

MÁRCIO DE ANDRADE BATISTA

**AVALIAÇÃO DA ADESÃO MICROBIANA EM CHAPAS DE AÇO
INOXIDÁVEL AISI 304 SOLDADAS PELO PROCESSO MIG/MAG
CONVENCIONAL COM FOCO NA FORMAÇÃO DE BIOFILME NA
INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
2017

MÁRCIO DE ANDRADE BATISTA

**AVALIAÇÃO DA ADESÃO MICROBIANA EM CHAPAS DE AÇO
INOXIDÁVEL IDÁVEL AISI 304 SOLDADAS PELO PROCESSO
MIG/MAG CONVENCIONAL COM FOCO NA FORMAÇÃO DE
BIOFILME NA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como partes dos requisitos para a obtenção do título de **DOCTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho

**UBERLÂNDIA – MG
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B333a
2017 Batista, Márcio de Andrade, 1974-
Avaliação da adesão microbiana em chapas de aço inoxidável AISI 304 soldadas pelo processo MIG/MAG convencional com foco na formação de biofilme na indústria de laticínios [recurso eletrônico] / Márcio de Andrade Batista. - 2017.

Orientador: Louriel Oliveira Vilarinho.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.311>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Engenharia mecânica. 2. Aço inoxidável. 3. Corrosão. 4. Soldagem. 5. Biofilmes. I. Vilarinho, Louriel Oliveira, 1975- (Orient.) II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU: 621

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



ALUNO: Márcio de Andrade Batista

NÚMERO DE MATRÍCULA: 11313EMC008

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Materiais e Processos de Fabricação

LINHA DE PESQUISA: Processos de Fabricação (Usinagem e Soldagem)

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA: NÍVEL DOUTORADO

TÍTULO DA TESE:

“Avaliação da Adesão Microbiana em Chapas de Aço Inoxidável AISI 304 Soldadas pelo Processo MIG/MAG Convencional com Foco na Formação de Biofilme na Indústria de Laticínios”

ORIENTADOR: Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho

A Tese foi **APROVADA** em reunião pública, realizada no Anfiteatro C - Bloco 5O, Campus Santa Mônica, em 27 de julho de 2017, às 08:30 horas, com a seguinte Banca Examinadora:

NOME	ASSINATURA
Prof. Dr. Louriel Oliveira Vilarinho	UFU
Prof. Dr. Douglas Bezerra de Araújo	UFU
Prof. Dr. Roberto Mendes Finzi Neto	UFU
Prof. Dr. Admilson Vieira da Costa	CEFET-MG
Prof. Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira	FURG

Uberlândia, 27 de julho de 2017



Dedico este trabalho a minha esposa Roza Maria, meus Irmãos, ao amigo Lucas, colegas de laboratório e meu bebezinho que pela vontade de Jeová não chegou ao mundo.

Ao final dessa jornada estaremos juntos querido.

יהוה

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jeová pela inspiração para escrever esta tese;

Aos membros de minha família que de forma direta ou Indireta ajudaram na elaboração deste trabalho;

Ao Engenheiro Lucas Alves pela companhia e divisão do apartamento durante minha estadia em Uberlândia –MG e também pela ajuda do cálculo de correntes e do uso do programa MatLab para geração de gráficos de corrente e tensão;

A Universidade Federal de Mato Grosso por me conceder afastamento para a realização desta Tese;

Ao amigo José Aparecido e amiga Annelise Zeemann pelas dicas de uso do Ferroxil;

A todos os amigos que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho compartilhando conhecimento, expertise e dicas valiosas para ajudar a enriquecer o trabalho.

Ao amigo Lenoir pelo uso das instalações do laticínio.

Recebam todos meus melhores agradecimentos.

BATISTA, M.A. Avaliação da adesão microbiana em chapas de aço inoxidável AISI 304 soldadas pelo processo MIG/MAG convencional com foco na formação de biofilme na indústria de laticínios. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017, 150f.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o processo de adesão microbiana que ocorre sobre superfícies de aços austeníticos AISI 304 usados na fabricação de tanques e trocadores de calor em laticínios que beneficiam o leite em natura e/ou na fabricação de queijo. A própria natureza do material tratado (leite cru) favorece o crescimento de microrganismos formadores de biofilmes. O processo de adesão foi verificado in loco em trocadores e em tanques de recebimento e resfriamento do produto. Para avaliar a formação do biofilme e correlacionar com o processo de soldagem, foram depositados cordões sobre chapa de aço inoxidável 304, utilizando-se o processo MIG/MAG. Após as soldagens, as placas de teste foram imersas em tanques de recebimento do leite cru, permanecendo expostas durante 06h. As chapas foram submetidas aos processos de CIP (*clean in place*), da mesma maneira que os tanques de contenção e recebimento. Avaliações microbiológicas foram realizadas, bem como a coleta de *Swab* nas áreas da ZAC (zona afetada pelo calor) e reforço de raiz, já pré-determinadas visando identificar a adesão microbiológica. Estabeleceu-se o conceito de coeficiente de partição para a interface superfície soldada, biofilme e fluxo de leite. Criou-se o conceito de ADPS (Adesão Preferencial na Solda) visando estabelecer uma correlação entre a posição de adesão microbiana, com a respectiva formação do biofilme versus a área de soldagem, como ZAC, reforço de raiz ou material de base. A partir dos resultados obtidos identificou-se a área preferencial de adesão e quais as variáveis responsáveis por tal efeito.

BATISTA, M.A. **Assessment of microbial adhesion in AISI 304 stainless steel plates welded by MIG/MAG conventional process with focus on biofilm formation in dairy Industry**. Thesis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017, 151f.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate the microbial adhesion process that occurs on surfaces of AISI 304 austenitic steels used in the manufacture of tanks and heat exchangers in dairy products that benefit the milk in nature and / or cheese production. The very nature of the treated material (raw milk) favors the growth of biofilm-forming microorganisms. The adhesion process was verified in loco in exchangers and in receiving and cooling tanks of the product. To evaluate the formation of the biofilm and to correlate with the welding process, strands were deposited on 304 stainless steel sheet using the MIG / MAG process. After the welds, the test plates were immersed in receiving tanks of the raw milk, remaining exposed for 06 hours. The plates were subjected to CIP (clean in place) processes, in the same way as containment and receiving tanks. Microbiological evaluations were performed, as well as the collection of Swab in the zones of the ZAC (zone affected by heat) and root reinforcement, already predetermined in order to identify the microbiological adhesion. The concept of partition coefficient for the welded surface interface, biofilm and milk flow was established. The concept of ADPS (Preferential Adhesion in Welding) was created in order to establish a correlation between the position of microbial adhesion, with the respective formation of the biofilm versus the area of welding, as ZAC, root reinforcement or base material. From the obtained results the preferential adhesion area was identified and the variables responsible for such effect.

Keywords: Partition coefficient, MIC, Microbial Biofilm

LISTA DE SÍMBOLOS

CIP – *Clean in Place*

MIC – Corrosão Induzida Microbiologicamente

PRE – *Pitting Resistance Equivalent*

RMS– Valor Quadrático Médio

ZAC – Zona Afetada pelo Calor

ZTA – Zona Termicamente Afetada

SWAB – Espécie de cotonete utilizado para coleta de amostras

UFC – Unidades Formadoras de Colônias

ADPS – Área de Adesão Preferencial em Solda

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Coleta Manual de Leite em campo (Autor)	2
Figura 2 - Processo de soldagem e união de ligas (Foto, Autor).....	4
Figura 3 - Formação de biofilme (Vilela, 2003). Adaptado	8
Figura 4 - Métodos básicos de imobilização (KOURKOUTAS et al., 2003, Adaptado BATISTA, 2005).....	10
Figura 5 - Biofilme formado por Bactérias BRS (BEECH; GAYLARDE, 1999).....	12
Figura 6 - Taxa de corrosão (De França & Cravo Jr, 2000).....	15
Figura 7 – Família de aço inoxidável série 300 (Carbó, 2001)	17
Figura 8 - Curva de passividade (Carbó, 2001) Adaptado	19
Figura 9 - Efeito teor de Cr no PRE (Cravo Junior e França, 2003)	20
Figura 10 - Diagrama de Schaeffler (Modenesi,2011).....	23
Figura 11 – Representação esquemática do processo de soldagem MIG/MAG (CAMPOS, 2005).....	24
Figura 12 - Posições de soldagem (FORTES, 2004).....	30
Figura 13 - Representação esquemática do processo MIG/MAG (FORTES,2004).....	31
Figura 14 - Isotermas do processo de soldagem na poça de fusão e ZAC (Copaert, 2008 adaptado Soares, 2011).....	33
Figura 15 – Temperaturas de pico no processo de soldagem (Soares,2011).....	34
Figura 16 – Temperaturas de pico e tamanhos de grãos metalúrgicos (Colpaert, 2008 adaptado)	35
Figura 17 - Mordedura cordão de solda (FORTES, 2004).....	36
Figura 18 - Efeito Ar puro como gás de purga. Imagem a esquerda com a presença do gás Ar e Imagem a direita sem a presença do gás Ar (Macedo et al.;1980).	38
Figura 19 - Aspecto metalográfico do metal de solda na raiz (Macedo et al.,1980).....	39
Figura 20 - Formação de biofilme na solda (autor) e representação de biofilme microbiano e modelo de célula de corrosão diferencial (Vilela ,2003).....	40
Figura 21- Adesão microbiana Inicial (BORENSTEIN, 1994).....	43
Figura 22 - Corrosão ZAC (Gentil, 2003)	44
Figura 23- Corrosão PIT na ZAC (Gentil, 2003)	44
Figura 24 - Prompt Scilab 6.0.....	45

Figura 28 - Certificação chapa aço inoxidável AISI 304 obtidas por doação	50
Figura 29 - Processo de serragem dos corpos de prova.....	51
Figura 30 - Corpo de prova gabaritado e pronto para a execução do processo de Solda	52
Figura 31 - Alimentador de arame.....	52
Figura 32 - Plugs de encaixe rápido para alimentação do gás de proteção e água para resfriamento da tocha	53
Figura 33 - Equipamento para captação de sinais de I e V.....	54
Figura 34 - Sensor Hall instado para aquisição de sinais Corrente (I) e Tensão (V)	54
Figura 35 - Determinação do parâmetro DBCP com uso de gabarito para o processo de soldagem.....	55
Figura 36 - Calibração da Mesa Coordenada	56
Figura 37 - Tela para inserção dos valores no Software Statistica 12®.....	58
Figura 38 - Algoritmo de Snne para inserção das restrições matemáticas	59
Figura 39 - Montagem / Gabaritação do corpo de prova	60
Figura 40 - Tela inicial do Labview ®	61
Figura 41 – Procedimento de marcação dos corpos de prova em triplicata e o respectivo nível de energia adotado.	62
Figura 42 - Reforço de raiz nos níveis de aporte de energia: E1, E2, E3 e E4.....	62
Figura 43 - Corpo de prova e sua respectiva massa final.	63
Figura 44 - ADPS definidas e marcadas esquematicamente	64
Figura 45 - Marcação com o riscador para cada ADPS proposta.....	65
Figura 46 - Identificação das ADPS propostas.....	66
Figura 47 - Sentido de movimentação do Swab para coleta de células.....	68
Figura 48 - Montagem da câmera térmica e software para aquisição das imagens.....	69
Figura 49 - Distância entre tocha e corpo de prova soldado	70
Figura 50 - Testes dos procedimentos de aquisição de imagem da câmera térmica	71
Figura 51 - Tanque de recebimento do leite in natura (autor)	72
Figura 52 - Tanque de recebimento de leite in natura (Cru)	73
Figura 53 - Corpos de prova soldados e inserido em tanque recebimento	73
Figura 54 – Boroscópio e inspeção em tubo com solda (Autor).	74
Figura 55 - Analisador de leite (Propriedades do leite).....	75
Figura 56 - Análise do teor de gordura.....	75
Figura 57 - Análise tubulação.....	77

Figura 58 – Cordão de solda visualizado pelo Boroscópio. Reforço de raiz.....	78
Figura 59 - Matriz de correlação dos efeitos dos fatores.....	80
Figura 60 - Região experimental obtidas via simulação, com seus respectivos vértices e centroide.	80
Figura 61 - Valores teóricos dos parâmetros de soldagem obtidos para execução dos experimentos e confecção dos corpos de prova.....	82
Figura 62 – Decapagem química dos corpos de prova.....	83
Figura 63 - Chapa após decapagem química.....	83
Figura 64 - Cordão de Solda / Adesão de matéria orgânica na região de mordedura.	84
Figura 65 – Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E3.....	85
Figura 66 - Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E4.....	85
Figura 67 - Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E3.....	86
Figura 68 – Região escura – área não passivada.....	87
Figura 69 - Corpos de prova com níveis de energia E1 e E2.....	87
Figura 70 - Corpos de prova com níveis de energia E2 e E3.....	88
Figura 71 - Corpos de prova com níveis de energia E2 e E3.....	88
Figura 72 - Corpos de prova com níveis de energia E1 e E4.....	89
Figura 73 - Câmera térmica com nível de energia E1.....	90
Figura 74 - Perfil de temperatura com nível de energia E1 (Início do Cordão).....	90
Figura 75- Perfil de temperatura com nível de energia E1 (Fim do cordão).....	90
Figura 76- Comparação ferroxil e perfil de temperatura.....	91
Figura 77 - Câmera térmica com nível de energia E4.....	92
Figura 78 - Perfil de Temperatura E4 (Início do Cordão).....	92
Figura 79 - Perfil de temperatura com nível de energia E4 (Fim do cordão).....	93
Figura 80 - Comparação ferroxil e perfil de temperatura para o nível de energia E4.....	93
Figura 81 – Macro para nível de energia E1.....	96
Figura 82 – Macro para nível de energia E2.....	96
Figura 83 – Macro para nível de energia E3.....	97
Figura 84 – Macro para nível de energia E4.....	97
Figura 85 – Macros Unidas e atacadas simultaneamente.....	98
Figura 86 – Resultados de ADPS ($UFC_{mL.cm^2}$) obtidos para todos os ensaios.....	101
Figura 87- Valores de corrente (I) para E1.....	102
Figura 88- Valores de corrente (I) para E2.....	102

Figura 89 - Valores de corrente (I) para E3.....	103
Figura 90 - Valores de corrente (I) para E4.....	103
Figura 91 - Valores de Tensão(V) para E1.....	104
Figura 92 - Valores de Tensão(V) para E2.....	105
Figura 93 - Valores de Tensão(V) para E3.....	105
Figura 94 - Valores de Tensão(V) para E4.....	106
Figura 95 - Chapa de aço decapada.....	108
Figura 96 – Excesso de material depositado com níveis de energia de soldagem E1 e E2....	108
Figura 97 - Largura do reforço do cordão produzido	109
Figura 98 - Comparação entre E1 e E2	110
Figura 99- Densidade de corrente (Vilela, 2003)	111
Figura 100 - Resultado simulação Coef. Partição	112
Figura 101 – Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E1.....	121
Figura 102 – Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E1	122
Figura 103 – Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E1	123
Figura 104 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E2	124
Figura 105 - Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E2.....	124
Figura 106 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E2.....	125
Figura 107 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E3	126
Figura 108 - Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E3	126
Figura 109 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E3.....	127
Figura 110 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E4	128
Figura 111 - de tempos de arco-aberto para a Energia E4.....	129
Figura 112 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E4.....	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de algumas indústrias afetadas pela corrosão microbiológica e áreas de maior incidência de ataques corrosivos de acordo com Jones (1992). Adaptado	3
Tabela 2 - Características do aço inoxidável 304 (NILSSON, J.O, 1997)	16
Tabela 3 - Composição química do aço inoxidável AISI 304 (WALDÉN, 1994)	16
Tabela 4 – Efeito do teor de Cr sob a adesão (Cravo Junior e França, 2003)	21
Tabela 5 - Efeitos gás de proteção	27
Tabela 6 - Parâmetros de soldagem (Macedo et al.,1980)	38
Tabela 7 - Resultados de macro e micrográfica (Macedo et al.,1980).	38
Tabela 8 - Valor da área em cm^2 de cada APDS	65
Tabela 9 - Classificação da Adesão Microbiana de acordo com a concentração celular	67
Tabela 10 - Modelo de Swab e microrganismo associado mais comuns	69
Tabela 11 - Massa depositada em cada cordão de solda	95
Tabela 12 - Valores experimentais de parâmetros para o Cálculo da Energia de Soldagem ...	98
Tabela 13 - Valores dos parâmetros de soldagem utilizados (T e A médios)	99
Tabela 14- Valores dos Parâmetros de Soldagem utilizados (T e A RMS)	99
Tabela 15 - Cálculo de energia de soldagem – Média / RMS (J/mm)	100
Tabela 16 - Valores de ADPS ($UF\text{CmL.cm}^2$) para cada Nível de energia de Soldagem....	100
Tabela 17 - Massa depositada no cordão para cada nível de energia (E)	107

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiv
CAPÍTULO I	1
INTRODUÇÃO	1
1.2. Corrosão induzida microbiologicamente (MIC) e sua relação com a indústria	2
1.2. O processo de união de ligas metálicas	3
CAPÍTULO II	6
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. A Formação de biofilmes microbianos	6
2.2. Características e formação do biofilme	6
2.3. Representação esquemática da formação de biofilme	8
2.4. O biofilme microbiano e sua interação com os metais	9
2.5. Transferência de massa e difusão em biofilmes	11
2.6. Corrosão induzida microbiologicamente (MIC)	11
2.7. Aços inoxidáveis e suas principais características	16
2.8. A formação da camada passiva nos aços inoxidáveis	18
2.9. Características dos aços austeníticos AISI 304	21
3.0. O Diagrama de <i>Schaeffler</i> para previsão de microestruturas metalúrgicas	22
3.1. O processo de soldagem MIG/MAG convencional para a união de peças e juntas	23
3.2. Características dos gases de proteção	25
3.3. Efeitos do gás de proteção sobre a geometria do cordão de solda	26
3.4. Efeitos oxidantes provocados pelo arco na poça de fusão	27
3.5. Uso de O ₂ nos processos de soldagem MIG/MAG	28
3.6. Efeitos do O ₂ na formação da camada passiva no processo de soldagem MIG/MAG ..	29
3.8. Características da poça de fusão	29
3.9. Energia de soldagem e balanço de energia	31
4.0. Efeito da energia de soldagem imposta e energia associada ao tamanho do grão metalúrgico	32

4.1. A poça de fusão e os ciclos térmicos associados	33
4.2. Ciclos térmicos no processo de soldagem e metalurgia dos grãos.....	34
4.3. Defeitos de soldagem: Mordeduras.....	35
4.4. A raiz e o reforço de raiz em processos de soldagem	36
4.5. Proteção de reforço de raiz e formação de Pites	37
4.6. O modelo de coeficiente de partição para soldagem.....	39
4.7. A correlação entre processo de corrosão microbiológica e energia de soldagem.....	42
4.8. A modelagem matemática via software Scilab 6.0	45
CAPITULO III	47
METODOLOGIA.....	47
3.1. Visão Geral Metodológica	47
3.2. Preparo e recebimento dos materiais para preparação dos corpos de prova.....	50
3.3. Preparação da mesa de soldagem, gabarito e execução do processo de soldagem....	51
3.4. Cálculo da constante K para garantia de aporte de calor simétrico em todos os corpos de prova.....	56
3.5. Investigação e Determinação da área experimental a ser explorada via Algoritmo de <i>Snne</i>	57
3.6. Aquisição de dados de tensão de soldagem e corrente de soldagem	59
3.7. Soldagem dos corpos de prova pelo processo MIG/MAG curto-circuito.....	60
3.8. Marcação dos corpos de prova e determinação da massa depositada em cada corpo de prova	61
3.9. O processo de decapagem química para retirada de impurezas, carepas e outras sujidades.....	63
3.10. Marcação e determinação das ADPS em cada corpo de prova.....	63
3.11. Definição da metodologia de ADPS com forte adesão preferencial e ADPS com fraca adesão preferencial.....	66
3.12. Uso do <i>Swab</i> para aplicação nas superfícies ADPS e retirada de células.....	67
3.12.1. Identificação e escolha dos modelos de <i>Swab</i> para a realização dos ensaios	69
3.13. Ensaio com a câmera térmica para identificação do perfil de temperatura.....	69
3.14. Distância da câmera térmica até os corpos de prova, padronização da filmagem e aquisição de dados.....	70
3.15. Inserção dos corpos de prova no tanque de recebimento do leite cru de produtores.	71
3.16. Ensaio de verificação com boroscópio nos tubos ligados ao tanque estocagem.....	74

3.17. Análises do <i>leite in natura</i> na planta fabril.....	74
CAPITULO IV	77
RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1. Resultados da investigação inicial com Boroscópio dos pontos de solda em tubulação de transporte de <i>leite in natura</i>	77
4.2. Uso do Software Statistica 12® para estimativas dos parâmetros de soldagem.....	79
4.3. Resultados obtidos na decapagem química.....	82
4.4. A presença de defeitos de soldagem, mordeduras e a adesão microbiana.....	84
4.5. Resultados de passivação obtidos com o Ferroxil para os cordões de solda	86
4.6. Perfis de temperatura obtidos pela câmera térmica para os corpos E1 e E4.....	89
4.7. Massa depositada em cada associado ao seu nível de energia de soldagem.....	94
4.8. Perfis de Macrografias obtidos para os corpos de prova nos 2 níveis de energia de soldagem (inferiores)	95
4.9. Perfis de macrografias obtidos para os corpos de prova nos 2 níveis de energia de soldagem (Superiores).....	96
4.10. Determinação do valor da constante K	98
4.11. Resultados de ADPS obtidos para os 4 níveis de aporte de energia.....	100
4.12. Resultados obtidos a partir da aquisição de sinais de corrente (I) para o cálculo de energia de soldagem (E).....	101
4.13. Resultados obtidos a partir da aquisição de sinais de tensão (T) para o cálculo de energia de soldagem (E).....	104
4.14. Análise dos resultados obtidos do algoritmo de <i>Snne</i>	106
4.15. Análise dos valores de massa obtidos nos ensaios de aporte de energia	107
4.16. Análise dos testes de passivação dos corpos de prova.....	107
4.17. A formação de reforço de raiz nos corpos de prova.	109
4.18. Análise do ataque com Ferroxil e as áreas não passivadas versus aporte de energia	110
4.19. Resultados da simulação do coeficiente de partição para biofilme e interface.....	111
CAPITULO V	113
CONCLUSÕES.....	113
CAPITULO VI	114
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
CAPITULO VII.....	116

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXOS.....	121

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. Consumo e produção de leite no Brasil

A demanda e consumo de leite cresce no mundo e entre os anos de 2010 e 2015 cresceu cerca de 12% no Brasil. Embora a taxa de consumo tenha apresentado valores significativos, o consumo per capita de 156 litros ainda é baixo quando comparado aos 200 litros recomendando, indicando que o país precisaria produzir cerca de 45 bilhões de litros / ano para atender as necessidades de consumo. A produção mundial de leite em 2015 foi estimada em cerca de 800 bilhões de litros gerando um consumo per capita da ordem de 109 litros / ano, que foram consumidos não apenas na forma direta, mas também nos diversos tipos de derivados, como queijos e produtos lácteos e estima-se que cerca de um terço da produção de leite nacional seja consumida na forma direta (Zoccal, 2017).

Esses números indicam não só a importância do mercado lácteo no país, mas também o potencial de consumo, o que demanda processos de limpeza, assepsia e controle de qualidade cada vez mais intensos nas linhas de produção.

O alimento leite, seja de origem bovina ou bubalina faz parte da dieta cotidiana de milhões de pessoas não só no Brasil, mas também no mundo. Volumes expressivos são produzidos diariamente, armazenados e transportados por toda a extensão do território nacional.

Garantir a qualidade do produto tanto na estocagem quanto no transporte torna-se uma condição imprescindível de competitividade para as empresas do setor. O início dessa garantia começa na coleta em campo, transporte até o laticínio e descarga nos tanques de armazenamento e contenção.

SILVA (2009) em seus trabalhos de revisão bibliográfica informa a importância do leite como alimento devido a sua constituição nutricional:

- Rica composição Nutricional
- Teor de Proteína;
- Vitaminas;
- Sais Minerais;

Essa composição quimicamente complexa é uma fonte de alimentos facilmente contaminável e consequentemente passível de aderência microbiana, favorecendo a adesão microbiana e consequentemente a formação de biofilme. Em pequenas unidades de produção, a fase inicial de coleta do produto ocorre de forma manual, conforme mostra Figura 01.

Existe ainda um longo percurso antes que o produto final chegue ao seu destino, como processos de assepsia e desinfecção, além claro da pasteurização.



Figura 1- Coleta Manual de Leite em campo (Autor)

Em toda a fase de coleta os produtores recebem orientação de como realizar os procedimentos de BPF (Boas Práticas de Fabricação) e assim garantir que o mínimo de produto com presença de microrganismos chegue até o laticínio, conforme RDC-12 (Resolução da Diretoria Colegiada número 12).

1.2. Corrosão induzida microbiologicamente (MIC) e sua relação com a indústria

Em seus trabalhos de revisão Jones (1992) afirma que pelo menos 12 setores industriais são atingidos por esse tipo de corrosão. Na Tabela 1 são apresentados alguns casos de indústrias afetadas pela corrosão microbiológica.

O problema da corrosão influenciada por agentes microbiológicos (CIM) afeta um grande número de segmentos industriais, dentre estes segmentos estão alguns dos mais importantes propulsores da economia mundial, como por exemplo, a indústria de geração de energia, a petroquímica, a de transporte de gás, a de papel e celulose, a de construção naval e

a de alimentos (NANDAKUMAR *et al.*, 2001).

Tabela 1 - Exemplos de algumas indústrias afetadas pela corrosão microbiológica e áreas de maior incidência de ataques corrosivos de acordo com Jones (1992). Adaptado

Tipo de indústria	Áreas problemáticas
<i>Indústrias de processamento químico e Alimentos</i>	<i>Tanques de aço inoxidável e juntas com flanges</i>
<i>Usinas Nucleares</i>	<i>Tubulações de aço inoxidável</i>
<i>Indústrias de petróleo</i>	<i>Sistemas de fluxos de água e Gás natural</i>
<i>Usinagem</i>	<i>Fluido das máquinas</i>

Essa é uma informação interessante, pois é um forte indicador de que a corrosão microbiológica pode não estar sendo qualificada e quantificada de maneira adequada, tendo-se em vista a quantidade de setores estratégicos sujeitos a esse fenômeno biológico e seus poucos registros envolvendo efeitos diretos sobre cordões de solda.

1.2. O processo de união de ligas metálicas

Entre os mais variados processos de fabricação, o processo de união de ligas denominado soldagem é um dos mais importantes e complexos utilizados pelas industriais de bens de fabricação.

Dada sua versatilidade pode ser utilizado desde a fabricação de peças simples e de pouca complexidade, como a fabricação de moveis tubulares residenciais e até a fabricação de objetos e processos complexos como a fabricação de navios e usinas nucleares.

Modenesi (2005) em seus trabalhos de revisão sobre os processos de união de ligas, informa que várias tentativas foram realizadas para a definição correta do processo e que a AWS define o processo de Soldagem como:

“Processo de União de materiais usados para obter a coalescência (união) localizada de metais e não-metais, produzidas por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização e/ou material de adição” Modenesi (2005).

Existe ainda uma outra definição que relaciona as forças de natureza química que podem ser consideradas as responsáveis pela união dos materiais metálico e não metálicos:

“Processo de união de materiais baseados no estabelecimento de forças de ligação química de natureza similar as atuantes no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos” Modenesi (2005).

Na Figura 2 é apresentado o processo de soldagem e união de chapas utilizando-se calor para realização da fusão do material e consequentemente sua junção.

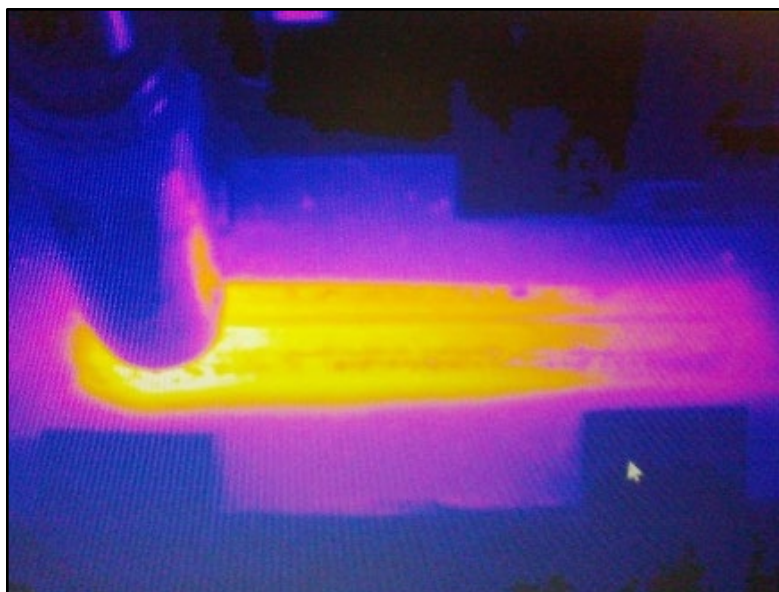


Figura 2 - Processo de soldagem e união de ligas (Foto, Autor)

Dessa forma, é fundamental estabelecer conexão entre a formação de biofilmes, que induzem corrosão microbiológica, com o processo de soldagem e, em especial, com o aporte térmico do processo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos gerais da proposta de tese

Como objetivos gerais a serem alcançados nesta presente proposta de tese e assim estabelecer uma correlação entre variáveis de projeto (variáveis de soldagem) e variáveis de processo (processamento de leite), tem-se:

- Estabelecer uma correlação entre o processo de corrosão induzida microbiologicamente e os níveis de energia de soldagem, via soldagem MIG/MAG convencional;
- Estabelecer uma correlação entre o reforço de raiz e a adesão microbiana, oriunda de biofilme formado em superfícies soldas e percoladas com leite cru em tanque de recebimento de matéria prima e tanques de contenção;
- Apresentar formas de aperfeiçoamento de processos de limpeza, assepsia e desinfecção na indústria láctea;

1.3.2. Objetivos específicos da proposta de tese

Como objetivos específicos a proposta de tese pretende:

- Demonstrar como juntas soldadas em tubulações de inox da indústria de laticínios são pontos de acumulo de sujidades;
- Demonstrar a existência de uma correlação entre aportes de energia de soldagem e a adesão microbiana;
- Demonstrar como diferentes aportes de energia impactam na formação do reforço de raiz e consequentemente na adesão microbiana, contribuindo assim para a formação de biofilme.

CAPITULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Formação de biofilmes microbianos

De acordo com Cravo Junior e França (2003), o processo de formação do biofilme microbiano em superfícies metálicas é diretamente influenciado por fatores como a concentração de oxigênio dissolvido no fluido em estudo e o grau de agitação do sistema. Em seus resultados, as análises de taxa de corrosão e corrente galvânica foram realizadas através de monitoramento e controle eletroquímico, com resultados demonstrando que existe uma correlação direta entre a concentração de oxigênio e a formação de biofilme, impactando de forma direta a formação do biofilme no caso dos microrganismos aeróbios.

Estudos de Morton (1994) afirmam que a formação dos biofilmes pode alterar de forma significativa o comportamento do mecanismo de corrosão de estruturas metálicas e não metálicas, contribuindo para o aumento das alterações localizadas e também nas variações de das concentrações de Íons, pH e teores de oxigênio dissolvido. Todas essas alterações são importantes para compreender os mecanismos que governam a formação dos biofilmes microbianos.

Biofilmes microbianos apresentam uma complexa e rica composição química, física e microbiológica, o que de acordo com a literatura tornam praticamente impossível sua análise com as técnicas tradicionais de métodos analíticos. Em geral são formados por uma intrigada associação, como por exemplo de leveduras, leveduras selvagens e bactérias que geram uma diversidade de composição e de formas no biofilme. Em culturas puras essa diversidade é minimizada dado ao comportamento regular da espécie.

2.2. Características e formação do biofilme

Videla (2002), em seus trabalhos de prevenção e controle da corrosão, informa que o início da adesão microbiana em metais e outras ligas de interesse industrial, inicia-se com a produção de metabolitos ou Substancias Extracelulares Poliméricas (EPS) e Água. Descreve

ainda os efeitos do acúmulo de biofilme, destacando como podem afetar diretamente o processo de corrosão em metais, devido a duas importantes variáveis:

- pH;
- Concentração de Oxigênio, podendo formar células de aeração diferencial;

Entretanto, a formação do biofilme microbiano, impede a transferência de espécies químicas entre a interface Metal e o meio.

Videla (2002) recomenda que sejam investigadas técnicas e metodologias de monitoramento, aliada as técnicas tradicionais de microbiologia com o objetivo de se compreender de forma completa o papel das atividades oriunda dos microrganismos e a formação de biofilme.

Com essa abordagem, seria possível o desenvolvimento de novas medidas de controle e de prevenção da MIC. Além disso, recomenda que tal abordagem ocorra de forma individual para cada tipo de indústria (Videla, 2002).

Essa recomendação é pertinente, uma vez que diferentes fluidos como leite, sucos e emulsões apresentam uma composição Físico-Química e Termodinâmica diferentes entre si, além de serem fluidos não newtonianos.

Geesey (1982) indica ainda que o biofilme ou *Biofouling* podem ser considerados como depósitos de origem biológica aderidos em uma superfície, e classifica esse depósito quanto as dimensões em:

- Microfouling;
- Macrofouling;

Os Microfouling, que são objetos desse estudo, são resultantes do acúmulo de material biológico, como: materiais poliméricos secretados; microrganismos com ou sem viabilidade celular e grande parte de água chegando a 90% da composição do biofilme.

Characklis (1991) identifica e classifica os tipos de incrustações em:

- Biofilme formado devido aos processos de incrustação microbiológica devido a correlação existente entre os microfouling e os macrofouling;
- Incrustação de origem química;
- Incrustação de partículas dispersas nos fluidos transportado.

De acordo com Videla (1995), ainda em seus trabalhos de revisão, tem-se que entre os métodos mais pesquisados para prevenir e controlar a corrosão microbiológica pode ser dividido em:

- Procedimentos de limpeza;
- Agentes biocidas;
- Tipos de revestimentos;
- Aplicação de proteção catódica.

2.3. Representação esquemática da formação de biofilme

De acordo com Vilela (2003) na Figura 3 estão presentes as cinco as fases de formação do biofilme, iniciando com o transporte e adsorção de moléculas orgânicas (1). Em seguida células microbianas presentes no fluido são transportadas sobre a superfície do material (2) iniciando assim o processo de adesão celular (3). Em (4) ocorre o crescimento no interior o Filme Microbiano. Nessa fase agentes biocidas têm sua efetividade afetada e perdem eficiência. Em sua fase final com o biofilme instalado (5) inicia-se o processo de desprendimento.

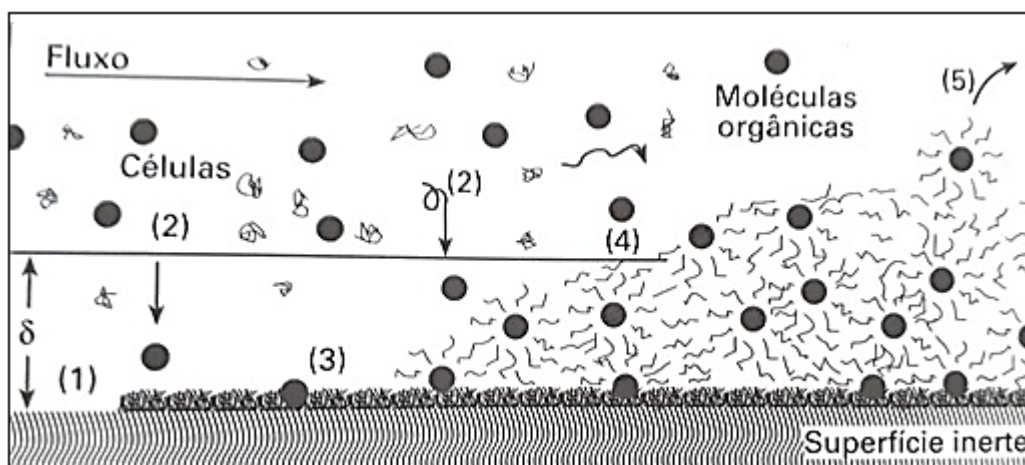


Figura 3 - Formação de biofilme (Vilela, 2003). Adaptado

Compreender como essas fases se processam e qual sua relação com a soldagem é o objetivo deste presente trabalho.

2.4. O biofilme microbiano e sua interação com os metais

O conceito do fenômeno de biocorrosão remete a ideia de um processo de degradação acelerado dos materiais em resposta a formação de um biofilme microbiano que adere (Figura 4) a superfície dos metais expostos a fluidos ricos em fontes de carbono e com concentração celular. Na Figura 04 exemplos de mecanismos de imobilização celular descritos na literatura.

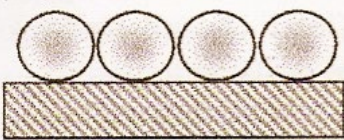
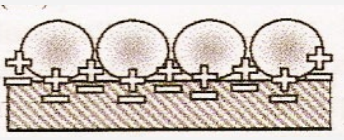
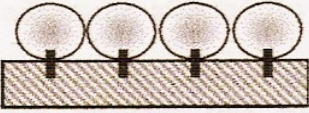
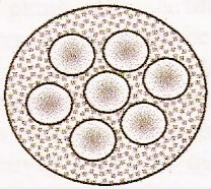
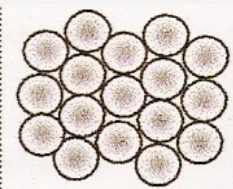
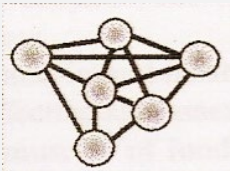
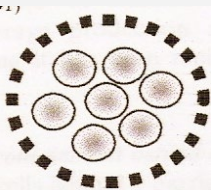
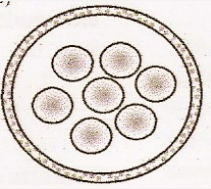
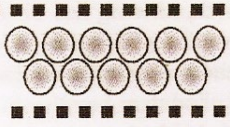
 Adsorção em uma superfície	 Ligação eletrostática em uma superfície	 Ligação covalente em uma superfície
 Aprisionamento em matriz porosa	 Floculação natural ou agregação	 Floculação artificial ou Ligação cruzada
 Microencapsulação	 Microencapsulação interfacial	 Contenção entre membrana com microporos

Figura 4 - Métodos básicos de imobilização (KOURKOUTAS et al., 2003, Adaptado BATISTA, 2005)

Os mecanismos de adesão inicial ainda não são plenamente compreendidos e a literatura tem indicado que a reposta pode estar no processo de biomineralização da superfície metálica, aliado as enzimas extracelulares formadas e ativas no interior do biofilme.

