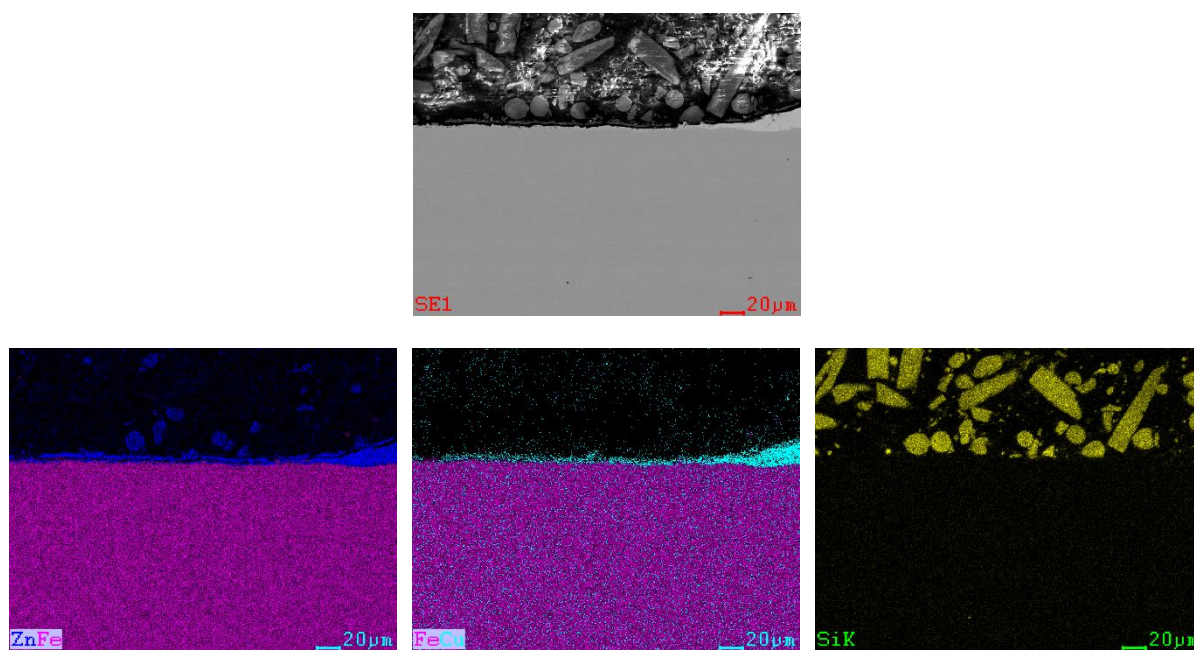
Nas figuras 37 até 40 observou-se a presença Zn formando a liga CuZn (latão).

Figura 37: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 1.2

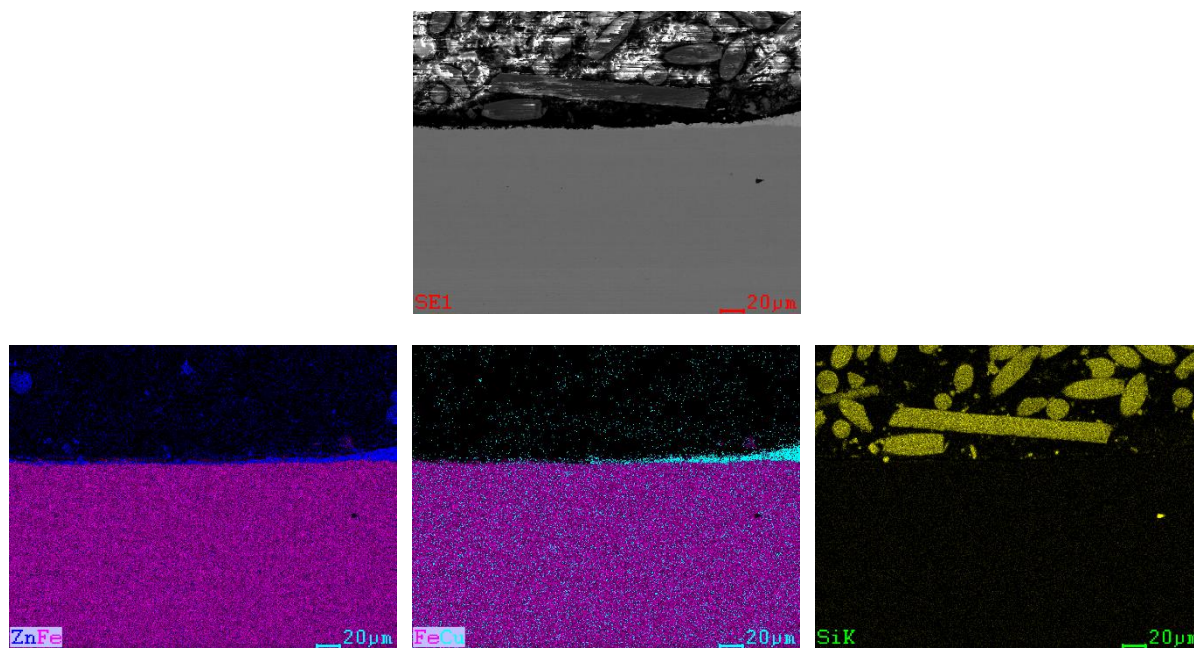


Fonte: Autor (2023)

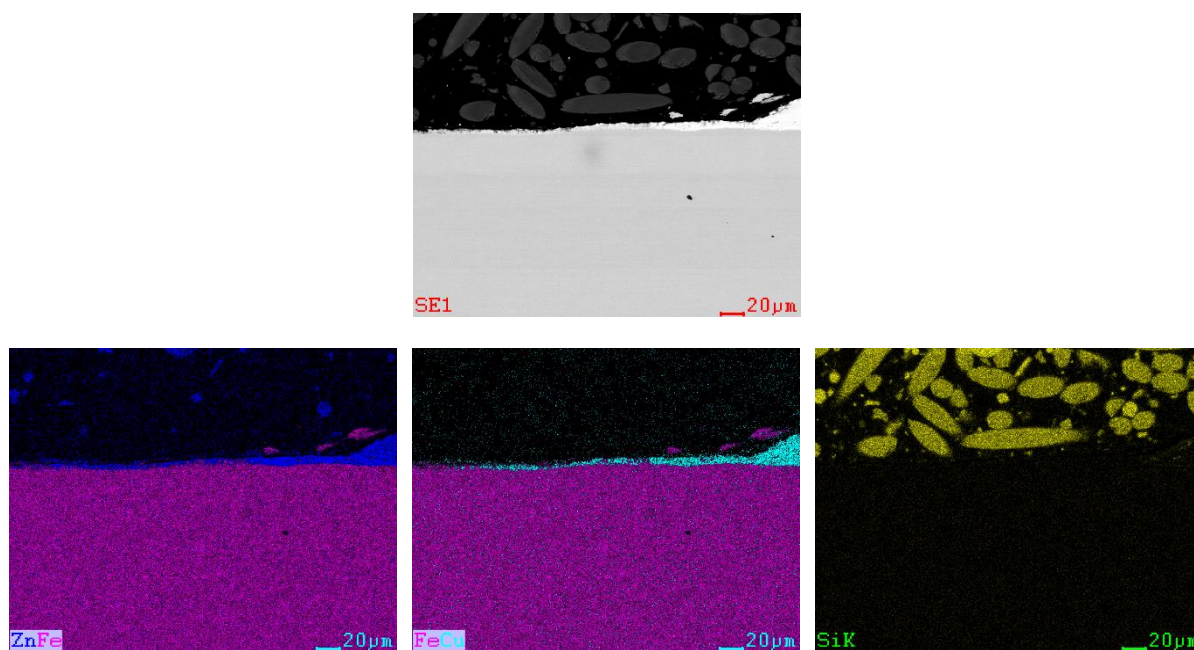
Figura 38: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 1.4



