

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
ENGENHARIA NAVAL

Evandro Machado

**INFLUÊNCIA DOS VENTOS SOBRE A QUALIDADE DAS
SOLDAS REALIZADAS EM ESTALEIROS PELO PROCESSO
ARAME TUBULAR**

Joinville, 2015

Evandro Machado

**INFLUÊNCIA DOS VENTOS SOBRE A QUALIDADE DAS
SOLDAS REALIZADAS EM ESTALEIROS PELO PROCESSO
ARAME TUBULAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Naval no curso de
Engenharia Naval da Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus de
Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Vieira da
Cunha

Joinville, 2015

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Marcia Aparecida Ilario Machado e meu pai Sady Machado Filho pelo amor, confiança e suporte durante toda a minha vida.

A toda a minha família pelo apoio e incentivo nas horas difíceis. Em especial a meu irmão Rodrigo Machado e nossa leal escudeira Meg Helena.

Ao meu amor, Maisa Damazio Franco, pela motivação, dedicação e compreensão durante todos esses anos.

À família Kruger pelo acolhimento, incentivo e confiança. Em especial meus sogros, Luiz Carlos Damazio Franco e Rosana Damazio Franco.

Ao meu orientador Professor Tiago Vieira da Cunha pela dedicação, companheirismo e confiança durante a elaboração do presente trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, e todo seu corpo docente e administrativo, por me proporcionar estudo gratuito de alta qualidade. Em especial ao Professor Cristiano Vasconcellos Ferreira pelos conselhos e pelas oportunidades a mim oferecidas.

Aos colegas das equipes Barco Solar Babitonga e Empresa Júnior ESATI pelo crescimento pessoal e profissional e oportunidade de vivenciar momentos únicos.

Aos grandes amigos de longa data, Marcelo, Joice, Fernando, Priscila, Alessandro, Mayara e Diego pelos ótimos momentos vivenciados juntos.

Aos amigos e amigas de graduação do qual tive o prazer de compartilhar muitas alegrias e poucas tristezas durante todos os anos da graduação.

Aos amigos e colegas de trabalho de Belém/PA, pelo acolhimento, aprendizado e pelas oportunidades oferecidas.

A Deus por me ter dado a oportunidade de conhecer e conviver com todas essas pessoas.

RESUMO

A soldagem é um processo vital na fabricação de embarcações de metal. A união de chapas, cantoneiras, tubulações, perfis estruturais e diversos outros elementos são realizados por este processo. Desta forma torna-se essencial conhecer os parâmetros que podem modificar a qualidade das soldas realizadas. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência dos ventos sobre a qualidade de juntas soldadas pelo processo eletrodo tubular, tendo como referência um estaleiro da cidade de Itajaí em Santa Catarina. Para tanto, no presente estudo, foi realizado inicialmente uma caracterização acerca dos ventos no qual o citado estaleiro está sujeito e uma reprodução dos mesmos ventos, no que diz respeito a sua intensidade, em laboratório. Ensaios de soldagens foram realizados com materiais fornecidos pelo estaleiro com o intuito de reproduzir ao máximo as condições lá existentes. Por fim, foram realizadas análises dos cordões de solda obtidos. Estas análises revelaram que existe uma perda significativa de qualidade da soldagem com arame tubular na presença de ventos, mesmo estes sendo em pequenas intensidades.

Palavras-chave: Soldagem em estaleiro, Arame tubular, Ventos, Descontinuidades.

ABSTRACT

Welding is a vital process for manufacturing metal vessels. The union of the plates, angles, pipes, structural shapes and many other elements depend on it. Thus, a essential practice becomes to identify the parameters that could change the quality of executed welds. In this context, this paper aims to analyze the influence of winds on the quality of production of welded joints using tubular electrode process, with reference to a shipyard in the city of Itajaí, in the State of Santa Catarina. Therefore, the present study was initially carried out on a characterization of winds in which the mentioned shipyard is subjected and a reproduction of the same winds, in respect of its intensity, in the laboratory. Welding tests were carried out with materials provided by the shipyard in order to reproduce the closest of the original conditions. Finally, analyzes were made from the weld beads obtained. The evaluation revealed that there is a significant loss of welding quality, when made by cored wire in the presence of wind, even if in small intensities.

Keywords: Shipyard welding, Flux-cored arc welding, Winds, Discontinuities.

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABS – Associação Brasileira de Soldagem

ASTM – American Society for Testing and Materials

AWS – American Welding Society

DBCP – Distância entre o bico de contato e a peça (mm)

EMA – Estação Meteorológica Automática

FCAW – Flux-cored Arc Welding

FMM – Fundo da Marinha Mercante

GMAW – Gas Metal Arc Welding

Im – Corrente média (A)

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LLP – Laboratório de Ligações Permanentes

PROMEF – Programa de Modernização e Expansão da Frota

SAP – Sistema de Aquisição de Dados

SINAVAL – Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e Offshore

SMAW – Shielded Metal Arc Welding

SUNAMAN – Superintendência Nacional da Marinha Mercante

TRR – Taxa de Renovação da Marinha Mercante

U – Tensão (V)

Va – Velocidade de alimentação do arame (m/min)

Vs – Velocidade de soldagem (cm/min)

Vz – Vazão do gás (L/min)

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1.1: Recursos Proveniente do FMM, ARIIVALDO (2013)	8
Tabela 1.2: Demanda de recursos humanos na construção naval e offshore.....	9
Tabela 4.1 Dados das análises do teste de ventos.....	35
Tabela 4.2 – Testes de análise transversal.....	36
Tabela 4.3 – Valores utilizados no teste de deposição sobre chapa.....	38
Tabela 4.4 – Variáveis do túnel de vento.....	45
Gráfico 4.1 – Análise dos ventos.....	35
Gráfico 4.2 – Velocidade x Tensão (250 mm).....	36
Gráfico 4.3 – Teste de Análise Transversal.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Soldagem com arame tubular autoprotégido.....	16
Figura 3.2: Soldagem com proteção gasoso.....	17
Figura 3.3: Alteração da corrente com a extensão do eletrodo após o bico de contato..	18
Figura 3.4: Influência do “stickout” na geometria do cordão de solda.....	18
Figura 4.1 – Materiais cedidos pelo estaleiro.....	27
Figura 4.2 – Bancada de Ensaios.....	27
Figura 4.3 – Gerador de vento.....	29
Figura 4.4 – Anemômetro L519ls.....	29
Figura 4.5 – Fluxograma da Metodologia empregada.....	30
Figura 4.6 – Processos para definição dos parâmetros.....	31
Figura 4.7– Análise dos ventos em Itajaí durante o ano de 2014.....	32
Figura 4.8 – Depressões nos chanfros dos corpos de prova.....	33
Figura 4.9 – Análise dos ventos.....	34
Figura 4.10 – Teste de deposição sobre chapas.....	38
Figura 4.11 – Gabarito DBCP.....	38
Figura 4.12 – (a)Um passe de acabamento; (b) Dois passes de acabamento.....	39
Figura 4.13 – Teste de preenchimento.....	40
Figura 4.14 – Sequência de passos de soldagem.....	40
Figura 4.15 – Processo realizado para o setup da bancada de testes.....	42
Figura 4.16 – Espaçamento entre chapas.....	43
Figura 4.17 – Posicionamento do corpo de prova.....	44
Figura 4.18 – Processos da Soldagem.....	45
Figura 4.19 – Passe de Raiz e Escória.....	47
Figura 4.20 – Processos para realização da Macrografia.....	47
Figura 4.21 – Corpos de prova 22 e 23 referentes ao CP2.....	48
Figura 4.22 – Lixamento do corpo de prova.....	49
Figura 4.23 – Ataque químico com Nital 2%.....	49
Figura 5.1 – CP1 - Soldas realizadas sem ação dos ventos.....	51
Figura 5.2 – CP2 – Soldas realizadas com ventos a 0,5 m/s.....	52
Figura 5.3 – CP3 – Soldas realizadas com ventos a 1,2 m/s.....	52
Figura 5.4 – CP4 – Soldas realizadas com 2,2 m/s.....	53