É possível que a justificativa esteja compreendida nas complexas reações eletroquímicas que existem entre a interface do material, camada passiva e o coeficiente de partição criado entre as interface, metal, biofilme e meio fluido que envolve o material.

Jones (2002) destaca que as possíveis interações físico-químicas que ocorrem entre o metal e sua interação com o fluido e o ambiente exposto podem dar início ao processo de biocorrosão. De acordo com o autor, as taxas de reação anódica tem sua taxa reduzida gradualmente durante o processo, uma vez que produtos da oxidação / corrosão passam a aderir sobre a superfície do metal formando uma espécie de “camada protetora” formando uma barreira que impede a difusão de agentes bactericidas e sanitizantes.

Essa barreira tem sua estabilidade vinculada as características químicas e estruturais do biofilme formado, gerando uma relação de maior ou menor susceptibilidade do material ao processo de MIC.

Kinzler *et al.*, (2003) relaciona o início do processo de adesão microbiana e o metal a formação de substancias poliméricas extracelulares (Exopolímeros - EPS), sendo o processo de adesão facilitado pelo EPS (composto de macromoléculas, proteínas, polissacarídeos, ácidos nucleicos e lipídios). KOURKOUTAS *et al.*, (2003) apresenta modelos de imobilização celular, tanto físicos como químicos na Figura 4.

Ornek (2002) faz uma correlação entre a atividade microbiana nos biofilmes formados na superfície metálica e a cinética das reações catódicas/anódicas, afirmando que o biofilme microbiano pode modificar a composição química da camada protetora, acelerando ou retardando o processo de corrosão

Dessa forma, compreender o fenômeno de interação entre metal e biofilme microbiano contribuirá para o desenvolvimento de agentes antimicrobianos para o processo de assepsia. Além disso contribuirá para ações mais efetivas para controle e prevenção da corrosão microbiológica.

2.5. Transferência de massa e difusão em biofilmes

Ainda existe uma quantidade apreciável de questões que os modelos de transferência de massa / matéria propostos atualmente não respondem de maneira adequada.

Entre as questões em aberto são os fenômenos envolvidos na adesão e fixação do microrganismo na superfície metálica e as interações complexas entre o material metálico e o coeficiente de partição com sua respectiva fase *bulk* (transporte no interior do fluido, Levenspiel, 2002).

Soma-se ainda a complexidade dos fenômenos envolvidos no transporte de massa (CREMASCO, 2002) com a respectivas leis de *Fick* (Leis de Difusão) e os efeitos da Mecânica do escoamento do fluido sobre o cordão de solda e áreas adjacentes.

É sabido ainda que entre os processos de fabricação, como a soldagem por exemplo, apresentam um agravante no sentido de proporcionarem certas condições metalúrgicas vantajosas para essa adesão microbiana inicial e formação de biofilme.

É efeito direto destes eventos então a formação de regiões com grãos maiores ou menores, sendo estes proporcionais ao calor imposto pelo processo. Assim, é de se esperar que certas regiões possuam maiores ou menores níveis de energia associada a nucleação e crescimento do grão (MELLO *et al.*, 1992).

2.6. Corrosão induzida microbiologicamente (MIC)

A corrosão induzida por microrganismos, microbiana ou ainda denominada microbiológica, é aquela em que a corrosão e consequentemente a degradação do material ou materiais, que podem ser: Plásticos; Metálicos ou Poliméricos se processa sob a ação de microrganismos, como bactérias, fungos ou ainda algas marinhas.

Borenstein (1994) declara que nos mais diversos ambientes tanto naturais, quanto artificiais, o processo de corrosão ocorre quando os materiais metálicos e suas ligas sofrem uma transformação química de seu estado fundamental e vai para uma espécie ionizada. Destaca ainda que a corrosão é um processo eletroquímico envolvendo uma reação anódica envolvendo a ionização (oxidação) do metal (corrosão) com uma reação catódica baseada na redução de uma espécie química.

Destaca-se que essas reações podem ser influenciadas e tem relação direta com as atividades microbianas, principalmente quando os organismos estão em contato próximo com a superfície metálica e assim formando um biofilme, conforme Figura 5 tem-se a formação de biofilme sobre superfícies de aço carbono.

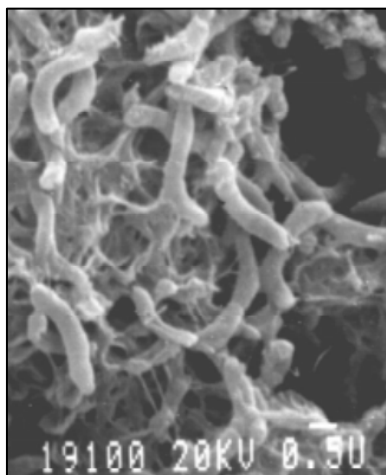


Figura 5 - Biofilme formado por Bactérias BRS (BEECH; GAYLARDE, 1999)

Beech e Gaylarde (1999) afirmam em seus trabalhos que os processos de Biocorrosão em superfícies metálicas estão fortemente ligados a microrganismos e os respectivos produtos de suas atividades metabólicas, como por exemplo: Enzimas, Exopolímeros, Ácidos Orgânicos e Ácidos Inorgânicos e alguns compostos voláteis, como Amônia ou Sulfeto de Hidrogênio (H_2S).

Estes compostos podem afetar de forma significativa as reações catódicas e / ou anódicas, alterando a eletroquímica na interface Biofilme / Metal. Além disso existe uma forte correlação entre Íons, pH e teores de oxigênio dissolvido e a fabricação dos mais diversos tipos de alimentos, como produtos Lácteos, Carnes, Bebidas, Pastas e Emulsões.

De acordo com Gentil (2003), se o processo de corrosão ocorre pela ação direta de Bactérias, esse processo pode ser também denominado de Corrosão Bacteriana. A geração, adesão e consequente formação de biofilme Microbiano é fortemente influenciada, por dois fatores:

1. Diretamente pela área da superfície metálica (ou não metálica) exposta ao fluido que a permeia;
2. Pela riqueza da composição de nutrientes presentes nesse fluido e teor de fonte de Carbono.

Em uma segunda análise, é muito importante considerar um terceiro aspecto, que é a “qualidade” dessa superfície. De acordo com o grau de rugosidade, fica evidente que superfícies com maior grau tendem a favorecer e facilitar o início da aderência de matéria orgânica e também inorgânica, transportando as mais variadas espécies de microrganismos presentes nesse fluido.

De acordo com Júnior *et al.*, (2003) a toxicidade de alguns determinados metais integrantes de ligas metálicas (alta ou média relação Ni / Cr), também apresentam correlação não só na adesão dos microrganismos formadores do biofilme, como também em sua fixação.

E em seus ensaios experimentais identificou que não existiram diferenças estatisticamente significativas entre o número de células viáveis e as aderidas à superfície metálica do corpo de prova para as ligas com 1,0 e 15,0% do elemento Cromo.

No entanto, o autor identifica que uma taxa de corrosão foi significativamente inferior para os corpos de prova onde existe uma maior concentração de Cromo. Como esperado evidenciou-se assim a importância do caráter passivador da camada de óxido de cromo.

Uma importante conclusão foi obtida a partir desse estudo: taxas de corrosão e a intensidade da corrente galvânica mostraram índices significativamente inferiores na liga com maior teor do elemento cromo. Isso demonstra que existe uma maior resistência à corrosão microbiologicamente induzida (CMI) em materiais que apresentam altos teores do elemento Cr

Dessa forma 3 pontos são importantes para compreensão dos mecanismos de corrosão microbiológica:

- A adesão inicial;
- A formação do biofilme microbiano;
- O teor de cromo (Cr) presente na liga;

Cabe destaque que os mecanismos de difusividade entre a parte externa do biofilme e a superfície de adesão não estão totalmente esclarecidos. Nem mesmo os modelos de transferência de calor podem ser explicados de forma simples, e diversas considerações matemáticas são feitas no sentido de se estimar o coeficiente de transferência de calor nessa região citada. A princípio admite-se que o coeficiente de transferência seja constante e o

Regime de Transferência permanente, o que é uma aproximação bastante razoável e torna o problema bem posto¹ matematicamente.

Little *et al.*, (1997) em seus trabalhos de revisão identifica que a corrosão microbiana tem sido analisada nas mais diversas superfícies metálicas sujeitas a exposição de elementos como água, processos químicos e processos de fabricação de alimentos. Entre uma das consequências identificadas pelo autor está o início de corrosão por pites (Forma de corrosão onde forma-se uma espécie de “poço” no material).

Além disso existe a possibilidade de abertura de fendas na superfície metálica, com o surgimento de um importante mecanismo de Corrosão Microbiológica, a formação de células de aeração diferencial. Outras consequências importantes são o desenvolvimento da erosão e também do processo de corrosão galvânica (Little *et al.*, 1997).

A MIC ou corrosão induzida por microrganismos está fortemente associada com o mecanismo eletroquímico, com a formação de uma região anódica desenvolvendo um processo de oxidação que leva a dissolução do material metálico e como consequência a redução de algum agente com a ocorrência da reação catódica. Embora os agentes microbianos participem deste fenômeno de forma direta, os mesmos, não alteram a natureza eletroquímica do mecanismo, mas contribuem de forma direta com o aumento da taxa de corrosão, de acordo com Videla (1998). O autor conclui que índices como, concentração de oxigênio dissolvido, tem forte correlação nos processos de corrosão em geral e com destaque para a MIC.

Como efeito direto, o teor de oxigênio dissolvido, impacta de forma direta na unidade formadora de colônias aderidas nas superfícies dos materiais e na diversidade de microrganismos formados na colônia / biofilme.

Em uma correlação direta quanto maior a concentração de O₂ maior a adesão inicial, dos microrganismos aeróbios, o que viabiliza um maior potencial de ação desses agentes microbiológicos, causando maior aceleração do processo de corrosão no material.

Em uma segunda correlação direta, existe a transferência de oxigênio entre a interface fluido e a superfície do biofilme exposta ao meio nutritivo. Essa relação de oxigênio pouco impacta no crescimento do biofilme, uma vez que o biofilme filme é uma associação de microrganismo aeróbios e anaeróbios. Entretanto coeficiente de transferência de massa entre o biofilme e a superfície do metal tem importância direta no processo de MIC.

¹ Problema matemático onde o número de equações é igual ao número de variáveis

Esse comportamento termodinâmico que regula a transferência de massa entre fluido ao qual o biofilme está exposto, biofilme microbiano e superfície metálica sujeita a corrosão será denominado nesse trabalho como coeficiente de partição / corrosão em soldagem (CPS) e será definido pelo equilíbrio químico de concentrações de nutrientes e enzimas no fluido e a superfície do biofilme aderido as regiões do cordão de solda (Reforço, ZTA e Metal de Base).

Desta forma, a associação das taxas de O_2 dissolvido e formação do biofilme microbiano aceleram o processo do fenômeno de corrosão. Na Figura 6 é possível observar esse comportamento.

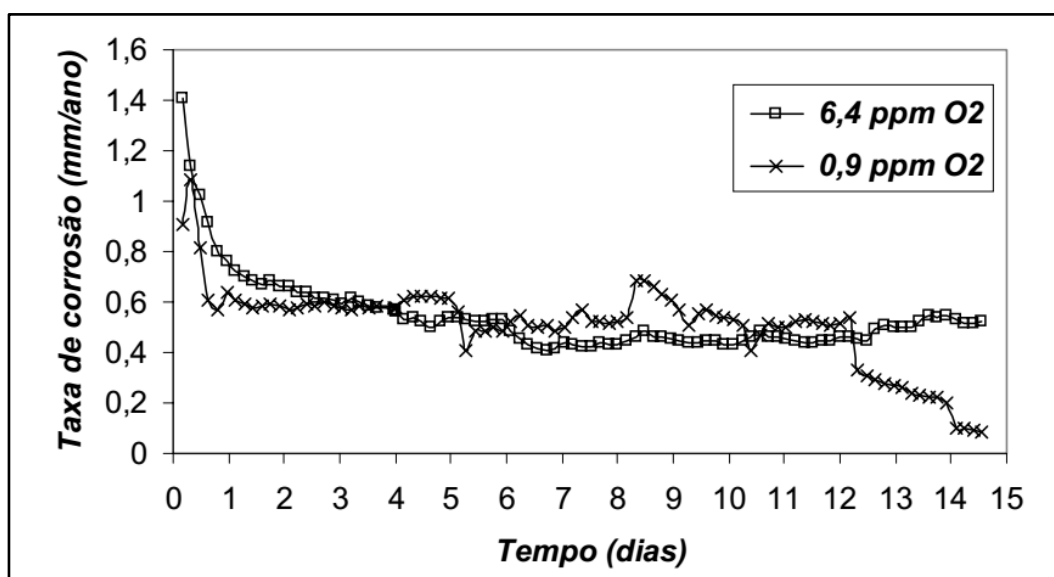


Figura 6 - Taxa de corrosão (De França & Cravo Jr, 2000)

Por essa razão é tão importante que se entenda como ocorre a transferência de O_2 entre a interface fluido e a superfície do biofilme. Compreendendo esse fenômeno, é possível modelar matematicamente de que maneira o elemento O_2 é transferido até superfície do metal e conseqüentemente formando a camada passivadora dos aços inoxidáveis.

Lutterbach (1996), através de seu trabalho de revisão, demonstra que a formação de Biofilmes oculta as medições eletroquímicas que não mensuram a corrosão localizada pelos microrganismos.

De acordo com Brasil *et al.*, (2005) durante seus trabalhos de investigação sobre a relação entre a presença de oxigênio e MIC, identificou que a presença de oxigênio contribuiu para uma rápida acelerada formação de colônias sobre a superfície metálica. É confirmando

experimentalmente que a presença oxigênio provocou uma corrosão agressiva em curto espaço de tempo.

De acordo com o autor, verificou-se uma que uma pequena concentração de oxigênio não impediu a formação do biofilme microbiano e destaca que a concentração do gás apenas retardou o processo de corrosão microbiológica (BRASIL *et al.*, 2005). Isso corrobora a relações entre MIC, formação de biofilme e taxa de transferência de oxigênio.

2.7. Aços inoxidáveis e suas principais características

Em trabalho publicado Carvalho (2000) define os aços inoxidáveis, como ligas de ferro (Fe) e cromo (Cr) e com um mínimo de 10,5 % do elemento de liga Cr. Embora outros elementos metálicos estejam presente na liga, o Cr devido suas propriedades é considerado o elemento mais relevante, porque devido suas propriedades químicas fornece aos aços, classificados com inoxidáveis, uma significativa resistência à corrosão.

Na Tabela 2 e na Tabela 3 são apresentadas as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos aços inoxidáveis 304 AISI.

Tabela 2 - Características do aço inoxidável 304 (NILSSON, J.O, 1997)

AISI 304	Resistência ao escoamento (Mpa)	Resistência à tração (Mpa)	Alongamento Mínimo (%)	Dureza Vickers	Microestrutura
304	210	515-680	45	155	Austenita

Tabela 3 - Composição química do aço inoxidável AISI 304 (WALDÉN, 1994)

AISI 304	C máx	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N
304	0,030	0,5	1,3	18,5	10	---	0,01

De acordo com Carbó (2001) o aço inoxidável 304 AISI é o mais versátil em termos de aplicações, graças a sua resistência aos diversos tipos de corrosão, capacidade de

conformação e propriedades mecânicas, além é claro de sua capacidade de ser soldado. É importante de destacar que o aço 304L tem uma aplicação industrial específica (apresenta uma menor quantidade de Carbono em sua composição química em relação ao 304 AISI), uma vez que não ocorre a precipitação de carbonetos de cromo, evitando assim os mais variados e diversos problemas de corrosão.

Fatores como custo também devem ser considerados nas escolhas propostas.

Na Figura 7 tem-se uma representação dos aços inoxidáveis da Família 300, suas características, elementos e propriedades.

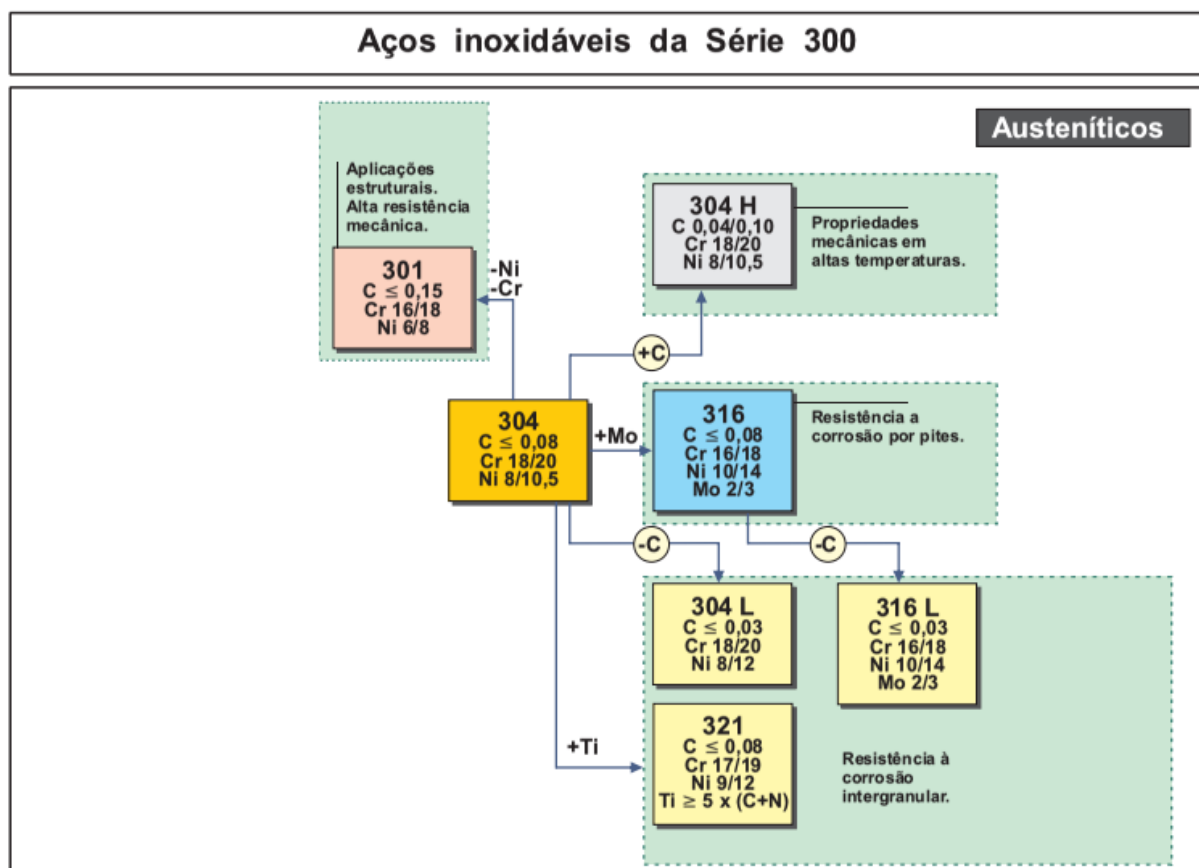


Figura 7 – Família de aço inoxidável série 300 (Carbó, 2001)

2.8. A formação da camada passiva nos aços inoxidáveis

Ainda sobre o fenômeno de passividade dos aços inoxidáveis, Carbó (2001) destaca que o fenômeno é estudado intensamente e existem diversas interpretações sobre esse fenômeno. A camada passivadora dos aços inoxidáveis tem cerca de 50 Å (Angstroms), o que segundo o autor torna-se muito difícil estudá-la de uma forma direta. O autor sugere que a formação do filme passivo ocorre pela reação entre: Água e Metal de Base, e esta constituído por um oxihidróxido dos metais Cr e Fe e concluiu que duas regiões podem ser consideradas dentro deste filme passivo:

- Uma mais próxima ao metal onde se concentram os óxidos;
- Uma segunda mais próxima ao exposto.

É possível observar que na curva de passividade, estão presentes três importantes regiões:

- Atividade,
- Passividade;
- Transpassividade.

E como a maioria dos meios oxidantes e reagentes atuam na região de passividade, essa é razão que explica a forte capacidade de resistência e ação efetiva da camada passiva, permitindo uma gama maior de aplicações de acordo com Carbó (2001) na Figura 8.

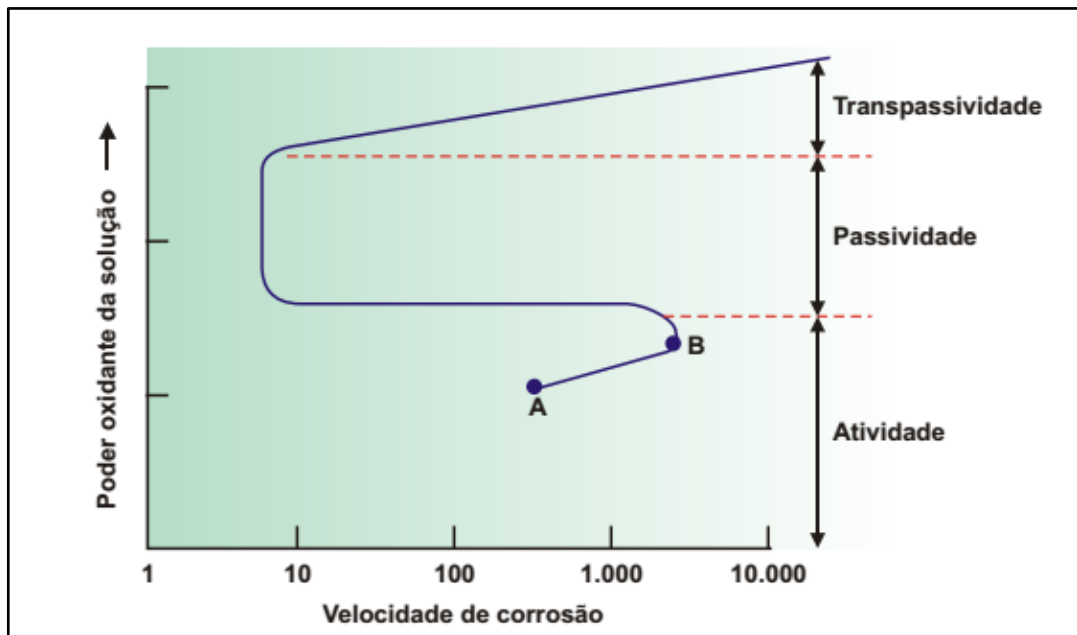


Figura 8 - Curva de passividade (Carbó, 2001) Adaptado

Walden (1994) cita que a capacidade de resistência a corrosão tem correlação direta com a capacidade que esses materiais têm de se passivar e manter intacta a camada passiva quando exposto a meios diversos. E essa capacidade depende diretamente de fatores e propriedades como:

- Presença de elementos de liga presentes na composição química do aço,
- Tamanho de grão metalúrgico
- Distribuição e Morfologia de inclusões,
- Precipitação de fases
- Qualidade da superfície.

Bernhardsson (1991) destaca a possibilidade de modelos matemáticos que estabelecem a relação entre elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis e sua capacidade de resistência a corrosão por PIT.

De acordo com o autor, Cr, Mo e N são os elementos que mais impactam nos resultados do modelo. Importante destacar a importância do Cr na formação tanto do PIT, quanto da camada passiva. A associação Cr, Mo e N formam o conceito de Equivalente de Resistência a Pite ou PRE (*Pitting Resistance Equivalent*) e permite uma aproximação bastante razoável para comparação da resistência entre os mais diversos aços inoxidáveis. Materiais diferentes (metálicos ou não metálicos) com composições químicas (presença de

maiores ou menores teores do elemento Cr) diferentes irão influenciar de maneiras diferentes a adesão microbiana e consequentemente o início da MIC.

A presente equação matemática (Equação 1) colabora para estimativa da formação do PIT e ajuda estabelecer uma correlação entre a presença do elemento Cr e a formação da corrosão e adesão do biofilme (Figura 9 e Tabela 4), além dos efeitos da participação dos elementos Mo e N.

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}$$

Equação (1)

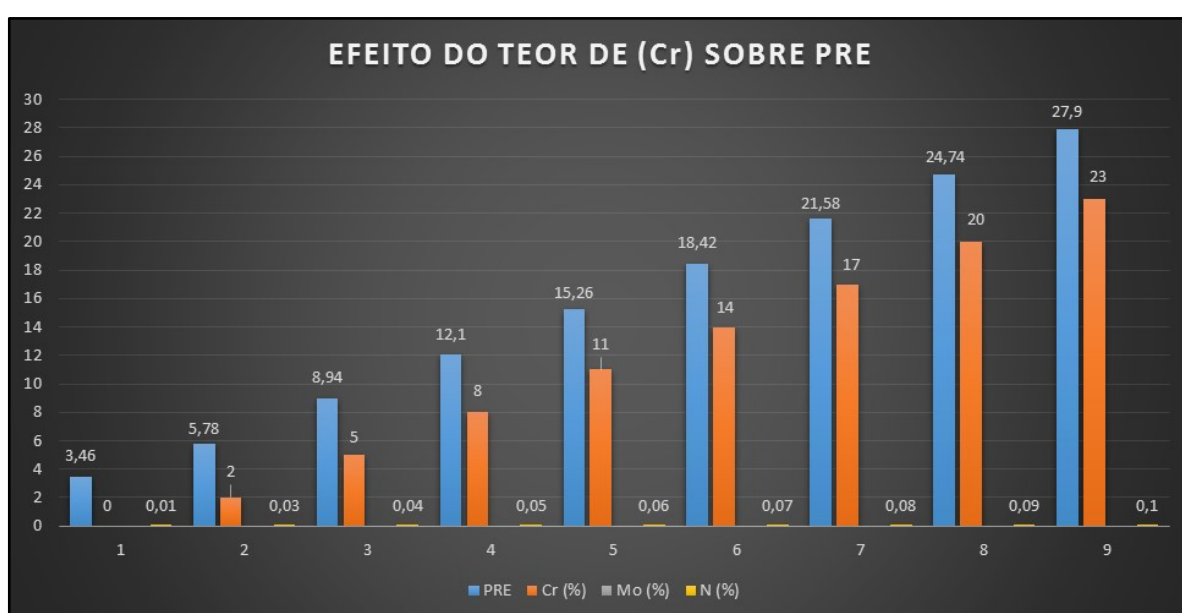


Figura 9 - Efeito teor de Cr no PRE (Cravo Junior e França, 2003)

Em trabalhos sobre a adesão microbiana sob cupons (corpos de prova) de aço carbono, Cravo Junior e França (2003) avaliando o efeito do teor de cromo na aderência de microrganismos em ligas de aço carbono afirma que a formação de biofilme microbiano tem correlação direta com a área do material exposta ao fluido e o grau de rugosidade da superfície.

E concluiu que uma maior rugosidade contribuiu de forma direta não só para a adesão microbiana, mas também para o acúmulo de material orgânico que estejam presentes no fluido em questão.

É sabido que os agentes sanitizantes, devido sua composição química atuam fortemente na inibição microbiana e elementos de liga, como o Cr presentes nas ligas de aço inoxidável

304 também possuem essa propriedade, colaborando para impedir a permanência de microrganismos formadores de biofilme.

Tabela 4 – Efeito do teor de Cr sob a adesão (Cravo Junior e França, 2003)

Efeito do Teor de Cr sob a adesão Microbiana	
Teor de Cr (0,03) %	Teor de Cr (1) %
Maior Adesão Microbiana (▲)	Menor Adesão Microbiana (▼)

Cravo Junior e França (2003) em seus trabalhos visando avaliar o efeito da concentração de Cr Metálico presente como elemento de liga e sua relação com a aderência de microrganismos. Além disso o autor procura demonstrar como essas relações impactam no processo de corrosão.

De acordo com a Tabela 4 acima, o autor concluiu que a presença de Cr em maiores concentrações diminui a aderência microbiana e consequentemente o processo de MIC também é diminuído em suas taxas.

Essa importante relação demonstra uma correlação direta entre presença de oxigênio, adesão microbiana e MIC. Além disso o autor confirma que verificou-se de uma diminuição estatisticamente significativa na aderência microbiana na liga com menor teor de Cr. Relaciona ainda que as taxas de corrosão e suas respectivas correntes galvânicas foram estatisticamente menores no corpo de prova com maior concentração do elemento Cr demonstrando desta forma uma significativa melhora na resistência a corrosão induzida Microbiologicamente.

2.9. Características dos aços austeníticos AISI 304

Modenesi (2011) em sua revisão bibliográfica que os aços classificados como austeníticos (devido a sua estrutura metalúrgica) são os de maior aplicação no mercado e tem

como composição básica elementos como Fe, Cr e Ni. Contém entre (16-30) % de Cr e entre (6-26) % de Ni, com apenas 0,3 de Carbono em sua composição estrutural, sendo mais tradicionalmente usando nas mais diversas aplicações do AISI 304.

Como características mecânicas apresentam:

- Baixo limite de escoamento;
- Boa soldabilidade;
- Resistência a corrosão;

Apresentam significativas aplicações tanto na indústria química, quanto na indústria de alimentos. São resistentes a agentes químicos de limpeza, assepsia e desinfecção.

3.0. O Diagrama de *Schaeffler* para previsão de microestruturas metalúrgicas

A caracterização da estrutura metalúrgica presente no material soldado é de fundamental importância para que se compreenda suas propriedades química e mecânicas finais após o processo de soldagem.

Carta e diagramas para previsão da estrutura metalúrgica formada nas regiões de solda são citados na literatura técnica. Um desses diagramas é o chamado diagrama de *Schaeffler* que a partir de valores de Cr_{eq} (Cromo Equivalente) e de Ni_{eq} (Níquel equivalente) calculados em função da composição química do material de base e do material de adição, possibilitam a previsão da microestrutura metalúrgica presente no cordão de solda.

Modenesi (2011) apresenta um modelo de diagrama na Figura 10 e as principais estruturas metalúrgicas formadas e os principais problemas que podem ocorrer nessas regiões específicas, como por exemplo:

- Formação de trincas durante resfriamento da poça de fusão;
- Fragilização por desenvolvimento e crescimento de grãos metalúrgicos.

Problemas metalúrgicos sérios que podem conduzir a falhas estruturais graves como fadiga e ruptura do metal soldado.

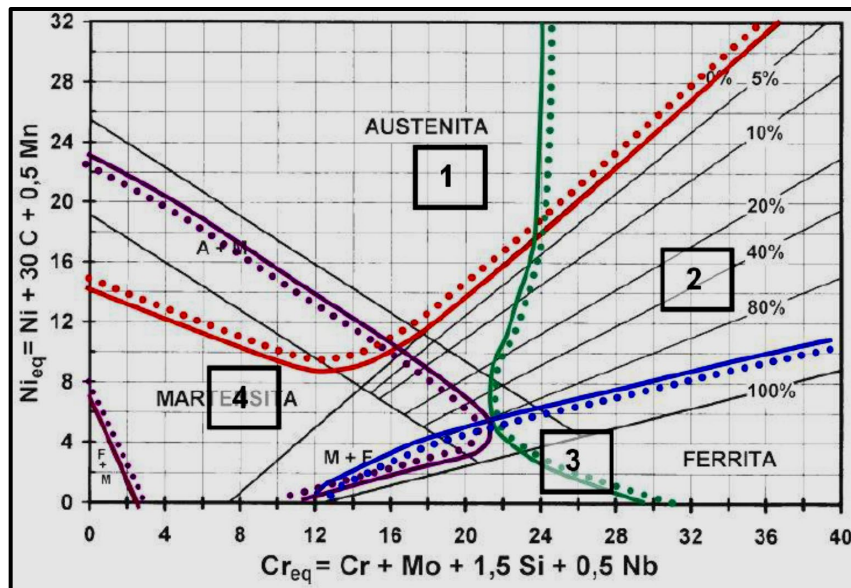


Figura 10 - Diagrama de *Schaeffler* (Modenesi, 2011).

3.1. O processo de soldagem MIG/MAG convencional para a união de peças e juntas

De modo geral um dos processos de união de ligas e demais materiais metálicos é conhecido como MIG/MAG (ou GMAW – *Gas Metal Arc Welding*). Trata-se um processo de fusão de materiais, onde Consumível ou Arame unem-se ao metal de Base através do calor gerado pelo arco elétrico e o gás de proteção ionizado. É um processo de fabricação semi-automatizado que garante produtividade e qualidade das peças/chapas produzidas.

Campos (2005) destaca que o processo de soldagem MIG/MAG é um processo de soldagem a arco elétrico, onde o material fundido (alimentado automaticamente) é depositado sob o metal de base. A Figura 11 apresenta o processo MIG/MAG em linhas gerais e em suas partes essenciais.

- Metal de Base;
- Metal de Solda Solidificado;
- Poça de Fusão;
- Arame de Alimentação (Eletrodo);
- Atmosfera gasosa
- Bocal de proteção gasosa (Pistola)

- Transferência Metálica (Gotículas de Metal)

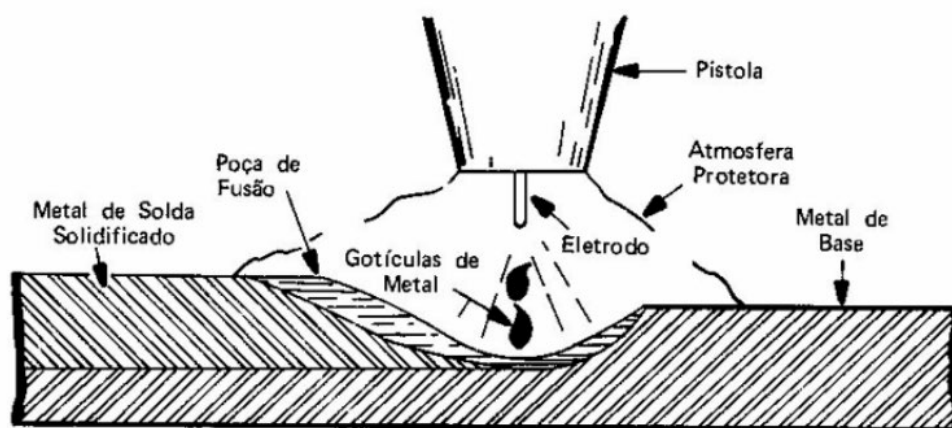


Figura 11– Representação esquemática do processo de soldagem MIG/MAG (CAMPOS, 2005).

De acordo com CAMPOS (2005) APUD (QUITES, 2002) destaca que as vantagens operacionais do processo MIG/MAG são ganhos de produtividade, pois o processo pode ser automatizado e uma maior taxa de deposição do material fundido, permitindo assim que chapas de maior largura e dutos de maior diâmetro possam ser realizados sem paradas operacionais devido ao fluxo contínuo de alimentação do arame.

Suban (2001) em seus trabalhos de revisão descreve que durante o processo de soldagem o material do arame é transferido na forma de pequenas gotas para o metal de base, formando a poça de fusão, através do arco elétrico. Essa transferência de gotas através do arco, recebe o nome de transferência metálica.

De acordo com o tamanho das gotas e frequência com a qual são transferidas recebem o nome de Transferência Metálica. A atmosfera gasosa fornecida pelo gás de proteção impede que possíveis efeitos e interações químicas, como a oxidação, ocorram entre o material fundido transferido e o meio ambiente. Essa proteção é função direta das características dos materiais envolvidos, tanto arame, como metal de base (Tusek, 2001) e essa proteção é fundamental para garantir contaminações oriundas do próprio ambiente e essa mesma proteção gasosa é composta de gases inertes ou não, podendo ser puros ou compostos por misturas de vários gases.

Ferreira *et al.*, (2007) afirma que esses gases podem ou não interagir com a poça de fusão durante o processo de união dos materiais. Em casos que ocorrem essa interação, muda-se o comportamento da escoria e a geometria do cordão.

A interação do gás de proteção define o nome do processo:

- MIG (*Metal Inerte Gas*) quando a proteção utilizada na poça de fusão é um gás inerte ou um mix de gases inertes;
- MAG (*Metal Active Gas*) quando a proteção utilizada na poça de fusão é um gás ativo ou uma mistura de gases que interagem quimicamente com a poça de fusão produzindo alterações metalúrgicas no material fundido.

Cabe destaque que além da proteção gasosa sobre a poça de fusão é preciso proteger também a região do cordão chamada de reforço de raiz, que não recebe proteção direta do arco, sendo necessário a inserção de um fluxo que atinja a raiz, esse gás é chamado gás de purga.

Neste presente trabalho foi utilizado como gás de purga Ar em uma vazão controlada visando justamente garantir essa proteção para uma área vital do cordão de solda que entra em contato direto com o fluido e que fica exposta a adesão microbiana e consequentemente a MIC.

3.2. Características dos gases de proteção

Em seus trabalhos Quites (2002) informa nos processos de soldagem MIG/MAG um dos gases utilizados como forma de proteção da poça de fusão é o Ar. Outros gases como:

- Hélio;
- CO₂;
- O₂;

- Ou um Mix entre CO₂ e O₂.

Como citado anteriormente o gás inerte não interage de forma alguma com a poça de fusão, agindo unicamente como forma de resfriamento da poça de fusão e sua proteção, além de garantir a estabilidade do arco elétrico, uma vez que instabilidades no arco provocam efeitos severos no cordão de solda.