Fonte: Autor (2023)

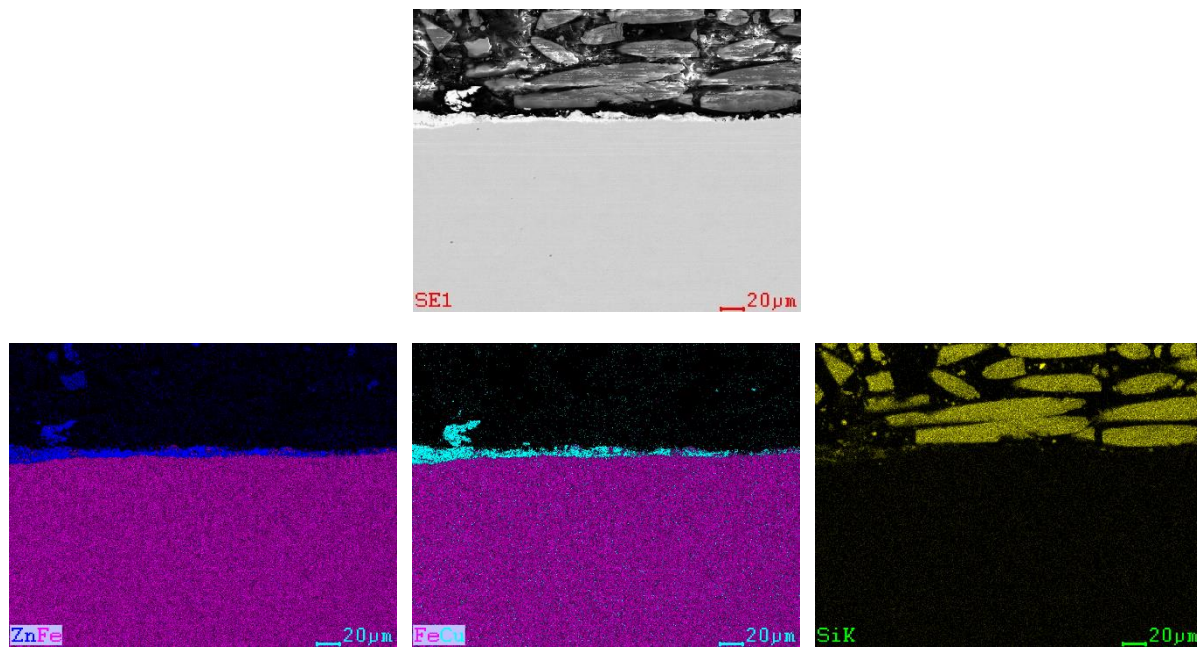
Figura 39: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 2.2

Fonte: Autor (2023)

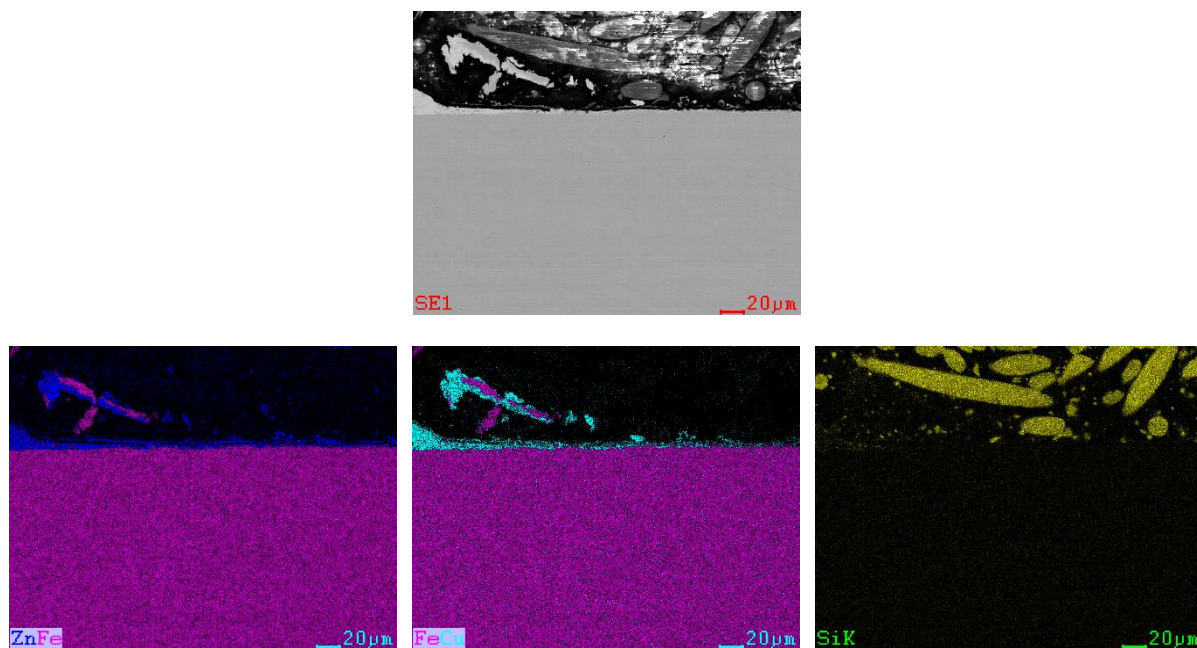
Figura 40: MEV - Lado Esquerdo da Amostra 2.4