Figura 5.5 – Gráficos oriundos do sistema de aquisição referentes ao CP4.....	53
Figura 5.6 – Porosidades.....	54
Figura 5.7 – Corrente x Tempo passe de preenchimento.....	56
Figura 5.8 - Corrente x Tempo passe de acabamento 2.....	57
Figura 5.9 – Macrografia CP1.....	58
Figura 5.10 – Macrografia CP2.....	58
Figura 5.11 – Macrografia CP3.....	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
2.3 Justificativa.....	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 Fundamentos do Processo de Soldagem com Arames Tubulares (FCAW).....	18
3.1.1 Características gerais	19
3.1.1.1 Parâmetros de Soldagem.....	21
3.1.1.2 Equipamentos	22
3.1.1.3 Consumíveis.....	23
3.1.2 Vantagens e Limitações do Processo FCAW.....	24
3.2 Descontinuidades em juntas soldadas em aplicações navais.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Materiais.....	29
4.1.1 Materiais utilizados no trabalho.....	29
4.1.2 Bancada de ensaios	30
4.2 Métodos	33
4.2.1 Definição dos Parâmetros.....	33
4.2.1.1 Análise da velocidade dos ventos.....	34
4.2.1.2 Disposição dos corpos de prova.....	35
4.2.1.3 Testes Preliminares.....	36
4.2.1.3.1 Calibração do gerador de ventos	37
4.2.1.3.2 Ensaios para determinação das variáveis de soldagem.....	40
4.2.1.3.3 Procedimento para determinação do número de passes	42
4.2.1.3 Definição do procedimento de soldagem.....	43
4.2.2 Setup da bancada de testes	44
4.2.3 Execução dos ensaios	48
4.2.4 Macrografia.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
6. CONCLUSÕES.....	63
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

A construção naval brasileira teve início em 1846 quando Irineu Evangelista de Souza, o então Barão de Mauá, inaugurou o primeiro estaleiro do país em Niterói no estado do Rio de Janeiro. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria da Construção e Reparação Naval e Offshore (SINAVAL, 2013), “O estaleiro é considerado um marco do processo de industrialização do país. Construiu cerca de um terço dos navios de guerra utilizados no conflito com o Paraguai”.

Somente no governo de Juscelino Kubistschek (1956-1961), através do Plano de Metas ocorrido na década de 1950, que a indústria de construção naval foi efetivamente criada. A meta 28 financiou a vinda de dois estaleiros multinacionais através da Lei 3.381 de 24 de abril de 1958. Tal lei criou o Fundo da Marinha Mercante (FMM) e a Taxa de Renovação da Marinha Mercante (TRMM) que foram de fundamental importância para o estímulo à construção naval nacional. Foram criados o Grupo Executivo da Indústria de Construção Naval (Geicon) e a Comissão de Marinha Mercante (CMM) que, mais tarde tornou-se a Superintendência Nacional de Marinha Mercante (SUNAMAM).

Em 1967, no governo de Costa e Silva houve um novo ciclo de investimentos em infraestrutura. Foram criadas políticas específicas para o setor naval como o Plano de Emergência de Construção Naval e os dois Programas de Construção Naval. Neste período o Brasil tornou-se o segundo maior construtor naval mundial. Grande parte deste sucesso foi oriundo dos financiamentos e subsídios que os armadores tinham acesso, aliado a proteção da concorrência internacional através das chamadas conferências de frete.

A grande demanda para uma indústria recém ampliada e para uma indústria de subsídio (setor de navipeças) pouco desenvolvida resultou em atrasos significativos e altos preços do produto final. Tais fatos sobrecarregavam o caixa da SUNAMAM, que no final da década de 1980 já atuava em falência financeira decorrente do endividamento externo provindo de juros com taxas elevadas.

A crise de 1980 fez com que a construção naval nacional perdesse o seu lugar no cenário mundial. Os responsáveis por esta queda foram a defasagem tecnológica de produto, de gestão de projeto e do processo produtivo aliado aos escândalos financeiros ligados a SUNAMAM e ao uso indevido do Fundo da Marinha Mercante.

Os estaleiros perderam eficiência devido à descapitalização e, conseqüentemente, começaram a receber menores encomendas o que reforçou o ciclo vicioso da decadência produtiva e tecnológica.

De acordo com SANTOS (2011), a retomada do crescimento da indústria de construção naval deu-se em agosto de 1997 com a Lei do Petróleo (Lei 9.478/97) que abriu o mercado de exploração e refino a novos operadores além da estatal Petrobrás. Em novembro de 2000 o programa Navega Brasil foi lançado e trouxe melhorias nas condições de créditos aos armadores e estaleiros, aumentando o prazo máximo de empréstimos de 15 para 20 anos.

O setor retomou seu crescimento impulsionado, basicamente, pelas encomendas da Petrobrás que lançou o Programa de Modernização e Expansão da Frota (PROMEF). Tal programa dava preferência para navios de bandeira brasileira.

ARIOVALDO (2013) relata que os recursos proveniente do FMM foram aumentando gradativamente a cada ano, o que impulsionou consideravelmente a implantação de novos estaleiros, mais empregos e novas embarcações fabricadas em solo nacional. A Tabela 1.1 apresenta os recursos providos de 2001 a 2013. O aumento do montante foi de 1600% em 12 anos.

Ano	R\$ (bilhões)
2001	0,3
2002	0,3
2003	0,6
2004	0,7
2005	0,5
2006	0,6
2007	1,1
2008	1,3
2009	2,3
2010	2,6
2011	2,7
2012	4,8
2013	4,9
Total	22,7

Tabela 1.1: Recursos Proveniente do FMM, ARIOVALDO (2013)

Segundo o SINAVAL (2014), em 2013 a construção naval brasileira realizou um volume recorde de entregas de navios e plataformas de petróleo. Foram entregues 6 plataformas de produção, 2 navios do PROMEF, 21 navios de apoio marítimo, 10 rebocadores portuários e 44 barcas de transporte fluvial.