3.3. Efeitos do gás de proteção sobre a geometria do cordão de solda

Tatagiba (2012) em seus estudos sobre os efeitos dos gases de proteção sobre a poça de fusão, informa que o gás utilizado, durante processo de soldagem, para proteção direta da poça de fusão tem como objetivo proteger a mesma dos mais diversos feitos nocivos, como por exemplo, da presença do oxigênio presente na atmosfera ambiente. Estabelece ainda que associado a características do processo e características físico-química dos metais de adição colabora para:

- Qualidade do cordão de solda;
- Produtividade no processo de soldagem dos aços inoxidáveis;

Gases nobres como Ar não apresentam solubilidade estatisticamente significativa no material da poça de fusão. Mas os efeitos oriundos de suas características, físicas, químicas e termodinâmicas, apresentam efeitos nas características do arco como (TATAGIBA *et al.*, 2012):

- Tipos de transferência metálica (Goticular ou Globular);
- Formação de respingos de soldagem;
- **Perdas de elementos químicos;**
- Temperatura da poça de fusão;
- Formação dos defeitos de soldagem (Poros por exemplo);
- Facilidades de execução em diversas posições de soldagem.
- Nos valores de penetração do cordão na chapa;
- Formato do cordão de solda;
- Custos financeiros e econômicos na realização do processo de soldagem.

O último item é particularmente importante para a garantia de competitividade econômica das empresas do setor e os demais para a formação do cordão e consequentemente a adesão microbiana.

3.4. Efeitos oxidantes provocados pelo arco na poça de fusão

Nas indústrias ligadas aos processos de soldagem são utilizados como gases de proteção:

- Ar;
- CO₂;
- He

Esses gases podem ser usados puros ou em uma variedade de misturas e combinações (como Ar + CO₂), dependendo do arame e metal de base a ser utilizado. Procedimentos de soldagem que envolvam o uso de aço inoxidável requerem uma adição extra de O₂, que além de promoverem a estabilidade do arco, colaboram para a formação da camada passiva (IRVING, 1999).

A complexidade termodinâmica e propriedades físico-químicas do gás governam os efeitos do arco de solda e consequentemente as propriedades mecânicas, químicas e físicas que o cordão de solda adquire, conforme Tabela 5.

Os efeitos oriundos do processo de soldagem têm comportamento interativo e desta não podem ser avaliados e estudados separadamente. Essa abordagem necessariamente implica em um estudo simultâneo de variáveis de projeto associadas às variáveis de processo.

Cordões de solda desenvolvidos (projeto) devem ser analisados e estudados quanto ao seu comportamento *in loco* (processo) e desta forma estabelecer-se as macro correlações de como o projeto de um cordão de solda impacta sobre o seu comportamento durante uso no processo (adesão microbiana do leite *in natura*).

Combinações de variáveis de processo e projeto criam uma variedade de combinações de possibilidades de estudo, o que torna o assunto um campo abundante e promissor de estudos.

Tabela 5 - Efeitos gás de proteção

PROPRIEDADES DO GASES DE PROTEÇÃO NO ARCO DE SOLDAGEM			
Efeitos	Químico	Físico	Termodinâmico
	Formação da Camada Passiva e Estabilidade do Arco. (▲)	Energia de Soldagem para a Fusão. (▲)	Modo de Transferência do Metal fundido pelo Arco (▼)

(▲ Aumenta / Atua de forma positiva; ▼ Diminui / Atua de forma negativa)

As propriedades físicas e químicas dos gases como potencial de ionização, condutividade térmica, potencial de oxidação e tensão superficial, entre outras, definem as principais características operacionais do arco de soldagem e as propriedades das soldas. Variações dos parâmetros de soldagem como tensão (V) e corrente (I), entre outros, modifica a geometria do cordão de solda, e são intensamente influenciados pela composição química do gás de proteção (MARQUES, 1998).

3.5. Uso de O₂ nos processos de soldagem MIG/MAG

Uma das mais importantes propriedades químicas do gás de proteção (Ativos) é sua inerente natureza de oxidar-se. A essa capacidade de oxidar um metal durante o processo de produção de solda, recebe o nome de Potencial de Oxidação. Esse potencial tem relação direta com a fração molar desse gás presente no MIX e assim pode assumir maior ou menor valor. Por exemplo, o CO₂ tem um potencial de oxidação estimado em 50% menor do que o potencial de oxidação do O₂, por essa razão Mix de Ar e O₂ são utilizadas na indústria, uma vez que adições de O₂ garantem benefícios operacionais estatisticamente significativos. No entanto, adições de O₂ devem ser controladas e restritas a valores de no máximo 8% na mistura total, de acordo com Lyttle (1990).

Em seu trabalho sobre fundamentos de oxidação, Jardim (2004) declara que a relação de interação dos metais e suas respectivas ligas ao serem expostos a ambientes e condições de atmosfera, sofrem o processo de oxidação, ocorrendo então a transferência e troca de elétrons entre agentes oxidantes e redutores. Nos processos de soldagem a oxidação é acelerada devido

as altas temperaturas (acima de 1000 C, nos aços) envolvidas no processo de fusão provocado pelo arco elétrico e formação da poça.

3.6. Efeitos do O₂ na formação da camada passiva no processo de soldagem MIG/MAG

De acordo com Scotti (2008), o conceito da presença de uma atmosfera oxidante já é conhecido no processo de soldagem e união de ligas, sendo também aplicado na soldagem MIG/MAG dos aços inoxidáveis. O autor descreve que a existência do filme de oxido ou camada passivada, presente entre a superfície do metal a ser soldado e a coluna de plasma do arco elétrico atua como cátodo (+) e é fundamental na emissão de elétrons. Essa camada, que possui ligações químicas mais fracas, emite elétrons a partir da poça e demais regiões do cordão (como a ZAC). Esse processo de oxi-redução que ocorre na soldagem recebe o nome de emissão catódica.

Na soldagem o ânodo (-) encontra-se na região do arco situada entre a coluna de plasma provocada pelo arco e o arame (consumível). As forças que governam o movimento de elétrons é uma força de interação tipo fraca e aliada a uma alta aceleração promovida pelo arco e o anodo (-) os elétrons atravessam a camada de oxido e a removem da superfície do metal.

Modenesi (2009) confirma que nos processos de soldagem de aços inoxidáveis utilizando-se o processo MIG/MAG, a camada de oxido que circundam a poça de fusão são consumidas e assim o arco elétrico torna-se instável e se desvia dessas regiões empobrecida de óxidos e tendem a mover-se para regiões mais ricas em termos de concentração de óxidos (camada passiva) que viabilizem novas emissões de elétrons, produzindo assim uma instabilidade do arco.

Desse modo, para que o processo de auto regeneração da proteção passiva do aço inoxidável, restaure a camada de oxido, um agente oxidante é introduzido na mistura gasosa (que atua como proteção da poça), o elemento O₂.

3.8. Características da poça de fusão

De modo geral a poça é fusão sofre profundas e complexas transformações metalúrgicas durante processo de soldagem. Na Figura 12 tem-se uma representação geral do

processo de soldagem MIG/MAG e seus principais componentes, além do próprio metal de base.

É possível observar (Figura 13) que a poça de fusão não é estática e sim dinâmica, movendo-se durante o processo de soldagem nas direções: “Puxando” ou “Empurrando” (Wainer,1992).

Esse descolamento puxando ou empurrando a poça de fusão efeitos diretos na penetração do cordão e geometria do mesmo. Essa influência é condição *sine qua non* para a realização do processo de soldagem em chapas finas.

Cordões produzidos nas posições puxando a poça produzem cordões de solda com maior penetração e consequentemente corre-se o risco de furar a chapa.

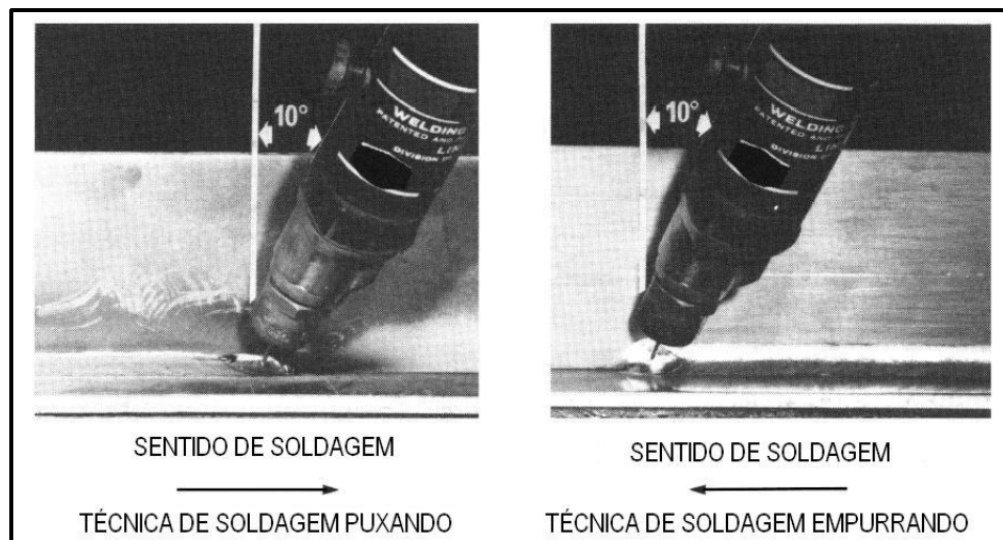


Figura 12 - Posições de soldagem (FORTES, 2004)

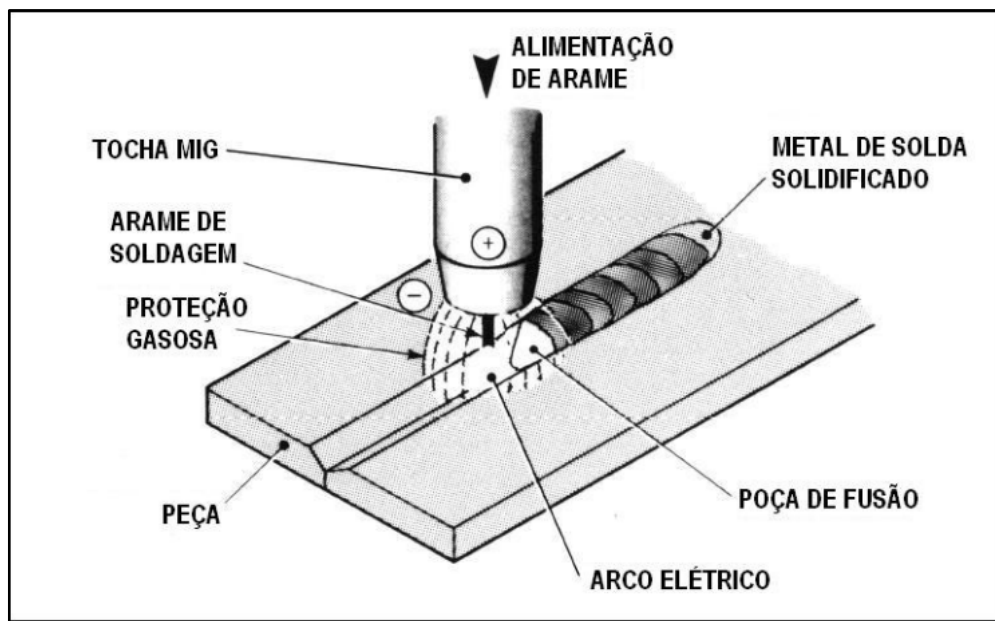


Figura 13 - Representação esquemática do processo MIG/MAG (FORTES,2004)

É importante destacar que a composição e proporção de gases é preservada pela presença do bocal, protegendo não só consumível, mas também a própria poça ao direcionar a proteção gasosa diretamente sob a poça de fusão (Wu, 2002).

3.9. Energia de soldagem e balanço de energia

Em um balanço de energia simples (Equação 2) o fluxo de calor fornecido pelo arco pode ser descrito matematicamente como:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{\text{Inicio da Soldagem}}^{\text{Fim da Soldagem}} \text{Energia produzida pelo arco} \\
 = & \sum_{\text{Inicio da Formação do Cordão}}^{\text{Fim da Formação do Cordão}} \text{Energia de formação do cordão} \\
 + & \sum_{\text{Inicio do Processo de Soldagem}}^{\text{Fim do processo de Soldagem}} \text{Energia dissipada para o ambiente}
 \end{aligned}$$

Equação 2 – Balanço de Energia

Existe uma relação direta entre o processo de soldagem e a energia de soldagem (E), pois o valor (E) define a quantidade de energia fornecida a chapa/peça por unidade de comprimento (cm). Matematicamente (Equação 3) a energia de soldagem (E) pode ser expressa por:

$$E \left(\frac{J}{mm} \right) = \eta (\%) \frac{Tensão\ Soldagem\ (V) * Corrente\ de\ Soldagem\ (A)}{Velocidade\ de\ Soldagem\ \left(\frac{mm}{s} \right)}$$

Equação 3– Energia de soldagem

Onde:

η ----- Eficiência Térmica do processo de soldagem.

Destacando-se que apenas o arco elétrico é a única fonte de calor e consequentemente o único responsável pela energia (E).

Machado (1996) afirma que existe uma relação direta entre o valor de corrente elétrica (I), a taxa de consumo de arame (m/s), penetração do cordão na chapa e a energia de soldagem (E).

4.0. Efeito da energia de soldagem imposta e energia associada ao tamanho do grão metalúrgico

Aporte de energia de soldagem e taxas de resfriamento colaboram para a formação de regiões no metal soldado produzindo grãos maiores ou menores, sendo estes proporcionais ao calor imposto pelo processo de soldagem, assim, é de se esperar que certas regiões possuam maiores ou menores níveis de energia associada (MELLO *et al.*, 1992).

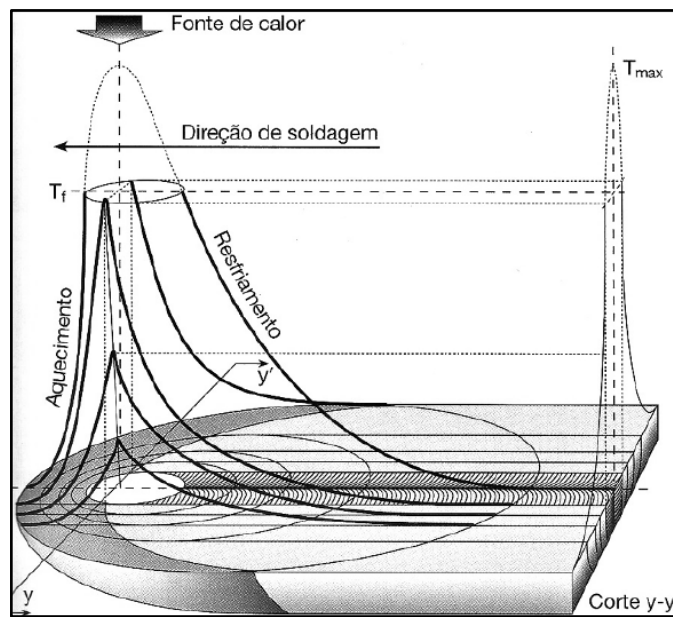


Figura 14 - Isotermas do processo de soldagem na poça de fusão e ZAC (Copaert, 2008 adaptado Soares, 2011)

Copaert (2008) apresenta na Figura 14 as isotermas de temperatura presentes durante a fase de formação da poça, desenvolvimento do cordão de solda e finalização do cordão, conforme o processo de soldagem ocorre.

A medida que o cordão de solda se forma, ocorre o resfriamento da parte posterior da poça produzindo grãos metalúrgicos maiores ou de menores dimensões de acordo com essa taxa (gradiente).

Se a região do contorno de grão depende basicamente desse evento, então quanto menor o grão metalúrgico, maiores os índices de energia e potenciais de reação química nessa região.

4.1. A poça de fusão e os ciclos térmicos associados

Soares (2011) apresenta em sua dissertação de mestrado os ciclos térmicos associados a cada uma das regiões do cordão de solda (Figura 15). São elas:

- Zona Fundida;
- Zona Termicamente Afetada;

- Metal de Base.

Cada uma dessas regiões está sujeita a ciclos térmicos diferentes e taxas de resfriamento diferenciadas, ocasionando assim efeitos diferenciados na metalurgia da solda.

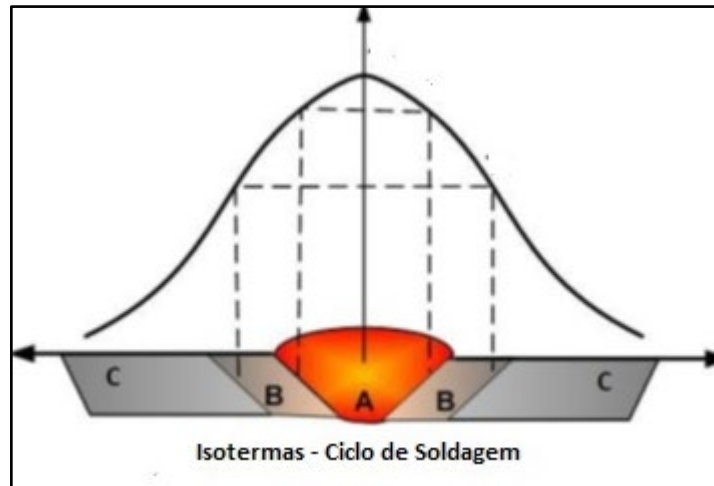


Figura 15 – Temperaturas de pico no processo de soldagem (Soares,2011)

É importante destacar que a temperatura de pico ou seja temperatura máxima que o cordão de atinge encontra-se no centro da poça de fusão e a taxa de resfriamento no sentido de A para C.

4.2. Ciclos térmicos no processo de soldagem e metalurgia dos grãos

Colpaert (2008) na Figura 16 demonstra as relações entre aquecimento, taxa de resfriamento e a estrutura metalúrgica formada em cada região do cordão de solda. Cabe destaque o tipo de grãos metalúrgicos formados na zona fundida e após linha de fusão.

Na região transformada com temperatura mais altas (da ordem de 1400 °C) verificamos a presença de grãos de granulação grosseira, com suas respectivas dimensões e energias associadas ao contorno de grão e seus diferentes tamanhos. Quando comparadas de forma relativa as regiões de temperatura mais baixas (da ordem de 1000 °C) apresentam uma região transformada com a presença de uma granulação mais fina.

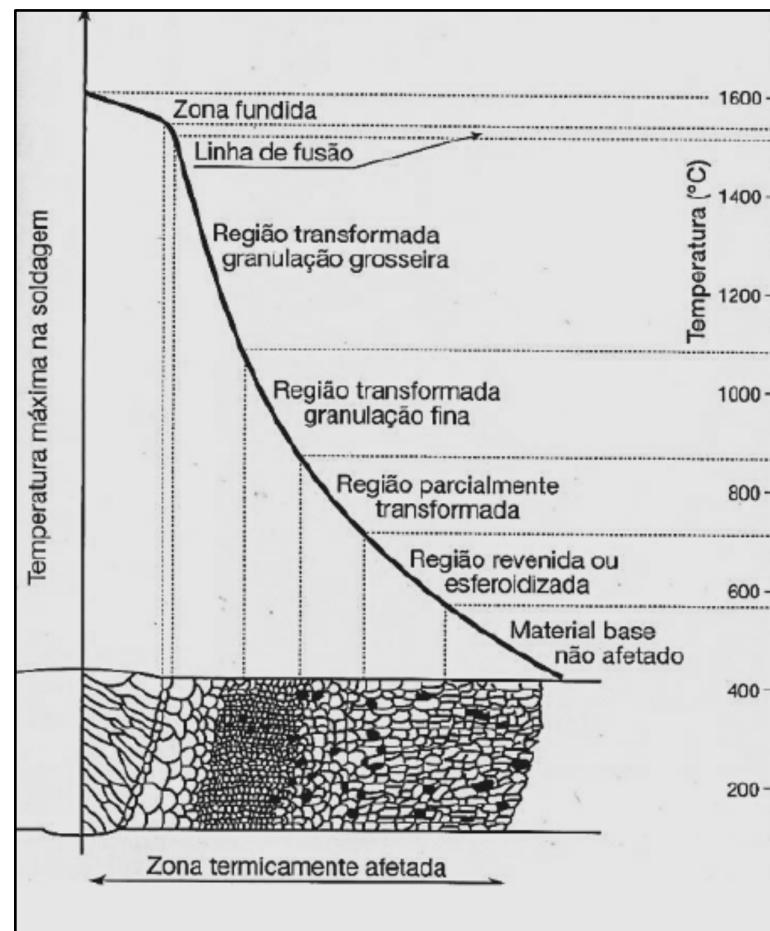


Figura 16 – Temperaturas de pico e tamanhos de grãos metalúrgicos (Colpaert, 2008 adaptado)

4.3. Defeitos de soldagem: Mordeduras

Durante o processo de soldagem, defeitos e discontinuidades podem surgir nas mais diversas peças fabricadas. Entre eles, a mordedura e que de acordo com FORTES (2004) é um defeito característico que surge ao longo das laterais do cordão de solda. Surge devido a parâmetros de soldagem incorretos e não padronizados. São eles:

- Velocidade de soldagem excessiva;
- Corrente excessiva.

Esse defeito é de particular importância uma vez que pode tornar-se um ponto crítico de contaminação microbiológica. Além disso devido a própria geometria do defeito, colabora

para o acúmulo de matéria orgânica tornando-se um ponto preferencial para adesão microbiana (Figura 17).

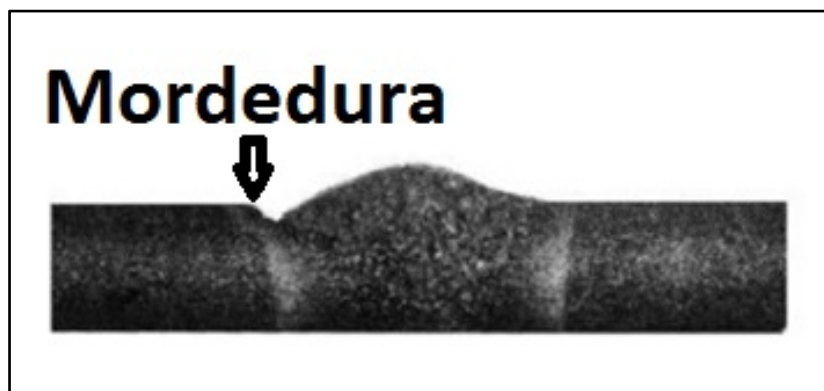


Figura 17 - Mordedura cordão de solda (FORTES, 2004)

Outros defeitos como poros, trincas e a própria rugosidade do cordão podem contribuir de forma direta para a adesão microbiana e formação do biofilme microbiano. E uma vez iniciado o processo de adesão e colonização na mordedura, por exemplo, inicia-se automaticamente o processo de MIC.

Essas é uma das razões para que o projeto de tanques e tubulações levem em consideração a formação desses defeitos e sua relação com a MIC, uma vez que cavidades mínimas e mordeduras com apenas décimos de milímetros podem se tornar pontos de adesão.

4.4. A raiz e o reforço de raiz em processos de soldagem

Macedo *et al.* (1980) em seu trabalho sobre purga em raiz de juntas de aços autênticos afirma que em processos de soldagem a proteção gasosa mais utilizada para proteger a raiz da solda é o nitrogênio ou misturas contendo nitrogênio e hidrogênio. Resultados obtidos demonstraram que essa opção apresenta como vantagens dois aspectos, fatores econômicos e técnicos, uma vez que o custo desses gases é inferior ao gás Ar tradicionalmente utilizado.

No entanto o autor informa que não estão disponíveis na literatura relatos sobre o comportamento que ocorre na raiz da solda ao utilizar-se nitrogênio (reativo com a poça de fusão) como gás de purga em aços austeníticos. Efeitos como a microestrutura formada, susceptibilidade ao trincamento e resistência a corrosão.

Odegard (1995) afirma que em casos, onde a proteção gasosa de raiz ou gás de purga (*Backing Gas*) é ausente ou ineficiente, ocorre danos severos as propriedades de resistência a corrosão, especialmente a corrosão por PIT.

Além disso, o autor cita, diversas falhas foram detectadas em equipamentos onde a purga não foi adequada para a proteção da raiz, como:

- Formação de óxidos superficiais pouco protetores, que induzem a corrosão na ZAC;
- Contaminação da poça de fusão com a retenção de óxidos causadores da corrosão por pites;

A literatura técnica cita diversos estudos e recomendações de usos de gases de purga ou mistura de gases, entre:

- Argônio, amplamente utilizado;
- Nitrogênio + Hidrogênio;
- Hélio

É sabido a importância de se proteger a raiz de juntas soldadas em aços inox, uma vez que essas ficam expostas e em contato direto com a interface do fluido. Estabelecer uma correlação direta entre o tipo de proteção gasosa com um único gás ou mistura de gases sobre impactos gerados na poça de fusão e ZAC permitirá relacionar a proteção com gás de purga e a formação dos principais defeitos de soldagem STENBACKA (1995).

4.5. Proteção de reforço de raiz e formação de Pites

Macedo *et al.* (1980), em seus trabalhos de investigação sobre efeito do gás de purga e correlações com defeitos na raiz da solda, utilizando chapas de aço inoxidável AISI 316 de 1/8 de espessura e Ar puro como gás de proteção da raiz, demonstraram a formação de pites em áreas preferenciais da solda, utilizando o processo MIG/MAG com gás de proteção da poça ($\text{Ar} + 2\text{CO}_2 + 1 \text{H}_2$) na vazão de 15l/min (Figura 18, Tabela 6 e Tabela 7).

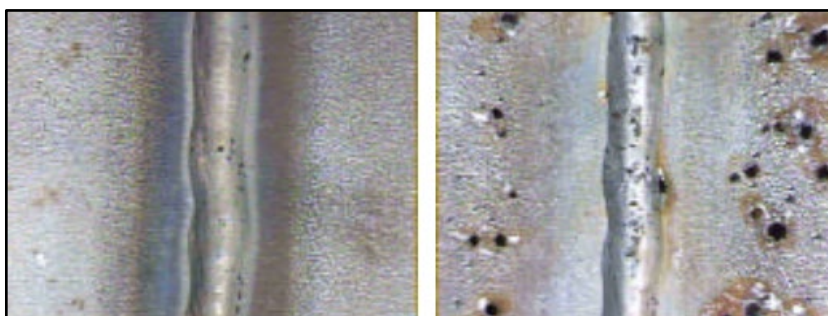


Figura 18 - Efeito Ar puro como gás de purga. Imagem a esquerda com a presença do gás Ar e Imagem a direita sem a presença do gás Ar (Macedo *et al.*;1980).

É possível verificar a concentração dos pites formados tanto na região de ZAC quanto na interface ZAC e do metal de base, conforme Figura 18.

Tabela 6 - Parâmetros de soldagem (Macedo *et al.*,1980).

Corpo de prova 1	Gás de purga	Corrente (A)	Tensão (V)	Vel. arame (m/min.)	Aporte de calor (kJ/mm)
01	Argônio	87	18	5,1	0,3

Tabela 7 - Resultados de macro e micrográfica (Macedo *et al.*,1980).

Mistura de purga	Limpeza da raiz	Tamanho / distribuição de ferrita delta	Descontinuidades	Sensitização
Ar	Boa	Fina e uniformemente distribuída.	Não	Não

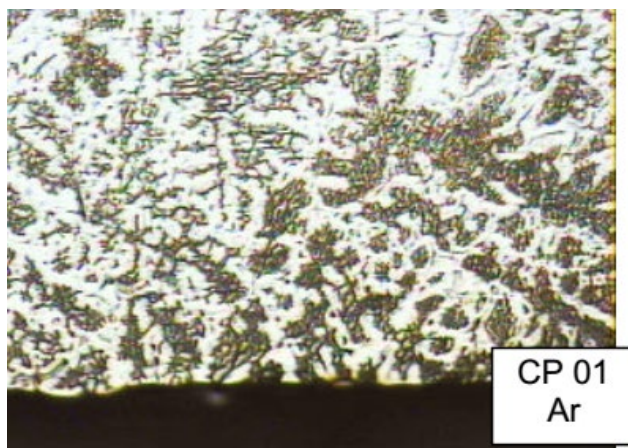


Figura 19 - Aspecto metalográfico do metal de solda na raiz (Macedo et al.,1980)

4.6. O modelo de coeficiente de partição para soldagem

FERREIRA (1986) em seus trabalhos de imobilização celular afirma que a estrutura cinética de reação bioquímica envolvendo células imobilizadas em matrizes (biofilme) pode ser atribuída em parte a mudanças nas concentrações das espécies químicas e a efeitos locais.

Assim, o desenvolvimento de um modelo teórico de transferência de massa no biofilme baseado nas equações de estado é de suma importância para o entendimento da formação do filme microbiano e consequentemente a MIC.

De modo geral, os efeitos que governam o fenômeno de transferência de massa no biofilme microbiano são: o efeito de partição e o efeito difusional. Definindo-se então:

- Efeito de partição: Relacionado ao equilíbrio de fases entre o biofilme (contendo microrganismos imobilizados) e o fluido adjacente portador de espécies químicas diversas, como substratos e enzimas;
- Efeito difusional: Está relacionado ao grau de fenômeno de transporte de matéria pelas espécies químicas até atingir ou abandonar os centros ativos (microrganismos) na região interior do biofilme.

A primeira consideração importante a ser feita, baseada no fato que o efeito de partição aparece devido a uma distribuição desigual da concentração de solutos na superfície

de contato entre o filme microbiano e o fluido adjacente, é que ele esteja relacionado de forma íntima com a mecânica dos fluidos.

Assim, o modelo começa a assumir suas configurações que relacionem transferência de massa e atividade microbiológica, uma vez que Torres (2001) estabelece uma correlação entre a taxa de adesão microbiana e a velocidade do fluido em cupons de prova para ensaios de corrosão.

Admitindo-se que o limite de controle seja a superfície do cordão de solda e o biofilme microbiano e esteja em situação de equilíbrio termodinâmico e químico, é possível estabelecer que o coeficiente de partição da solda é uma razão entre: A concentração da espécie química ($C_{\text{enzimas no fluido}}$) e a concentração da espécie química no interior do biofilme ($C_{\text{enzimas no fluido}}$).

Onde admite-se que $C_{\text{enzimas no fluido}}$ é a mesma que atinge a camada limite na superfície passivada dos aços inoxidáveis. Identificando-se o valor de $C_{\text{enzimas no fluido}}$ para o biofilme em questão (Figura 20), importantes interações física, químicas, microbiológicas e metalúrgicas com a MIC, podem ser explicadas (HANDRIKOVÁ, 1996).

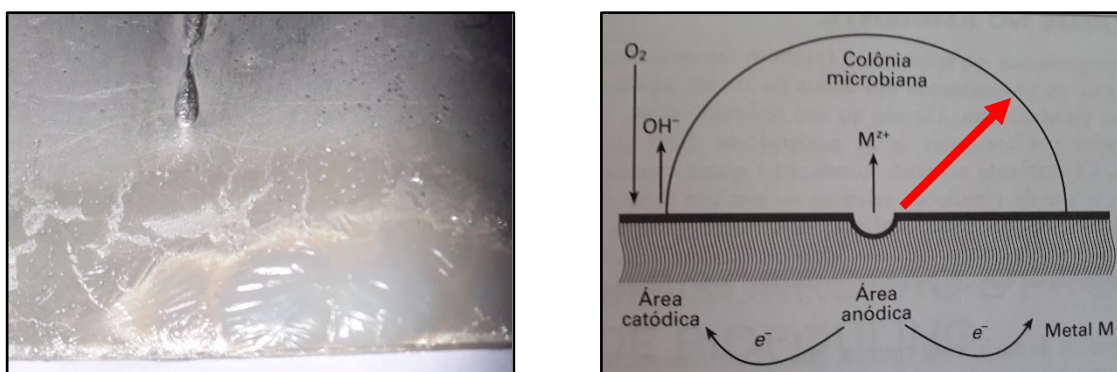


Figura 20 - Formação de biofilme na solda (autor) e representação de biofilme microbiano e modelo de célula de corrosão diferencial (Vilela ,2003)

Admitindo-se ainda que o biofilme tenha o formato de uma meia esfera de área infinita com diâmetro de $2R$ é razoável supor que o fluxo de transporte de massa seja unidirecional na direção R , o que resulta em um modelo Difusional / Reacional para balanço de massa para o biofilme em estudo e com um fator de forma (G) =2 para esfera de área infinita, temos o seguinte modelo apresentado pela equação 7 e adaptada do modelo de Ferreira (1986).

$$\alpha = \frac{[Eenzimas\ no\ fluido]}{[Cenzimas\ no\ Biofilme]}$$

Equação 1- Relação entre concentrações

$$\beta = \frac{r\ (Posição\ da\ Especia\ quimica\ E\ no\ biofilme)}{R\ (Raio\ do\ Biofilme)}$$

Equação 2- Posição de concentrações

$$\Phi\ (modulo\ de\ Thiele) = \sqrt{\frac{R^2 * r(Cenzimas)}{Def\ (Coef\ dif.) * [Eenzimas]}}$$

Equação 3 - Modulo de *Thiele*

$$r\alpha = \frac{r_1[Eenzimas\ no\ fluido]}{r_2[Cenzimas\ no\ Biofilme]}$$

Equação 4 - Razão de concentrações

$$\frac{d^2 \alpha}{d\beta^2} + \frac{G-1}{\beta} \frac{d\alpha}{d\beta} = \Phi^2 r\alpha$$

Equação 5 - Modelo de transferência e difusão

Essa modelagem matemática (Equação 3, Equação 4, Equação 5, Equação 6 e Equação 7) do coeficiente de partição para a soldagem (CPS) permitirá compreender com as espécies químicas, enzimas e compostos metabólicos produzidos pela colônia de microrganismos presentes no biofilme microbiano chegam até a interface do metal soldado, ZAC e metal de base. Essa relação é importante para compreensão de como a camada passivadora reage a concentração desses metabolitos e enzimas que garantem a viabilidade celular do biofilme e atuam sobre o processo de corrosão induzida microbiologicamente.

De posse de dados de concentração e mensuração desses valores em cada posição ao longo do biofilme, é possível estimar o perfil de transporte de massa ao longo de toda a matéria orgânica aderida, podendo-se assim projetar soldas com taxas maiores ou menores de diluição e parâmetros que garantam a integridade da camada passivadora dos aços inox.

Essa importante interação de materiais metálicos, processos de soldagem, parâmetros de soldagem como aporte de energia de Soldagem estabeleceram parâmetros e informações para projetos de soldagem e confecção de tanques de retenção e acondicionamento mais seguros e sujeitos a adesão microbiana.

Isso garantira padrões de qualidade e segurança alimentar nos produtos que entram em contato direto com as paredes de tanques de aço inoxidável e tubulações que transportam esses mesmos fluidos e que também são considerados pontos de contaminação, pois também retêm matéria orgânica que contribui para a adesão, formação de biofilme microbiano e consequentemente a MIC.

4.7. A correlação entre processo de corrosão microbiológica e energia de soldagem

A literatura técnica da engenharia de soldagem e em processos de corrosão já identificaram o processo de formação de PIT (processo de corrosão) ocorre em áreas específicas e preferenciais do cordão de solda (ZTA). E isso ocorre em diversos processos de fabricação da indústria (GENTIL 2003). E a literatura microbiológica já identificou a correlação entre a formação de Biofilme Microbiano e a MIC (Morton 1994), bem como a adesão microbiana (BEECH; GAYLARDE, 1999) e (BORENSTEIN, 1994).

No entanto, a relação entre o aporte de energia de soldagem e a adesão inicial de microrganismos (Figura 21) sobre superfícies metálicas não está bem estabelecida na literatura (BORENSTEIN, 1994) e inúmeros fatores como:

1. Tamanho do grão metalúrgico;
2. Densidade do grão metalúrgico;
3. Energia no contorno de grãos;
4. Efeitos do teor de elementos de liga no material depositado;
5. Efeitos dos elementos de liga no reforço do cordão de solda.

São fatores que poderiam justificar a correlação entre a adesão microbiana, formação de biofilme e é claro a fase inicial de formação do processo de MIC. A proposta desta irá explorar a correlação entre os fatores: adesão inicial e energia de soldagem.

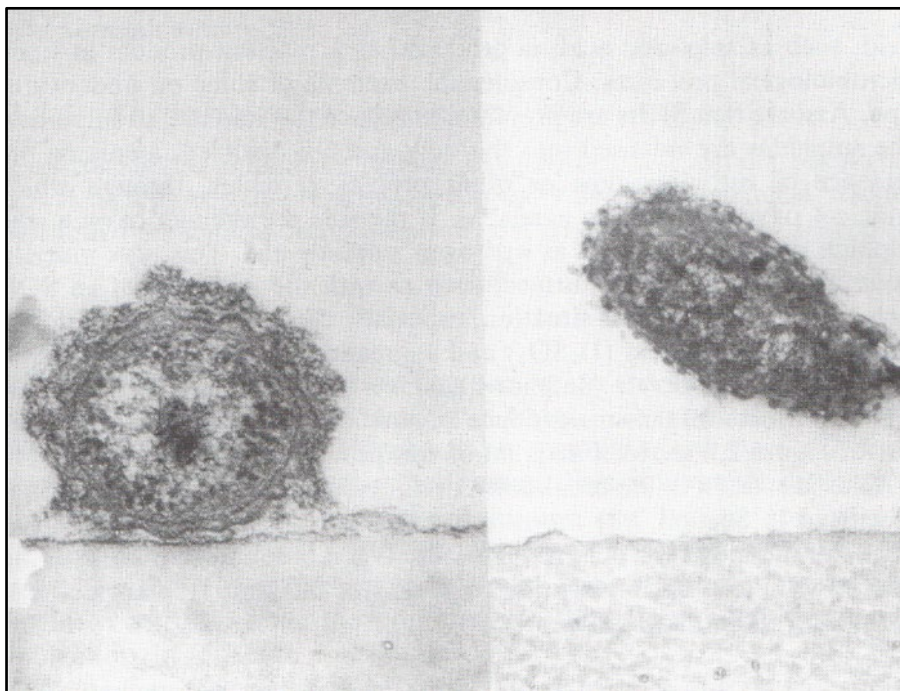


Figura 21- Adesão microbiana Inicial (BORENSTEIN, 1994)

Na Figura 22 e Figura 23 são apresentados os modelos de corrosão em aços inoxidáveis e nas regiões de formação do cordão de solda.