Fonte: Autor (2023)

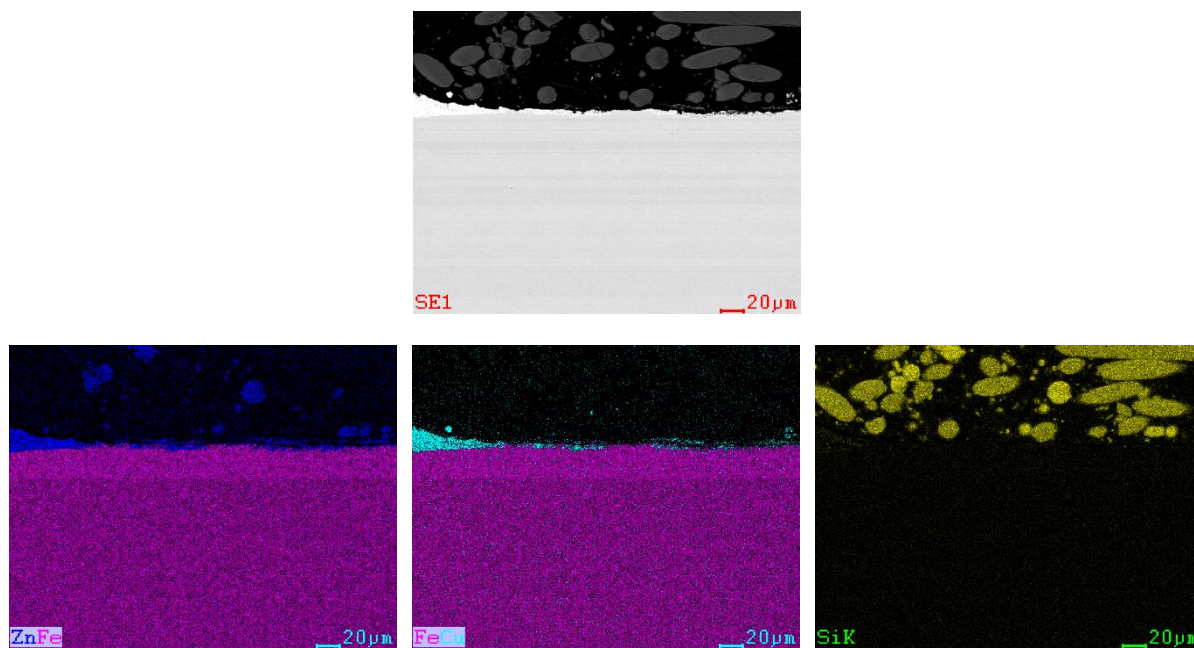
Nas figuras 41 até 44, foi possível observar a presença de Zn, gerando a liga CuZn (latão).

Figura 41: MEV - Lado Direito da Amostra 1.2

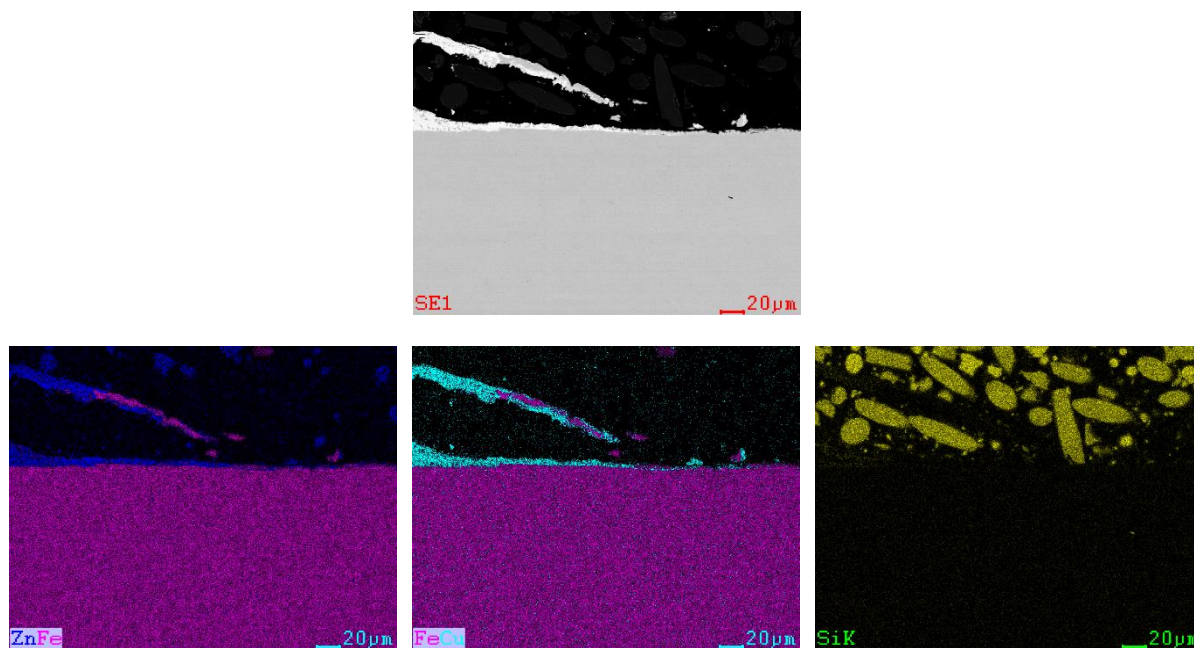
Fonte: Autor (2023)

Figura 42: MEV - Lado Direito da Amostra 1.4

Fonte: Autor (2023)

Figura 43: MEV - Lado Direito da Amostra 2.2

Fonte: Autor (2023)

Figura 44: Lado Direito da Amostra 2.4

Fonte: Autor (2023)

Conforme observado nas figuras na região central de todas as amostras, apresentaram a presença de Fe e Si. A presença de Si foi decorrente da composição

química do metal de adição e a não observância do Zn está associado às altas temperaturas do processo de brasagem, evaporando esse elemento.

A presença de zinco do revestimento e do cobre do metal de adição, associados à temperatura do processo de brasagem promoveu a formação da liga CuZn, conhecida como latão.

4.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE MICRODUREZA

Na tabela 4 são apresentados os resultados dos ensaios de microdureza.

Tabela 4: Resultado do Ensaio Microdureza Vickers

Amostra	1º Ponto de Dureza	2º Ponto de Dureza	3º Ponto de Dureza	Média dos Pontos	Desvio Padrão
Metal Base	111,70	119,90	117,10	116,23	3,403267
1.2	88,90	88,90	98,60	92,13	4,572624
1.4	122,20	117,30	115,30	118,27	2,898659
2.2	84,70	86,50	88,10	86,43	1,388845
2.4	120,40	113,00	118,90	117,43	3,194092

Fonte: Autor (2023)

Calculou-se o desvio padrão para os valores apresentados na tabela 4. Através do cálculo do desvio padrão foi possível verificar que a amostra 2.2 apresentou dados mais homogêneos.