ARIOVALDO (2013) destaca que em 2013 os estaleiros nacionais empregaram diretamente 78 mil pessoas e geraram mais de 300 mil empregos na rede de fornecedores de equipamento e serviços. Os estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul lideram como os maiores empregadores, empregando respectivamente 39,05% e 25,54% do total nacional. O estado de Santa Catarina aparece em quinto lugar empregando 4.247 pessoas totalizando 5,43% do total nacional.

De acordo com uma pesquisa realizada com estaleiros associados ao SINAVAL existe uma demanda de recursos humanos de 40 mil trabalhadores na indústria de construção naval e offshore. A Tabela 1.2 mostra quais são os principais cargos e/ou funções que precisam ser supridos.

Item	Cargo ou função	Quantidade Estimada
1	Soldador MIG/MAG/TIG	8000
2	Chapeador/Montador	6600
3	Encanador	4300
4	Praticante e Ajudante	2600
5	Rebarbador	2500
6	Maçariqueiro	1800
7	Pintor	1800
8	Soldador de Eletrodo Revestido	1600
9	Mecânico	1500
10	Montador de Andaime	1500
11	Operador de Equipamentos de Solda	1200
12	Eletricista	1000
13	Transportador	1000
14	Contramestre	1000
15	Operador de Manobras	700
16	Carpinteiro, Marceneiro	400
17	Controlador de Ferramentas	400

18	Riscador	400
19	Serralheiro	400
20	Operador de Guindastes	400
21	Gasista	300
22	Desempenador	300
23	Jatista	200
24	Outros	100
Total		40000

Tabela 1.2: Demanda de recursos humanos na construção naval e offshore.

Observa-se na Tabela 1.2 que haverá uma necessidade de 9.600 novos soldadores nos próximos anos. Tal necessidade deve-se ao fato da soldagem ser uma das principais atividades exercidas na construção naval. Segundo OKUMURA (2007), pode-se afirmar que os processos de soldagem correspondem a aproximadamente um terço dos trabalhos de construção de um navio de grande porte. Além disso, como a qualidade da solda afeta diretamente a estanqueidade à água e ao óleo e as propriedades estruturais da construção, deve-se tomar muito cuidado em a relação à qualidade das juntas soldadas.

No setor da construção naval os blocos estruturais pesam, normalmente, dezenas de toneladas e apresentam uma geometria complexa fazendo com que as soldagens sejam realizadas em diversas posições o que aumenta a dificuldade de operacionalização do processo. Em estaleiros, a soldagem manual é amplamente utilizada, enquanto que a soldagem automática é normalmente utilizada para a união de chapas do fundo e costado.

Os processos de soldagem empregados em estaleiros são bem diversificados devido, principalmente, a grande variedade de condições de soldagem, envolvendo desde variadas espessuras de chapas e posições de soldagem, até tipos de juntas e tipos de materiais. Neste contexto, destacam-se os processos de eletrodos consumíveis. Em se tratando destes, grande parte utilizam uma proteção gasosa, nestes casos, a região do arco e a poça de fusão são protegidas contra a contaminação atmosférica pelo gás alimentado através tocha de soldagem.

De acordo com uma pesquisa realizada pelo fabricante de consumíveis ESAB em 2000, o processo MIG/MAG (GMAW) é o principal processo de soldagem na indústria naval. A pesquisa foi voltada para o mercado estrangeiro (Europa Ocidental, Estados

Unidos da América e Japão), no entanto, como a maioria dos processos em construção naval são padronizadas, estes dados podem ser extrapolados também para a indústria nacional. Segundo PEREZ (2000), os processos de soldagem com arames tubulares fluxados (FCAW) já ultrapassaram os 50% nos estaleiros japoneses e norte americanos e estão próximos a 70% nos estaleiros europeus. No entanto, os resultados da pesquisa realizada por PEREZ não se mostraram de acordo com a realidade encontrada no estaleiro no qual o presente trabalho está atuando. De acordo com as visitas técnicas realizadas durante os meses de março à novembro de 2014, constatou-se que cerca de 98% dos processos de soldagem empregados são referentes ao processo FCAW.

NAVAIS (2010) destaca que soldar uma estrutura metálica, ou chapas metálicas, é considerada uma atividade de risco e, é necessário, que o operador do equipamento de soldagem tenha condições técnicas suficientes para que o trabalho seja bem realizado. Ele ainda destaca que os principais defeitos e discontinuidades em soldas são inerentes ao processo, sendo que, entende-se como descontinuidade a interrupção da estrutura típica da solda, tal como uma falta de homogeneidade nas suas características mecânicas, metalúrgicas ou físicas. O estaleiro no qual será aplicado este estudo realiza o processo de soldagem ao ar livre, ou seja, sem proteção contra intempéries, como vento e chuva. Tornando-se assim, um problema para a qualidade da junta soldada. Nos próximos capítulos esta situação será abordada mais profundamente.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo realizar um estudo acerca da influência das correntes de ventos sobre a qualidade das soldas realizadas em estaleiros. Para efeito de caracterização das condições, no que se refere a presença de ventos, em que o estaleiro está sujeito, será considerado, neste trabalho, o caso específico de um estaleiro localizado na região do vale do Itajaí, em Santa Catarina.

2.2 Objetivos Específicos

Visando atingir os objetivos principais de forma plena e sistemática, alguns objetivos específicos são propostos, são eles:

- Caracterizar as condições relativas aos ventos no qual o citado estaleiro está sujeito com o objetivo de conhecer o sentido e, principalmente, a intensidade dos ventos.
- Reproduzir as condições de ventos no qual o estaleiro está sujeito, no laboratório de Ligações Permanentes (LLP) da Universidade Federal de Santa Catarina no campus Joinville. Para tal reprodução, será empregado um gerador de ventos a ser concebido no âmbito deste trabalho.
- Realizar ensaios de soldagem, nas mesmas condições em que são realizadas as soldas de produção no estaleiro.
- Realizar ensaios macrográficos das juntas soldadas.

2.3 Justificativa

Os processos de soldagem são de extrema importância para o setor naval. De acordo com SANTIAGO (2012) são eles os responsáveis pela maioria dos processos de união utilizados durante a construção de um navio ou plataforma de petróleo. *“Estudos realizados por vários fabricantes de consumíveis estimam que entre 3% a 4% do peso final de um navio é oriundo do material depositado através dos diversos processos de*

soldagem” destaca Santiago. Mesmo representando um pequeno percentual de massa da embarcação, esta atividade representa uma grande fatia do preço final da embarcação, devido ao custo de mão de obra, logística dos materiais, etc. Neste sentido, segundo VIEIRA (2012), os maiores custos oriundos da atividade de solda são relativos aos soldadores e as suas horas de trabalho. A demanda por soldadores nos estaleiros é muito grande, a Associação Brasileira de Soldagem (ABS) diz que há dificuldades na qualificação de soldadores em todos os níveis, desde os soldadores até os engenheiros de soldagem. A falta de mão de obra especializada faz com que a eficiência da produção seja reduzida. Processos tornam-se onerosos devido ao tempo de retrabalhos oriundos de defeitos ou descontinuidades e, em alguns casos, é necessário refazer todo o cordão de solda. Em vista disso, torna-se crucial, a fim de manter a competitividade da empresa, a operacionalização dos processos de soldagem de forma mais eficiente possível. Para tanto, é desejável a realização de cordões de solda livre de descontinuidades que podem vir a ser classificados como defeitos, dependendo da norma aplicada.