Figura 22 - Corrosão ZAC (Gentil, 2003)



Figura 23- Corrosão PIT na ZAC (Gentil, 2003)

4.8. A modelagem matemática via software Scilab 6.0

De acordo com Bassanezi (1997), a principal característica de um modelo matemático bem posto, deve apresentar:

- Conjunto de símbolos;
- Relações matemáticas que descrevam o fenômeno a ser compreendido.

Desta forma um modelo matemático transferência de massa será proposto e resolvido pelo método de colocação ortogonal visando a obtenção de perfil de transferência de massa entre a interface do fluido (leite) e a superfície do cordão de solda.

Esse perfil será avaliado, comparando-se com modelos obtidos na literatura e inserindo-se as condições de contorno adequada. Para a simulação será usado o *Software Scilab 6.0* conforme Figura 24.

Os resultados obtidos serão publicados em revista técnica específica da área de Engenharia de Soldagem. Sugestões de trabalhos futuros e investigações buscando identificar novas correlações que serão propostas nos capítulos finais desta tese.

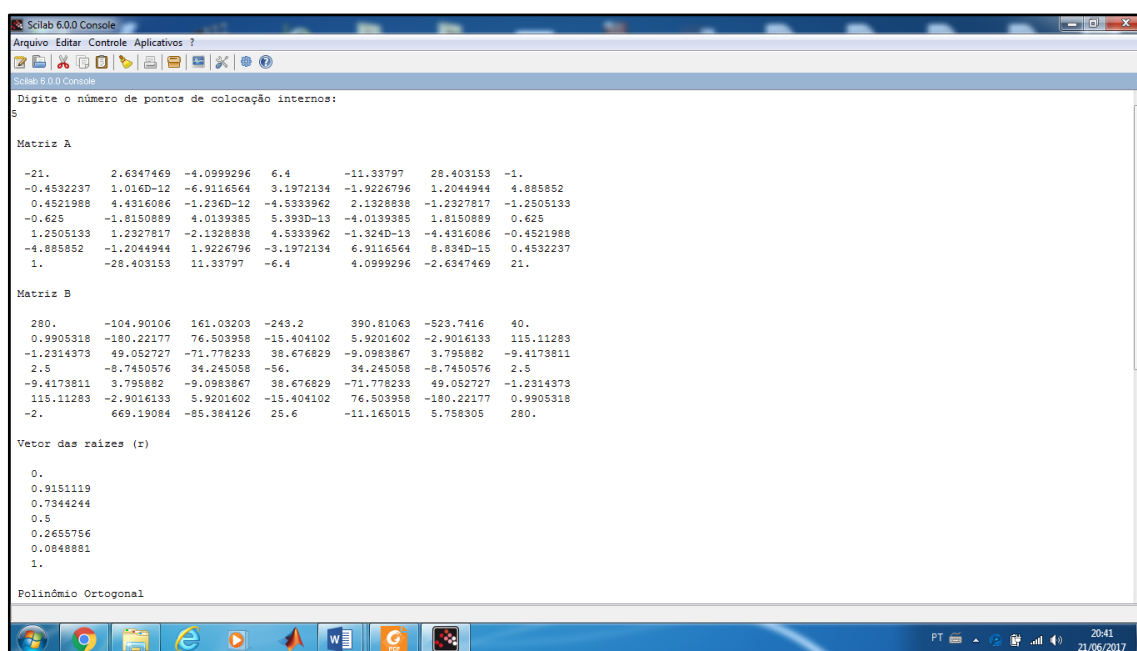


Figura 24 - Prompt *Scilab 6.0*

A Figura 24 apresenta o Prompt de comandos do Scilab 6.0 com interface simples e de fácil operação, o Scilab 6.0 será uma poderosa ferramenta para a resolução do modelo matemático proposto a partir das Equações de Estado.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Visão Geral Metodológica

Os trabalhos foram iniciados com a preparação dos corpos, limpos e retiradas as arestas, carepas, óleos e graxas, para posterior deposição dos cordões de solda com o arame consumível ER 309L. Serão utilizadas chapas certificadas de aço inoxidável AISI 304 e cortadas em dimensões específicas que posteriormente serão detalhadas.

Uma análise estatística irá identificar o envelope de trabalho e a região experimental mais adequada para a realização dos testes preliminares. Nessa fase, parâmetros como:

- Vazão do gás de proteção;
- Velocidade de soldagem;
- Velocidade de alimentação do arame.

Cordões de solda serão depositados pelo processo MIG convencional com 4 variações de níveis de energia de soldagem. Parâmetros serão avaliados visando obter-se geometria adequada do cordão de solda, bem como manter uma taxa de deposição constante.

Para isso será mantida uma relação constante entre velocidade de alimentação do arame e velocidade de soldagem (K). Essa abordagem visa manter um aporte de energia e consequentemente uma energia de soldagem homogênea.

Após a realização dos cordões de solda, os mesmos, serão levados até a unidade industrial de processamento de leite, localizada no noroeste do estado do mato grosso, no município de Castanheira, conforme mapa do estado presente na Figura26.

Após tratamento de decapagem, limpos e esterilizados serão introduzidos em tanque de recebimento de leite in natura e permaneceram submersos por um período de tempo para a adesão inicial.

As células aderidas serão quantificadas e tabuladas, visando assim estabelecer uma correlação entre áreas do cordão de solda e adesão microbiana.

Ensaio com o Ferroxil serão realizados em todos os corpos de prova, visando identificar áreas onde a passivação do aço inoxidável não ocorrerá de forma adequada.



Figura 26 - Localização do laticínio / MT (Autor do desenho do mapa é desconhecido)

Os corpos de prova serão embutidos em resina epóxi visando à preparação para realização dos ensaios de macrografias visando estimar as dimensões de ação da ZAC em cada corpo de prova e para cada nível de energia de soldagem (Figura 27).



Figura 27 - Imobilização em resina



Figura 28 - Imobilização em resina

A posição de fixação dos corpos de prova permitirá que através de uma inspeção visual possa se comparar simultaneamente as dimensões do reforço em todos os corpos de prova e assim relacionar de forma direta energia de soldagem e formação do reforço, tamanho da ZAC e dimensões do reforço, conforme Figura 28.

A matriz de resina epóxi que fixa os corpos de prova será lixada e os corpos de prova atacados com solução Vilela para a visualização da ZTA, conforme metodologia proposta na literatura técnica.

Após obtenção dos dados experimentais, os mesmos serão graficados e tabulados visando a confirmação da existência ou não de correlações.

Com a aquisição dos dados gerais qualitativos e quantitativos, os mesmos serão tabulados e graficados, visando identificar as possíveis correlações entre:

- Energia de soldagem;
- Área da ZAC;
- Aporte de calor;
- ADPS (Área de adesão preferencial na solda)

Foram realizadas intensas buscas na literatura técnica para embasar as conclusões do presente trabalho de tese, estabelecendo assim proposta de correlações entre a energia de

soldagem, adesão microbiana, formação de biofilme e consequentemente a corrosão induzida microbiologicamente.

3.2. Preparo e recebimento dos materiais para preparação dos corpos de prova

As chapas de aço inoxidável AISI 304 certificadas (Figura 28) foram obtidas por doação (Resíduos de processo produtivo Industrial – Fabricação de Dutos) nas seguintes dimensões: **300mm** comprimento x **67 mm** de largura x **1,8 mm** de espessura. Com o objetivo de máximar o número de peças que serão utilizadas e que posteriormente serão usadas para a realização dos ensaios de soldagem propostos, as chapas foram cortadas em equipamento industrial (Figura 02) nas dimensões: **150 mm** comprimento x **67 mm** de largura.

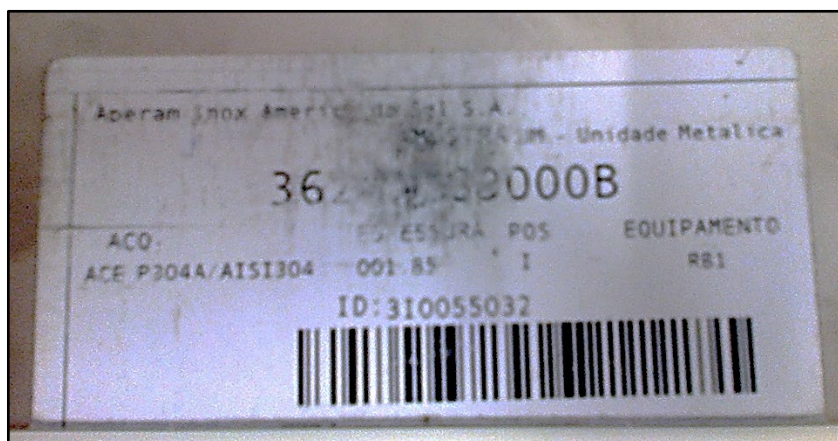


Figura 25 - Certificação chapa aço inoxidável AISI 304 obtidas por doação

No processo de serragem dos corpos de prova, utilizou-se Morsa e Sargento para fixação correta das chapas, visando minimizar vibrações e assim evitar possíveis quebras da fita da Serra e ou danificar os corpos de prova. Utilizou-se lubrificação constante durante todo o processo para melhor desempenho do corte e resfriamento da serra.

Procurou-se otimizar o tempo e a padronização dos corpos de prova, serrando todos ao mesmo tempo, conforme pode ser observado na Figura 29. Em seguida os corpos de prova tiveram suas laterais lixadas para a retirada de rebarbas e reentrâncias evitando-se assim que eventuais acidentes com corte pudessem ocorrer e além disso garantir perfeito encaixe na

gabaritagem das chapas na mesa de soldagem durante o processo de execução dos ensaios experimentais de soldagem.



Figura 26 - Processo de serragem dos corpos de prova

Foram retiradas as impurezas como carepas, óleos, graxas e possíveis camadas de óxidos formadas nas superfícies dos corpos de prova. Após esses procedimentos os corpos de prova estavam prontos para a execução do processo e depósito do cordão.

3.3. Preparação da mesa de soldagem, gabarito e execução do processo de soldagem

Após seleção da mesa coordenada XY, um gabarito previamente preparado e pronto para a fixação das chapas foi utilizado para evitar-se possíveis distorções e ou deformações oriundas do aporte térmico imposto nas chapas, conforme Figura 30.

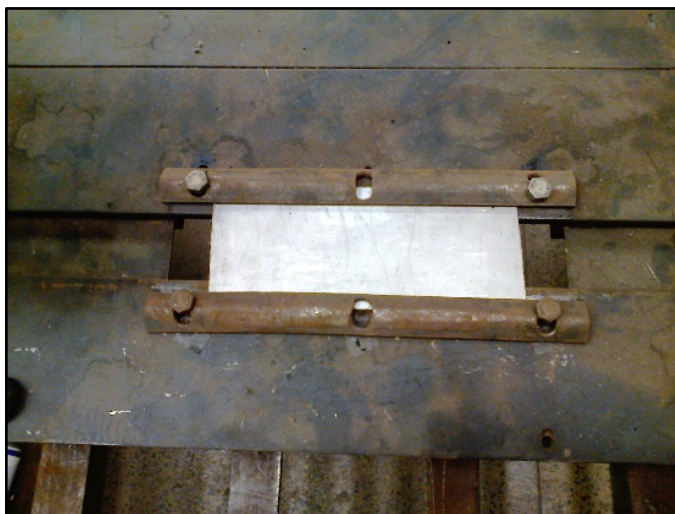


Figura 27 - Corpo de prova gabaritado e pronto para a execução do processo de Solda

Com o corpo de prova gabaritado a ação de troca entre as chapas foi facilitada e o comprimento médio dos cordões de solda foram mantidos praticamente constantes durante processo de deposição do arame.

Em seguida procedeu-se a preparação dos acessórios intrínsecos a fonte de soldagem, como por exemplo, carretel alimentador de arame, de acordo com Figura 31.

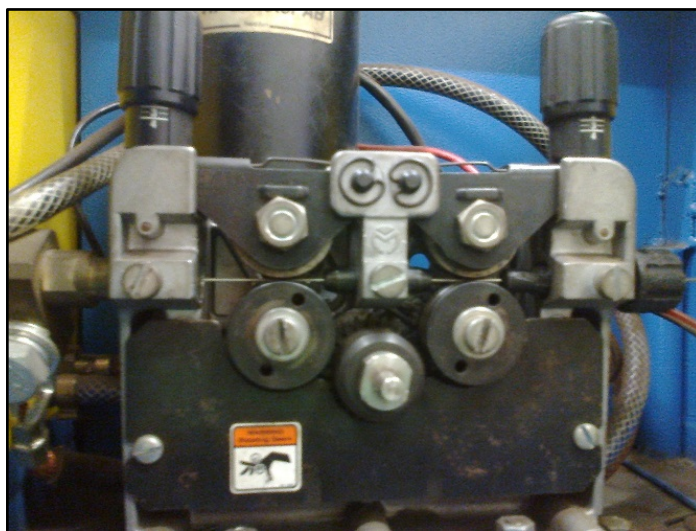


Figura 28 - Alimentador de arame.

Embora pareça trivial, cabe destacar a importância da correta “pressão” exercida nos roletes do alimentador (Figura 31). Pressão excessiva risco de deformar o consumível e

pressão insuficiente risco de derrapagem do arame durante processo de alimentação, podendo nessa situação perde-se o corpo de prova já previamente preparado e em número limitado.

Para a realização dos ensaios propostos foi utilizado o arame AWS ER 309L com diâmetro (Bitola) de 1,0mm, sendo esse o material disponível no laboratório para a realização dos testes. Para a previsão da microestrutura formada foi utilizado o *Software Free* diagrama de *Schaeffler*. A fonte de soldagem utilizada no desenvolvimento dos ensaios foi o Modelo IMC STA 20. Na Figura 32 pode-se notar que os cabos da Tocha de soldagem encontram-se prontos para a realização dos ensaios, com as mangueiras de gás de proteção e de água para refrigeração da tocha devidamente conectas em seus respectivos plugs de encaixe rápido, localizados na parte posterior da fonte de soldagem, conforme Figura 7.

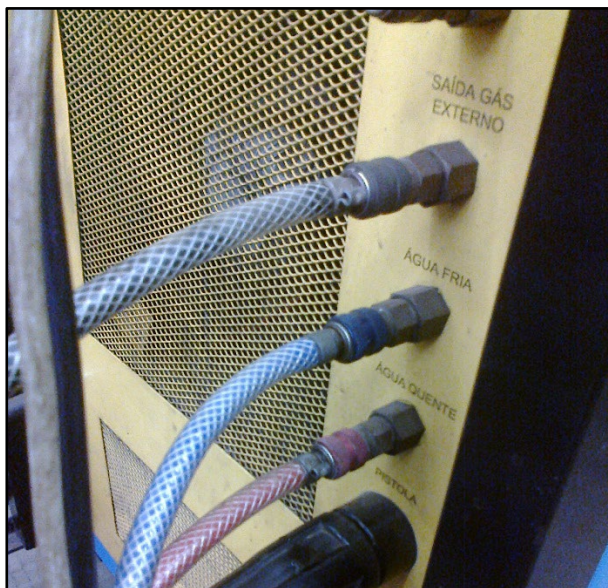


Figura 29 - Plugs de encaixe rápido para alimentação do gás de proteção e água para resfriamento da tocha

Como o objetivo do trabalho de tese consiste em explicar o fenômeno de Adesão e Formação de Biofilme, bem como a possível indução da corrosão microbiológica em áreas preferenciais, foi montado um sistema de aquisição de dados de Corrente (I) e Tensão (V) durante a execução do cordão, conforme Figura 33 e Figura 34 identificando o Sensor *Hall* utilizado.



Figura 30 - Equipamento para captação de sinais de I e V



Figura 31 - Sensor Hall instado para aquisição de sinais Corrente (I) e Tensão (V)

Importante destacar o uso do gás de purga para a proteção do reforço de raiz, durante processo de soldagem, uma vez que o corpo de prova tem uma rápida formação de camada passivadora (Óxido de Cromo). Para a realização desse procedimento específico foi utilizado o gás Ar, com vazão de 0,5 L/ min.

Com a utilização de um gabarito foi estabelecida a DBCP (distancia bico de contato peça) mais adequada nesse experimento. O Valor utilizado foi uma DBCP de 13mm conforme Figura 35. O uso do gabarito agilizou o processo de início das soldas a cada troca dos corpos de prova.



Figura 32 - Determinação do parâmetro DBCP com uso de gabarito para o processo de soldagem

A calibração da velocidade de alimentação do arame foi realizada medindo-se o tempo gasto para que o consumível percorresse o comprimento conhecido de um fino tubo metálico. Realizou-se três medições para cada uma das quatro velocidades utilizadas nos ensaios para Cálculo da energia de soldagem.

A calibração da velocidade de soldagem realizada nas mesas coordenadas XY foi realizada posicionando a ponta do consumível sob o ponto zero de uma escala metálica, em seguida acionou-se a mesa coordenada e no momento que a ponta do consumível atingia o fim da escala graduada cessava-se seu movimento.

Com um cronometro verificou-se o tempo gasto para percorrer toda a extensão da escala graduada. De posse da distância percorrida e o tempo gasto, usou o conceito físico de velocidade, dividindo-se o espaço percorrido por seus respectivos tempos gastos (Figura 36)

Foram realizadas três medições consecutivas e calculadas suas medias simples para o cálculo de Energia.



Figura 33 - Calibração da Mesa Coordenada

- 3.4. Cálculo da constante K para garantia de aporte de calor simétrico em todos os corpos de prova.

Para os ensaios propostos é necessário que cada um dos 4 corpos de prova receba praticamente a mesma quantidade de energia de soldagem. Para que isso aconteça é necessário que se mantenha constante a relação entre velocidade de alimentação do arame e velocidade de soldagem, conforme Equação 8. Obtém-se uma relação adimensional e que garantirá o aporte adequado na execução dos corpos de prova.

$$K = \frac{\text{Velocidade de Alimentação do Arame}}{\text{Velocidade de Soldagem}}$$

Equação 6 – Cálculo da constante K

3.5. Investigação e Determinação da área experimental a ser explorada via Algoritmo de *Snee*

É sabido que os parâmetros variáveis do processo soldagem, como:

- Velocidade de alimentação do arame;
- Velocidade de soldagem;
- Vazão de gás de proteção;
- Tensão de soldagem;
- Corrente de soldagem;

São classificados como fundamentais para uma adequada execução dos corpos de prova, para obter esse objetivo utilizou-se do algoritmo de *Piepel* e *Snee* para determinar os valores numéricos prováveis de velocidade de alimentação do arame e velocidade de soldagem para início dos testes.

Todo processo tem seus níveis superiores de controle e níveis inferiores de controle e eles são fundamentais para a obtenção de CP_{processo} adequado.

Para esses ensaios, estabeleceu-se as seguintes equações de restrições matemáticas:

$$2,0 \text{ mm/s} < \text{Velocidade de Soldagem (A)} < 10,00 \text{ mm/s}$$

Equação 7 - Restrição: Velocidade de soldagem

$$20,0 \text{ mm/s} < \text{Velocidade de Alimentação (B)} < 100,0 \text{ mm/s}$$

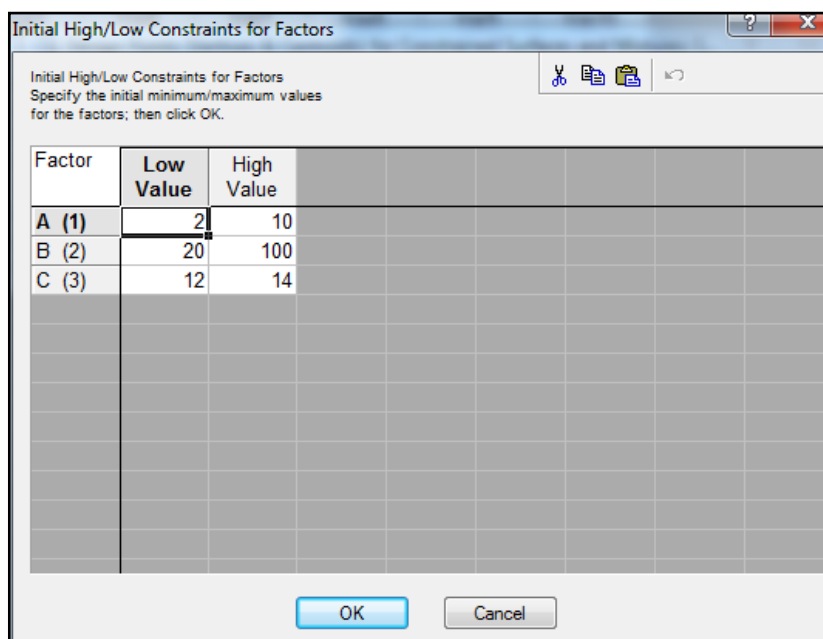
Equação 8 - Restrição: Velocidade de alimentação

$$10 \text{ L/min} < \text{Vazão (C)} < 14 \text{ L/min}$$

Equação 9 - Restrição: Vazão de gás

Com as restrições matemáticas definidas (Equação 9, Equação 10 e Equação 11), inseriu-se no *Software Statistica 12*[®] os respectivos valores de máximo e mínimo dos parâmetros impostos pelas restrições, consideradas fundamentais, para o cálculo da energia de soldagem imposta (velocidades e vazão).

Na Figura 37 esses valores numéricos de máximos e mínimos, de velocidade de soldagem e velocidade de alimentação do arame, estão indicados e também a vazão gasosa.



Factor	Low Value	High Value
A (1)	2	10
B (2)	20	100
C (3)	12	14

Figura 34 - Tela para inserção dos valores no *Software Statistica 12*®

Procedeu-se a inserção coeficientes das equações de restrição para análise do algoritmo de *Snee*, conforme Figura 38. Em seguida promoveu-se as simulações e a verificação dos valores teóricos obtidos. Calculou-se e plotou-se a região experimental mais adequada.

Definidas as variáveis para o processo de soldagem e as restrições impostas não só pelas características intrínsecas do processo de solda, mas também levando-se em consideração a otimização dos recursos financeiros impostos pelo consumo não adequado das vazões gasosas exageradas (superiores a 14L/min). Com os valores numéricos já definidos, foram iniciados testes preliminares de soldagem em material sucateado visando evitar o uso do escasso material dos corpos de provas já devidamente prontos e recolhidos para serem soldados após total definição dos valores numéricos teóricos e experimentais de velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame e vazão do gás de proteção Ar.

Enter the parameters of the general linear constraint:

Enter the parameters of the general linear constraint:
 $A_1 \cdot X_1 + \dots + A_n \cdot X_n + A_0 \geq 0$; where $A_1..n$ are the parameters, A_0 is a constant, and $X_1..n$ are the variables; then click OK.

Constr. Number	Factor A A1	Factor B A2	Factor C A3	Constant A0
1	1	1	0	108
2	0	0	1	10
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				

OK Cancel

Figura 35 - Algoritmo de *Snn* para inserção das restrições matemáticas

Em resultados e discussões será apresentada uma comparação dos valores teóricos obtidos via *Software Statistica 12*[®], e os valores experimentais aplicados.

3.6. Aquisição de dados de tensão de soldagem e corrente de soldagem

Para a confecção dos 4 corpos de prova para os testes foi necessário realizar via aquisição de dados de Tensão (V) e Corrente (I). Para isso foi utilizada uma placa marca *Nacional* com capacidade de aquisição de cerca de cinco mil pontos por segundo.

Esses dados foram adquiridos e armazenados em arquivos no formato .txt e em seguida tratados estatisticamente para a obtenção de seus valores médios. Utilizou-se os programas *MatLab 2016b*[®] e *Excel 2013*[®] para os cálculos de seus valores médios de Tensão (V) e Corrente (I).

Para o cálculo da energia de soldagem (H), foi utilizada a equação 12 (WAINER, *et.al.*, 1992)

$$H \left(\frac{J}{mm} \right) \text{Aporte de Energia Total} = \eta * \frac{\text{Tensão (V)} * \text{Corrente (I)}}{\text{Velocidade de Soldagem} \left(\frac{mm}{s} \right)}$$

Equação 10 - Energia de soldagem

3.7. Soldagem dos corpos de prova pelo processo MIG/MAG curto-circuito

Embora pequenos reparos em tanques que acondicionam leite sejam feitos com a técnica de soldagem de eletrodos revestidos (ER), o processo de soldagem adotado foi o MIG curto-circuito, visando um estudo de ganhos de produtividades, qualidade e segurança alimentar. Para o presente trabalho utilizou o processo MIG curto-circuito, com gás de proteção argônio + 2% de oxigênio.

Para a proteção de reforço de raiz foi utilizado argônio, com uma vazão de 0,5 L/min, visando obter-se a integridade do reforço e possíveis danos à camada passivadora ou a regeneração da mesma, conforme Figura 39.



Figura 36 - Montagem / Gabaritação do corpo de prova

Dados de tensão de soldagem e corrente de soldagem foram adquiridos pelo sistema Labview® conforme Figura 40.

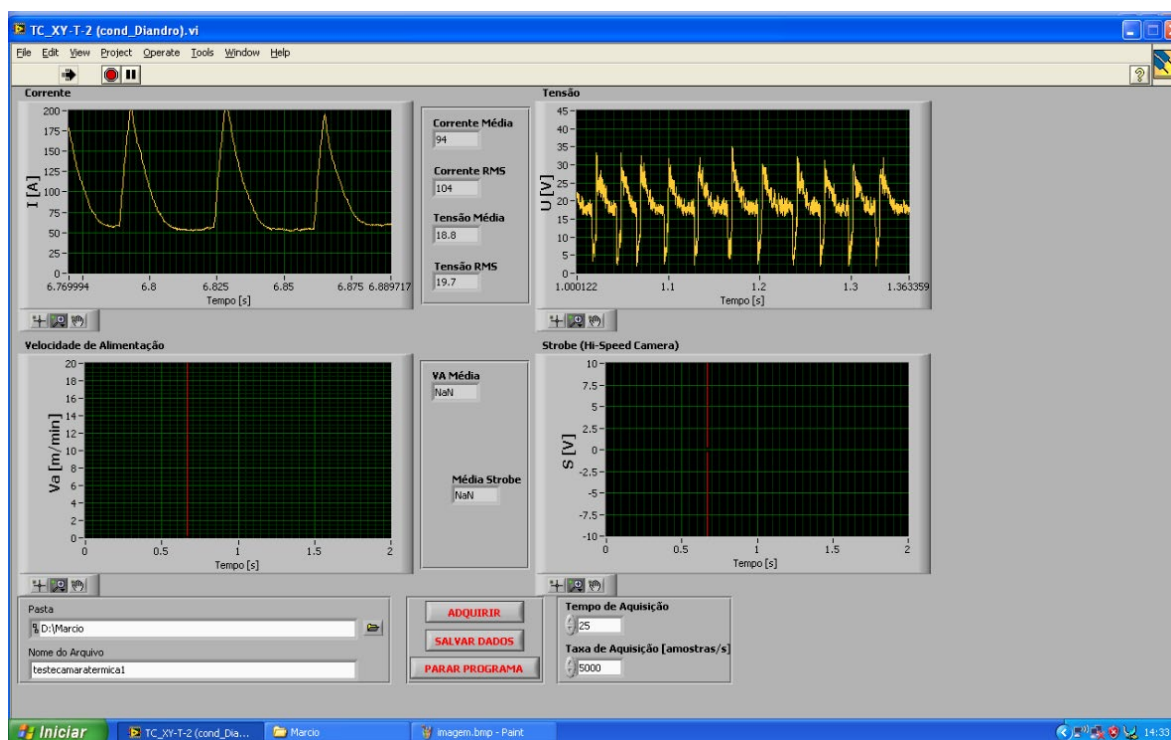


Figura 37 - Tela inicial do Labview ®

3.8. Marcação dos corpos de prova e determinação da massa depositada em cada corpo de prova

Após o termino da execução do processo de soldagem, os cordões de solda ficaram expostos até atingir a temperatura ambiente. Foram marcados com punção nas numerações, I, II e III (para cada ensaio e cálculo de média) para posterior identificação e com as letras E1, E2, E3 e E4 para identificação dos níveis de soldagem impostos, conforme Figura 41.



Figura 38 – Procedimento de marcação dos corpos de prova em triplicata e o respectivo nível de energia adotado.

Após a aplicação dos 4 níveis de energia (E1, E2, E3 e E4) procedeu uma rigorosa verificação nos reforços de raízes dos corpos de provas em busca de possíveis defeitos de soldagem, poros, trincas, mordeduras e ou furos causados por possível aporte de calor excessivo. (Ver Figura 42).



Figura 39 - Reforço de raiz nos níveis de aporte de energia: E1, E2, E3 e E4.

Os números marcados nas chapas apresentadas na Figura 42 são as massas antes do depósito do cordão e após o depósito do cordão que foram tabelados e serão apresentados nos resultados. Com valores de massa inicial dos corpos de prova e valores de massa final nos corpos de prova, a diferença é o total de massa expresso em gramas depositada nos cordões. Com essas informações foram determinadas todas as massas depositadas para cada nível de energia em balança semi-analítica (Figura 43).



Figura 40 - Corpo de prova e sua respectiva massa final.

3.9. O processo de decapagem química para retirada de impurezas, carepas e outras sujidades

A retirada de sujidades, óleos e gorduras são ações fundamentais para a realização de cordões de solda livres de defeitos tradicionais em processos de soldagem. Essa ação também é fundamental para o estudo da adesão microbiana em placas de aço e ou outras superfícies. Para garantir uma limpeza adequada e eliminação de qualquer contaminante os corpos de prova foram cuidadosamente decapados com ácido fosfórico p.a, lavadas com água e agentes sanificantes e por fim uma limpeza simples com álcool etílico 70% para eliminação de qualquer microrganismo presente.

Após os procedimentos tradicionais os corpos de prova apresentavam condições de assepsia adequada para serem inseridos nos tanques de recebimento, onde ficam estocados os volumes de leite recebidos dos produtores locais.

3.10. Marcação e determinação das ADPS em cada corpo de prova.

Cada um dos quatro corpos de prova foi marcado de acordo com o conceito criado de ADPS, conforme Figura 16, onde tem-se uma representação esquemática.

Foram definidas 9 ADPS, onde cada ADPS é um dos 9 quadrantes marcados. Conforme a metodologia proposta, cada ADPS foi devidamente identificada conforme Figura 44.

É importante destacar que a delimitação da área de cada ADPS (Comprimento da ADPS* Largura da ADPS) foi inicialmente feita a caneta, mas logo em seguida os traços foram reforçados com um punção riscador, de modo que após limpeza e decapagem do corpo de prova, cada ADPS não fosse apagada ou tivesse a área de interpretação de estudos comprometidas.

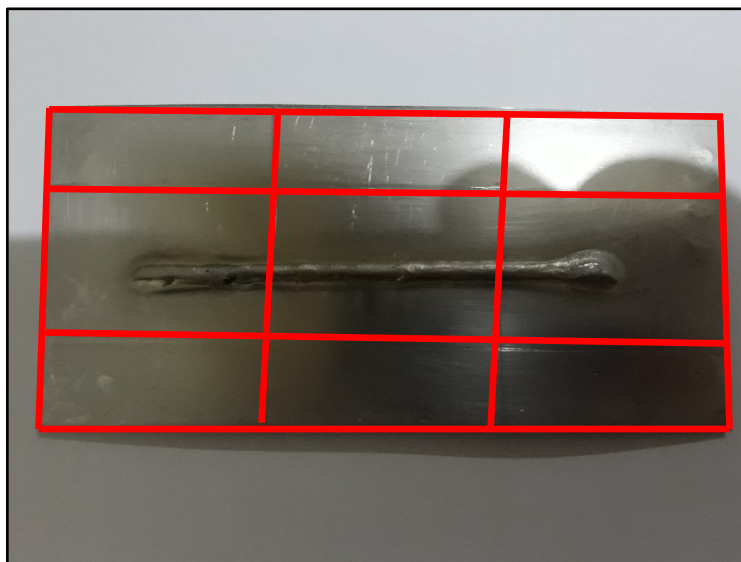


Figura 41 - ADPS definidas e marcadas esquematicamente

Além disso a inserção de peças marcadas a caneta com tinta solúvel compromete a segurança alimentar e põe em risco o processo produtivo.

Assim cada chapa identificada pode ser inserida sem riscos de perda da informação no interior do tanque de leite e permaneceu por cerca de 06 horas, ficando exposta ao recebimento de leite cru e ao processo de CIP.

Com isso os corpos de prova foram submetidos a uma situação real de processo, muito semelhante a qual a parede do tanque e o pasteurizador de placa ficam expostos no cotidiano das operações.



Figura 42 - Marcação com o riscador para cada ADPS proposta

Tabela 8 - Valor da área em cm^2 de cada APDS

Valor da área de cada ADPS ²		
$\text{ADPS}_{d1} = 7,5 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d2} = 7,5 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d3} = 7,5 \text{ cm}^2$
$\text{ADPS}_{d4} = 15 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d5} = 15 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d6} = 15 \text{ cm}^2$
$\text{ADPS}_{d7} = 7,5 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d8} = 7,5 \text{ cm}^2$	$\text{ADPS}_{d9} = 7,5 \text{ cm}^2$

A Figura 45 e Figura 46 identificam cada uma das diversas ADPS propostas, sua localização e sua relação de proximidade com a ZAC e região de reforço e metal de base não afetado termicamente, assim foi possível identificar onde o biofilme teve maior ou menor adesão preferencial.

² Como a área de coleta via Swab dobra de tamanho, é preciso que seja diluído o conteúdo do Swab no dobro do volume também. OU divide-se pela área.

ADPS 1	ADPS 2	ADPS 3
ADPS 4	ADPS 5	ADPS 6
ADPS 7	ADPS 8	ADPS 9

Figura 43 - Identificação das ADPS propostas

De acordo com a metodologia proposta cada ADPS recebeu a seguinte denominação:

- ADPS_{d1} – Área de Adesão Preferencial Esquerda Superior
- ADPS_{d2} – Área de Adesão Preferencial Central Superior
- ADPS_{d3} – Área de Adesão Preferencial Direita Superior
- ADPS_{d4} – Área de Adesão Preferencial Central Esquerda
- ADPS_{d5} – Área de Adesão Preferencial Central Inferior
- ADPS_{d6} – Área de Adesão Preferencial Central Direita
- ADPS_{d7} – Área de Adesão Preferencial Esquerda Inferior
- ADPS_{d8} – Área de Adesão Preferencial Central Inferior
- ADPS_{d9} – Área de Adesão Preferencial Direita Inferior

A área denominada Branco não é afetada termicamente e será usada como branco nos testes. Essa metodologia foi aplicada para cada um dos 4 corpos de prova devidamente associados aos seus respectivos níveis de energia impostos.

3.11. Definição da metodologia de ADPS com forte adesão preferencial e ADPS com fraca adesão preferencial

Para a classificação da adesão celular foram definidos dois níveis de adesão celular de acordo com a concentração celular encontrada em cada ADPS.

A classificação de ADPS com forte adesão celular e a ADPS com fraca adesão celular foi estabelecida conforme a Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Classificação da Adesão Microbiana de acordo com a concentração celular

Índice de Adesão ADPS		
Concentração celular UFC/mL/cm ²	Fraca adesão celular e formação de biofilme	Forte adesão celular e formação de biofilme
	$0,5 \cdot 10^5 < \text{ADPS} < 1,5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^6 < \text{ADPS} < 5,5 \cdot 10^8$

Esses valores foram obtidos experimentalmente nos ensaios preliminares de *Screening*, com metodologia desenvolvida para que estabeleça-se valores adequados a realidade, levando-se em consideração a natureza da matéria prima obtida de cada fornecedor, como por exemplo, teor de sólidos solúveis e gordura.

Não existe uma metodologia própria para esse tipo de quantificação disponível na literatura, então estabeleceu-se o conceito de forte adesão ou fraca adesão baseando-se em uma quantidade mensurável de células microbianas.

Não foi avaliada a viabilidade celular das amostras coletadas, apenas a quantificação de células sésses que irão formar o biofilme microbiano nas paredes dos corpos de prova, que é o objetivo do presente estudo.

3.12. Uso do *Swab* para aplicação nas superfícies ADPS e retirada de células

A coleta do material biológico pode ser considerada uma das etapas mais importantes para a validação metodológica ADPS.

Erros na contagem e escolha equivocada do *Swab* (coletor de amostra) podem levar a interpretações equivocadas e resultados inconclusivos. Cada *Swab* (coletor de amostra) só foi aberto no momento de uso e nunca foi reutilizado e nem guardado por mais de 4h (Isso evita o comprometimento da amostra no *Swab* transportador).

Essas ações implicaram em deixar os procedimentos concomitantes e necessários para as análises previamente preparados. Foi utilizada touca para os cabelos, avental e máscara simples para a coleta afim de se evitar todo e qualquer tipo de contaminação cruzada.

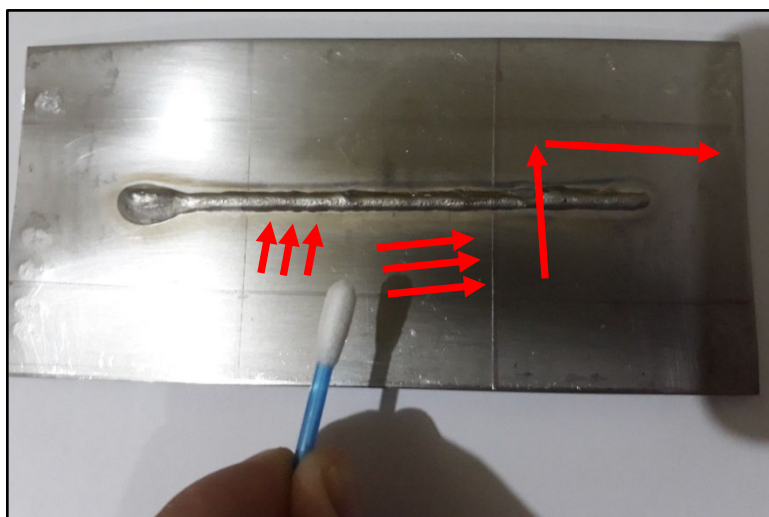


Figura 44 - Sentido de movimentação do *Swab* para coleta de células

Para garantir a qualidade da coleta, o *Swab* foi aplicado dentro de cada ADPS conforme demonstra a figura 47.