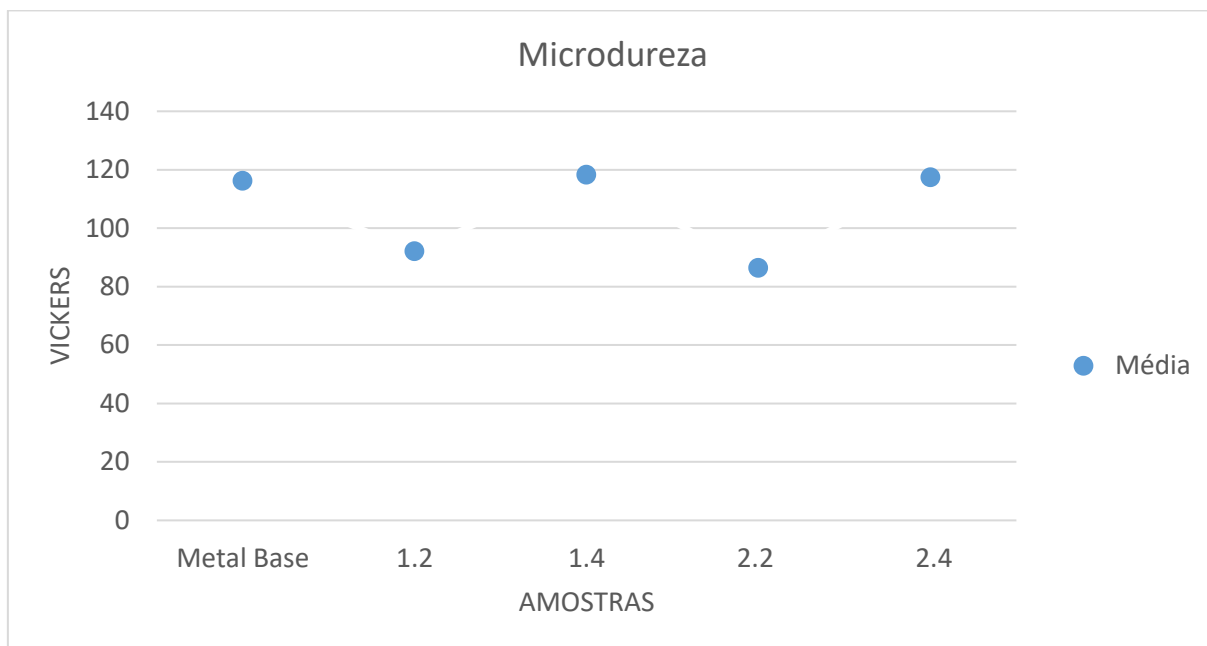
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

Equação 2

Os resultados mostraram o aumento da microdureza com o aumento do aporte térmico. As amostras 1.4 e 2.4, 118,27 e 117,43 respectivamente, apresentaram valores próximos do metal base (116,23), conforme figura 45. Esses resultados

mostram que o aumento do aporte térmico eleva a dureza do cordão brasado para valores próximos do metal base.

Figura 45: Gráfico valores de Microdureza



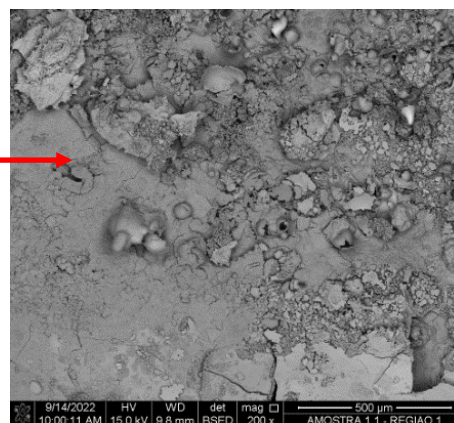
4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE CORROSÃO

As figuras 46 até 49 apresentaram os resultados do ensaio de corrosão acelerada realizado nas amostras 1.1, 2.3, 2.1 e 1.3.

Figura 46: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 1.1



Amostra 1.1



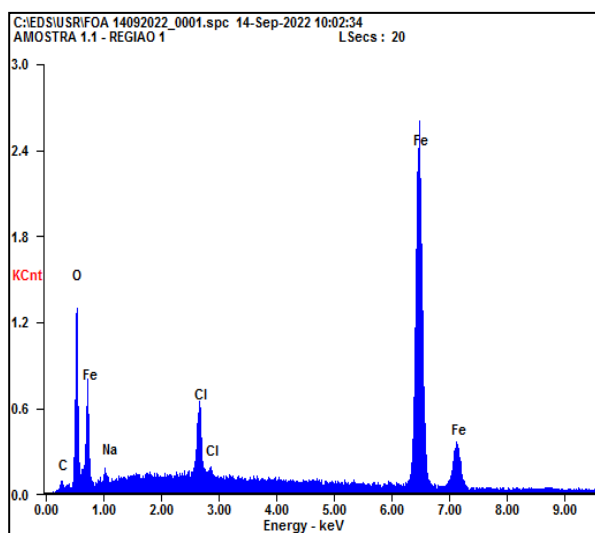
MEV - 200X - Região 1



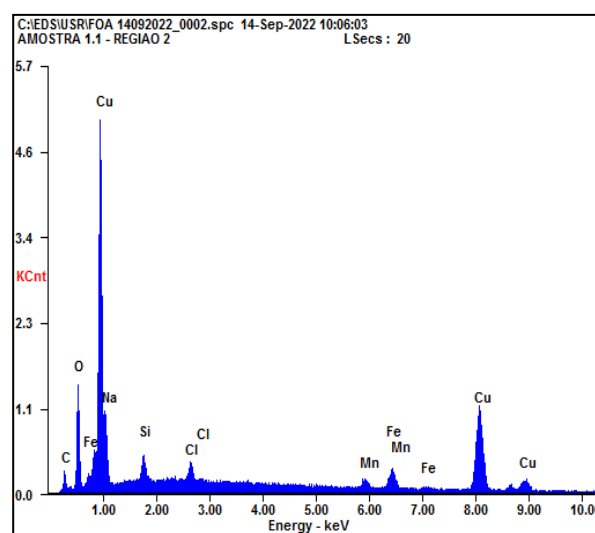
Amostra 1.1



MEV - 200X - Região 2



Microanálise de EDS – Região 1



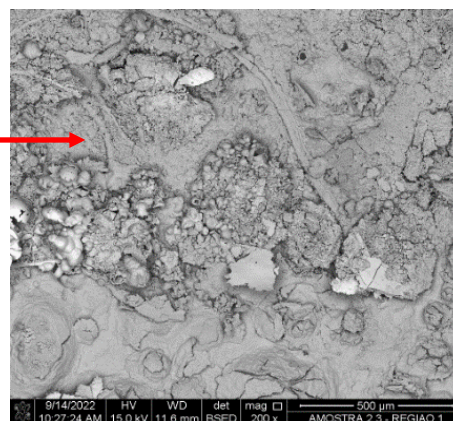
Microanálise de EDS – Região 2

Fonte: Autor (2023)