Relativo a isto, é de conhecimento de todos que as correntes de ventos causam grandes problemas de qualidade nos processos de soldagem. Contudo, apesar de recorrentes, ainda não existem informações precisas nem na literatura técnica, tampouco dentro das empresas, acerca do grau de influência deste agente atmosférico sobre a qualidade final das soldas. Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso tem como propósito preencher uma lacuna tecnológica relacionada à falta de conhecimento acerca da soldagem realizada em estaleiros sujeitas as correntes de ventos.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão realizadas as considerações sobre a soldagem utilizando arame tubular, suas características, propriedades, vantagens e desvantagens. Bem como, as discontinuidades em juntas soldadas em aplicações navais, tendo em vista que este é um dos principais propósitos do trabalho. Esta fundamentação possibilitará um embasamento científico teórico para validar os resultados obtidos nos próximos capítulos.

Segundo MACHADO (1996), a soldagem é o processo que mais se destaca entre os processos de uniões de materiais devido, principalmente, ao seu largo emprego e grande volume de atividades que envolve. A grande área de atuação da mesma são os metais e suas ligas, devendo-se esse fato à sua grande versatilidade e economia, além das excelentes propriedades mecânicas que as uniões assim obtidas apresentam.

3.1 Fundamentos do Processo de Soldagem com Arames Tubulares (FCAW)

De acordo com BARBEDO (2008), os processos de soldagem com proteção gasosa tiveram início na década de 1920. No entanto, só a partir da década de 1950 houve a introdução da combinação do gás de proteção CO₂ com eletrodos contendo fluxo interno (arames tubulares), tal combinação propiciou significantes melhorias nas condições de operação e na qualidade da solda.

FORTES (2006) define o processo FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) como sendo aquele onde a união entre os metais é obtida através do arco elétrico entre o eletrodo e a peça a ser soldada. A proteção do arco neste processo é feita pelo fluxo interno do arame podendo ser, ou não, complementada por um gás de proteção. MACHADO (1996) define este processo de soldagem como sendo aquele no qual o arco elétrico se forma entre a peça e um tubo metálico, cujo interior é preenchido por fluxo fusível, o qual é continuamente alimentado desde uma bobina. A poça de fusão assim produzida é envolvida por escória e gases resultantes da decomposição do fluxo. Adicionalmente, pode ser empregado gás de proteção, o qual flui pelo bocal da tocha.

O arame tubular enfrentou durante muitos anos dificuldades para alcançar um alto nível de qualidade e resistência exigido no metal de solda pelas estruturas, no entanto, de acordo com MACHADO (1996), alguns fabricantes resolveram os inconvenientes existentes o que tornou este processo uma excelente alternativa para alta produtividade,

com qualidade. MACHADO (1996) ainda completa realizando uma comparação com o Eletrodo Revestido: a taxa de deposição do eletrodo tubular é cerca de duas vezes maior na posição vertical e seis vezes na horizontal/plana.

As diversas vantagens deste processo de soldagem fazem com que o mesmo seja amplamente empregado na indústria naval, tendo em vista que o principal foco deste setor é aumentar a produtividade mantendo a qualidade de seus processos.

3.1.1 Características gerais

De acordo com RODRIGUES (2005), no processo FCAW são possíveis dois tipos de proteção do arco e do cordão de solda contra a contaminação atmosférica: a autoproteção (*innershield*) e a proteção por um gás adicional (*dualshield*). Bracarense (2012) relata que a primeira variação de proteção (eletrodo autoprotetido) é obtida pelos ingredientes do fluxo, que se vaporizam para os componentes da escória que cobrem a poça a fim de protegê-la durante a soldagem. Neste caso o arame tubular emerge de um tubo guia eletricamente isolado e o contato elétrico fica mais distante da extremidade do arame. Já na segunda opção de proteção, o fluxo interno tem principalmente a função de desoxidante e de introdutor de elementos de liga. As funções de proteção do arco e ionização da atmosfera ficam mais a cargo do gás introduzido a parte. O gás de proteção usualmente é o dióxido de carbono ou uma mistura de argônio e dióxido de carbono. O processo de proteção a gás é apropriado para produção de peças pequenas e soldagem de profunda penetração. As Figuras 3.1 e 2, abaixo, mostram as principais características dos dois tipos de proteção.

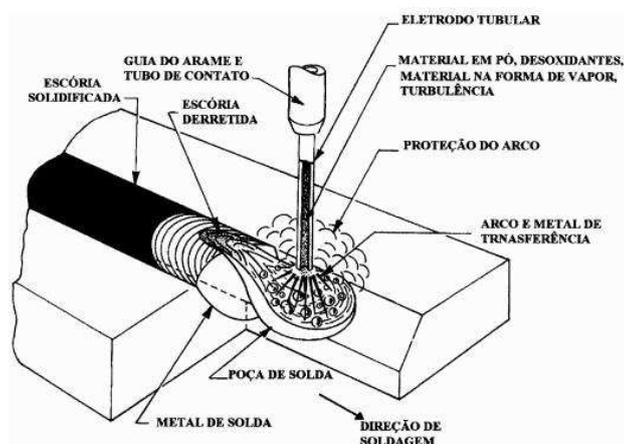


Figura 3.1: Soldagem com arame tubular autoprotetido. BRACARENSE (2012)

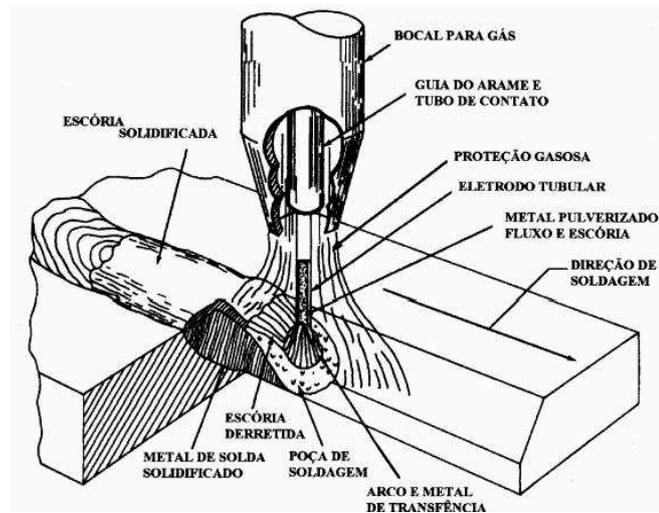


Figura 3.2: Soldagem com proteção gasoso. BRACARENSE (2012).