Destaca-se a importância de que o *Swab* percorra toda a superfície ADPS mas não invada a área de nenhuma outra ADPS vizinha, sob o risco de uma contagem de adesão celular equivocada, comprometendo as análises e quantificação de adesão microbiana. Cada uma das ADPS foi padronizada e tem uma área de análise de 75 cm².

Essa área é suficiente para realizar a coleta do material biológico via aplicação do *Swab*, desde que treinada previamente para manter-se inserido nos limites de controle da ADPS.

3.12.1. Identificação e escolha dos modelos de *Swab* para a realização dos ensaios

Até o momento não havia uma metodologia estabelecida, que identifica-se ou melhor indica-se qual o melhor tipo de *Swab* que poderia ser utilizado para a coleta de material microbiológico nas ADPS. Após três centenas de tentativas e erros (100 para cada *Swab*), os modelos citados na Tabela 10 foram os mais adequados para a proposta.

Tabela 10 - Modelo de *Swab* e microrganismo associado mais comuns

Tipos de Swab			
Modelo	<i>Stuart</i>	<i>Ameis</i>	<i>Cary Blair</i>
Microrganismo Associado	<i>Pseudomonas</i>	<i>Salmonelas</i>	<i>Coliformes</i>

3.13. Ensaios com a câmera térmica para identificação do perfil de temperatura

Realizou-se a medição dos perfis de temperatura utilizando-se câmera térmica e montagem experimental, conforme demonstrado na Figura 48.



Figura 45 - Montagem da câmera térmica e *software* para aquisição das imagens

Executou-se as medições e aquisições de temperatura para os 4 níveis de aporte de energia de soldagem, com a respectiva aquisição de dados de temperatura durante o tempo de execução do cordão. Os dados foram registrados e armazenados para posterior tratamento.

3.14. Distância da câmera térmica até os corpos de prova, padronização da filmagem e aquisição de dados.

Para o posicionamento correto da tocha, a mesma foi mantida a uma distância de cerca de 50 cm do cordão de solda (determinada com uma escala), conforme figura 49.



Figura 46 - Distância entre tocha e corpo de prova soldado

Determinada a posição da câmera e demais procedimentos de soldagem foi dado início ao processo de depósito do cordão. Nesse momento estão trabalhando em conjunto o sistema de aquisição de dados, mesa e câmera térmica.

Em uma chapa de retalho foi testada a adequação da montagem e confirmação dos procedimentos propostos, conforme Figura 50.

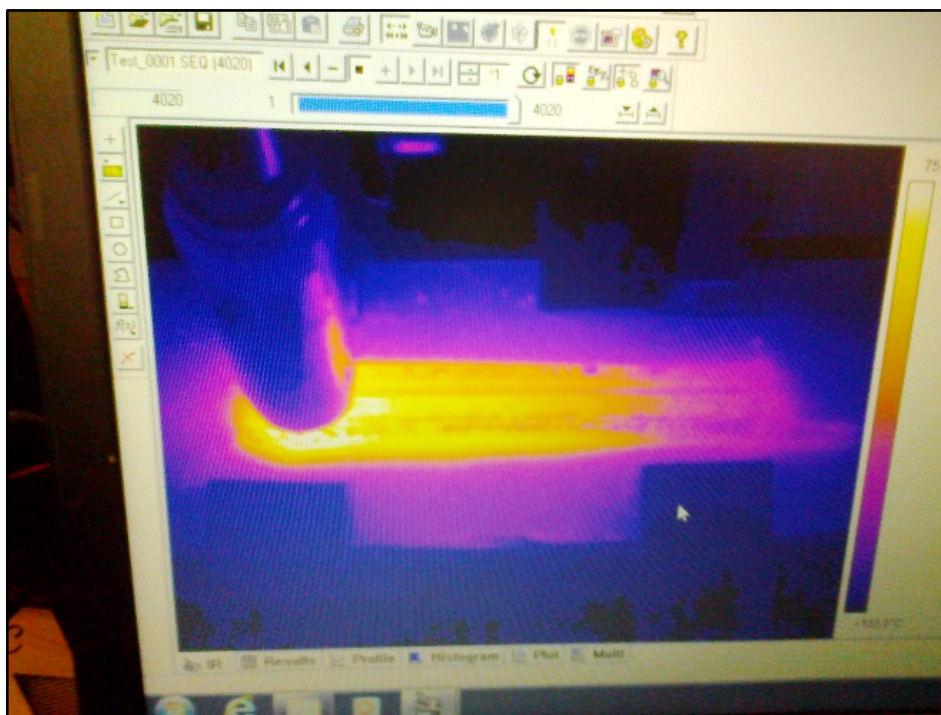


Figura 47 - Testes dos procedimentos de aquisição de imagem da câmera térmica

3.15. Inserção dos corpos de prova no tanque de recebimento do leite cru de produtores

Como ensaios preliminares, os corpos de prova prontos, decapados e devidamente sanitizados de acordo com os procedimentos descritos e alinhados com as boas normas de segurança alimentar, foram colocados no interior do tanque conforme Figura 51 e permaneceram em períodos de até 06 horas onde já foi possível observar as primeiras adesões microbianas e consequente a formação do biofilme.



Figura 48 - Tanque de recebimento do leite *in natura* (autor)

Outro ponto importante e que merece destaque é que não existe uma padronização inicial do leite *in natura* recebido, são dezenas de fornecedores diferentes, com vários teores de gorduras e sólidos totais. Desta forma não é possível verificar a adesão de apenas uma espécie microbológica.

Os corpos de prova também serão submersos em tanques de recebimento (Figura 52) na linha e permanecerão submersos em leite *in natura* até a verificação das primeiras adesões microbianas e formação de biofilme (Figura 53).

O corpo de prova será retirado do tanque após total drenagem do leite *in natura*, será levemente lavado para retirada de excesso de leite aderido e limpo. Será realizada a coleta via *Swab* e transferido para o laboratório onde será feita a caracterização de pelo menos uma espécie microbiana (com crescimento em estufa em placa de Petri contendo Ágar como meio de cultura), na amostra e respectiva contagem de células presentes e aderidas nos corpos de solda.

A quantificação será expressão em por UFC / mL, tabuladas, gráficas e convertidas em ADPS ($\frac{UFC}{mL.cm^2}$). Os valores de ADPS serão correlacionados com as áreas do cordão identificando maior ou menor adesão inicial.



Figura 49 - Tanque de recebimento de leite *in natura* (Cru)



Figura 50 - Corpos de prova soldados e inserido em tanque recebimento

É importante destacar que análise dos corpos de prova e adesão microbiana foram realizadas apenas na região do reforço de raiz, já que é esta que ficará exposta e em contato direto com o leite *in natura*. A presença de defeitos de soldagem na região do reforço de raiz será verificada e analisada, de modo que possa ser correlacionada com a formação e adesão inicial do biofilme.

3.16. Ensaios de verificação com boroscópio nos tubos ligados ao tanque estocagem

Para verificação de pontos de soldas sujeitos a MIC e acúmulo de matéria orgânica será utilizado um boroscópio para inspeção e caracterização desses pontos, conforme Figura 54.

Além do acúmulo de matéria orgânica, serão identificados possíveis defeitos de soldagem, como reforço excessivo, poros e mordeduras. O estado geral das soldas e o reforço de raiz serão também analisados e discutidos. Foram feitos registros fotográficos dos pontos de acúmulo para a criação de um plano de assepsia exclusivo para as regiões soldadas.



Figura 51–Boroscópio e inspeção em tubo com solda (Autor).

3.17. Análises do *leite in natura* na planta fabril

Foram realizadas análises da matéria prima (Figura 55), *leite in natura*, quanto:

- Acidez,
- Índice de sólidos totais;
- Teores de gordura.

Essas características físico-químicas e biológicas do leite têm relação direta com a formação do biofilme e adesão, mas não serão abordadas nesse estudo, mas serão sugeridas como análises para trabalhos futuros e os resultados dessas análises serão disponibilizados nos anexos da tese para posteriores trabalhos de investigação (Figura 56).



Figura 52 - Analisador de leite (Propriedades do leite)



Figura 53 - Análise do teor de gordura

Essas análises físico-químicas quantitativas e microbiológicas do leite in natura e suas possíveis relações com o processo de adesão microbiana e consequentemente a MIC não serão realizadas no leite pasteurizado produzido.

Uma vez que o leite é submetido a esse tratamento o número de células com viabilidade celular deixa de ser estatisticamente significativo, portanto sem adesão microbiana e formação de biofilme, inviabilizando assim a investigação da proposta de tese e o estudo da adesão celular e formação do biofilme.

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados da investigação inicial com Boroscópio dos pontos de solda em tubulação de transporte de leite in natura

Após a identificação dos locais de estocagem do leite in natura foi realizada a verificação dos pontos de soldagem mais expostos a possíveis adesões microbianas e formação de biofilme. Após uma coleta inicial de *Swab* identificou-se soldas não só com acúmulo de sujidades, mas também com carga microbiana significativa para iniciar a formação do biofilme microbiano.

É possível observar na Figura 57 a presença do reforço de raiz na junta da tubulação Inox. Não foi possível identificar as dimensões do presente reforço de raiz e quais as técnicas de soldagem empregadas para sua confecção.

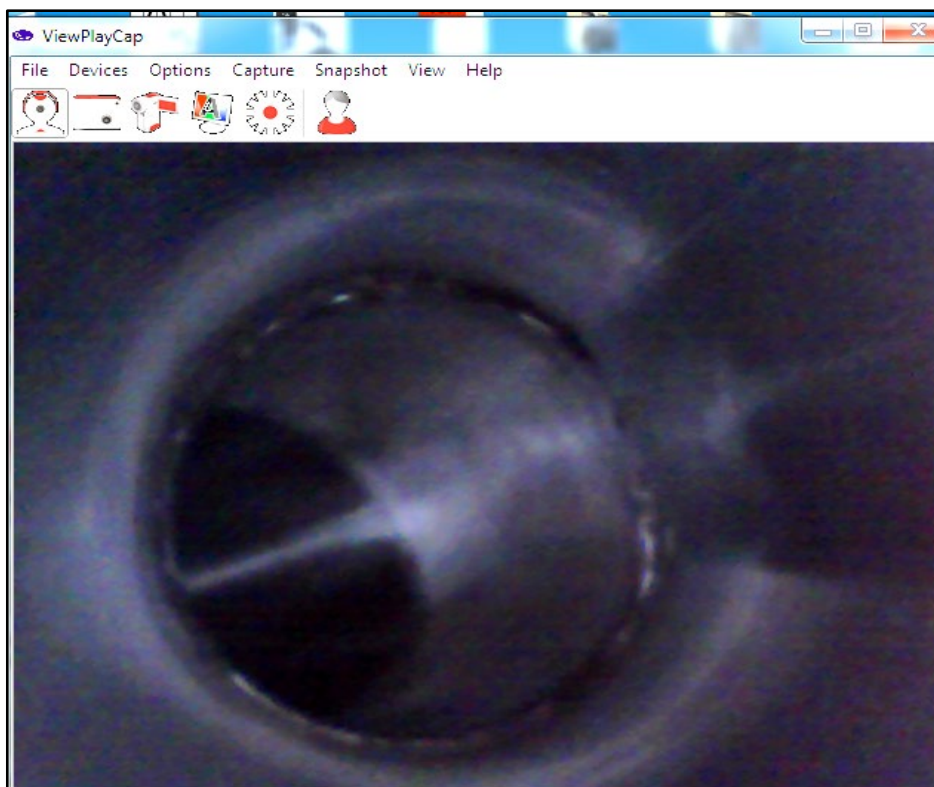


Figura 54 - Análise tubulação

A posição da solda e consequentemente o reforço impedem uma limpeza direta por “scrubbing” e assim agentes sanitizantes não atingem a região. Embora o CIP seja realizado na tubulação, a presença de um reforço excessivo propicia um acúmulo de matéria orgânica na região em estudo.

Fica evidente que o uso de uma técnica de soldagem inadequada e a formação de um reforço de raiz excessivo contribuem para a adesão inicial microbiana do leite in natura em trechos da tubulação que não podem ser alcançados manualmente. Valores de aporte de Energia de soldagem excessivos, são um dos fatores, que contribuem para essa situação.

A Figura 58 foi obtida a partir da análise com o Boroscópio e revelam as características do cordão de solda. Formação de poros no reforço de raiz e também as dimensões da ZTA são possíveis de serem verificadas após longos períodos de exposição ao leite, cru e processos de CIP.



Figura 55–Cordão de solda visualizado pelo Boroscópio. Reforço de raiz.

Outros parâmetros importantes do processo de soldagem são importantes e contribuem para a formação de reforço excessivo, além da energia de soldagem, como:

- Valores de corrente (Maior penetração do cordão);
- Valores de Tensão (Tamanho do arco elétrico, que pode proporcionar cordões mais largos e influenciar na própria geometria do cordão de solda);
- Gases de proteção (Colabora na formação ou não formação da camada passiva);
- Posição de soldagem (Puxando ou Empurrando efeito direto na penetração);
- Velocidade de Soldagem (se for manual depende do operador e pode contribuir para penetração excessiva do cordão e assim formar um reforço de raiz inadequado).

Demonstra-se assim a importância de uma técnica de soldagem que garanta o aporte correto de Energia visando a formação de um reforço de raiz adequado, além das demais variáveis acima citadas que contribuem direta ou indiretamente para a adesão microbiana e formação do biofilme lácteo.

4.2. Uso do Software Statistica 12® para estimativas dos parâmetros de soldagem

Foram obtidos os valores teóricos, via *Software Statistica 12®*, de velocidade de soldagem, velocidade do arame e vazão de gás de proteção. Destaca-se na Figura 59 os valores teóricos obtidos para execução dos experimentos. Os valores destacados em negrito são os valores extremos da região de contorno do envelope de trabalho proposto. Eles englobam os valores máximos e mínimos de velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame e vazão de gás de proteção.

Os resultados da simulação estão apresentados na Figura 59 e mostra as correlações dos efeitos obtidos dos fatores codificados para todos os vértices e centroides, conforme Figura 54. Os coeficientes de correlação também se mostraram adequados a proposta apresentado uma forte correlação entre os termos, velocidade do arame, velocidade de soldagem e vazão de gás de proteção.

Correlations of Factors (Spreadsheet1) 3 Factor Constrained Experimental Region Number of user-defined constraints: 1						
Factor	A Linear	B Linear	C Linear	1L*2L	1L*3L	2L*3L
(1)A(L)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(2)B(L)	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(3)C(L)	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
1L*2L	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
1L*3L	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
2L*3L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Figura 56 - Matriz de correlação dos efeitos dos fatores

A determinação desses parâmetros teóricos para execução dos processos de soldagem e obtenção dos corpos de prova foi fundamental para que se executasse com o mínimo risco a confecção da soldagem nos corpos de prova para análise dos efeitos da Energia de Soldagem.

A metodologia proposta pode ser adaptada e usada para identificação e otimização de outros parâmetros de soldagem, envolvendo tensão e corrente, além é claro dos gases de proteção da ZAC e do próprio reforço de raiz.

Para a obtenção visual do envelope de trabalho proposto basta unir os vértices: 7V, 8V, 6V, 4V e o centroide 25C apresentados na Figura 60.

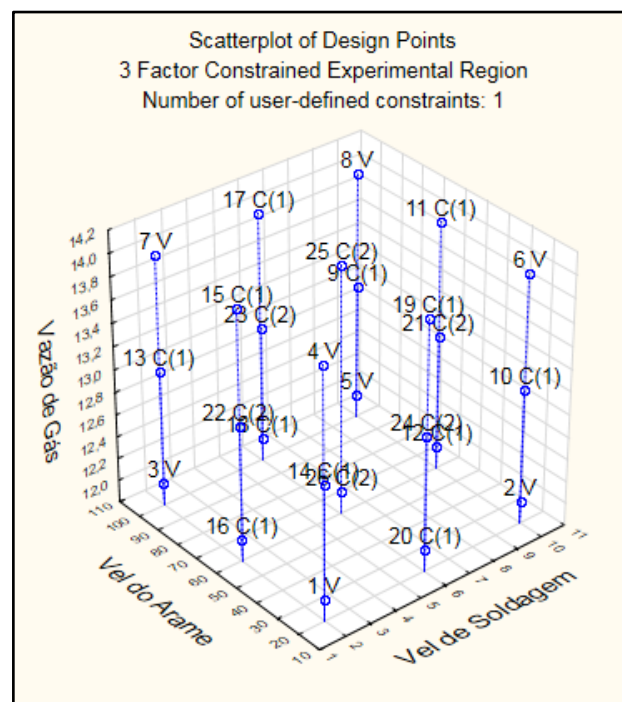


Figura 57 - Região experimental obtidas via simulação, com seus respectivos vértices e centroide.

Na Figura 61 são apresentados os resultados de todas as simulações prevista no Statistica® com o centroide 25C onde se iniciaram os testes preliminares de soldagem, visando obter-se níveis de Energia de Soldagem adequados com a proposta de tese.

Nos testes preliminares procurou-se identificar cordões com boa homogeneidade da poça de fusão, penetração adequada do cordão e geometria do reforço de raiz com baixos índices de rugosidade.

Os valores de parâmetro de soldagem 6V e 8V apresentados na Figura 61 foram os mais adequados para obtenção dos cordões com essas características. Assim os ensaios para obtenção dos corpos de prova finais iniciaram-se em torno de envelopes de trabalho na região desses vértices simulados.

Os valores de parâmetros: velocidade de soldagem, velocidade de alimentação do arame e vazão gasosa obtidos experimentalmente situaram-se muito próximos dessas regiões, demonstrando a vantagem e eficiência do algoritmo de Snne para a realização de procedimentos de investigação *Screening*.

Vertex (V) Centroid (C)	3 Factor Constrained Experimental Region Number of user-defined constraints: 2		
	Vel Soldagem (mm/s)	Vel do Arame (mm/s)	Vazão (L/min)
22 C(2)	2	60	13,00
7 V	2	100	14,00
16 C(1)	2	60	12,00
25 C(2)	6	60	14,00
14 C(1)	2	20	13,00
1 V	2	20	12,00
17 C(1)	6	100	14,00
20 C(1)	6	20	12,00
5 V	10	100	12,00
11 C(1)	10	60	14,00
6 V	10	20	14,00
24 C(2)	6	20	13,00
26 C(2)	6	60	12,00
10 C(1)	10	20	13,00
2 V	10	20	12,00
12 C(1)	10	60	12,00
13 C(1)	2	100	13,00
4 V	2	20	14,00
15 C(1)	2	60	14,00
8 V	10	100	14,00
23 C(2)	6	100	13,00
9 C(1)	10	100	13,00
19 C(1)	6	20	14,00
18 C(1)	6	100	12,00
21 C(2)	10	60	13,00
3 V	2	100	12,00

Figura 58 - Valores teóricos dos parâmetros de soldagem obtidos para execução dos experimentos e confecção dos corpos de prova

4.3. Resultados obtidos na decapagem química

A remoção de carepas, óleos e gorduras é fundamental para as análises de adesão microbiana. Na Figura 62 são apresentados os corpos de prova e a aplicação do ácido fosfórico para iniciar-se a decapagem.



Figura 59– Decapagem química dos corpos de prova.

Após o processo de decapagem é apresentado na Figura 63 o aspecto dos corpos de prova obtido. Sendo livre de sujidades e óxidos oriundos do processo de soldagem que podem influenciar na adesão microbiana.



Figura 60 - Chapa após decapagem química

Esse processo foi realizado antes da inserção do corpo de prova nos tanques de leite *in natura*. Ao final dos ensaios o corpo de prova é parcialmente destruído para a realização das macrografias.

4.4. A presença de defeitos de soldagem, mordeduras e a adesão microbiana

A Figura 64 apresenta um dos ensaios de soldagem realizados, onde é possível observar a presença do defeito de solda denominado mordedura. O defeito foi produzido ao se aplicar uma corrente excessiva no material. Após a inserção e retirada do corpo de prova no tanque de leite *in natura* é possível observar o acúmulo de material orgânico na região do reforço de raiz e na mordedura.

A presença de rugosidades no cordão também contribuiu para a adesão de matéria orgânica inicial, conforme Figura 64.

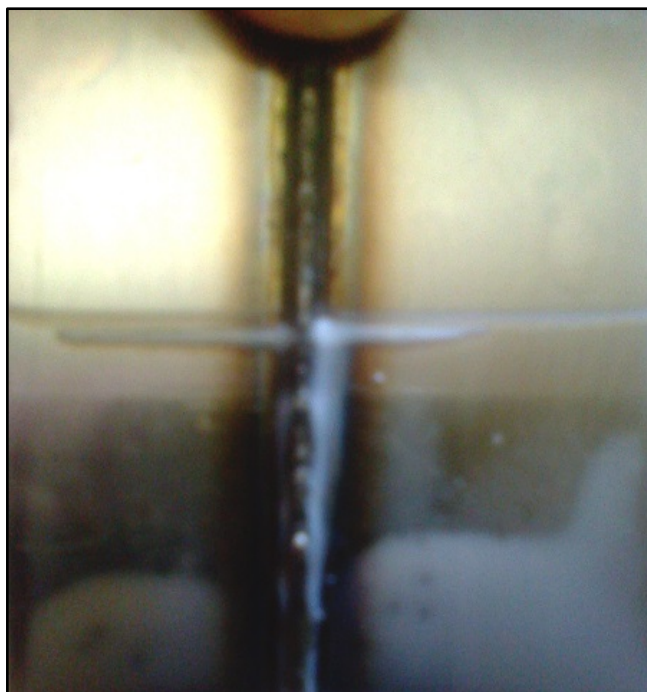


Figura 61 - Cordão de Solda / Adesão de matéria orgânica na região de mordedura.

A região do reforço é relativamente pequena quando comparada a uma região de ADPS e por isso a análise microbiológica não pode ser realizada. Além disso as dimensões do

Swab não permitiriam uma coleta microbiológica adequada, mascarando assim a quantificação da ADPS ($\frac{UFC}{mL.cm^2}$) nessa região específica do cordão.

No entanto para demonstrar a importância e efeitos da rugosidade no reforço de raiz foram realizadas análises qualitativas demonstrando o acúmulo de matéria orgânica na região do reforço de raiz. As fotos foram tratadas no *software* Measurement® e permitem a visualização do material orgânico aderido com apenas 1h de exposição ao leite in natura (Figura 65, Figura 66 e Figura 67)

Apenas os corpos de prova com Energia de Soldagem E3 e E4 foram avaliados qualitativamente, uma vez que os corpos de prova com E1 e E2 não formaram raiz e portanto não apresentaram adesão nessa região do reforço.

Na Figura 67 tem-se a retenção de matéria orgânica na parte final do cordão, onde finalizou-se o processo de soldagem.

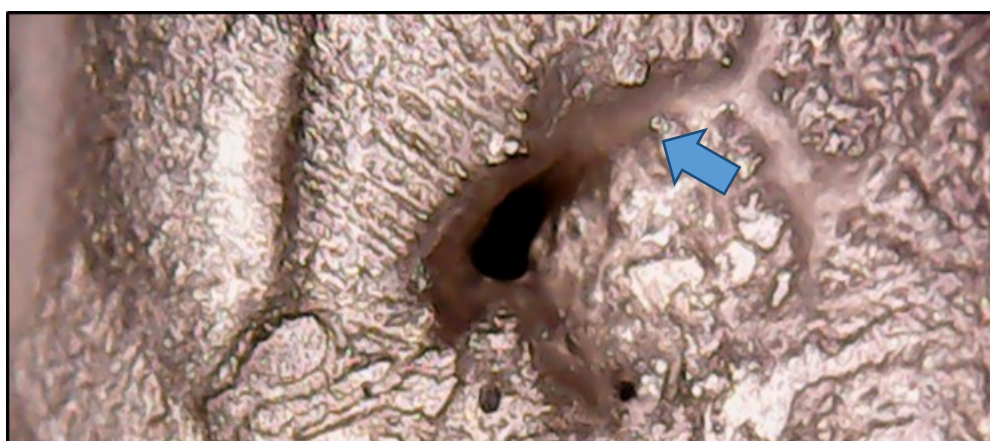


Figura 62– Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E3



Figura 63 - Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E4

Mesmo em regiões de menor rugosidade, a presença de reforço causa acúmulo de matéria orgânica, conforme Figura 61

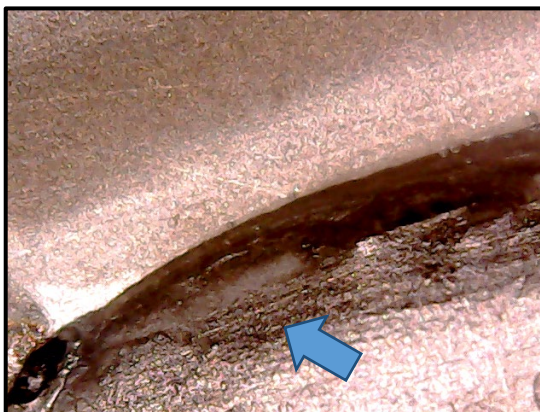


Figura 64 - Matéria orgânica aderida ao corpo de prova E3

O acúmulo de matéria orgânica torna-se mais acentuada na região do reforço de raiz, uma vez que o reforço surge nos corpos de prova com maior energia de soldagem.

4.5. Resultados de passivação obtidos com o Ferroxil para os cordões de solda

Foram realizados ensaios com o Ferroxil para determinação das áreas passivadas ou não dos corpos de prova, conforme metodologia proposta pela norma ASTM A380. As áreas manchadas / azuis são as regiões não passivadas ou seja regiões onde a camada passiva não se regenerou (Figura 68)



Figura 65– Região escura –área não passivada

Na Figura 69 tem-se a comparação entre os dois corpos de prova com baixa energia de soldagem E1 e E2 e as áreas em torno do cordão de solda que não sofreram uma passivação adequada.

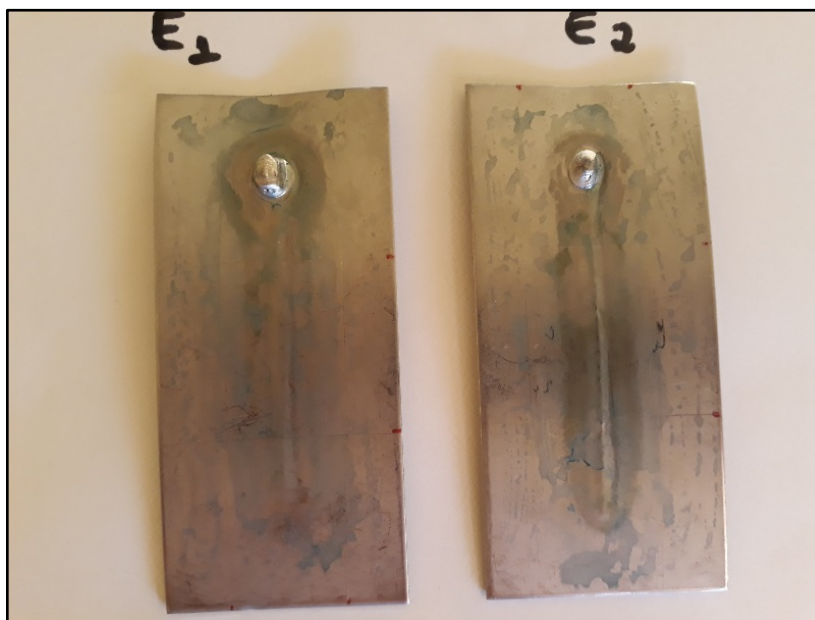


Figura 66 - Corpos de prova com níveis de energia E1 e E2

Na Figura 70 é apresentando os dois corpos de prova obtidos com os maiores níveis de energia de soldagem relativos, E3 e E4. Estes apresentam uma menor região em torno do cordão passivada.



Figura 67 - Corpos de prova com níveis de energia E2 e E3

Foi realizada ainda uma comparação entre as regiões passivada dos corpos de prova E1 e E4, conforme apresentado na Figura 71 e Figura 72.



Figura 68 - Corpos de prova com níveis de energia E2 e E3

Para facilitar a visualização das áreas não passivadas, a região foi demarcada conforme Figura 72.

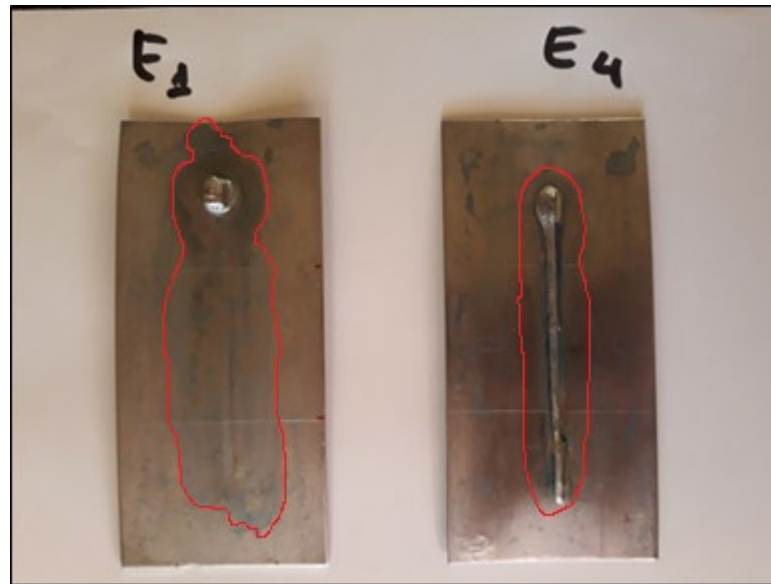


Figura 69 - Corpos de prova com níveis de energia E1 e E4

4.6. Perfis de temperatura obtidos pela câmera térmica para os corpos E1 e E4

Foram ainda traçados perfis de temperatura para os níveis de energia de soldagem E1 e E4 durante a execução do processo de soldagem. Foram traçados perfis:

- Início do cordão de solda com nível de energia E1;
- Fim do cordão de solda com nível de energia E1;
- Início do cordão de solda com nível de energia E4;
- Fim do cordão de solda com nível de energia E4;

Conforme mostram os resultados de temperatura nas Figuras 73, Figura 74 e Figura 75 é possível verificar o perfil de temperatura obtido na câmara térmica para o nível de energia E1 no início e fim do processo de formação do cordão/

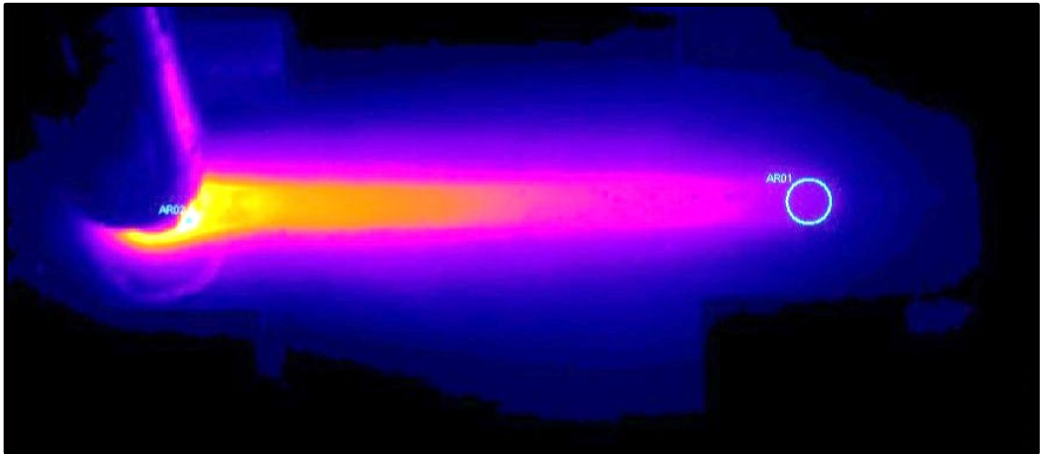


Figura 70 - Câmera térmica com nível de energia E1

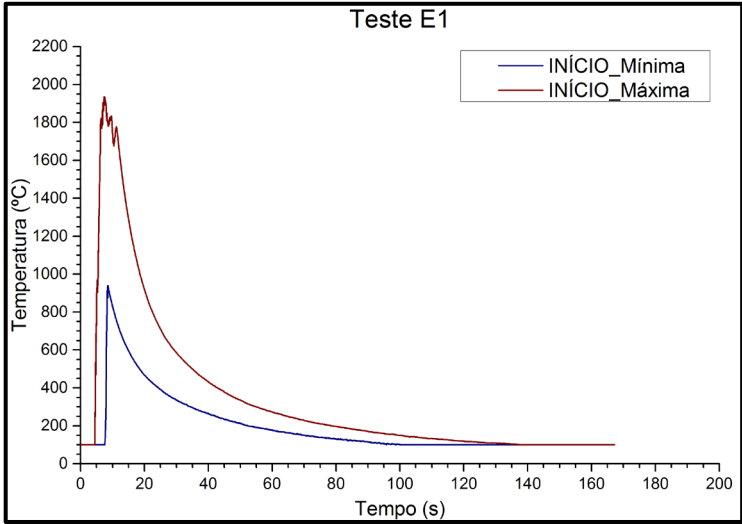


Figura 71 - Perfil de temperatura com nível de energia E1 (Inicio do Cordão)

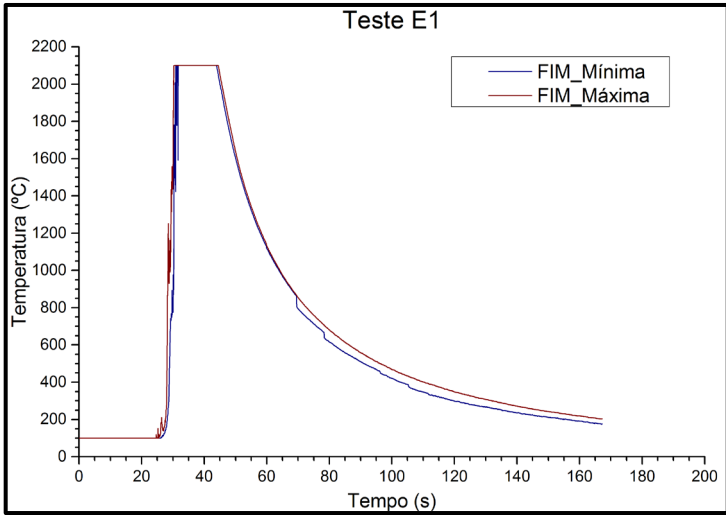


Figura 72- Perfil de temperatura com nível de energia E1 (Fim do cordão)

Na Figura 76 é possível observar o perfil de temperatura registrado pela câmera térmica mostrando regiões de maior temperatura no início e fim do cordão de solda. Esse perfil pode ser comparado com o perfil de área não passivada obtida com o ataque pelo ferroxil.

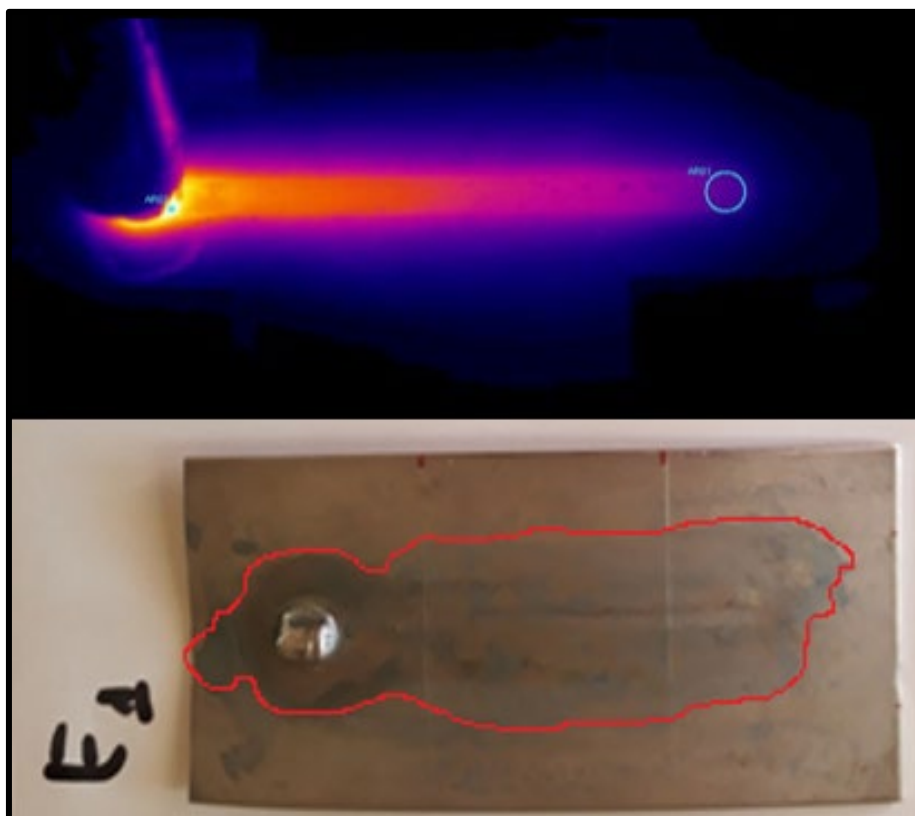


Figura 73- Comparação ferroxil e perfil de temperatura

Na Figura 77 tem-se o perfil de temperatura obtido pela câmera térmica para o aporte de Energia E4. Na Figura 77, Figura 78 e Figura 79 tem-se os perfis de temperatura obtidos para início e fim do cordão de solda.