Figura 47: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 2.3



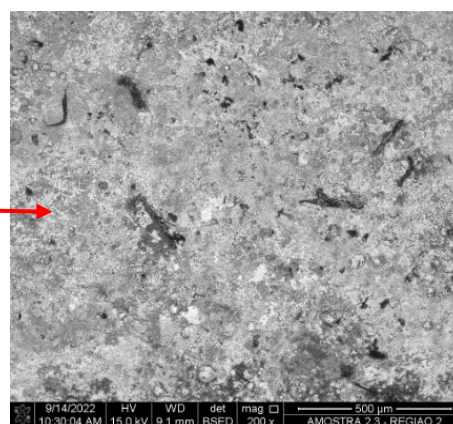
Amostra 2.3



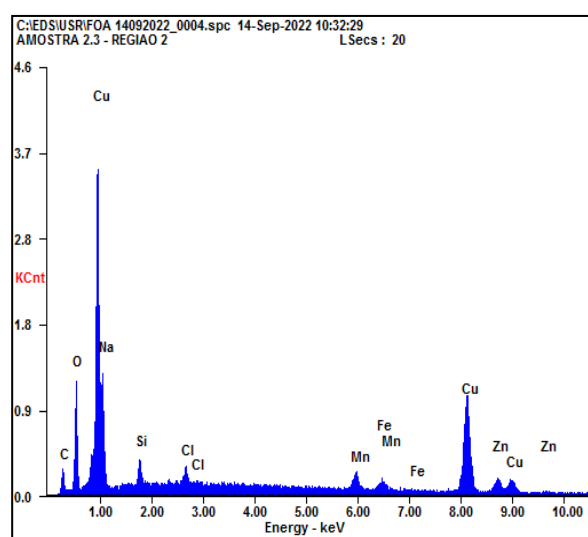
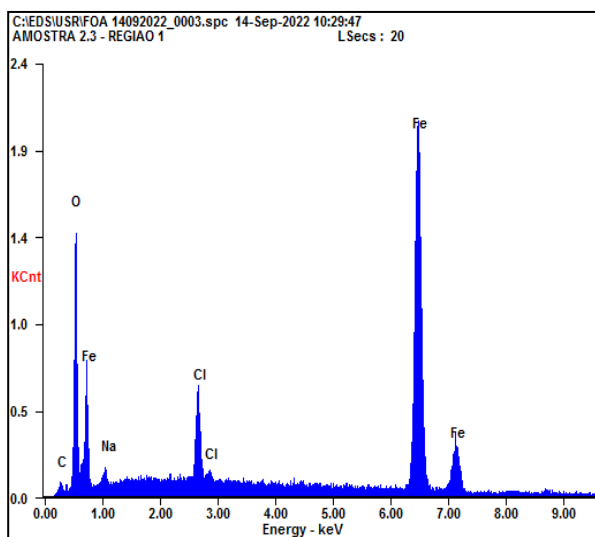
MEV - 200X – Região 1



Amostra 2.3



MEV - 200X – Região 2

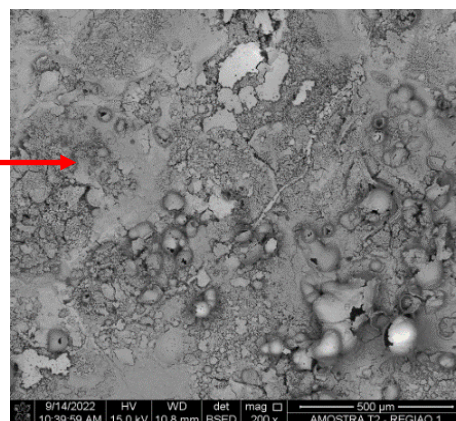


Fonte: Autor (2023)

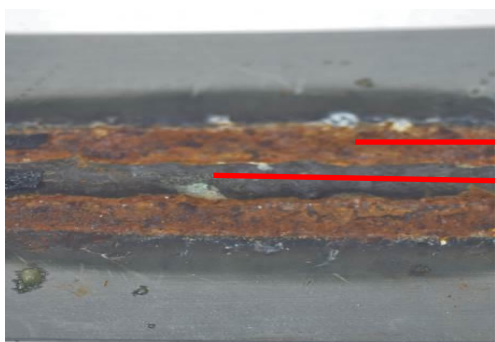
Figura 48: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 2.1