RODRIGUES (2005) completa relatando que o fluxo que faz a adição de elementos de liga, fornece melhorias na transferência do metal de adição e atua como formador de escoria, que além de proteger o cordão de solda durante a solidificação, atua decisivamente nas propriedades mecânicas da solda.

BRACARENSE (2012) considera que os benefícios da soldagem com arames tubulares estão relacionados a três características gerais: Produtividade relacionada à utilização de arames contínuos; Benefícios metalúrgicos provenientes do fluxo interno do arame; Auxílio da escória na forma e aspecto do cordão de solda.

De acordo com ORDONEZ (2004), o processo FCAW é normalmente um processo semiautomático e muito semelhante ao processo a arco com proteção por gás e eletrodo consumível (GMAW), no que diz respeito a equipamentos e princípios de funcionamento. Por outro lado, o processo também se assemelha a soldagem a arco com eletrodos revestidos (SMAW), do ponto de vista metalúrgico. Assim, a soldagem FCAW é um processo que acumula as vantagens do GMAW, como alta taxa de deposição, alto rendimento, qualidade da solda produzida, bem como os da SMAW, como alta versatilidade e possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda além da facilidade de operação em campo.

3.1.1.1 Parâmetros de Soldagem

SMATI (1986) relata que as variáveis do processo determinam as características finais do cordão de solda, como dimensões, acabamento e propriedades mecânicas. Definem também a maior ou menor probabilidade de ocorrência de alguns tipos de defeitos, ou descontinuidades, como poros, trincas, mordeduras entre outros. Dimensões inadequadas do cordão de solda podem contribuir para falha de uma estrutura soldada.

De acordo com MACHADO (1996), a tensão é proporcional ao comprimento do arco. Um aumento da tensão resulta num cordão mais largo, com tensão excessivamente alta, pode ocorrer aumento de respingos e cordão irregular. A redução deste parâmetro altera a geometria do cordão, tornando-o convexo. Uma excessiva redução deste parâmetro pode extinguir o arco, ou permitir que o eletrodo “mergulhe” na poça de fusão, tocando o metal base não fundido sob a mesma, com graves consequências sobre as propriedades mecânico/metalúrgicas da junta e geometria do cordão.

BRACARENSE (2012) relata que a corrente de soldagem é proporcional à velocidade de alimentação do arame para um determinado diâmetro, composição e extensão do eletrodo quando utilizado uma fonte de tensão constante. O aumento da corrente de soldagem irá provocar: aumento da taxa de deposição do eletrodo, aumento da penetração e um cordão de solda convexo com aparência ruim.

Outro parâmetro importante é a velocidade de soldagem, este parâmetro segundo MACHADO (1996), influencia de forma geral a geometria do cordão. Quando excessivamente grande, torna o cordão convexo com bordas irregulares e diminui a penetração. Se a velocidade for muito pequena, há inclusão de escória e cordão irregular.

MACHADO (1996) ainda comenta outro parâmetro de suma importância: a extensão de eletrodo que é o parâmetro que define a distância entre o bico de contato e a ponta do eletrodo também conhecida por “stickout”. Essa extensão é aquecida por efeito Joule, causando uma queda de tensão. Como consequência há alteração na taxa de deposição, penetração e estabilidade do arco. A Figura 3.3 mostra como pode variar a corrente, em função da extensão do eletrodo, mantida constante a velocidade de alimentação. Já a figura 3.4 mostra a influência do “stickout” na geometria do cordão de solda.

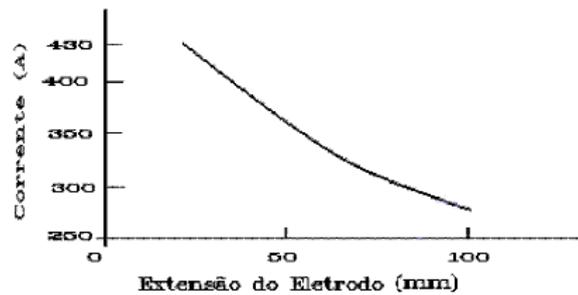


Figura 3.3: Alteração da corrente com a extensão do eletrodo após o bico de contato. MACHADO (1996)

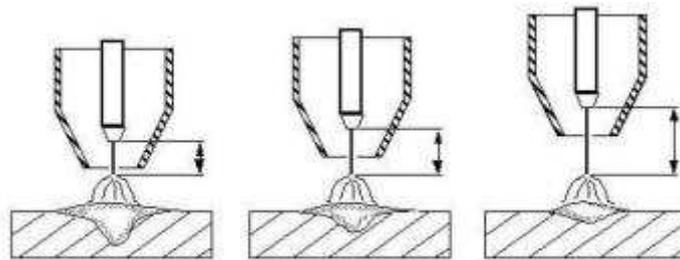


Figura 3.4: Influência do “stickout” na geometria do cordão de solda. WAINER (1992)

MACHADO (1996) acrescenta que, de forma geral, para eletrodos com proteção por gás, é recomendada uma extensão entre 20 e 40 mm, enquanto que para eletrodos autoprotégidos a mesma pode ser de 20 a 90 mm.

BRACARENSE (2012) completa: “na soldagem com proteção gasosa, a vazão do gás é uma variável que afeta diretamente na qualidade do metal depositado”. Pouca vazão resultará em baixa proteção da poça de fusão e, conseqüentemente, ocorrência de poros e oxidação. Entretanto, muita vazão irá gerar turbulência e conseqüente aumento de impurezas no metal depositado.

3.1.1.2 Equipamentos

O equipamento para soldagem FCAW é muito similar ao equipamento para soldagem pelo processo GMAW, poucas alterações são necessárias para adequação do sistema que utiliza arame maciço para o sistema de arame tubular. O equipamento é constituído de fonte de energia, sistema de alimentação de arame e tocha. A soldagem FCAW pode ser automática ou semiautomática.

Segundo BRACARENSE (2012), na soldagem FCAW automática geralmente são utilizadas fontes de corrente constantes com ciclo de trabalho de 100%. Para

determinadas aplicações podem ser necessárias fontes com capacidade de até 1000 A. A tocha é geralmente acoplada ao sistema de alimentação de arame com sistemas de refrigeração a ar ou água. Na soldagem semiautomática normalmente são utilizadas fontes de tensão constante e corrente contínua, geralmente com correntes menores que 600 A. A velocidade de alimentação do arame pode ser controlada mecanicamente ou por meio eletrônico. A tocha para esta ocasião é projetada de modo que forneça conforto e tranquilidade de manobra durante a soldagem.

3.1.1.3 Consumíveis

Consumíveis são todos os materiais empregados na deposição e/ou proteção da solda. Têm-se como consumível no processo FCAW os arames tubulares e o gás de proteção.