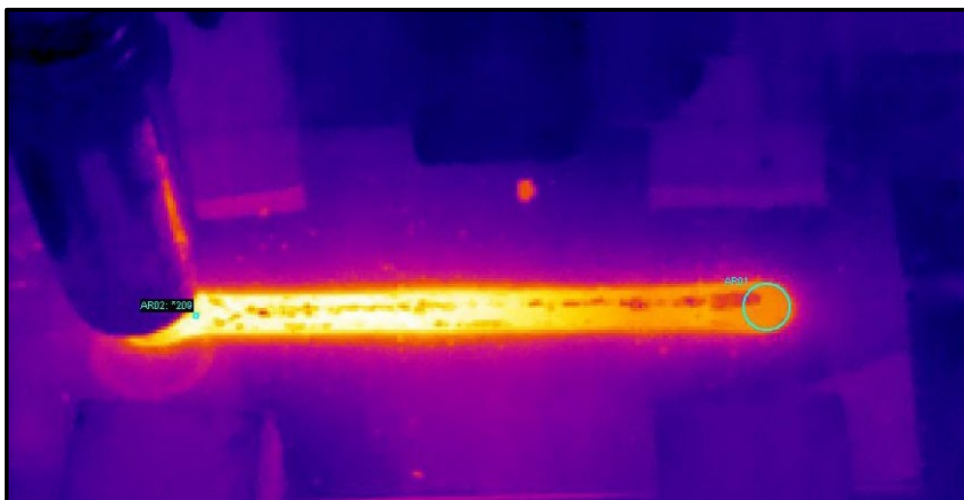


Figura 74 - Câmera térmica com nível de energia E4

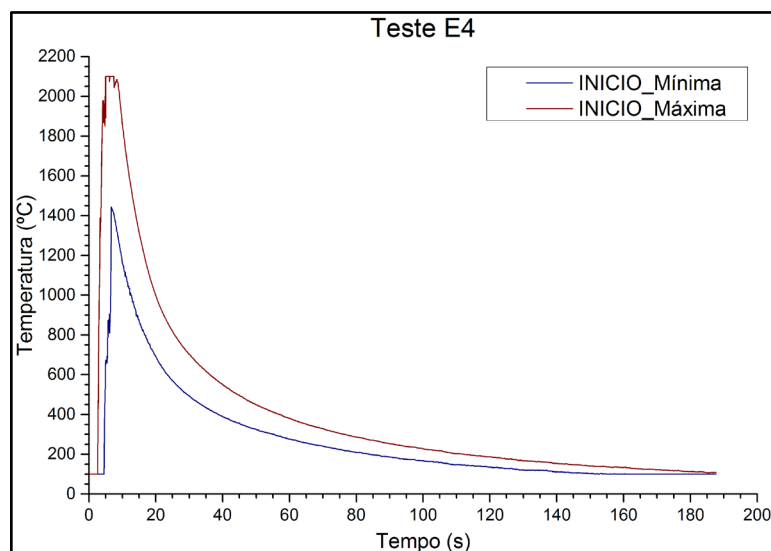


Figura 75 - Perfil de Temperatura E4 (Início do Cordão)

O maior pico de temperatura foi atingido logo nos segundos iniciais do cordão de solda e também foi associado a área não passivada produzida no cordão para esse ensaio de maior aporte de energia.

A mesma comparação foi realizada na Figura 14 onde novamente é possível comparar o perfil de temperatura com a área não passivada produzida para esses ensaios de maior aporte de energia de soldagem.

A Figuras 77 e Figura 78 apresentam o perfil de temperatura produzido no início e final do cordão de solda.

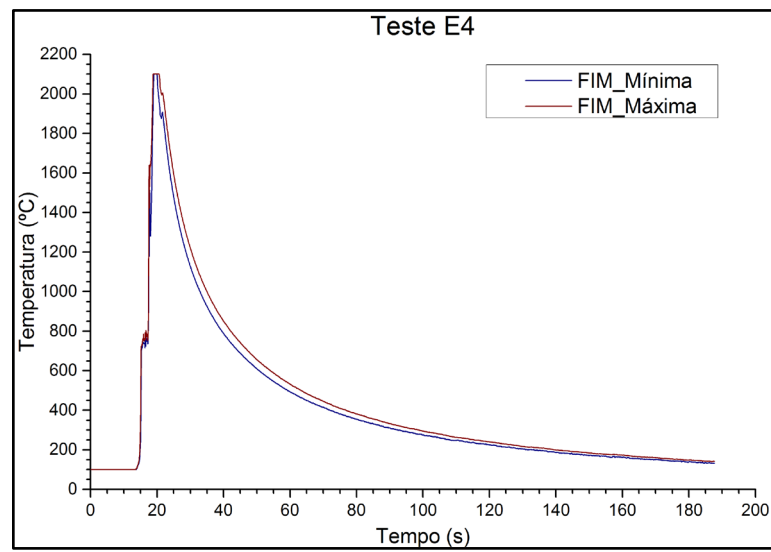


Figura 76 - Perfil de temperatura com nível de energia E4 (Fim do cordão)

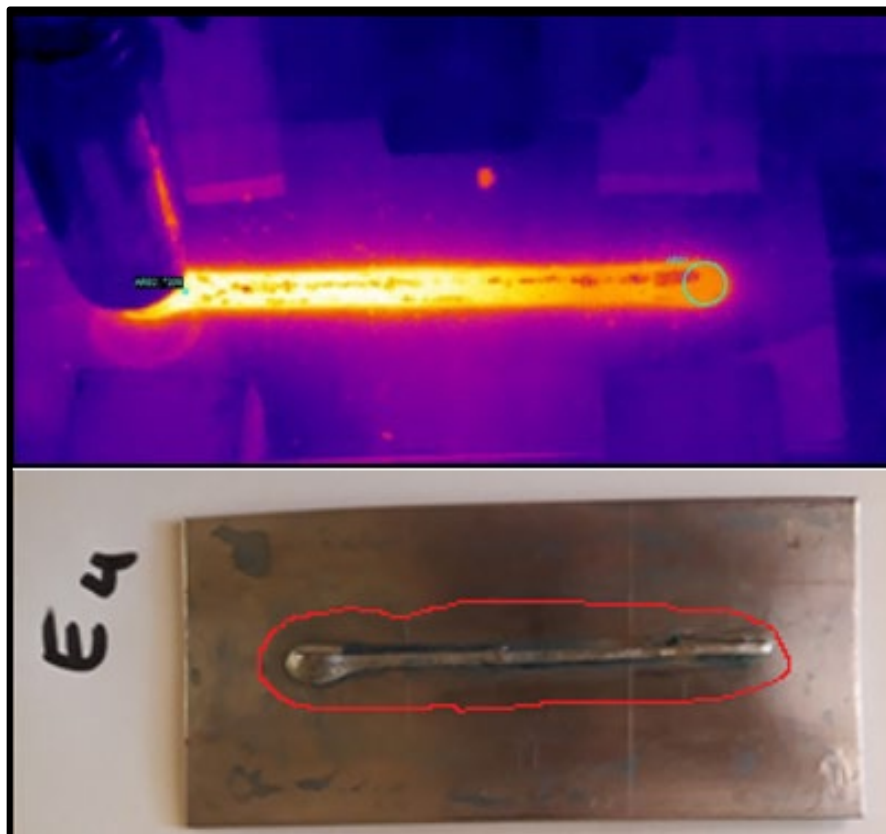


Figura 77 - Comparação ferroxil e perfil de temperatura para o nível de energia E4

4.7. Massa depositada em cada associado ao seu nível de energia de soldagem

Para cada ensaio produzido com seu respectivo nível de energia de soldagem a massa depositada foi quantificada e tabulada, conforme Tabela 11. Média e desvio padrão foram calculados e serão discutidos.

Tabela 11 - Massa depositada em cada cordão de solda

Nível de Energia 1		
Massa Final (g)	Massa Inicial (g)	Massa Adicionada (g)
158,54	150,80	7,74
158,46	150,38	8,08
157,99	150,08	7,91

Nível de Energia 2		
Massa Final (g)	Massa Inicial (g)	Massa Adicionada (g)
158,48	150,75	7,73
159,80	151,93	7,87
157,38	149,84	7,54

Nível de Energia 3		
Massa Final (g)	Massa Inicial (g)	Massa Adicionada (g)
157,97	149,71	8,26
158,88	150,65	8,23
159,81	151,26	8,55

Nível de Energia 4		
Massa Final (g)	Massa Inicial (g)	Massa Adicionada (g)
159,41	151,21	8,20
157,76	150,60	7,16
159,16	151,64	7,52

4.8. Perfis de Macrografias obtidos para os corpos de prova nos 2 níveis de energia de soldagem (inferiores)

Macrografias foram realizadas para cada cordão de solda produzido em seu respectivo nível de energia de soldagem. Aspectos como geometria do cordão e presença de raiz de reforço foram observados.

Os perfis de macrografias de cada cordão foram obtidos com ataque químico utilizando-se o reagente Vilela. Esse reagente é produzido através de uma solução de ácido

nítrico, ácido pícrico e ácido clorídrico. Ataca a zona fundida e revela estrutura metalúrgicas revelando a presença de Austenita em suas regiões atacadas quimicamente (Figura 81 e Figura 82).

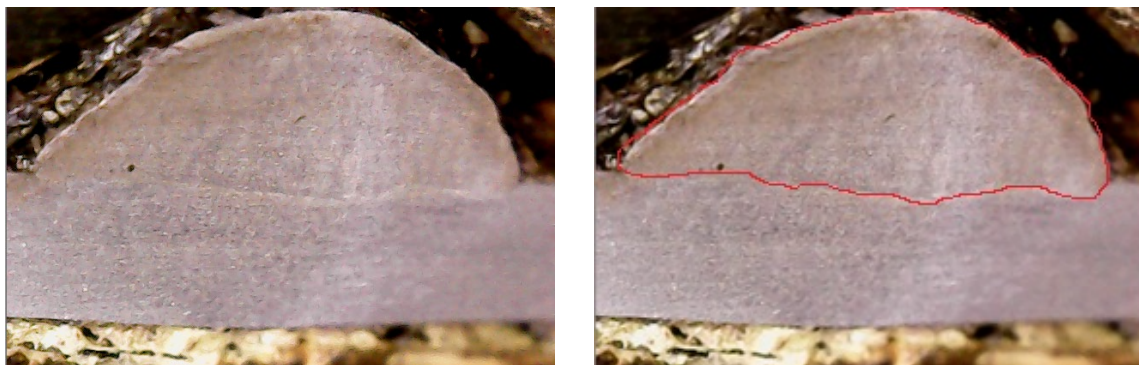


Figura 78– Macro para nível de energia E1

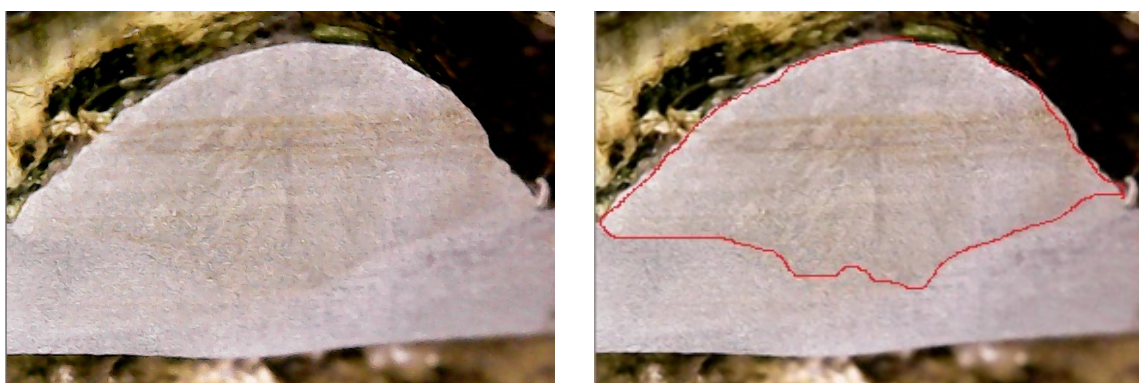


Figura 79– Macro para nível de energia E2

4.9. Perfis de macrografias obtidos para os corpos de prova nos 2 níveis de energia de soldagem (Superiores)

A obtenção das macrografias para os níveis superiores de soldagem foram obtidas a partir da mesma metodologia com ataque reagente Vilela.

Foram também observados a presença de penetração do cordão e presença do reforço de raiz em ambos os ensaios realizados.

Geometrias e formatos dos cordões obtidos também foram analisados e marcados com linha de contorno para uma melhor visualização das áreas de interesse no cordão / chapa.

Os corpos de solda obtidos com maior aporte de energia de soldagem mostram uma melhor visualização após o ataque com o reagente Vilela identificando contornos mais expressivos entre o metal de base e o metal fundido.

O tempo de ataque químico para todos os níveis de energia foi o mesmo, onde cada face do cordão ficou mergulhado por cerca de 3mm na solução, conforme Figura 83 e Figura 84.

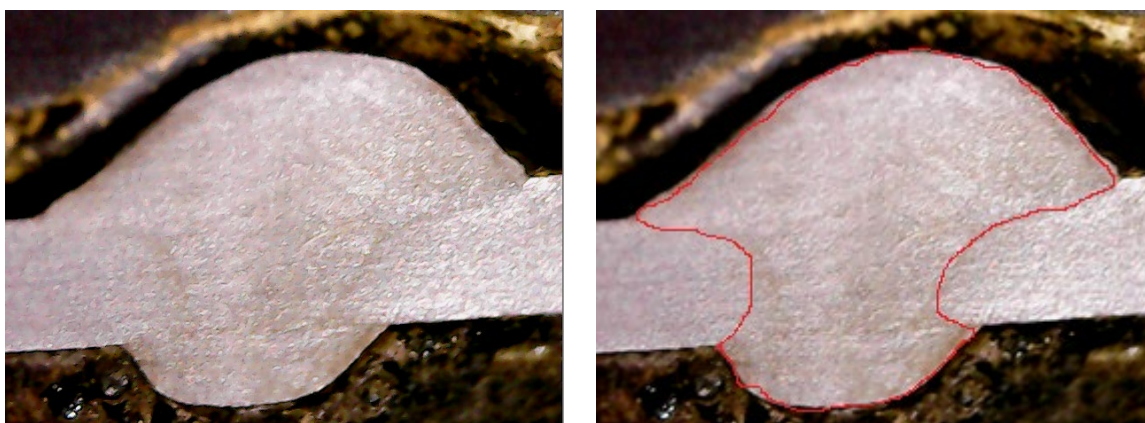


Figura 80– Macro para nível de energia E3

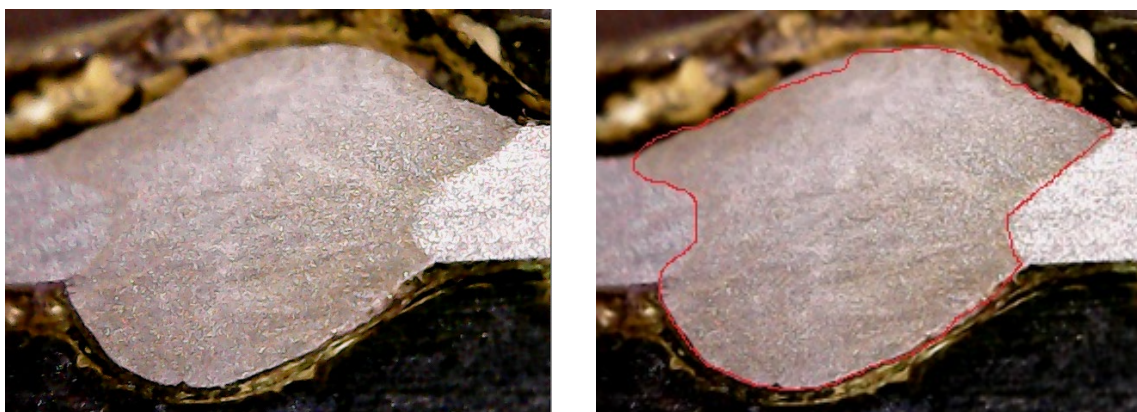


Figura 81– Macro para nível de energia E4

A área escura em torno da chapa / cordão de solda é a matriz epóxi utilizada para a fixação das chapas durante corte e lixamento do material.

Os corpos de prova foram lixados unidos e atacados quimicamente unidos para garantia de homogeneidade da metodologia aplicada e principalmente para que todas as chapas tivessem o mesmo tempo de exposição ao reagente Vilela, conforme Figura 85.



Figura 82 – Macros Unidas e atacadas simultaneamente

4.10. Determinação do valor da constante K

A Tabela 12 apresenta os parâmetros experimentais utilizados no processo de soldagem e utilizados para o cálculo da constante k, que é definida pela Equação 3

Tabela 12 - Valores experimentais de parâmetros para o Cálculo da Energia de Soldagem

Constante K ~ 11,67				
Energia	E1	E2	E3	E4
<i>Velocidade arame (mm/s)</i>	46,88	58,33	70,02	93,36
<i>Velocidade soldagem (mm/s)</i>	4,00	5,00	6,00	8,00

A tanto o parâmetro Velocidade do Arame e Velocidade de Soldagem foram calibrados e realizados em triplicata e utilizados para o cálculo de energia de soldagem. A energia de soldagem foi calculada utilizando valores médios e RMS (valor quadrático médio) de tensão de soldagem (V) e corrente de soldagem (I) e seus valores estão apresentados na Tabela 13 e Tabela 14.

Foram estabelecidos 04 níveis de Energia de Soldagem, sendo que cada corpo de prova foi executado com um nível de energia diferente. Valores médios e valores RMS de energia de soldagem apresentaram diferenças significativas nos resultados apresentados.

Tabela 13 - Valores dos parâmetros de soldagem utilizados (T e A médios)

<i>Energia de soldagem (KJ)</i>	<i>Vel. de alimentação do arame em (m/min)</i>	<i>Vel. de soldagem (mm /min)</i>	<i>Vazão de gás de proteção (L/min)</i>	<i>Tensão de soldagem (V) Média</i>	<i>Corrente de soldagem (A) Média</i>
1	2,8	4,0	14	19,3	69,0
2	3,5	5,0	14	20,2	83,0
3	4,2	6,0	14	21,1	99,4
4	5,6	8,0	14	22,8	130,6

Tabela 14- Valores dos Parâmetros de Soldagem utilizados (T e A RMS)

<i>Energia de soldagem (KJ)</i>	<i>Vel. de alimentação do arame em (m/min)</i>	<i>Vel. de soldagem (mm /min)</i>	<i>Vazão de gás de proteção (L/min)</i>	<i>Tensão de soldagem (V) RMS</i>	<i>Corrente de soldagem (A) RMS</i>
1	2,8	4,0	14	19,7	88,9
2	3,5	5,0	14	20,7	109,4
3	4,2	6,0	14	21,7	128,2
4	5,6	8,0	14	23,4	156,3

Tabela 15 - Cálculo de energia de soldagem – Média / RMS (J/mm)

<i>Energia 1 (J/mm)</i>		<i>Energia 2 (J/mm)</i>		<i>Energia 3 (J/mm)</i>		<i>Energia 4 (J/mm)</i>	
<i>Media</i>	<i>RMS</i>	<i>Media</i>	<i>RMS</i>	<i>Media</i>	<i>RMS</i>	<i>Media</i>	<i>RMS</i>
259,68	341,51	261,5	353,3	272,65	361,82	290,32	356,60

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da energia de soldagem média e RMS. As diferentes metodologias de cálculo de energia de soldagem usando valores médios de tensão e corrente e valores RMS, pode levar a erros na compreensão dos fenômenos envolvidos. A diferença entre os valores médios E1 e E4 é de aproximadamente 11%.

Enquanto que a diferença entre valores médios e RMS para o ensaio E1 é de aproximadamente 24% e para o ensaio E4 é de aproximadamente 19%. A escolha entre cálculos utilizando-se média simples e media RMS deve ser melhor estudada.

4.11. Resultados de ADPS obtidos para os 4 níveis de aporte de energia

Os valores dos ensaios microbiológicos obtidos foram tabulados e gráficos para uma melhor compreensão dos resultados. A Tabela 16 e a Figura 84 apresentam os resultados obtidos de adesão microbiana em unidades de ADPS. Os valores de ADPS final foram obtidos dividindo-se o valor das UFC / mL pela área do cordão de solda.

A Tabela 16 apresenta os resultados de ADPS obtidos para os 4 níveis de soldagem em função dos valores de energia de soldagem imposta.

Tabela 16 - Valores de ADPS ($\frac{UFC}{mL.cm^2}$) para cada Nível de energia de Soldagem

ADPS	ENERGIA E1	ENERGIA E2	ENERGIA E3	ENERGIA E4
ADPS4 (UFC / mL. cm ²)	2,13E+05	1,73E+04	1,47E+05	1,80E+05
ADPS5 (UFC / mL.cm ²)	1,40E+05	2,27E+04	1,40E+05	8,00E+03
ADPS6 (UFC / mL.cm ²)	1,53E+05	2,61E+04	2,27E+05	3,20E+04

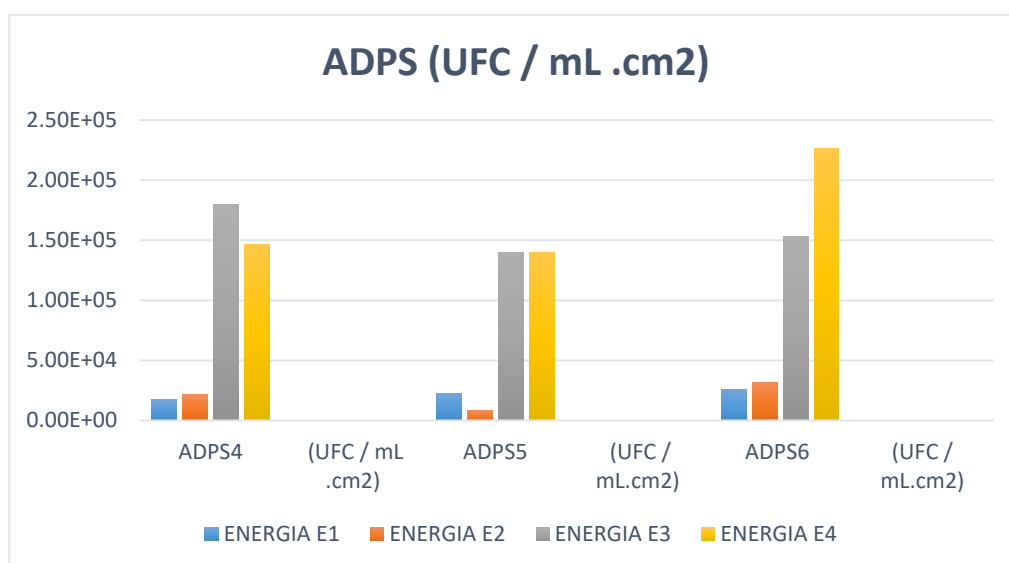


Figura 83—Resultados de ADPS($\frac{UFC}{mL.cm2}$) obtidos para todos os ensaios.

Esses valores obtidos (Figura 86) serão analisados e discutidos relacionando-se valores de energia de soldagem imposta, presença de reforço de raiz e área não passivada no processo de soldagem.

4.12. Resultados obtidos a partir da aquisição de sinais de corrente (I) para o cálculo de energia de soldagem (E)

Conforme metodologia proposta, foram adquiridos os sinais de corrente (I) para o cálculo de energia de soldagem (E), conforme Figura 87, Figura 88, Figura 89 e Figura 90 a seguir.

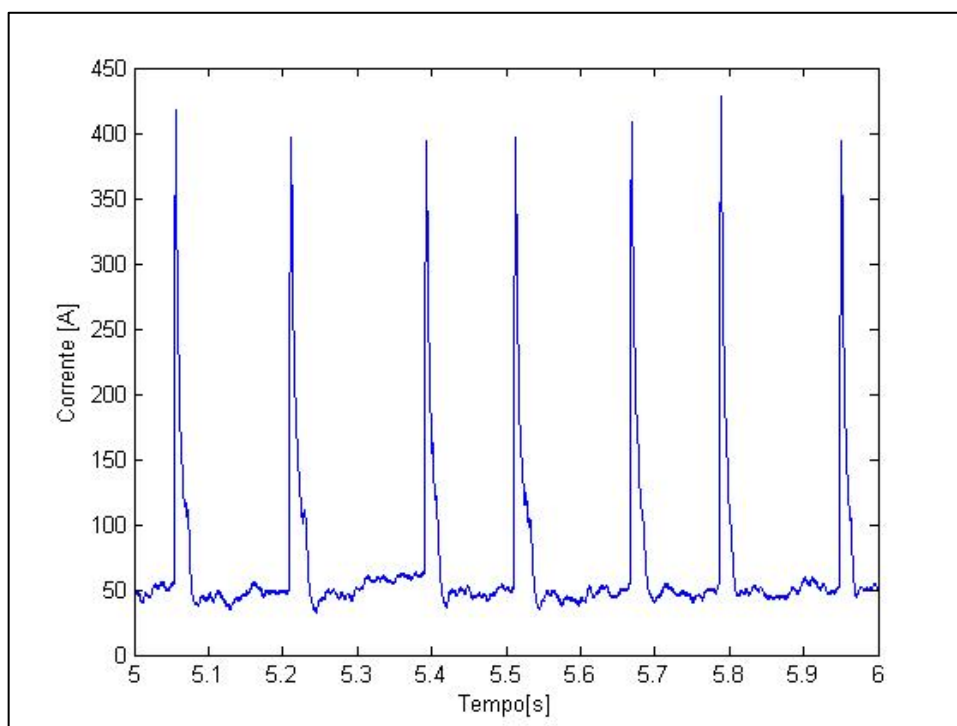


Figura 84- Valores de corrente (I) para E1

O período de análise de sinais ocorreu durante todo o ciclo de operação da soldagem. Para fins de identificação de ruído e sinais de aquisição, os gráficos foram obtidos com cerca de 1 segundo de aquisição, conforme Figura 85. Nesse período foram 7 picos de corrente de soldagem.

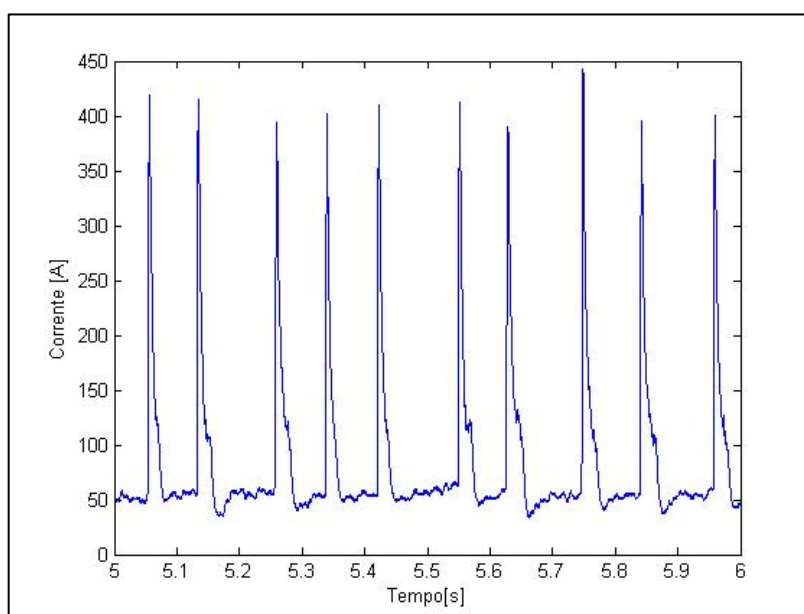


Figura 85- Valores de corrente (I) para E2

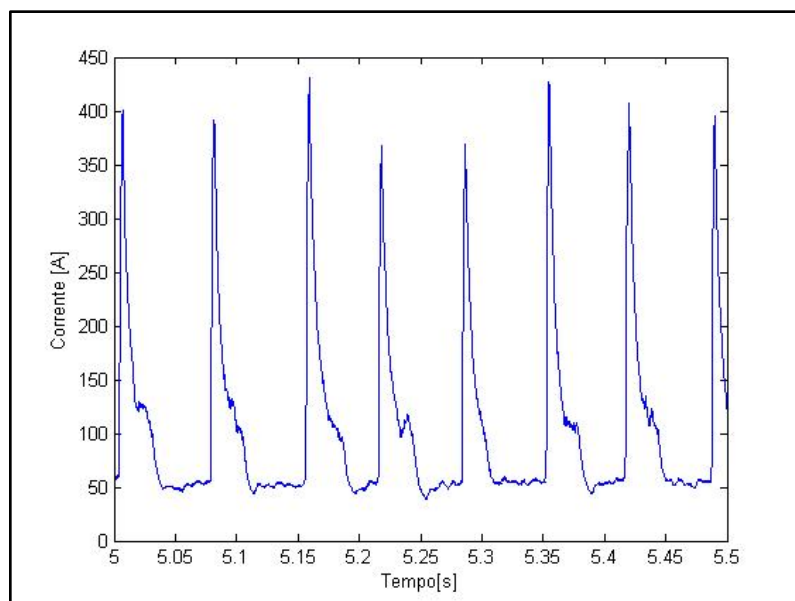


Figura 86 - Valores de corrente (I) para E3

O número de picos manteve-se praticamente constante durante o período de aquisição e análises dos sinais de corrente de soldagem, demonstrando assim a homogeneidade do processo e estabilidade da fonte de soldagem.

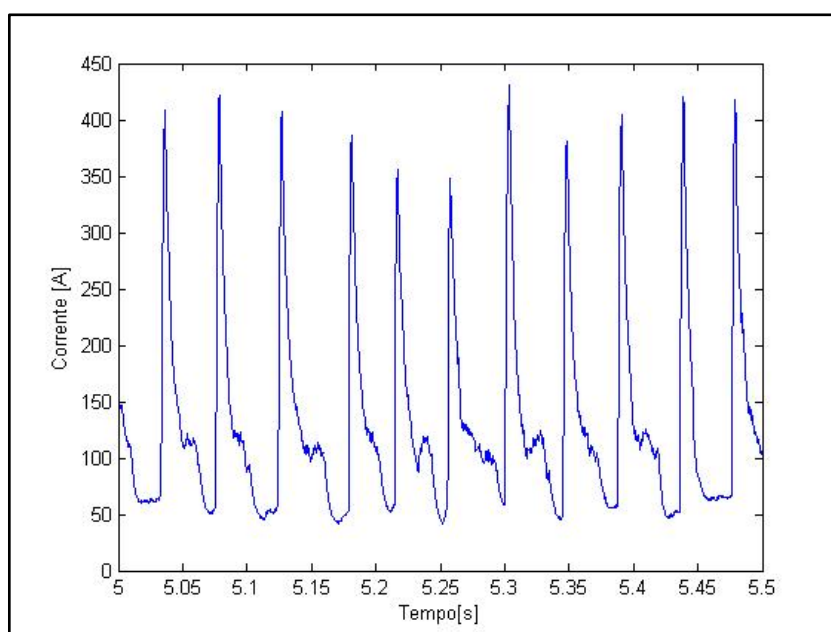


Figura 87 - Valores de corrente (I) para E4

4.13. Resultados obtidos a partir da aquisição de sinais de tensão (T) para o cálculo de energia de soldagem (E)

Conforme metodologia proposta, foram adquiridos os sinais de tensão (V) para o cálculo de energia de soldagem (E), conforme Figura 91, Figura 92, Figura 93 e Figura 94 a seguir. Os valores de tensão de soldagem mantiveram-se praticamente constante durante o período de aquisição dos dados.

O programa de aquisição de dados desenvolvido pelo Laprosolda calcularam para o período de aquisição de dados:

- Tempo de arco aberto;
- Quantidade de curto circuito.

Esses valores foram quantificados e graficados e estão disponíveis nos anexos da tese. Dados obtidos e valores quantificados estarão disponíveis para reprodução e continuidade de estudos futuros que visem busca de novas correlações que possam não terem sido identificadas no presente estudo.

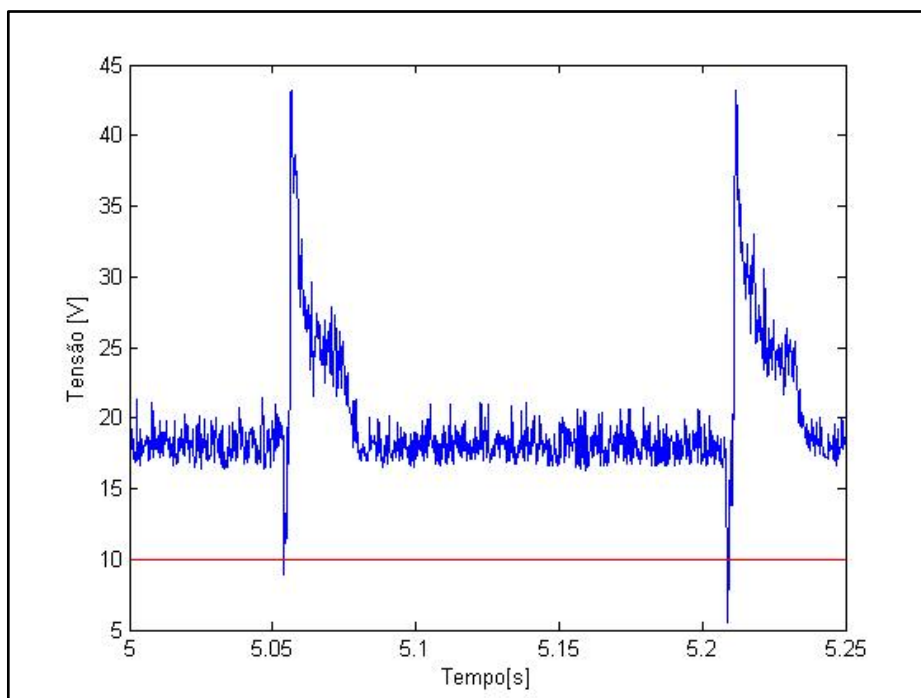


Figura 88 - Valores de Tensão(V) para E1

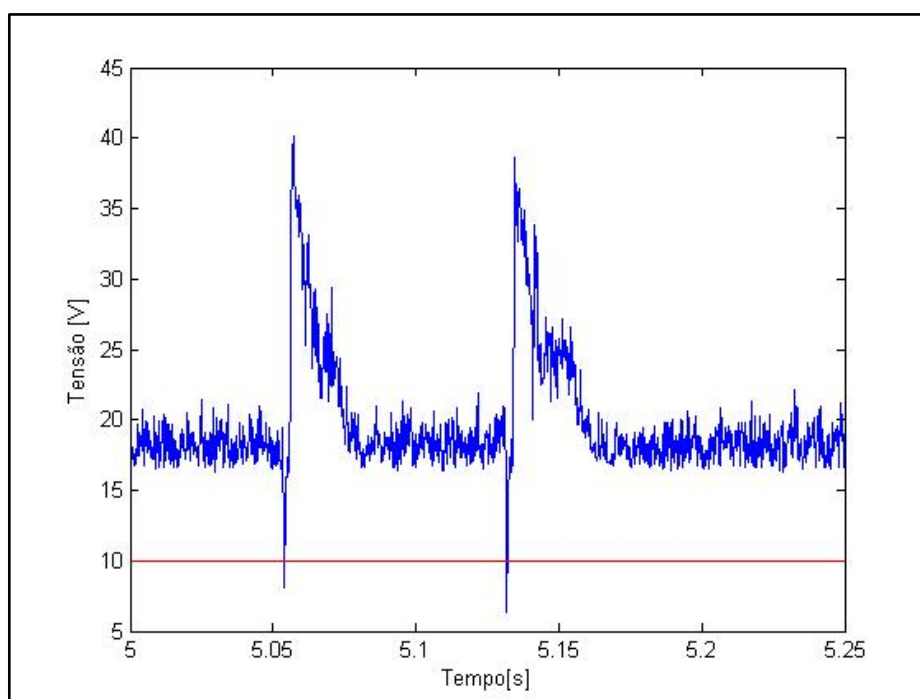


Figura 89 - Valores de Tensão(V) para E2

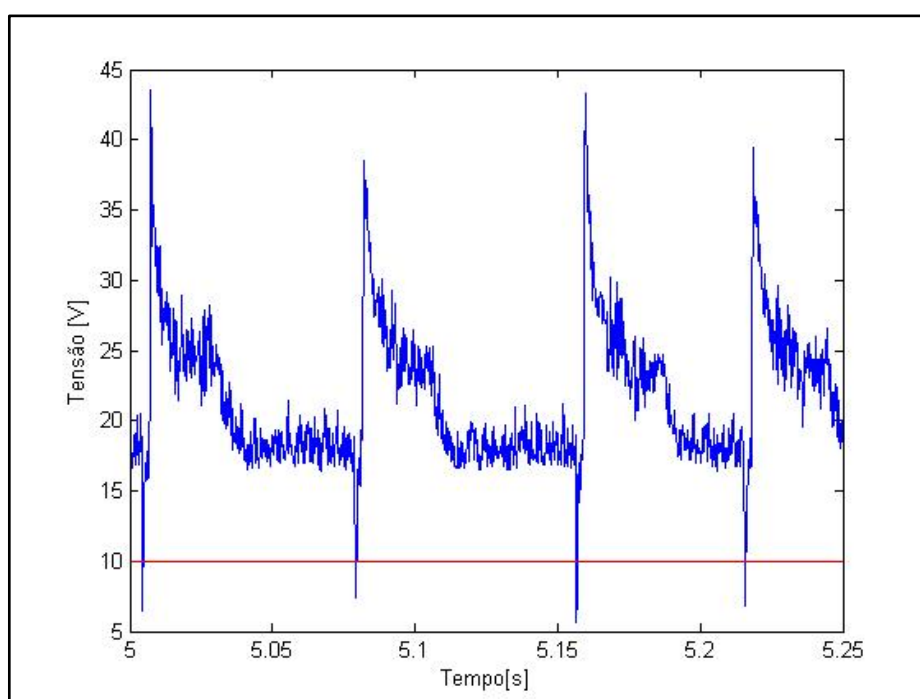


Figura 90 - Valores de Tensão(V) para E3

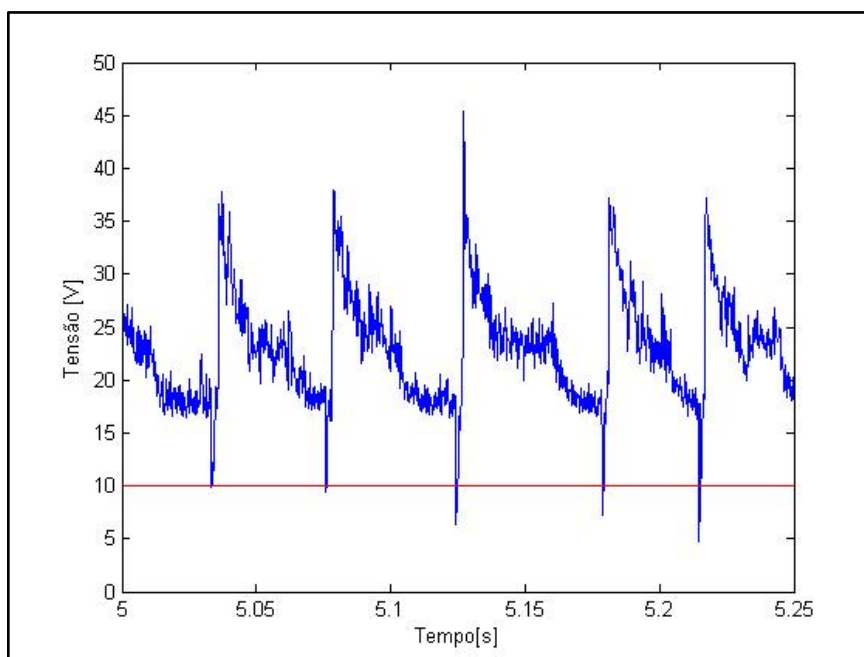


Figura 91 - Valores de Tensão(V) para E4

Os picos de tensão apresentaram pequenas variações quanto ao número de picos obtidos no período de aquisição e análise. Essa variação pode explicar a diferença entre os valores médios e RMS obtidos.