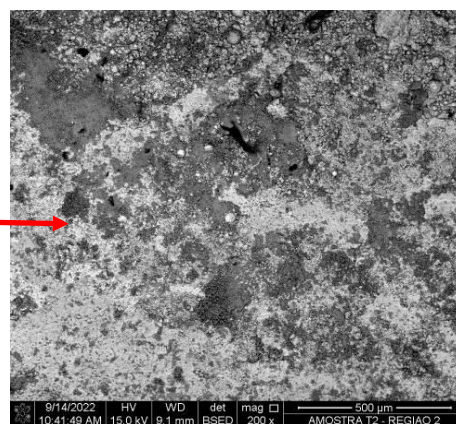
Amostra 2.1



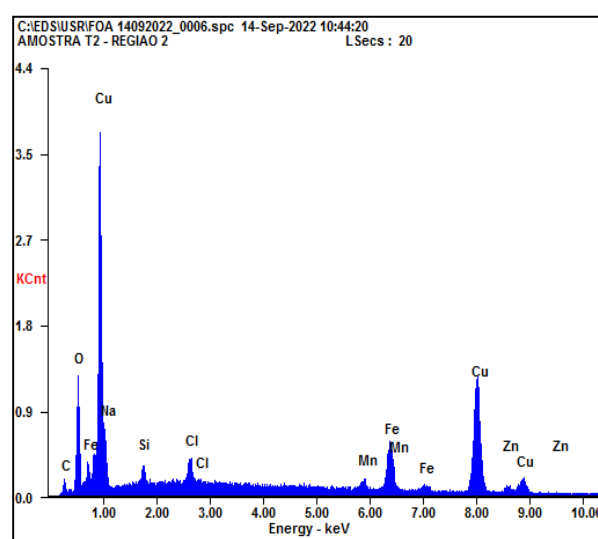
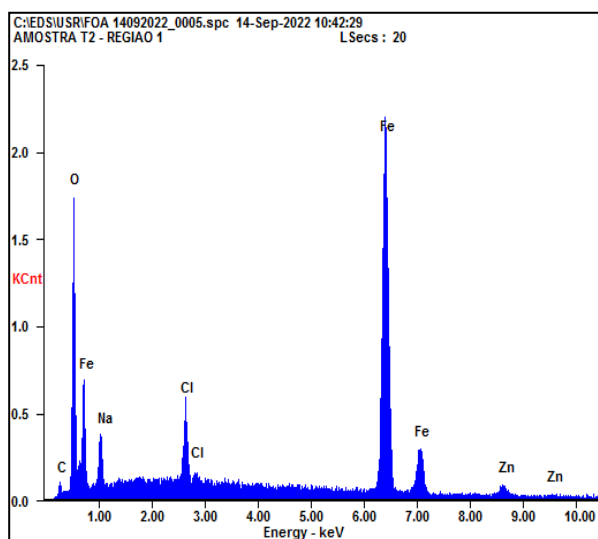
MEV - 200X – Região 1



Amostra 2.1



MEV - 200X – Região 2

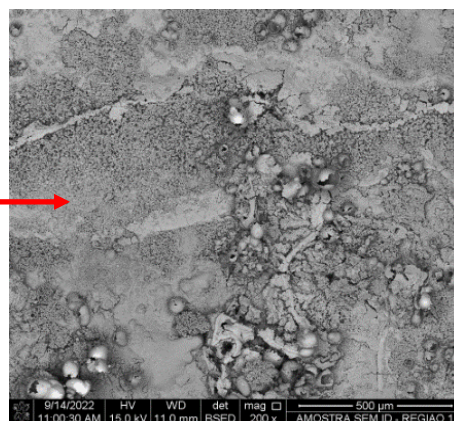


Fonte: Autor (2023)

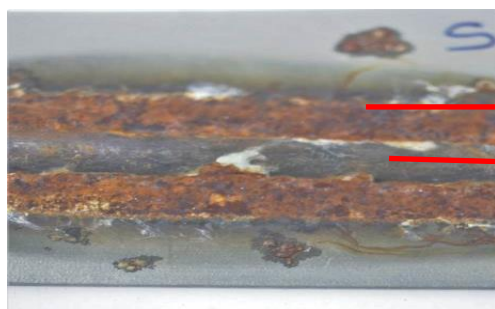
Figura 49: Resultado ensaio de corrosão - Amostra 1.3



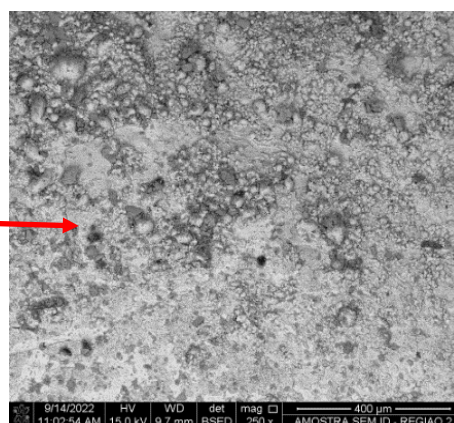
Amostra 1.3



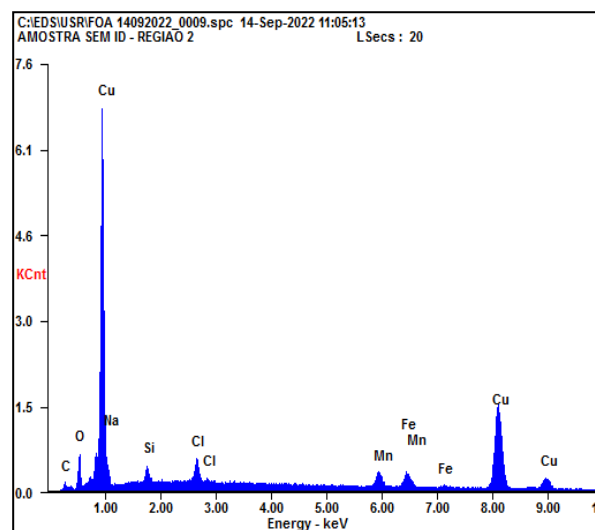
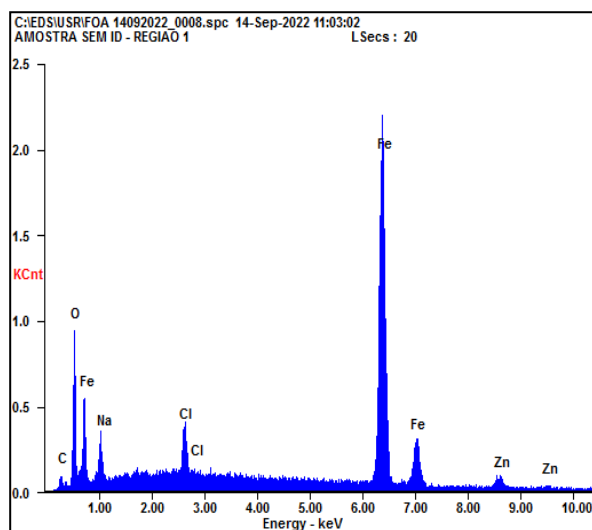
MEV - 200X – Região 1



Amostra 1.3





MEV - 200X – Região 2



Fonte: Autor (2023)

Na tabela 5 são apresentados o resumo dos elementos químicos, obtidos através da microanálise por EDS, nas regiões da corrosão vermelha e do cordão.

Tabela 5: Resultado Ensaio na Região de Corrosão e do Cordão

Amostra	Corrosão 	Cordão 
1.1	Fe; O	Fe; O; Cu; Si; Mn
1.3	Fe; O	Fe; O; Cu; Si; Mn; Zn
2.1	Fe; O; Zn	Fe; O; Cu; Si; Mn
2.3	Fe; O; Zn	Fe; O; Cu; Si; Mn; Zn

Fonte: Autor (2023)

As imagens de microanálise de EDS mostraram a presença de Cl e Na em todas as amostras, o que está relacionado à solução química utilizada no ensaio de corrosão. A presença de C nas amostras é um resultado esperado, já que o componente carbono é utilizado na fabricação de materiais metálicos.