De acordo com MACHADO (1996), os arames tubulares são fabricados a partir de fitas de aço de baixo carbono conformada em forma de U que posteriormente são fechadas até uma seção circular em torno do fluxo, formando as seções transversais típicas, e finalmente a forma tubular passa por fieiras de trefilação, que diminuem seu diâmetro sucessivamente até o valor final. Estes consumíveis são disponíveis em diâmetros de 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 3,2 e 4,0 mm, sendo os de 0,8 mm e 1,0 mm mais difíceis de fabricar. Na prática o que se observa é uma maior utilização das bitolas de 1,2 e 1,6 mm

BRACARENSE (2012) diz que o percentual de fluxo no interior do arame pode variar de 15 a 50% do seu peso. Este percentual vai depender, entre outros fatores, das funções a serem desempenhadas pelo fluxo. Arames tubulares auto-protegidos possuem percentuais de fluxo consideravelmente superiores aos que utilizam proteção gasosa. Em relação à composição do fluxo interno os arames podem ser básicos, rufílicos ou metal cored. Os básicos produzem soldas com excelentes propriedades mecânicas e baixos teores de hidrogênio, os rufílicos proporcionam uma soldagem mais "suave" e um cordão com excelente aspecto visual e os do tipo metal cored, que possuem alto percentual de pó de ferro em sua composição, proporcionam altas taxas de deposição e rendimento.

Os arames tubulares são classificados pela *American Welding Society* (AWS) na norma AWS A 5.20-69, tanto para os innershield como para os dualshield.

De acordo com RODRIGUES (2005), o gás de proteção tem como principal função proteger a poça de fusão da ação danosa do nitrogênio, oxigênio e do hidrogênio, mantendo-os fora da atmosfera dessa zona, para evitar a formação de óxidos e de nitretos, que resultam em juntas soldadas defeituosas, como retenção de escória, porosidades e fragilizações do cordão. BRACARENSE (2012) comenta, em relação ao melhor custo benefício, que dentre as diversas opções de gases e misturas destes disponíveis no mercado, a opção deve ser feita por aquele que atenda aos requisitos de qualidade requeridos com o menor custo possível.

Ambos os autores acima citados concordam que o gás de proteção mais utilizado é o dióxido de carbono CO₂. Estes citam que as principais vantagens da utilização deste gás são o baixo custo e a alta penetração além de que quando aquecido em altas temperaturas, se dissocia e forma o monóxido de carbono, CO, que é mais estável, o que implica num efeito oxidante muito forte. RODRIGUES (2005) ainda cita que a principal desvantagem na utilização do CO₂ é a geração de maior quantidade de respingos quando comparado às misturas ricas em argônio.

3.1.2 Vantagens e Limitações do Processo FCAW

De acordo com MACHADO (1996), quando comparado com os processos Eletrodo Revestido e MIG/MAG, o eletrodo tubular apresenta uma maior taxa de deposição na posição plana. A razão entre a massa do metal depositado e a do eletrodo consumido, ou eficiência de deposição, se encontra geralmente entre 85 a 90% para o eletrodo protegido por gás e 80 a 87% no caso do autoprotégido.

BRACARENSE (2012) cita que a soldagem com eletrodo tubular tem muitas vantagens em relação ao processo SMAW. O FCAW também proporciona vantagens sobre os processos SAW e GMAW. Em muitas aplicações o processo FCAW proporciona uma solda de alta qualidade e um custo mais baixo, com menor esforço do soldador do que no processo SMAW. As diversas vantagens da soldagem FCAW estão listadas abaixo:

- Alta qualidade do metal depositado;
- Ótima aparência da solda (solda uniforme);
- Excelente aparência em soldas de ângulo;
- Solda vários tipos de aços e em grandes faixas de espessuras;
- Fácil operação devido à alta facilidade de mecanização;

- Alta taxa de deposição devido à alta densidade de corrente;
- Relativamente alta eficiência de deposição;
- Economiza engenharia para projeto de juntas;
- Arco visível;
- Requer menor limpeza do que no GMAW;
- Distorção reduzida sobre o SMAW;
- Uso de eletrodos autoprotégidos elimina a necessidade do uso de aparelhos de gás além de ser mais tolerante para condições ao ar livre;
- Alta tolerância com relação a contaminantes que podem originar trincas;
- Resistente a trincas do cordão;
- Alta produtividade.

BRACARENSE (2012) também cita que as principais limitações da soldagem FCAW são:

- Limitado a soldagem de metais ferrosos e liga a base de níquel;
- Necessidade de remoção de escória;
- O arame tubular é mais caro na base de peso do que o arame de eletrodo maciço, entretanto, na medida em que aumentam os elementos de ligas esta relação diminui;
- O equipamento é mais caro se comparado ao utilizado para soldagem pelo processo SMAW, mas a alta produtividade compensa;
- Restrição da soldagem ao ar livre (somente para soldagem FCAW com gás de proteção);
- O alimentador de arame e a fonte de energia devem estar próximos ao local de trabalho;
- São gerados mais fumos do que os processos GMAW e SAW;

3.2 Descontinuidades em juntas soldadas em aplicações navais

Como visto acima, uma das vantagens do processo FCAW é a alta qualidade do metal depositado e a boa aparência do cordão de solda. No entanto, segundo

BRACARENSE (2012), a qualidade da solda produzida por este processo depende de cinco variáveis: o tipo de eletrodo utilizado, o método (com proteção gasosa ou autoprottegido), das condições do metal base, do tipo de junta e do procedimento de soldagem. A ocorrência de descontinuidades está diretamente relacionada a procedimentos e práticas inadequadas. As principais descontinuidades do processo são: porosidade, falta de penetração ou fusão incompleta, presença de trincas e falhas de alimentação.

As possíveis causas de porosidade são: turbulências causadas pelo alto ou baixo fluxo de gás de proteção, contaminação do gás, metal de base ou arame contaminados, alta tensão, stickout excessivo ou insuficiente, alta velocidade de soldagem e o efeito de correntes de ar que é o tema central deste trabalho. As ações corretivas para reduzir a presença deste tipo de descontinuidade em soldas pelo processo FCAW são: Regular o fluxo de gás com a finalidade de eliminar as turbulências, checar a existência de vazamentos em mangueiras, limpar as faces da junta, remover componentes que possam originar contaminantes, retirar óleo de roldanas, ajuste de tensão, corrente, stickout e velocidade. Em relação as correntes de ar, o ideal é proteger a região da solda das correntes de ar com tapumes ou estruturas próximas, quando possível.

As descontinuidades referentes à falta de penetração ou fusão incompleta são oriundas do posicionamento inadequado da tocha de solda, utilização de parâmetros inadequados e solda com perfil inadequado. As medidas corretivas para reduzir a incidência desta descontinuidade são: Aumentar a abertura da raiz, reduzir a face da raiz, aumentar a corrente, reduzir stickout, velocidade de soldagem e diâmetro do arame.

Por fim, as descontinuidades referentes as trincas e a falha de alimentação, são geradas devido a: Juntas com restrição excessiva, uso de eletrodo inadequado, contato excessivo do arame no bico, fusão do bico de contato e conduíte sujo. As ações corretivas para minimizar tais descontinuidades são: Aplicar pré-aquecimento no metal de base, utilizar metal de solda mais dúctil, reduzir a pressão das roldanas e tensão, utilizar tocha refrigerada e limpar o conduíte ou trocá-lo.