4.14. Análise dos resultados obtidos do algoritmo de *Snne*.

É possível afirmar que de posse de um envelope de trabalho pré-determinado estatisticamente houve uma redução significativa de tempo, na tarefa de se determinar os parâmetros de soldagem adequados à para a presente proposta.

Ressalta-se ainda economia de gastos de consumíveis e tempo de uso das mesas coordenadas XY além dos sistemas de aquisição de dados. Outro ponto importante e pouco destacado na literatura é que mesmo com a escolha dos valores de máximo e de mínimo, com suas respectivas restrições baseados na literatura, não há nenhuma garantia de que esses valores são adequados e consequentemente impliquem em problemas matemáticos ou estatísticos bem-postos.

Ao se “caminhar” por um envelope de trabalho desconhecido ou mesmo uma Superfície de Resposta teórica corre-se o risco de se estabelecer uma “distancia” não adequada entre fatore e seus respectivos níveis. Para evitar que isso acontece-se realizou uma

simulação escolhendo-se um modelo Lin/Quad e mais os efeitos de interação de segunda ordem, como é possível observar em efeitos:

- $1L*2L$
- $1L*3L$
- $2L*3L$

Assim é possível determinar facilmente se as restrições foram bem postas e valores máximos e mínimos adequados.

4.15. Análise dos valores de massa obtidos nos ensaios de aporte de energia

Após a obtenção dos valores de massa de material fundido depositados, procedeu-se o cálculo dos valores médios e desvio padrão conforme Tabela 17.

Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os valores de massa depositados.

Tabela 17 - Massa depositada no cordão para cada nível de energia (E)

NÍVEL DE ENERGIA				
Energia Soldagem	E1	E2	E3	E4
Massa Média (g)	7,91	7,71	8,35	7,63
Desvio	0,17	0,17	0,18	0,53

4.16. Análise dos testes de passivação dos corpos de prova

O procedimento de decapagem com o ácido fosfórico mostrou-se adequado para os objetivos propostos. Foram eliminadas a presença de óxidos prejudiciais e demais sujidades e itens que poderiam prejudicar a análise do processo de adesão microbiana e formação do biofilme, preservando áreas importantes para o estudo.

A chapa apresentou um aspecto limpo e agradável visualmente, características típicas dos aços inoxidáveis, conforme Figura 95.



Figura 92 - Chapa de aço decapada

Após o processo de decapagem, o reforço de raiz fica totalmente visível, apresentando um aspecto de homogeneidade e em uma análise visual livre de defeitos de soldagem como poros, mordeduras e trincas de fusão ou trincas a frio.

Apenas os corpos de prova para E1 e E2 apresentam um excesso de deposição de material no reforço devido o tempo de parada da tocha de soldagem sobre os mesmos, conforme Figura 94.

Todos os cordões apresentaram dimensões semelhantes no reforço de raiz conforme Figura 96. Isso demonstra uma relação direta com a massa depositada de forma constante em cada corpo de prova testado.

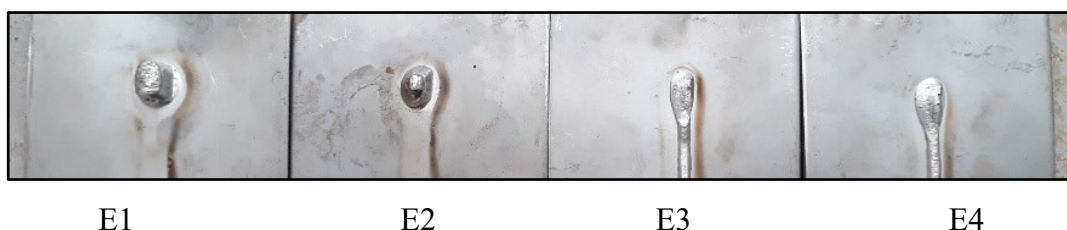


Figura 93 – Excesso de material depositado com níveis de energia de soldagem E1 e E2



Figura 94 - Largura do reforço do cordão produzido

Cada corpo de prova apresentado da Figura 97 apresentou um aspecto de boa soldabilidade, com pouca formação de óxidos e demais defeitos e descontinuidades em geral. As chapas soldadas apesar de serem finas, não demonstraram deformações e distorções típicas do aporte de calor sobre o material. Isso justifica-se pela presença do gabarito de fixação presente durante o processo de soldagem.

4.17. A formação de reforço de raiz nos corpos de prova.

Conforme mostrado na Figura 98 baixos aporte de energia de soldagem não contribuíram para a formação de reforço de raiz e pouca penetração do cordão de solda na chapa. Apresentaram boa molhabilidade da poça de fusão conforme Figura 81 e Figura 82 indicando que esse valor de energia de soldagem poderia ser utilizado para a técnica de tecimento visando a recuperação de chapas e peças, especialmente para chapas finas e uso em de soldagem em linhas vivas. Baixos aporte de calor e pouca penetração do cordão permitiram uma condição de reparo.

Na Figura 99 (E3 e E4) a energia de soldagem proporcionou a formação de reforço de raiz adequado e homogêneo, com dimensões esperadas pela literatura e presentes na Figura 83 e Figura 84. Apresentaram boa molhabilidade e ausência de mordeduras ou outros defeitos importantes como porosidade e trincas.

No entanto apresentaram-se como uma barreira mecânica que auxiliou o processo de acúmulo de matéria orgânica na região das ADPS.

4.18. Análise do ataque com Ferroxil e as áreas não passivadas versus aporte de energia

Na Figura 97 tem-se uma comparação entre aporte de energia de soldagem e áreas não passivadas. É possível observar que baixos aportes de energia E1 não produziram reforço de raiz e ainda criaram maiores áreas de metal não passivado.

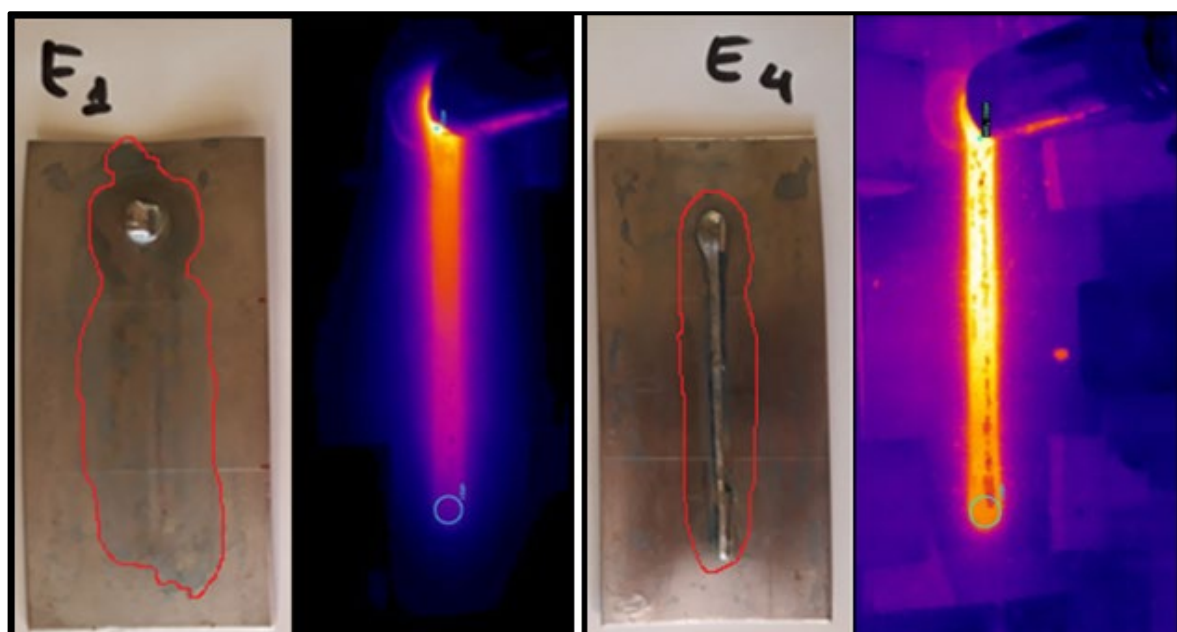


Figura 95 - Comparação entre E1 e E2

Sem a proteção da camada passiva e sem a presença do elemento Cr que atua como elemento microbiano e tem relação direta com a adesão (que está presente na camada passivadora formada por óxidos), a ADPS₄ apresentou maiores valores de adesão microbiana. Uma vez instalado o biofilme e com a transferência e difusão de oxigênio dificultada pelo biofilme, o processo de MIC passa a se instalar justamente nessas regiões, iniciando assim a formação das células de aeração diferencial e formação dos pites.

É importante destacar também a presença de reforço de raiz, que forma uma barreira mecânica de acúmulo de matéria orgânica e facilita a adesão inicial.

Na Figura 99, Vilela (2003) demonstra como a presença do microrganismo *Pseudomonas aeruginosa* e outras culturas associadas desloca as curvas potencioestáticas de polarização anódica (alumínio) diminuindo o potencial de formação dos pites de corrosão.

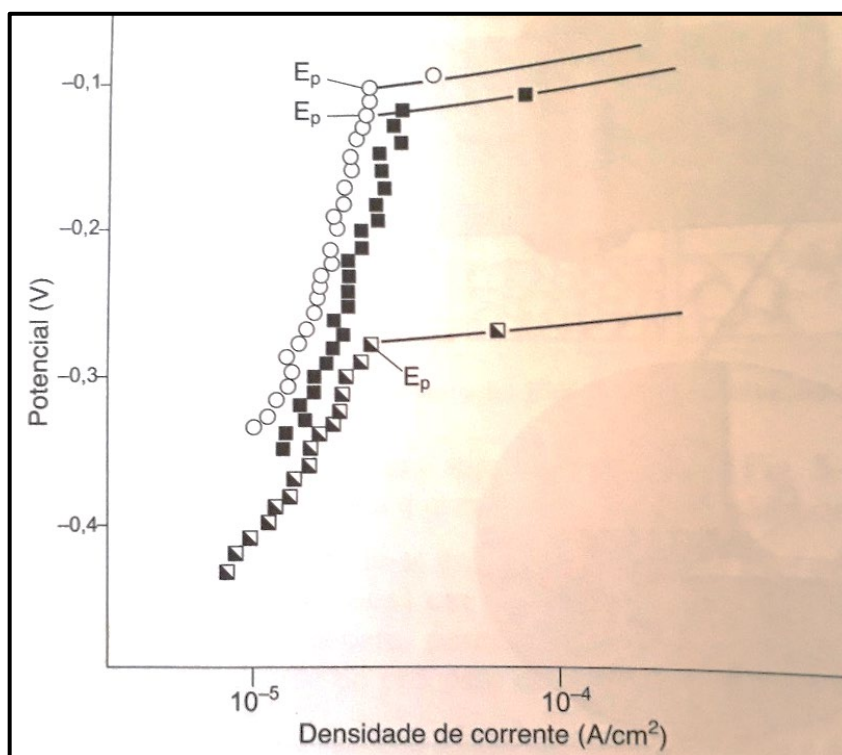


Figura 96- Densidade de corrente (Vilela, 2003)

Umas das espécies encontradas em amostras de leites em laticínios é *Pseudomonas sp* e metabolicamente tem o mesmo comportamento e atua também negativamente nas curvas do potencial de passivação do metal (Vilela, 2003).

Nos ensaios com maior aporte de energia, ocorreram a formação de reforço de raiz Figura 96 (E3 e E4) e o aporte de energia de soldagem promoveu áreas de menor passivação quando comparadas com E1 e E2.

4.19. Resultados da simulação do coeficiente de partição para biofilme e interface

A Figura 100 apresenta o perfil de concentração entre o fluido e o biofilme aderido à superfície metálica. Os valores de α no raio e β no biofilme estão adimensionalizados. Pelo modelo de simulação é possível observar que a concentração da espécie E_{enzima} aumenta sua concentração em relação ao tempo

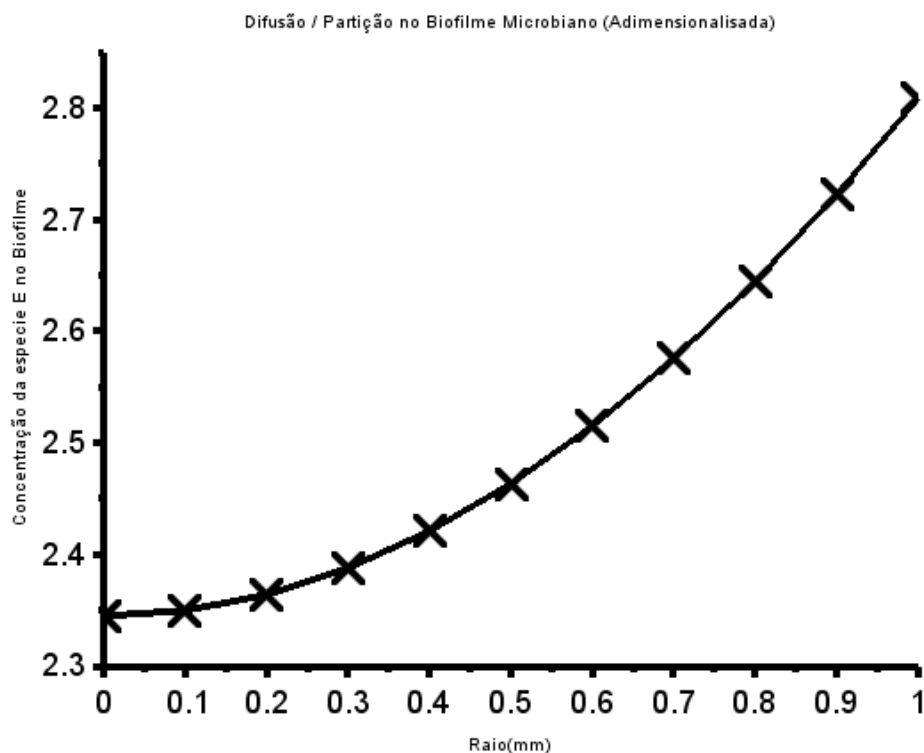


Figura 97 - Resultado simulação Coef. Partição

À medida que o biofilme aumenta de diâmetro devido a um maior acúmulo de matéria orgânica maior é a concentração de enzimas e produtos metabólicos em seu interior. Dessa forma aumenta o contato desses metabólitos sobre a superfície do material de solda, que não estando protegido pela camada passiva tem seu processo de MIC acelerado.

CAPITULO V

CONCLUSÕES

Com base nos objetivos traçados, as principais conclusões obtidas durante a realização dos trabalhos de Tese foram:

- O conceito de ADPS pode se tornam uma importante metodologia para a criação de uma engenharia de soldagem inversa (Problemas inversos) onde a soldagem pode ser projetada controlando tamanho de grão e disposição dos elementos de liga e diluição, de acordo com a espécie microbiológica;
- A presença de reforço de raiz cria situações que facilitam a adesão microbiana e consequentemente a formação de biofilme;
- O algoritmo de Snne permite identificar regiões experimentais mais propícias para a realização dos testes de soldagem “screen”;
- O uso de metodologias estatísticas (Snne) permitem uma economia de consumíveis para a realização de trabalhos;
- A ZAC mostrou-se uma região preferencial de adesão microbiana em todos os 4 ensaios de aporte de Energia de Soldagem;
- Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas de adesão entre Energia de Soldagem A e B.
- Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas de ADPS entre Energia de Soldagem C e D;
- Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas de ADPS entre Energia de Soldagem A e D.

CAPITULO VI

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É possível traçar as seguintes sugestões de testes para a realização de trabalhos futuros relacionando processos de soldagem e microbiologia:

- Ampliar a Faixa de Aporte de Energia Térmica sobre superfícies Soldadas, usando processo MIG Curto-Circuito e Curto-Circuito Controlado e verificar a taxa de ADPS;
- Utilizar a metodologia proposta para outros Processos de Soldagem, como TIG e STT;
- Verificar uma possível correlação entre tamanho de Grão Metalúrgico e a ADPS encontrada;
- Verificar uma possível correlação entre tamanho de Grão Metalúrgico e a quantidade de ATP microbiano encontrado na superfície;
- Utilizar outro fluido de interesse industrial e que esteja sujeito a contaminação microbiológica e MIC, utilizando a metodologia proposta;
- Utilizar culturas puras de células e verificar o processo de adesão microbiana, identificar a ADPS em corpos de provas soldados;
- Utilizar corpos de provas confeccionados em Aço inoxidável 316 e verificar se a presença de quantidades maiores de elementos de liga apresenta alguma influência nas taxas de ADPS;
- Utilizar corpos de provas confeccionados em Aço inoxidável 316L e estabelecer assim se existe ou não uma correlação quanto a concentração do elemento Carbono na Liga;

- Verificar se a existência de correlação entre a velocidade de escoamento do fluido sob cordões de solda apresenta maiores ou menores taxas de ADPS;
- Determinar se defeitos de soldagem, como mordeduras, afetam de alguma forma a adesão microbiana;
- Determinar se a rugosidade do reforço de raiz impacta na adesão microbiana e formação do biofilme microbiano;
- Verificar o comportamento de outras espécies microbianas na adesão e formação do biofilme sob a superfície soldada.

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEECH, Iwona B.; GAYLARDE, Christine C.. Recent advances in the study of biocorrosion – an overview. In: Microbiological Resources Center, 30., 1999, Porto Alegre. Revista. Porto Alegre: Mircen, 1999. p. 177 - 190.

BERNHARDSSON, S. . The corrosion resistance of duplex stainless steels. IN: Proc. Conf. Duplex Stainless Steels'91, Les Editions de Physique, Les Ulis Cedex, Beaune, França, 1991

Borenstein, S.W. Microbially influenced corrosion handbook. Woodhead, Cambridge, UK, 1994

<https://doi.org/10.1533/9781845698621>

Brasil, S. L. D. C. et al. Monitoring Microbial Adhesion And Corrosion Of Carbon Steel Exposed To Sea Water Containing Pseudomonas And Sulfate-Reducing Bacteria. In: MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING, 2., 2005, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. p. 1 - 8.

Bassanezi, R. Modelagem Matemática. Blumenau: Dynamis, 1997. 389 p.

Campos, P.T.; Caracterização Mecânica E Microestrutural De Juntas Soldadas Pelos Processos MIG/MAG (GMAW) E Arame. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

CARBÓ, Héctor Mario. Aço inoxidável idável Aplicações e Especificação. In: NUCELO INOX, 1., 2001, São Paulo. Manual Técnico. São Paulo: Acesita, 2001. v. 1, p. 1 - 49.

Carvalho, J. A. N. Aços Inox. Características e Propriedades de Uso. Seminário Inox 2000. ACESITA

Characklis, W.G., 1991. Biofouling: effects and control. In: Flemming, H.C., Geesey, G.G., Biofouling and biocorrosion in industrial water systems. Springer, Berlin, pp. 7. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76543-8_2

Cravo Júnior, W.B. et al. Efeito Do Teor De Cromo Na Aderência De Microrganismos Em Ligas De Aço Carbono. In: 6º COTEQ Conferência Sobre Tecnologia De Equipamentos . Congresso Brasileiro De Corrosão, 6., 2003, Bahia. Anais... . Bahia: 6º Coteq, 2002. p. 1 - 10.

CRAVO JUNIOR, Walter B.; FRANÇA, Francisca P. de. Efeito da Desaeração Parcial do Fluxo Aquoso em Sistema Dinâmico na Formação de Biofilmes. IN: 2º Congresso Brasileiro

de P&D em Petróleo & Gás, 2003, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia Bioquímica, 2003. p. 1 - 6.

Cremasco, M.A. Fundamentos da transferência de massa. Campinas: UNICAMP, 2002. 729p.

De França, F.P. & Cravo jr., W.B. Variation in sessile microflora as a function of flow velocity during biofilm formation in carbon steel coupons exposed to circulating seawater. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 16: 811-814. 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1008923304646>

De França, F.P. & Lutterbach, M.T.S. Variation in sessile microflora during biofilm formation on AISI 304 stainless steel coupons. *Journal Industrial Microbiology* 17, 6 –10. 1996. <https://doi.org/10.1007/BF01570140>

FERREIRA, R.S. Coeficientes de partição de solutos em gel contendo microrganismos imobilizados, São Carlos, 1986. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos.

FERREIRA FILHO, Demostenes; BÁLSAMO, Paulo Sérgio de Sairre; FERRARESI, Valtair Antonio. INFLUÊNCIA DO TIPO DE GÁS DE PROTEÇÃO DA SOLDAGEM MIG/MAG NA QUALIDADE DO CORDÃO DE AÇO INOXIDÁVEL IDÁVEL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 4., 2007, Santa Catarina. Anais... . Santa Catarina: Abcm | Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas., 2007. p. 1 - 10.

FORTES, C., Manual Soldagem MIG / MAG - traduzido e adaptado, ESAB, Agosto, 2004

Geesey, G.G., 1982. Microbial exopolymers: ecological and economic considerations. *American Society for Microbiology News* 48, 9–14.

Handriková, G., Stefuca, V., Polakovic, M., Bales, V. Determination of effective diffusion coefficient of substrate in gel particles with immobilized biocatalyst, *Enzyme and Microbial Technology*, v.18, p.581-584, 1996. [https://doi.org/10.1016/0141-0229\(95\)00150-6](https://doi.org/10.1016/0141-0229(95)00150-6)

Irving, B. Shielding Gases are the Key to Innovations in Welding. *Welding Journal*, v. 78, n. 1, p. 37-41, 1999.

Jardim, W.F.; Canela, M.C. Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Instituto de Química - IQ, Laboratório de Química Ambiental - LQA. Caderno Temático, vol. 1, Campinas - SP, 2004

Jones DA, Amy PS: A thermodynamic interpretation of microbiologically influenced

corrosion. Corrosion 2002, v.58., p.638.
<https://doi.org/10.5006/1.3287692>

Jones, D.A. Principles and Prevention of Corrosion. 1ª Ed. NY., editora. Macmillan Publishing Company. EUA, 1992. 568p

Kinzler K, Gehrke T, Telegdi J, Sand W: Bioleaching — a result of interfacial processes caused by extracellular polymeric substances (EPS). Hydrometallurgy 2003, v.71, p.83.
[https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(03\)00176-2](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00176-2)

Kourkoutas, Y., Bekatorou, A., Banat, I.M., Marchant, R., KOUTINAS., A.A. Immobilization technologies and support material suitable in alcohol beverage production: a review. Food microbiology, v.21, p.373-397, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2003.10.005>

Levenspiel, O. Engenharia das reações químicas: Rio de Janeiro: EDGARD BLÜCHER, 2002. 563p

LUCAS, W. ; "Shielding Gases for Arc Welding - Part 1"; Revista WELDING & METAL FABRICATION, June 1992;pp 218-224

Lyttle, K.A.; Stapon, W.F.G. Select the Best Shielding Gas Blend for the Application. Welding Journal, v. 69, n. 11, p. 21-27, 1990

NILSSON, J.-O, Physical metallurgy of duplex stainless steels. IN: Proceedings Duplex Stainless Steel 97, 5th World Conference, Maastricht, Holanda, pp. 73-82. Outubro 1997.

Macedo, W. A. et al. Efeitos da purga com nitrogênio na raiz de juntas de inoxidável austenítico. In: encontro nacional de tecnologia da soldagem - ABS, 1980, Bahia. Anais... . Salvador: Abs, 1980. v. 1, p. 1 - 10.

Machado, G. I. Soldagem & Técnicas Conexas: Processos, UFRGS, 1996.

Marques, P.V.; Modenesi, P.J.; Valente, O.B. Características do Arco de Soldagem TIG em Diferentes Atmosferas. IN: Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem, 24, 1998, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Associação Brasileira de Soldagem, 1998.

Modenesi, P.J. Introdução à Física do Arco Elétrico e sua Aplicação na Soldagem dos Metais. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, Apostila do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica. Belo Horizonte. 158 p., 2009.

Modenesi, P.J. . Soldagem dos Aços Inoxidáveis. Ed. Senai. 2001. Osasco. SP.p.100.

Morton, L.H.G AND SURMAN, S.B. "Biofilms in Biodeterioration — a Review". International Biodeterioration & Biodegradation. 203, 1994
[https://doi.org/10.1016/0964-8305\(94\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0964-8305(94)90083-3)

Novais, P.R.S. Avaliação das principais descontinuidades encontradas nas juntas soldadas, causas e possíveis soluções - Contribuição técnica nº 9. ABCM Associação Brasileira de Construção Mecânica, 2010.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: < <http://www.more.ufsc.br/> > . Acesso em: 16 de Maio de 2017.

NANDAKUMAR K., SREEKUMARI K. R. AND KIKUSHI Y., Biocorrosion of Stainless Steel Welds: Effect of Bacterial Adhesion, Proceedings of the International Conference on The Joining Materials – JOM-10, Helsigor, Denmark, May 11–14, 2001.

ODEGARD, L.; "Welding of Stainless Steels. Corrosion in Welds. Effect of Oxides, Slag and Weld defects on the Pitting Resistance"; Revista SVETSEN , Special Issue June 1995; pp 112-116

Ornek D, Wood TK, Hsu CH, Sun Z, Mansfeld F: Pitting corrosion control of aluminum 2024 using protective biofilms that secrete corrosion inhibitors. Corrosion 2002. v. 58.p.761. <https://doi.org/10.5006/1.3277659>

Quites, A M.; Introdução à soldagem a Arco Voltaico, Soldasoft, Florianópolis, 2002.

RODRIGUES, Lino Alberto Soares. Caracterização Microestrutural E De Propriedades Mecânicas De Soldas Do Aço ASTM A 131 Pelos Processos FCAW Convencional E Com Adição De Arame Frio. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

Scotti, A.; Ponomarev, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. 284 p., 2008. São Paulo: Artliber Editora

Silva, C. I., Lomba, R.M., Filocreão, A.S.M. Assistência técnica e extensão rural na agricultura familiar do estado do Amapá. Anais: Reencontro De Saberes Territoriales Latinoamericanos, 1, Amapá- Brasil. 2013.

Stenbacka, N.; "Shielding Gas Technology When Welding Ordinary and High Alloyed Stainless Steels"; Revista SVETSEN, Special Issue Nº 3 1995;pp 46-49

TATAGIBA, L. C. S. et al.. Tendências no desenvolvimento de gases de proteção utilizados na soldagem MIG/MAG. Soldag. insp. [online]. 2012, vol.17, n.3, pp.218-228. ISSN 0104-9224. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242012000300006>
<https://doi.org/10.1590/S0104-92242012000300006>

Torres, E. S. Cinética de parâmetros microbiológicos na formação de biofilms. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ. Dissertação.p.80. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2001.

Tusek, J. & Suban, M. Experimental research of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel. *Int J Hydrogen Energy*, v.25, 2000, p.369.

[https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(99\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(99)00033-6)

Videla, H. Corrosion microbiológica y biofouling. Um nuevo desafio para los tratamientos de águas industriais. *Corrosion/ Protection*. Pp 41-42. 1988

Videla, H.A., 1995. Electrochemical aspects of biocorrosion. In: Gaylarde, C.C., Videla, H.A., Bioextraction and Biodeterioration of Metals. Cambridge University Press, UK, p. 85.

WALDÉN, B. & NICHOLLS, J.M.. The Sandvik duplex family of stainless steel. Summary of data. Publicação S-51-53 da AB Sandvik Steel, Suécia. Abril 1994.

WAINER; E, BRANDI; S D, DE MELLO; F D H Soldagem: processos e metalurgia, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1992.

WU; W., MS Thesis. Department of Mechanical Engineering, University of New South Wales, Australia, 2002.

ZEINI, F. A importância da qualidade da ordenha no controle de mastite bovina. Porto Alegre, 2012. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ZOCCAL, R.. Ações e tendências nas indústrias de laticínios. 2017. Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/estatistica/>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