Na região de corrosão observa-se a presença de óxido de ferro em todas as amostras e para as amostras 2.1 e 2.3 a presença também de Zn.

A falta de zinco associado a exposição dos corpos de prova à atmosfera agressiva, deixou o aço galvanizado mais exposto ao meio, propiciando a formação da corrosão vermelha em quantidade significativa, que, conforme NUNES et al, 2018, “é uma característica da degradação das camadas de liga do aço galvanizado, ou até mesmo do ataque ao substrato do aço carbono.”

No anexo 1, tabela 6, é apresentado o procedimento de brasagem que apresentou os melhores resultados de corrosão e dureza para a união desse material de base.

5 CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi possível adaptar o processo de soldagem MIG para brasagem, conhecido como MIG-Brazing. Foi encontrada satisfatória resposta dos parâmetros elétricos com a eliminação de respingos, redução da queima da camada de zinco que protege a superfície da chapa e boa aparência visual dos cordões. Além da redução do efeito do calor na microestrutura do metal base. O processo utilizado também permitiu boa velocidade de brasagem o que viabiliza sua automatização.

Para aportes térmicos maiores, foi observado aumento da dureza do metal de adição ficando próximo ao metal base, mostrando sua compatibilidade em termos de propriedade mecânica.

Apesar da evaporação do zinco comprometer a resistência a corrosão do metal base, desenvolvido para aplicações estéticas e decorativas, na região adjacente ao cordão brasado, os resultados dos parâmetros de brasagem com a tocha a 90° e corrente 71 A, apresentou melhor desempenho de dureza e resistência a corrosão.

6 TRABALHOS FUTUROS

Como finalidade de propostas envolvendo a realização de trabalhos futuros, seguem as seguintes sugestões:

- Avaliação da resistência à tração da junta;
- Avaliação da molhabilidade do metal de adição;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACO. Associação Brasileira de Corrosão. Institucional. 2020. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://abraco.org.br/revistas/>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

AÇO BRASIL. **História do Aço**. JUN.2020. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/site/historia-do-aco/>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION. What is hot-dip galvanization? Disponível em: <<https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/what-is-galvanizing>>. Acesso em 14 de maio de 2020.

ASSOCIAÇÃO DE GALVANIZADORES POR IMERÇÃO A QUENTE DA AFRICA DO SUL. **Proteção do aço por processo de Galvanização por Imersão a Quente e Sistemas de Revestimento Duplex**. Set. 2009. Disponível em: <<http://www.icz.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/protecao-do-aco-hdg-e-sistema-duplex.pdf>>. Acesso em: 18 outubro. 2021.

ASSOCIAÇÃO DE GALVANIZADORES POR IMERSÃO À QUENTE DA AFRICA DO SUL. **Galvanização por imersão à quente com dupla camada contra corrosão**. Revista do aço, 2018. Disponível em: <<http://www.revistadoaco.com.br/icz-divulga-tecnologia-de-galvanizacao-por-imersao-a-quente-que-oferece-dupla-protecao-contra-corrosao/>>. Acesso em: outubro 2021.

BATALHA, Gilmar Ferreira. **Processos de Fabricação: Junção, Soldagem e Brasagem**. USP 2003.

BIDETTI, Bárbara Bidoia, Priscila Aoki Balthazar, Ednilson Luiz Silva Vaz, Eduardo Norberto Codaro, Heloisa Andréa Acciari. Uma experiência didática de corrosão usando colorimetria visual. Química Nova, vol.5, nº.3. São Paulo. 2012.

Boletim Técnico MIG-Brazing. Disponível em: <http://www.harris-brastak.com.br/download/boletins-tecnicos>. Acesso em: 17 de outubro de 2019.

BRACARENE, A. Q. **Gás Metal Arc Welding**. Artigo Infosolda Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://asm-treinamentos.com.br/downloads/soldador/arquivo116.pdf>>. 2003. Acesso em 21 de abril de 2020.

BREPOHL, Danielle Cristina de Campos Silva. **Caracterização das camadas formadas no processo de galvanização à quente sobre uma chapa de aço livre de intersticiais**. 2013. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Pesquisa e Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2013.

CAO, J. Qi, J., Song, X., Feng, J. **Welding and Joining of Titanium Aluminides**. Materials 7:4930-4962. 2014.

CASTILLO, José. **A Soldagem nos novos tempos da indústria automobilística-Parte II**. Artigo técnico Centro Universitário Fundação Santo André. São Paulo, 2016.

CHEN, YanWang. **Characterisation of the structure and Properties of arc welded zinc alloy coated sheet steels**. Doctor of Philosophy thesis. Faculdade of Engineering. University of Wollongong, 2003. Disponível em: <<http://ro.uow.edu.au/theses/1821>>. Acesso em Junho 2022.

CHOVET, C., S. Guiheus. **Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra-high strength steels for automotive applications**. Paper presented at the International Conference Super High Strength Steels, organised by AIM. Roma, 2-4 novembre, 2005.

CONI, Nicodemos Henrique da Silva. **Estudo das propriedades mecânicas do aço zincado por imersão à quente e galvanume produzidos na CSN-PR**. Dissertação Pós Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004

COSTA, J. S. **Avaliação do revestimento de conversão à base de Zircônio e Tanino sobre aço zincado por eletrodeposição**. Tese Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Mestrado em Engenharia. Porto Alegre, 2014.

COSTA, JFM, Silva Filho WA, Silveira GMS, Almeida FAC, Lobato MM, Chuvas TC, et al. **Comportamento de juntas soldadas de aço C-Mn obtidas pelo processo GMAW-RE com eletrodo rotativo**. *Soldagem & Inspeção*. 2019; 24:e2411.

CSN, Companhia Siderúrgica Nacional. Disponível em: <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo+59673>. Última atualização em 29 de abril de 2019. Acesso em 16 de abril de 2020.

CSN, Companhia Siderúrgica Nacional. Disponível em: <<https://www.csn.com.br/homepage/acos-planos/galvanizados/>>. Última atualização em 29 de abril de 2019. Acesso em 16 de abril de 2020.

DALTRO, Adnauer Tarquínio. Soldagem a arco elétrico com proteção gasosa em juntas de chapas finas de aço. Tese em Internuidades em Ciência e Engenharia dos Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2000.

FERRAZ, Henrique. **O aço na construção civil**. Revista Eletrônica de Ciências, São Carlos, n.22, 2003. Disponível em: < <https://www.docsity.com/pt/o-aco-na-construcao-civil/4773531/>> Acesso em 02 fevereiro 2022.

FORTES, Cleber. Apostila de Soldagem MIG/MAG – ESAB, 2005. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em 23 de abril de 2020.