ARAUJO (2011) realizou um estudo sobre o efeito da velocidade dos ventos sobre a soldabilidade do aço AH 32 em aplicações navais. Foram realizados experimentos para analisar a microestrutura e as propriedades mecânicas de juntas soldadas pelo processo de arame tubular com proteção gasosa (FCAW-G) e autoprottegido (FCAW-S). Os

testes foram realizados sobre quatro condições: ausência de ventos, e ação dos ventos a 2,3, 3,3 e 4,4 m/s, com chapas na forma de tiras com dimensões de 120x250x12,7 mm utilizando os arames AWS E71-G, nas soldagens com proteção gasosa e AWS E71T J8 H8 na condição sem gás, ambos com 1,2 mm de espessura; Neste estudo o autor não especificou qual mecanismo utilizou para a geração dos ventos tampouco como realizou a medição dos mesmos. Além de não especificar a vazão do gás utilizado durante a análise. No entanto, realizou uma importante análise de dureza que comprovou que, no processo com eletrodo autoprotégido, houve elevada diluição dos componentes fluxantes e maior entrada de calor na junta sem geração de fase frágil, não comprometendo a junta soldada, mantendo desta forma, boas propriedades mecânicas. Através das análises, concluiu-se que a velocidade dos ventos possuem grandes influências nas propriedades das juntas soldadas. O processo que foi mais prejudicado nestas condições foi o FCAW-G. Este autor ressalta, inclusive, que este processo não deve ser realizado sob o efeito de ventos. As principais descontinuidades contidas nas análises foram a porosidade e inclusões. O processo FCAW-S mostrou-se ideal para estas condições sendo inclusive sugerido pelo autor para utilização nos estaleiros da região.

LESSA (2010) realizou um estudo similar ao de Araujo. Seu estudo foi referente à influência da ação dos ventos sobre a soldabilidade de aço baixo carbono soldado pelos processos FCAW-G e FCAW-S. Os materiais utilizados neste estudo foram chapas de aço ASTM A36 com dimensões de 300x100x12,7 mm, arames tubulares E71T-1C (FCAW-G) e E71T- 8J 8H (FCAW-S), sendo o primeiro com 1,2 mm e o segundo com 1,6 mm de espessura. Para gerar os ventos foi utilizado um ventilador de pedestal com ajuste de velocidade de giro e anemômetro digital para realizar as medições da intensidade dos ventos. A vazão do gás de soldagem utilizada durante os ensaios foi de 14 L/min. O processo de soldagem foi realizado da mesma forma que no estudo de Araujo, ou seja, sem a ação dos ventos e, com velocidades de 2,3; 3,3 e 4,4 m/s. Os resultados das análises mostraram a baixa qualidade das juntas soldadas sobre a influência dos ventos pelo processo FCAW-G, o cordão apresentou respingos e porosidade excessiva quando o gerador de ventos participava do processo. Este fenômeno não aconteceu nos corpos de prova com arame tubular autoprotégido. O autor realizou um ensaio com líquido penetrante para avaliar a qualidade da soldagem. O reagente revelou a presença significativa de descontinuidades no processo FCAW-G e,

não revelou indicações de descontinuidades sobre o cordão pelo processo FCAW-S. Lessa ainda realizou análises micrográficas, ensaio de dobramento, medição de microdureza e ensaio de tração. Em todos os casos a qualidade do processo de soldagem pelo arame tubular protegido se sobressaiu em relação ao arame tubular com proteção gasosa. Concluiu, ao fim de seu estudo que há uma perda significativa da qualidade da soldagem com arame tubular com proteção gasosa na presença de ventos, mesmo que moderados.

São poucos os estudos recentes acerca desta problemática, dificultando assim o embasamento teórico referente ao assunto. O presente trabalho de conclusão de curso visa auxiliar em futuros trabalhos neste tema.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo serão apresentados os materiais utilizados para a realização dos experimentos deste trabalho, bem como, os métodos escolhidos para a obtenção dos resultados.

4.1 Materiais

4.1.1 Materiais utilizados no trabalho

O presente trabalho de conclusão de curso analisará o efeito da qualidade de solda realizadas nas mesmas condições às realizadas num estaleiro da região do vale do Itajaí em Santa Catarina. Por questões de privacidade, tal empresa será referenciado aqui como Estaleiro X. Neste estaleiro são realizados diversos processos de soldagem, dentre eles os processos por eletrodos revestidos (SMAW), MIG/MAG (GMAW) e arco submerso (SAW).

Com o propósito de reproduzir ao máximo as condições presentes no estaleiro, foram utilizados os materiais provenientes do mesmo. Desta forma, os corpos de prova e o eletrodo foram cedidos pela empresa. Os corpos de prova possuem dimensões de 300x110x10 mm. O material dos corpos é o mesmo utilizado para a fabricação das chapas que compõem as embarcações lá construídas, aço estrutural ASTM A36.

O consumível utilizado no estaleiro é o eletrodo tubular AWS E71T-1C de 1,2 mm de diâmetro. Trata-se de um arame do tipo básico-rutílico, com proteção gasosa, projetado para uso geral na soldagem de aço carbono em todas as posições de soldagem, apresentando boas propriedades mecânicas principalmente tenacidade. O fabricante recomenda a utilização do mesmo com CO₂ puro. A Figura 4.1 mostra os materiais cedidos pelo estaleiro X.



Figura 4.1 – Materiais cedidos pelo estaleiro

4.1.2 Bancada de ensaios

Para a realização dos ensaios, foi montada uma bancada no laboratório de ligações permanentes. A mesma conta com os seguintes itens: fonte de soldagem, unidade de refrigeração, sistema de deslocamento automático de tocha, sistema tracionador de arame, sistema de aquisição de dados, gerador de ventos, anemômetro e cilindro de CO₂. A Figura 4.2 mostra a bancada montada.



Figura 4.2 – Bancada de Ensaios. (1) Unidade de Refrigeração; (2) Fonte de Soldagem; (3) Gerador de Ventos; (4) Acionador do Sistema de deslocamento automático; (5) Fonte de tensão variável; (6) Cilindro de CO₂; (7) Sistema tracionador; (8) Sistema de deslocamento automático – Tartilope;

A fonte de soldagem utilizada durante este trabalho foi a *DigiPlus A7* da IMC Soldagem. Trata-se de uma fonte de soldagem a arco multiprocessos inteligente devido a seu processador ARM de 32 bits, tal processador permite operar com diversas modalidades de soldagem com um elevado desempenho no controle do arco e da transferência metálica. A interface com o usuário é através de um painel de comando intuitivo em português.

A unidade de refrigeração utilizada foi a *UPR-7500* também da fabricante IMC Soldagem. Tal unidade possui um fluxo máximo de 10 L/min com uma capacidade à 25° C de troca térmica de 2000 W a 2 L/min.