ANEXOS

A) Análise dos sinais elétricos monitorados durante as soldagens

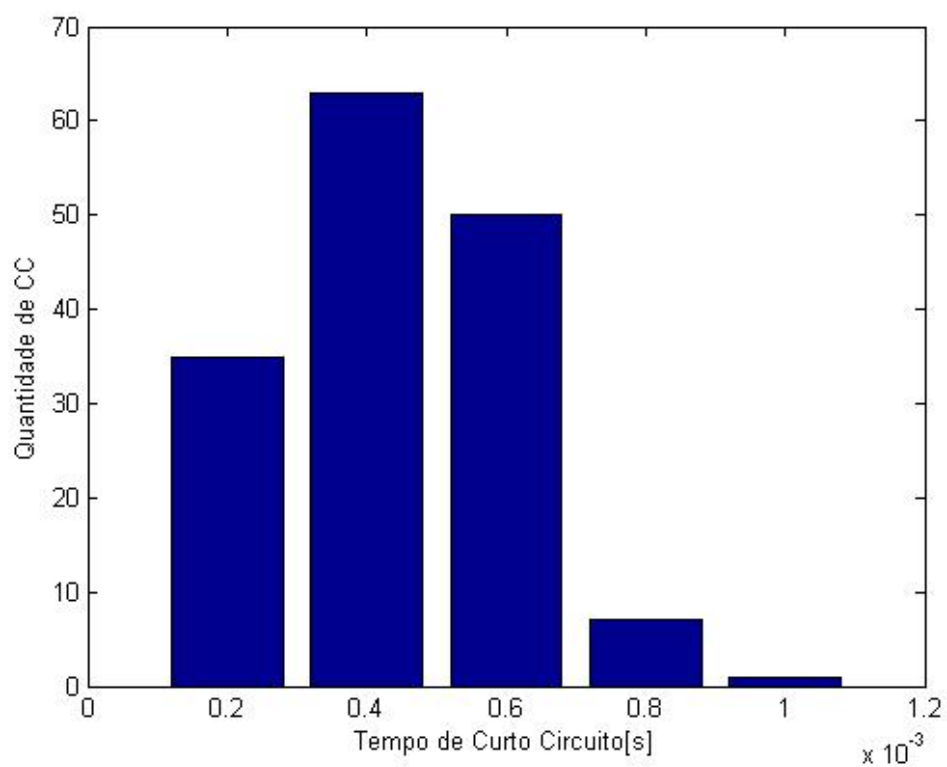


Figura 98–Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E1

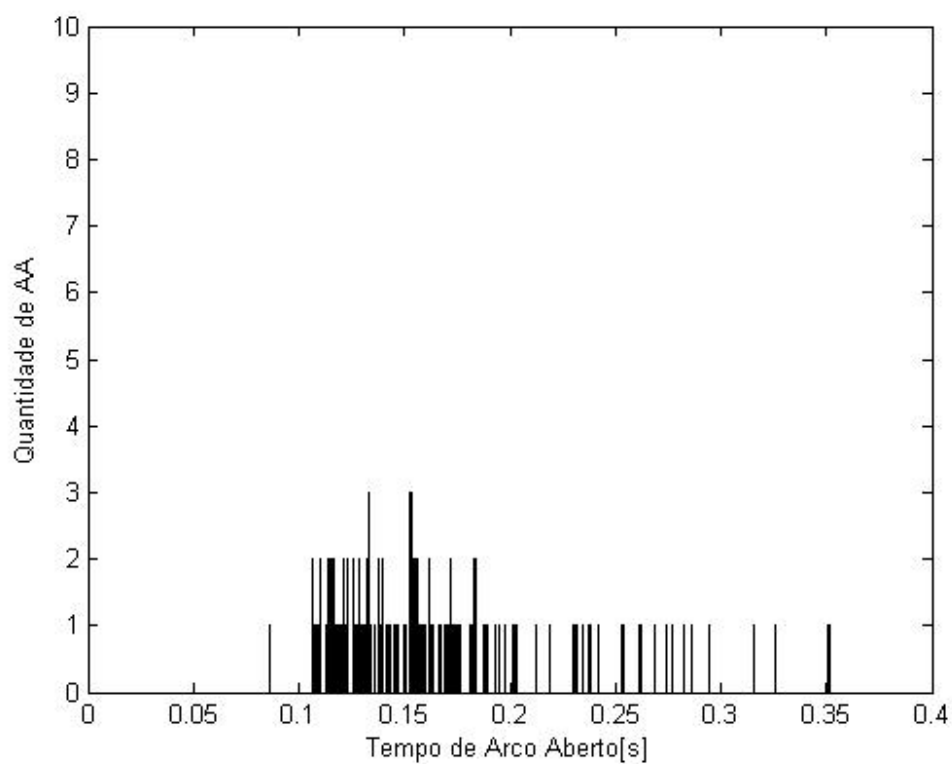


Figura 99–Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E1

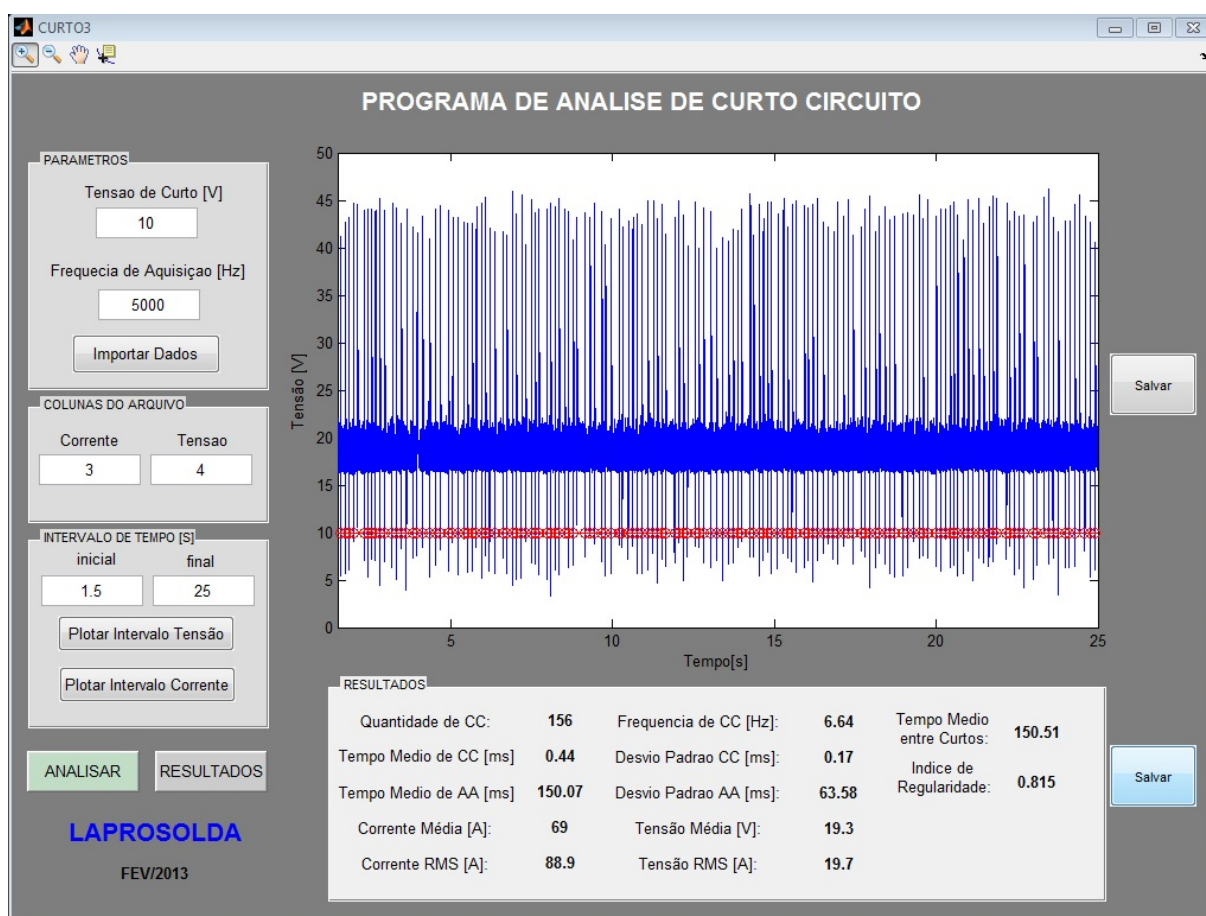


Figura 100–Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E1

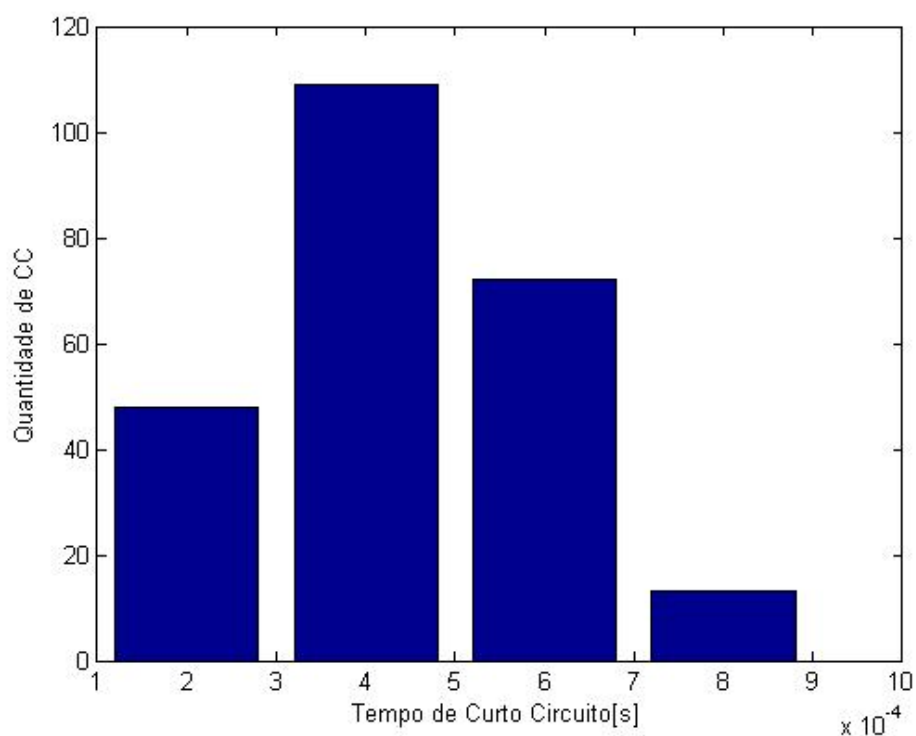


Figura 101 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E2

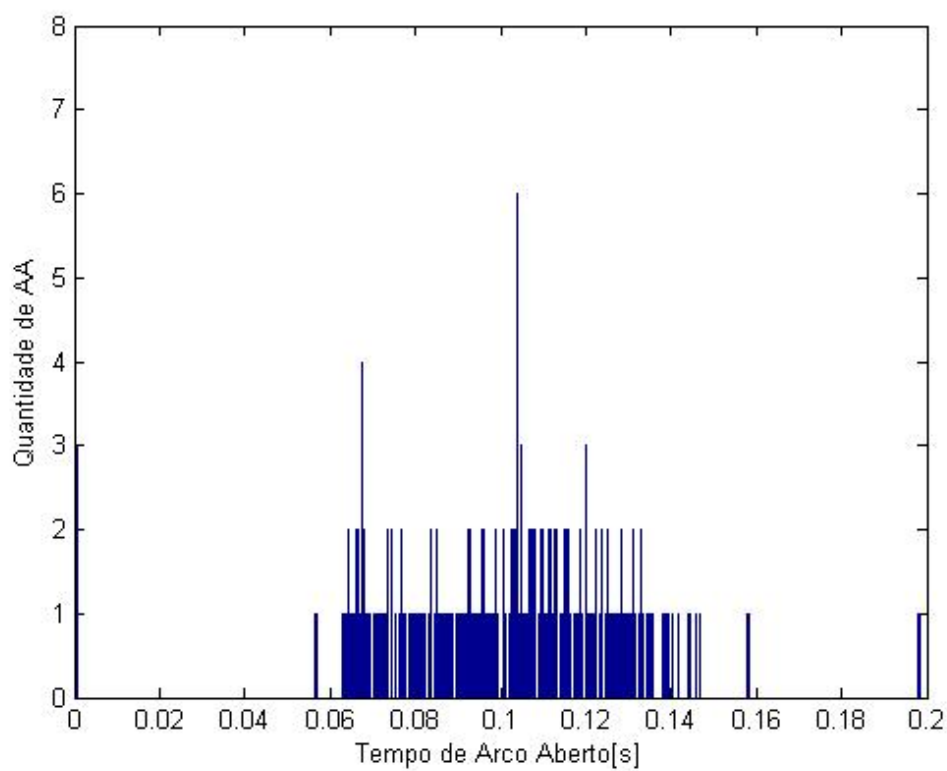


Figura 102 - Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E2

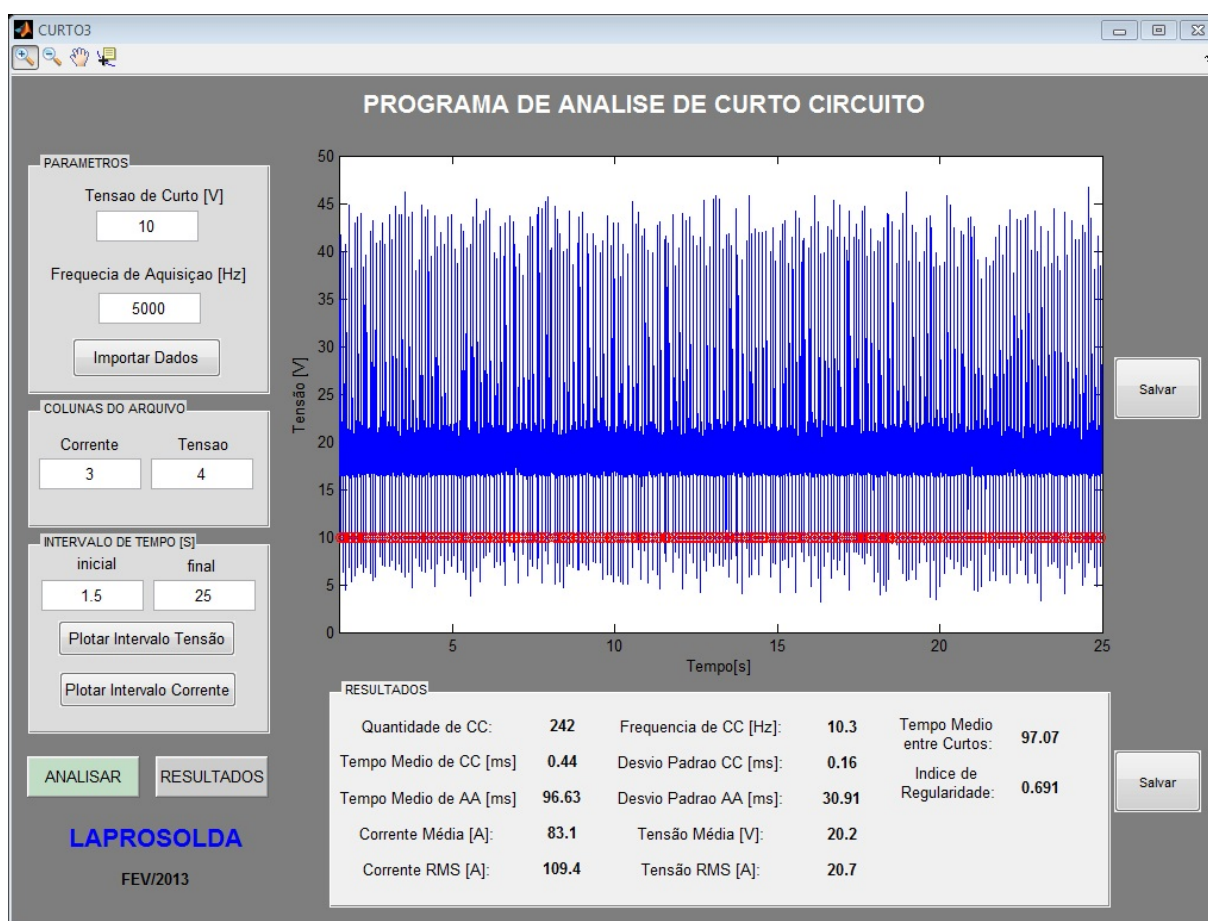


Figura 103 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E2

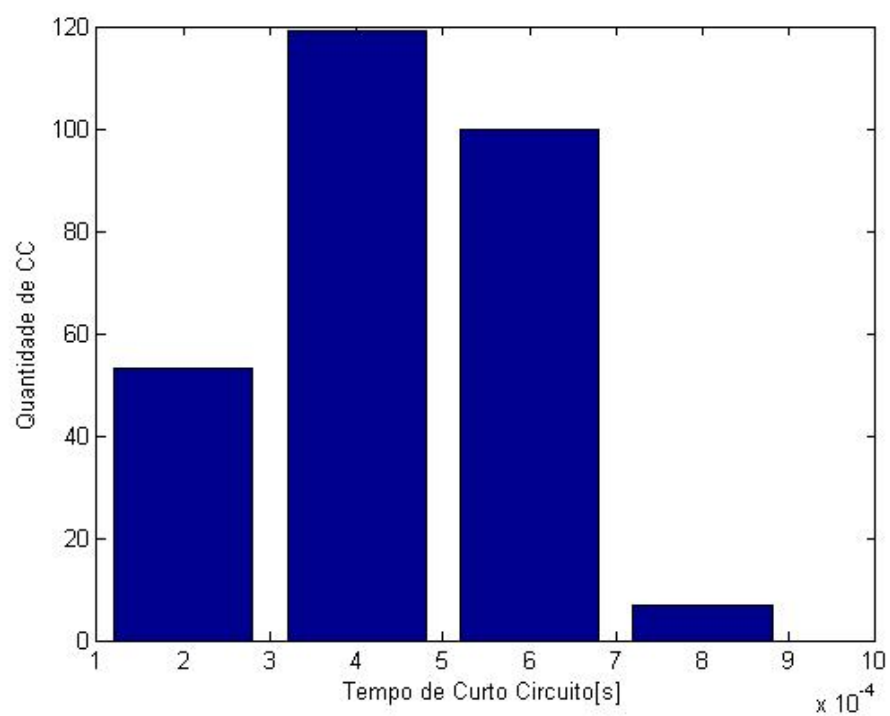


Figura 104 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E3

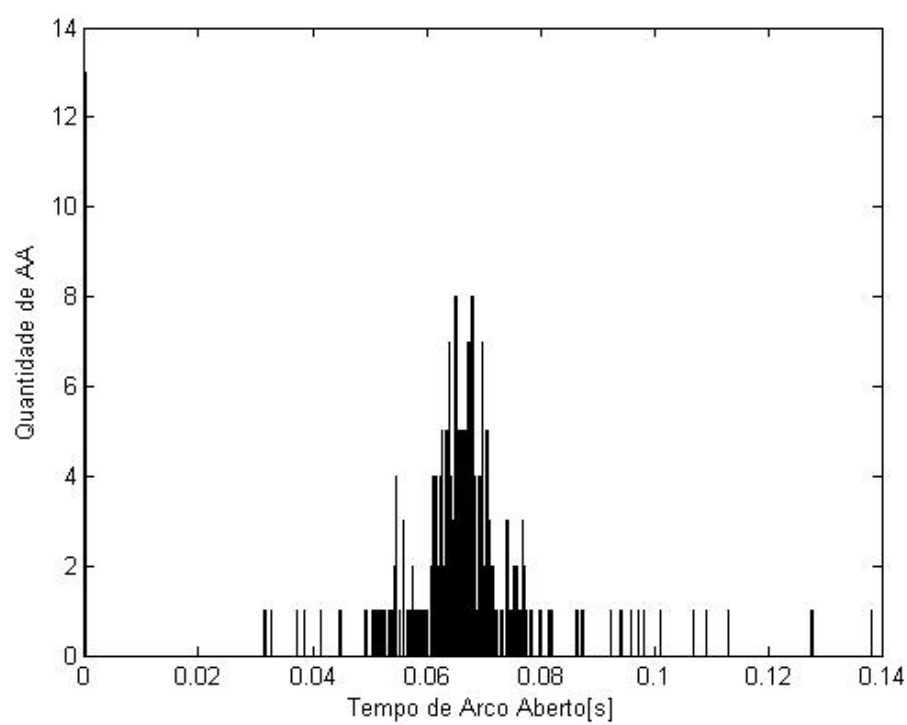


Figura 105 - Histograma de tempos de arco-aberto para a Energia E3

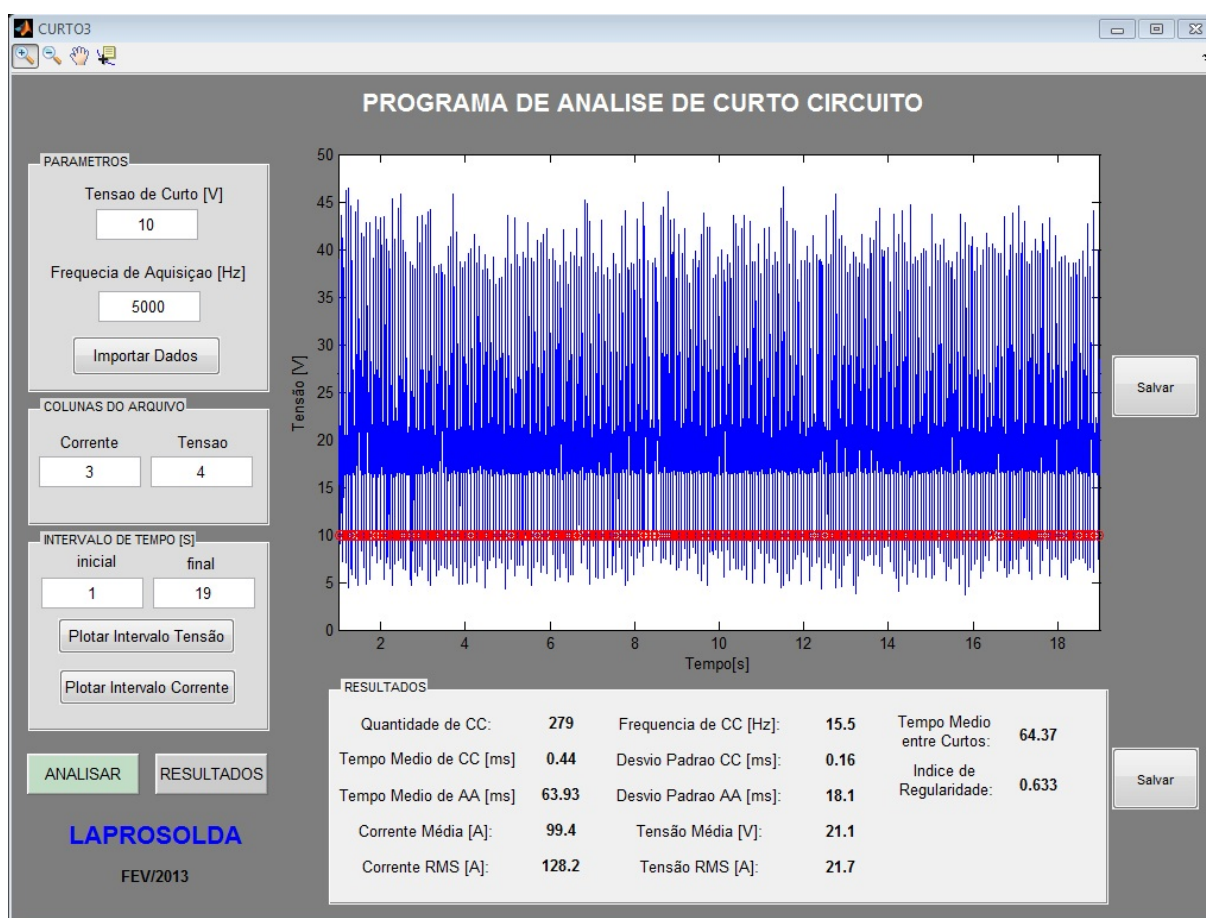


Figura 106 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E3

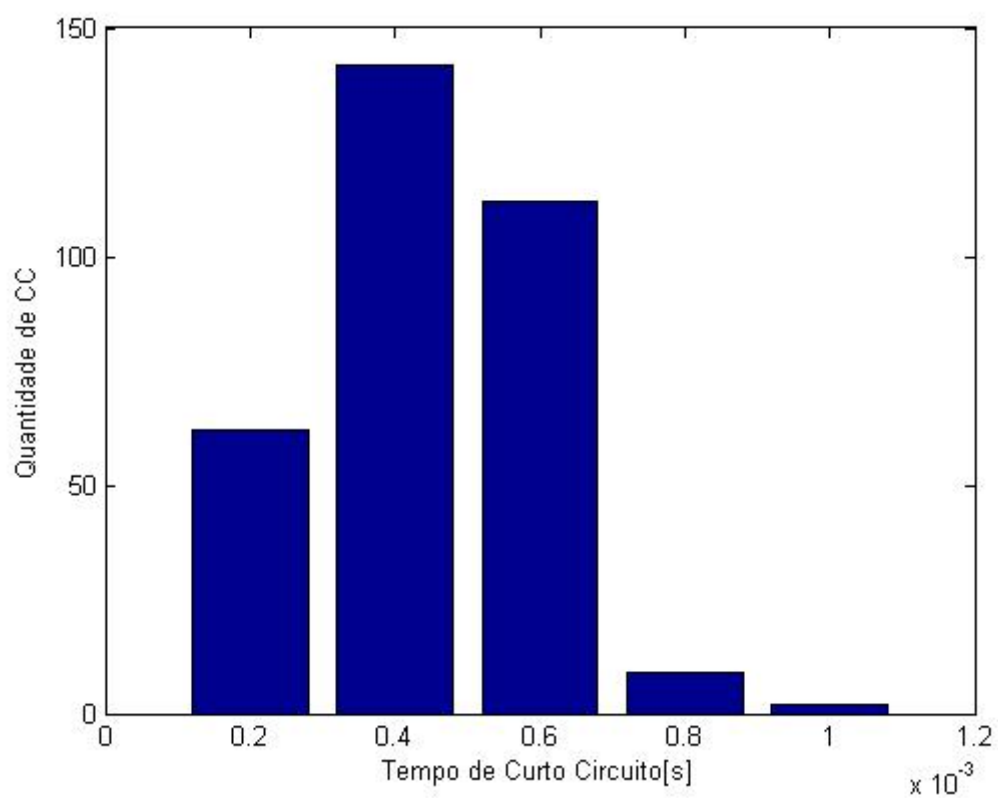


Figura 107 - Histograma de tempos de curtos-circuitos para a Energia E4

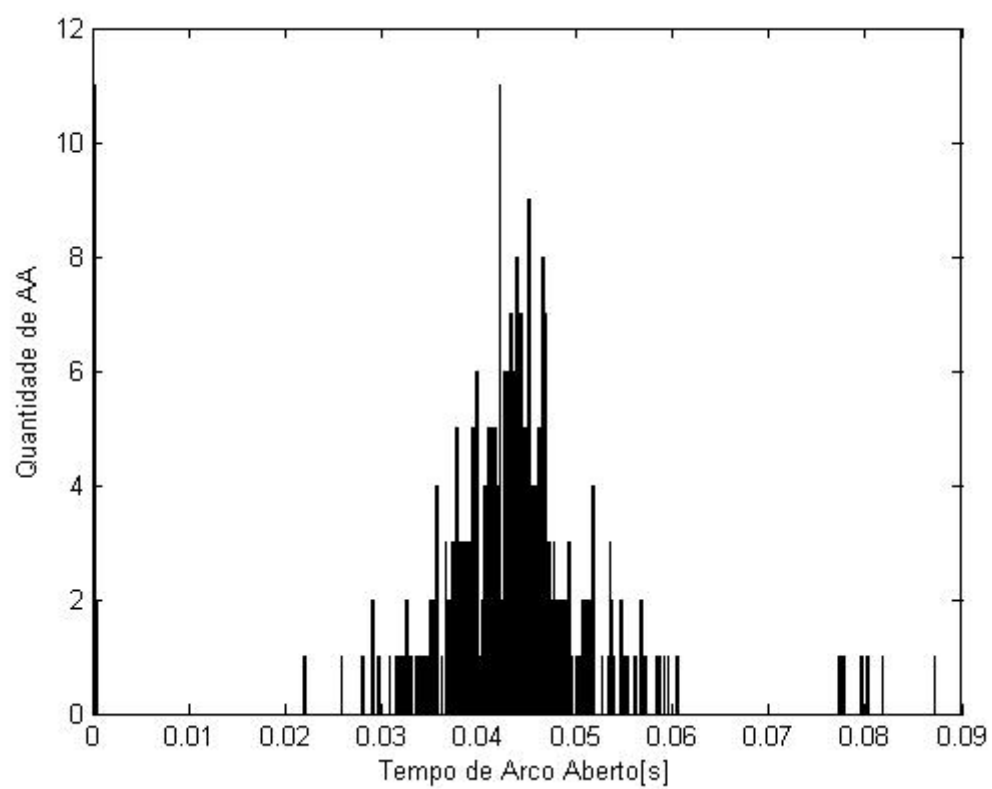


Figura 108 - de tempos de arco-aberto para a Energia E4

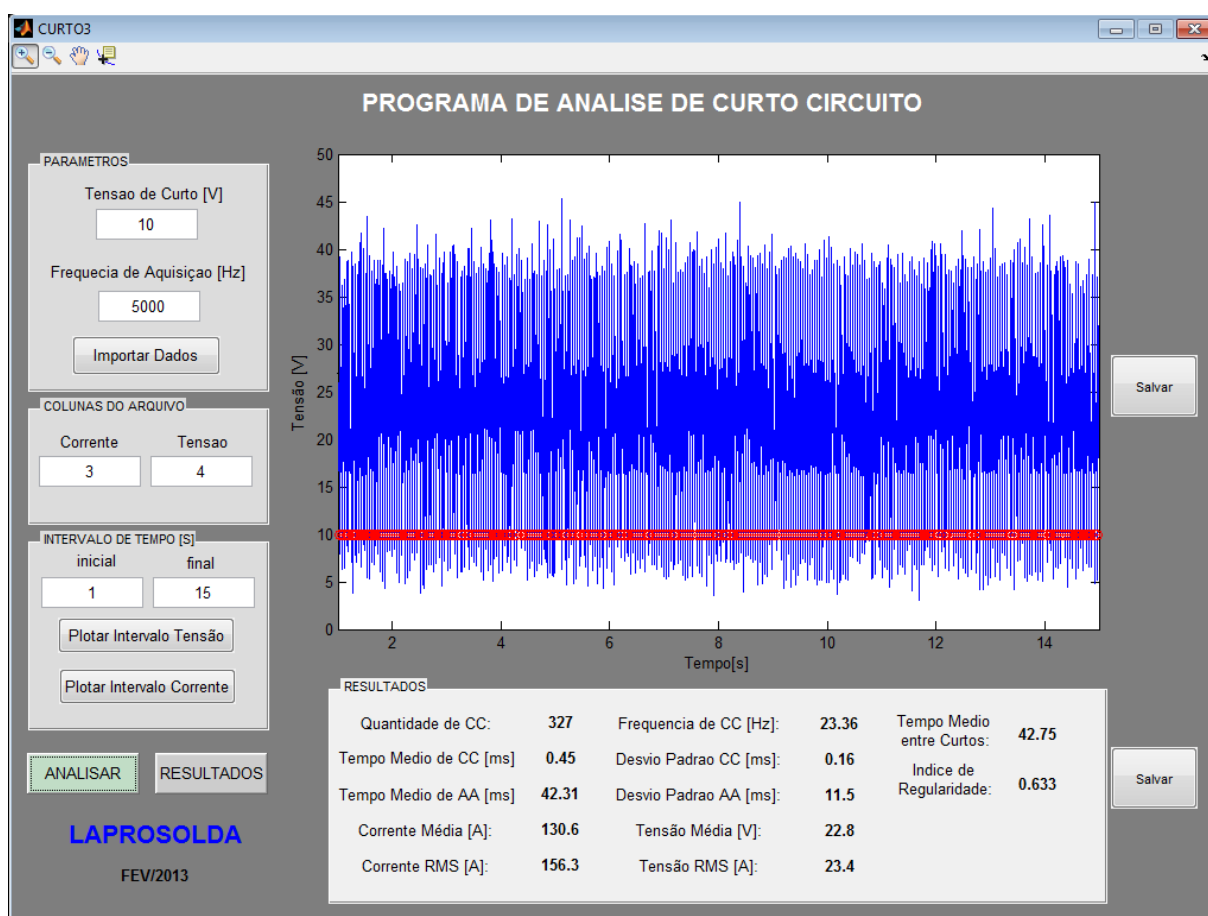


Figura 109 - Parâmetros de curto-circuito identificados para a Energia E4

B) Programa desenvolvido em Scilab para cálculo do Coeficiente de Partição

```
// PROGRAMA PARA SOLDA COEFICIENTE DE PARTIÇÃO
// MARCIO ANDRADE / LUIS LOPES

clc
clear
mode(-1)
lines(0)

//-----

// Cálculo das Matrizes A, B e das raízes do polinômio de Jacobi associado aos parâmetros:
// A  -> Matriz de primeira derivadas do polinômio de Lagrange nos pontos de colocação
// B  -> Matriz de segunda derivadas do polinômio de Lagrange nos pontos de colocação
// r  -> Pontos de colocação (entre 0 e 1)
// p  -> Polinômio Ortogonal
// N  -> no. de pontos de colocação internos
// N0 -> N0=1 se o ponto j=0 será usado na colocação e N0=0 se não for usado
// N1 -> N1=1 se o ponto j=N+1 será usado na colocação e N1=0 se não for usado
// alfa -> parâmetro do polinômio ortogonal
// betha -> parâmetro do polinômio ortogonal
// Uso:
// [A,B,r,p]=AB(N,N0,N1,alfa,betha)
// Funções auxiliares:
// function [g]=gama(N,alfa,betha)      -> Calcula parâmetro gama da parametrização I
// function [r,p]=jacobi(N,alfa,betha,N0,N1) -> calcula polinômio ortogonal e suas raízes
//-----

//
//-----

// Cálculo de parâmetro gama da parametrização I da determinação dos
// polinômios de Jacobi
//-----

function [g]=gama(N,alfa,betha)
    g(1)=1;
    for i=2:N+1
```

```

        j=i-1;
        g(i)=((N-j+1)/j)*(N+j+alfa+betha)/(j+betha)*g(i-1);
    end
endfunction

//-----
// Cálculo do polinômio de Jacobi e suas raízes
//-----

function [r,p]=jacobi(N,alfa,betha,N0,N1)
    g=gama(N,alfa,betha)
    q=[];
    for i=1:N+1
        q=[q,(-1)^(N+1-i)*g(i)];
    end
    p=poly(q,'x','c');
    r=roots(p);
    if N0==1 then
        r=[0;r];
    end
    if N1==1 then
        r=[r;1];
    end
    if (N+N0+N1) ~= N then
        p=poly(r,'x','r');
    end
endfunction

//-----
// Cálculo das Matrizes A, B, polinômio ortogonal(p) e suas raízes(r)
//-----

function [A,B,r,p]=AB(N,N0,N1,alfa,betha)
    [r,p]=jacobi(N,alfa,betha,N0,N1);
    p1=derivat(p);
    p2=derivat(p1);
    p3=derivat(p2);

```

```

    Nt=N+N0+N1;
    for j=1:Nt
        for i=1:Nt
            if (i==j) then
                A(i,i)=1/2*horner(p2,r(i))/horner(p1,r(i));
                B(i,i)=1/3*horner(p3,r(i))/horner(p1,r(i));
            else
                A(j,i)=1/(r(j)-r(i))*horner(p1,r(j))/horner(p1,r(i));
                B(j,i)=2*A(j,i)*(A(j,j)-1/(r(j)-r(i)));
            end
        end
    end
end
endfunction
//-----
// Polinômio interpolador
//-----
//function yint=interp(Nt,y,x,r,p)
// Nt=N+N0+N1
// y -> Vetor solução nos pontos internos de colocação
// x -> Vetor onde se deseja a solução
// r -> Vetor dos pontos de colocação
// p -> Polinômio Ortogonal
//-----
function yint=interp(Nt,y,x,r,p)
p1=derivat(p);
for j=1:length(x)
    yint(j)=0;
    for i=1:Nt
        if abs(x(j)-r(i)) < 1e-14 then
            lag(i)=1.0;
        else
            lag(i)=horner(p,x(j))/(x(j)-r(i))/horner(p1,r(i));
        end
    end
end

```

```

    yint(j)=yint(j)+lag(i)*y(i);
end
end
endfunction

//=====
function [taxa]=fun_rsg(Cx,Kc,Km,Kin,C)
taxa=(Cx*Kc*C)/(Km+C+Kin*C^2)
endfunction

// Função a ser resolvida
function [f]=fct(psi,N,A,B,r,Bi,psir,G,Phi,Cx,Kc,Km,Kin,Cr)
// Calcular R
    Rcr=fun_rsg(Cx,Kc,Km,Kin,Cr);
for j=1:N+2
    Rpsi(j)=fun_rsg(Cx,Kc,Km,Kin,psi(j)*Cr)/Rcr;
end
// j=1 e j=N+2
f(1)=0;f(N+2)=0
for i=1:N+2
f(1)=f(1)+A(1,i)*psi(i);
f(N+2)=f(N+2)+A(N+2,i)*psi(i);
end
f(N+2)=f(N+2)-Bi*(1-psir);
// j=2..N+1
for j=2:N+1
aux1=0;
for i=1:N+2
aux1=aux1+B(j,i)*psi(i)
end
    aux2=0;
    for i=1:N+2
aux2=aux2+A(j,i)*psi(i)
end
f(j)=aux1+(G-1)/r(j)*aux2-Phi^2*Rpsi(j);

```

```

end
    f=real(f);
endfunction
// -----
//-----
//          PROGRAMA PRINCIPAL
//-----
// Dados de parâmetros
psir=0.1
G=3;
Phi=2
Cr=0.1
Cx=3*10^1
Kc=5.2*10^(-12)
Kin=4.63
Km=0.00424
Bi=1
// Dados da Colocação
N=input('Digite o número de pontos de colocação internos: ');
//alfa=input('Parâmetro alfa: ');
//betha=input('Parâmetro betha: ');
alfa=1;
betha=1;
// Incluindo contornos
N0=1;
N1=1;
// Estimativa para a solução
x0=0.5*ones(N+2,1);
[A,B,r,p]=AB(N,N0,N1,alfa,betha);
disp("Matriz A")
disp(A)
disp("Matriz B")
disp(B)

```

```

disp("Vetor das raízes (r)")
disp(r)
disp("Polinômio Ortogonal")
disp(p)
// Coloca-se aqui a parte do programa que usa as matrizes A, B e r
Nt=N+N0+N1;
flista=list(fct,N,A,B,r,Bi,psir,G,Phi,Cx,Kc,Km,Kin,Cr);
[xsol,v,info]=fsolve(x0,flista);
if info==1 then
    // Interpolação
    xint=[0:0.1:1]';
    yint=interp(Nt,xsol,xint,r,p);
    disp('*****Solução nos pontos de colocação')
    printf(' r      psi \n')
    for i=1:Nt
        printf(' %f  %f \n',r(i),xsol(i))
    end
    disp('*****Solução nos pontos de interpolação')
    printf(' x      psi \n')
    for i=1:length(xint)
        printf(' %f  %f \n',xint(i),yint(i))
    end
else
    disp('Não convergiu!!!')
end
//-----
//          FIM
//-----
//xbasc();
xset('font size',7);
xset('mark size',4);
xset('thickness',2);

```

```
xtitle('Difusão / Partição no Biofilme Microbiano  
(Adimensionalizada)','Raio(mm)','Concentração da especie E no Biofilme')  
plot2d(xint,yint,5)  
plot2d(xint,yint,-2)
```

APÊNDICES



Universidade Federal de Uberlândia

Acesso Rápido



diretório de comunicação social: DCS

[Conheça a UFU](#)
[Mídia UFU](#)
[Solicitar Divulgação](#)
[Fale Conosco](#)






O que você procura?

+ - =

notícias

[Início](#)
[Notícias](#)
[Aluno da UFU fica entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias](#)

06/07/2015 - 17:06

Atualizado em 06/07/2015 - 17:32

Aluno da UFU fica entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias

Próxima etapa de seleção acontece entre os dias 21 e 30 de julho

Dorian Borges

[Recomendar](#)
[Twitter](#)
[Google Plus](#)



Fonte: Pixabay

Gabriela Junqueira (estagiária de graduação)

O aluno Marcio de Andrade Batista, do curso de doutorado em Engenharia Mecânica da UFU, está entre os 100 selecionados no "Desafio Coca-Cola Abra Ideias", que atingiu mais de 30 mil pessoas na campanha on-line e teve centenas de ideias submetidas. O desafio era responder a pergunta tema: "como ter sua Coca-Cola gelada e perfeita na hora e no lugar que você quiser?". As ideias deveriam se encaixar entre as áreas propostas: "Novas formas de consumo", "Embalagens e novos materiais", "Serviços, convênio e mobilidade", "Canal de venda e logística" e "Tecnologia de informação, Devises e Aplicativos, meios de pagamento".

Marcio propôs uma ideia nas áreas de "Novas formas de consumo" e "Embalagens e novos materiais". Sua proposta aborda o conceito de biofilme, que é a tendência de adesão de microrganismos a superfícies de metais e áreas específicas de regiões soldadas. Segundo o doutorando, a existência desse biofilme é um importante foco de contaminação microbiológica e pode prejudicar a qualidade de produtos alimentícios, como sucos, leites e outras bebidas. A ideia do aluno é reduzir o índice de contaminação por biofilme no processo de embalagem.

contaminação microbiológica e pode prejudicar a qualidade de produtos alimentícios, como sucos, leites e outras bebidas. A ideia do aluno é reduzir o índice de contaminação por biofilme no processo de embalagem.

Para Marcio, participar de uma plataforma *open innovation* (em tradução literal "abertura para inovação") de uma empresa como a Coca-Cola e ter sua ideia selecionada entre outras centenas é sinal de reconhecimento e "mostra que algo de certo você está fazendo".

A última fase de seleção, a Etapa de Eleição de Vencedores, acontecerá no período de 21 a 30 de julho. Serão três vencedores, que irão receber o prêmio de 10 mil reais em dinheiro, uma viagem ao Rio de Janeiro com acompanhante e um encontro com a diretoria da Coca-Cola, na sede carioca da empresa.

últimas notícias



07/07/2015 - 12:58

Museu Universitário de Arte abre três novas exposições



06/07/2015 - 17:06

Aluno da UFU fica entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias



06/07/2015 - 11:17

UFU no Plural explica fenômeno da medicalização

Vote!

06/07/2015 - 11:17

UFU no Plural explica fenômeno da medicalização

veja mais notícias

eventos

comunicados

editais

vídeos

UFU em imagens

UFU em imagens

jornal da UFU

UFU na mídia

UFU conheça a UFU marca UFU bibliotecas campi editora fundações hospitais mobilidade restaurantes	Dirco institucional relações públicas equipe notícias eventos editais comunicados UFU na mídia	Fundação RTU conheça a fundação RTU tv universitária rádio universitária	Mídias UFU tv rádio jornal da UFU vídeos UFU em imagens	Redes Sociais facebook twitter flickr youtube	Serviços solicitar divulgação cobertura fotográfica reserva de outdoor atendimento à imprensa faça conosco
---	---	--	---	--	--



Universidade Federal de Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP 38400-902

+55 34 3239-4411 | +55 34 3239-0111

<http://www.comunica.ufu.br/noticia/2015/07/aluno-da-ufu-fica-entre-os-100-selecionados-no-desafio-coca-cola-abra-ideias>

09/07/2015

Professor da UFMT está entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias



Você está em: UFMT > Notícias > Professor da UFMT está entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias • Estou aqui

Professor da UFMT está entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias

Publicado em Notícias | 09/07/2015

Aluno do curso de doutorado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o professor Márcio de Andrade Batista, da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), está entre os 100 selecionados no "Desafio Coca-Cola Abra Ideias", com proposta enquadrada nos temas "Novas formas de consumo" e "Embalagens e novos materiais".

Mais de 30 mil pessoas foram mobilizadas durante a campanha on-line do "Desafio Coca-Cola" e cem ideias foram pré-selecionadas. O desafio era responder "como ter sua Coca-Cola gelada e perfeita na hora e no lugar que você quiser?" e as propostas tinham que estar de acordo com os temas "Novas formas de consumo", "Embalagens e novos materiais", "Serviços, convênio e mobilidade", "Canal de venda e logística" e "Tecnologia de informação, Devices e Aplicativos, meios de pagamento".

Mestre em Engenharia Química, Márcio Andrade é professor do Instituto de Ciências Exatas e da Terra (ICET) do Campus Universitário do Araguaia, da UFMT. Sua proposta "aborda o conceito de biofilme, que é a tendência de adesão de microrganismos a superfícies de metais e áreas específicas de regiões soldadas". Ele explica que esse material aumenta a possibilidade de contaminação microbiológica dos alimentos e a ideia que apresenta busca contribuir para a redução do índice de contaminação por biofilme no processo de embalagem.

Desafio

A primeira etapa de pré-seleção foi feita pela Innoscience e pelo Comitê de Inovação da Coca-Cola no período de 08 a 30 de Junho e classificou cem ideias para a etapa de Seleção de Finalistas. A eleição de vencedores acontecerá de 21 a 30 de julho. Três escolhidos irão receber o prêmio de R\$ 10 mil reais em dinheiro, uma viagem ao Rio de Janeiro com acompanhante e um encontro com a diretoria da Coca-Cola, na sede carioca da empresa.

O professor Márcio Andrade já foi ganhador do Prêmio Santander de Empreendedorismo em 2006, na categoria Indústria; recebeu menção honrosa da Fundação Getúlio Vargas (FGV-SP) por ter desenvolvido um dos 20 melhores Business Plan no II Desafio GV-Intel de Venture Capital e Empreendedorismo Inovação e Tecnologia em 2007; venceu o III Prêmio Werner Von Siemens de Inovação Tecnológica e o Prêmio Reconhecimento 3M - Consumidor Consciente em 2009. Foi aprovado em primeiro lugar no programa de Doutorado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica (Femec), da UFU. (Com informações do site da UFU e do Lattes)

Imprimir > Enviar notícia > link > Share |

ÚLTIMAS NOTÍCIAS

09/07/2015 | Professor da UFMT está entre os 100 selecionados no Desafio Coca-Cola Abra Ideias ...

09/07/2015 | Grupo de estudos de Direito Internacional faz inscrições até o dia 14 ...

09/07/2015 | Prêmio sobre custos e qualidade do gasto no setor público inscreve até 02 de agosto ...

[Ver todas notícias](#)

INGRESSO 2015
ADMISSÃO DE GRADUADO 2015
TRANSFERÊNCIA Ead 2015

Webmail >
 Catálogo Telefônico >
 Divulgue Aqui >
 TV Universidade >
 UFMT On-Line >
 Atos Oficiais >
 UFMT Ciência >
 Rádio UFMT >
 Periódicos >
 UFMT Editora >

Acesso à Informação