GALVANIZA. Disponível em: <<http://www.galvanisa.com.br/noticias/37/galvanizacao-por-imersao-a-quente>>. Acesso em 18 de maio de 2020.

Hirata, E. K., Beltzac, L. F., Okimoto, P. C., & Scotti, A. **Influência da corrente sobre o rendimento bruto de fusão em soldagem MIG/MAG**. *Soldagem & Inspeção*, 19(2), 159–167. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI1902.08>

ISO/TR 17671-1:2002. Welding Recommendations for welding of metallic materials part 1: General guidance for arc welding.

JÚNIOR, Osmar Barboza de Souza, Luciano Volcanoglo Biehl, Roger André Hackenhaar. **Princípios do processo de galvanização à quente**. Vetor, Rio Grande. Vol.24, Nº.2, p.93-110. 2014.

MACHADO, Jessica da sila, Marcelo Tavares Mendes, Hector Reynaldo Meneses Costa, Ari Sauer Guimarães. **Influence of shielding gas mixtures on welding process of galvanized sheet**. Article 18th International Congress of Mechanical Engineering. November 6-11. Ouro Preto, MG. 2005.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz: **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3ª Edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 182 p.;

MENDES, Marcelo Tavares. **União de Chapas Galvanizadas através de Brasagem por processo “MIG-BRAZING”**. 2005. 147p. Tese (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

MODENESI, Paulo J. **Introdução à Física do Arco Elétrico – Soldagem I**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/fundamentosfisicos1.pdf>>. Acesso em 21 de abril de 2020.

MODENESI, Paulo J., Maria Celeste Monteiro de Souza Costa, Ivan J. Santana, João Paulo Pereira Berganholi. **Estudo de alguns parâmetros básicos da soldagem GMAW com transferência por curto-circuito**. CONSOLDA Soldag. Insp. São Paulo: Vol.16, No.1, p.012-021. Jan/Mar 2011.

NASCIMENTO, Vinícius Castanheira do; SCOTTI, Américo. Metodologia para parametrizar e avaliar a técnica da “burn-zinc” no processo de soldagem a ponto por resistência. **Soldagem e Insp**. São Paulo: Vol 15, No. 1, p.011-021, Jan/Mar 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-92242010000100003>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/ij/si/a/HNj9XshjpHDhwKyJf5bHcgt/?format=pdf&lang=pt.>> Acesso em: 28 setembro 2021.

NUNES, Felipe Garcia et al. **Avaliação do comportamento anticorrosivo do aço galvanizado por imersão a quente em diferentes atmosferas**. *Artigo técnico. INTERCORR*, 2018. São Paulo.

QUINTINO, Luísa; PIMENTA, Gervasio; MIRANDA, R. M.; e PÉPE, N. V. *MIG Brazing of Galvanized Thin Sheet Joints for Automotive Industry*. **Materials and Manufacturing Processes**. Portugal: p. 63–73. Janeiro 2006. DOI: <https://10.1081/AMP-200060621>. Disponível em

<https://www.researchgate.net/publication/249072334> MIG Brazing of Galvanized Thin Sheet Joints for Automotive Industry. Acesso em 14 julho 2020.

RESENDE, André Alves de, Américo Scotti. Influência dos níveis das correntes, ângulos de inclinação da tocha e distâncias entre a tocha e a peça sobre a geometria do cordão de solda usando “plasma-MIG com arcos concêntricos. Artigo técnico. Soldagem e Inspeção, 2015. Vol.20, Nº.4, p.501-514. <<http://dx.doi.org/10.1590/0104-9224/SI2004.16>>.

ROSSI, Cátia G. F. T., Hélio Scatena Jr. e Maria Aparecida M. Maciel. **Estudo Comparativo da Eficiência da difenilcarbazida e do óleo de coco saponificado microemulsionados na inibição da corrosão e aço carbono.** Quim. Nova, Vol. 30, Nº.5, p.1128-1132. 2007.

SEJČ, P.; KUBÍČEK, R. *MIG brazing of 304L type stainless steel using CuSi3 and CuSi3MnAl brazing wire.* **Kovove Mater**, Vol 53, p. 365–375, janeiro 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.4149/km-2015-5-365>. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/285220847> MIG brazing of 304L type stainless steel using CuSi3 and CuSi3MnAl brazing wire> Acesso em 22 junho 2020.

SHOME, Mahadev; TUMULURU, Muralidhar. **Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS): Introduction to Welding and Joining of advanced high-strength steels (AHSS).** USA, 2015. E-book. p. 137 – 147 DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-436-0.00001-1>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857094360000011>>. Acesso em 12 junho 2020.

SILVA, Marcos V. F. et al. **CORROSÃO DO AÇO-CARBONO: UMA ABORDAGEM DO COTIDIANO NO ENSINO DE QUÍMICA.** Química Nova [online]. 2015, v. 38, n. 2 [Acessado 30 novembro 2021], pp. 293-296. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140313>>. ISSN 1678-7064.

SILVA, Rodrigo Gonçalves da. **Aplicação de tecnologia C.M.T na soldagem MAG de chapas finas, para substituir os processos MIG-Brazing.** Tese Especialista em Engenharia da Soldagem. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2013.

TATAGIBA, Luiz Claudio Soares, Renata Barbosa Gonçalves, Ronaldo Paranhos. **Tendências no desenvolvimento de gases de proteção utilizados na soldagem MIG/MAG.** Soldag. Insp. São Paulo. Vol.17, Nº.3, p.218-228. Jul-Set 2012.

TURETTA, Ivonei. **Análise do desgaste de eletrodo de solda por resistência a ponto em função do número de pontos soldados em chapas galvanizadas.** USP, São Paulo. 2016.

VÍŇÁŠ, Ján, Ľuboš Kaščák, Dagmar Draganovská. **Evaluation of Corrosion Resistance of MIG Brazed Steel Sheets.** Artigo in Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 18, Jan 2012, No. 4, p. 162-171.

Welding Handbook. Welding Processes. American Welding Society – AWS. Vol. 2; 9ª edição, 2004, página 502.

ANEXO 1

Tabela 6: Procedimento de Brasagem

Metal Base	Aço zincado com revestimento escovado
Espessura do Metal Base	1,0 mm
Consumível	Arame CastoMag 45706 (CuSi ₃) / Eutectic Castolin
Diâmetro do Arame	1,0 mm
Velocidade de Brasagem	4,85 mm/s
Tipo de Gás	Argônio
Vazão do Gás	17 L/min
Comprimento do Arco	1,0 mm
Corrente	71 A
Tensão	16,2 V
Inclinação da Tocha	90°

Fonte: Autor (2023)