O sistema de deslocamento automático de tocha utilizado foi o *Tartilope VI* também fabricado pela IMC Soldagem. Este sistema, composto por três itens: teclado, módulo eletrônico e dispositivo mecânico, permite a realização de soldas em qualquer posição. Opera em uma faixa de velocidade de deslocamento de 5 à 160 cm/min com resolução de 0,2 cm/min. O teclado possui a função de interface com o usuário, o módulo eletrônico processa e controla os movimentos e, o dispositivo mecânico, é composto de um dispositivo móvel que corre sobre um trilho.

O sistema tracionador de arame utilizado foi o *STA20-2* (Figura 4.6) também fabricado pela IMC Soldagem. Este sistema possibilita a alimentação de arame bobinado de diversos tipos, com velocidade regulada pelo usuário numa faixa de 1,10 à 20,00 m/min. Tal sistema gera cordões mais uniformes além de possuir uma fácil adaptação à fonte de soldagem. A versão utilizada conta com bobina enclausurada para proteção contra o ambiente.

O sistema de aquisição de dados portátil utilizado foi o *SAP 4.0* da IMC Soldagem. Trata-se de uma ferramenta para análise do processo de soldagem. Sensores são utilizados para medir sinais de corrente, tensão, velocidade de arame e vazão de gás de soldagem e um software faz a aquisição destes sinais e mostra-os em uma interface de fácil visualização para o usuário.

O sistema gerador de vento (Figura 4.3) foi desenvolvido neste trabalho. Trata-se de um ventilador industrial da fabricante Network, modelo RT-172 acoplado a um tubo de PVC de 600 mm de comprimento Na extremidade do tubo foi acoplado uma chapa de honeycomb com o objetivo de tornar o fluxo de vento menos turbulento. O funcionamento do gerador de ventos dá-se através da alimentação do ventilador. Tal

alimentação é realizado por uma fonte de tensão variável. O controle da intensidade dos ventos é então feito através desta fonte. A fonte utilizada foi a PS-4000 da fabricante ICEL. A tensão de saída é ajustável continuamente entre zero e 30 V por meio de dois potenciômetros e, a corrente de saída poderá variar de acordo com a carga indo de zero a 3 A. O equipamento dispõe ainda de dois visores digitais que permitem a leitura simultânea da tensão e da corrente de saída.



Figura 4.3 – Gerador de vento.

O anemômetro foi o instrumento utilizado para medir a velocidade do vento, o equipamento utilizado neste trabalho foi o L5191s (Figura 4.4), trata-se de um anemômetro digital com faixa de medição de 0 a 30 m/s com resolução de 0,2 m/s. O sensor de velocidade é um rotor de plástico acionado por indução magnética.



Figura 4.4 – Anemômetro L5191s

O gás de proteção utilizado em todos os ensaios foi o CO₂ puro. Trata-se do mesmo gás de proteção utilizado no estaleiro.

4.2 Métodos

De acordo com GIL (1999), uma pesquisa experimental é aquela na qual se determina um objeto de estudo, selecionam-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. De forma geral, pode-se dividir a metodologia do presente trabalho em quatro etapas: Definição dos Parâmetros de soldagem; Setup da Bancada de Testes; Execução dos Ensaios e análise dos resultados (Figura 4.5).

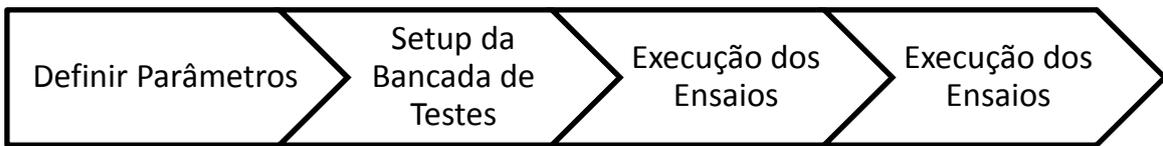


Figura 4.5 – Fluxograma da Metodologia empregada

4.2.1 Definição dos Parâmetros

Nesta etapa do trabalho será abordada a metodologia utilizada para a definição dos parâmetros iniciais bem como os testes preliminares. A Figura 4.6 exemplifica os passos que foram realizados.

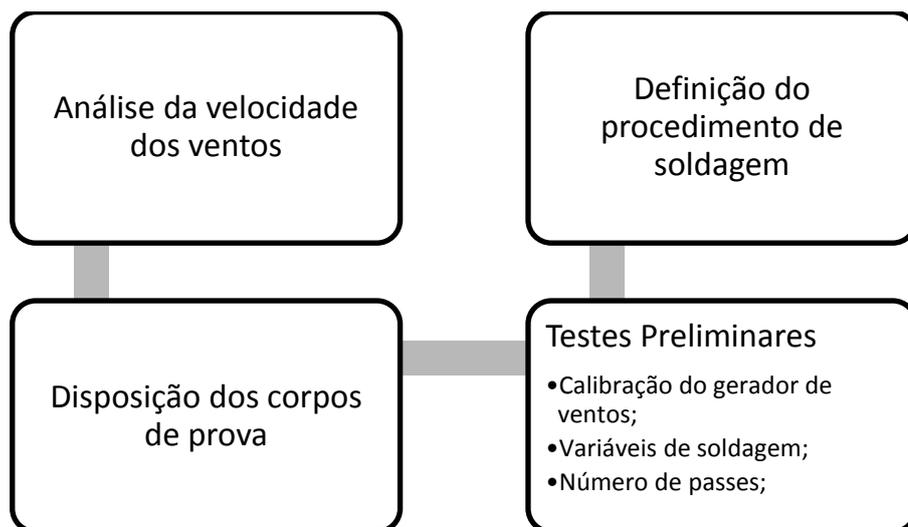


Figura 4.6 – Processos para definição dos parâmetros

4.2.1.1 Análise da velocidade dos ventos

Como já mencionado anteriormente, o objetivo do presente trabalho é realizar um estudo acerca da influência das correntes de ventos sobre a qualidade das soldas realizadas em um estaleiro. Sendo assim, faz-se necessário um estudo específico direcionado a aquisição dos dados referentes à intensidade dos ventos na região do estaleiro.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) possui uma vasta rede de estações meteorológicas automáticas (EMA). Tais estações coletam de minuto em minuto as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que estão localizadas. A cada hora estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite, para a sede do INMET. O conjunto dos dados recebido é validado, através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados. Os dados são disponibilizados gratuitamente, em tempo real, através da internet para a elaboração de previsão do tempo e dos produtos meteorológicos diversos de interesse de usuários setoriais e do público em geral e para uma vasta gama de aplicações em pesquisas.

A coleta dos ventos é realizada por um transmissor Vaisala WT521 que é um pequeno instrumento controlado por um microprocessador. As medidas são realizadas a cada 0,25 segundos e usa esses valores de amostragem para calcular a média móvel de 3 segundos tanto para a velocidade quanto para direção dos ventos.

O INMET possui uma Estação meteorológica automática em Itajaí e as informações provindas das medições desta estação foram utilizadas como referência neste trabalho. Na Figura 4.7 são mostrados tais dados.

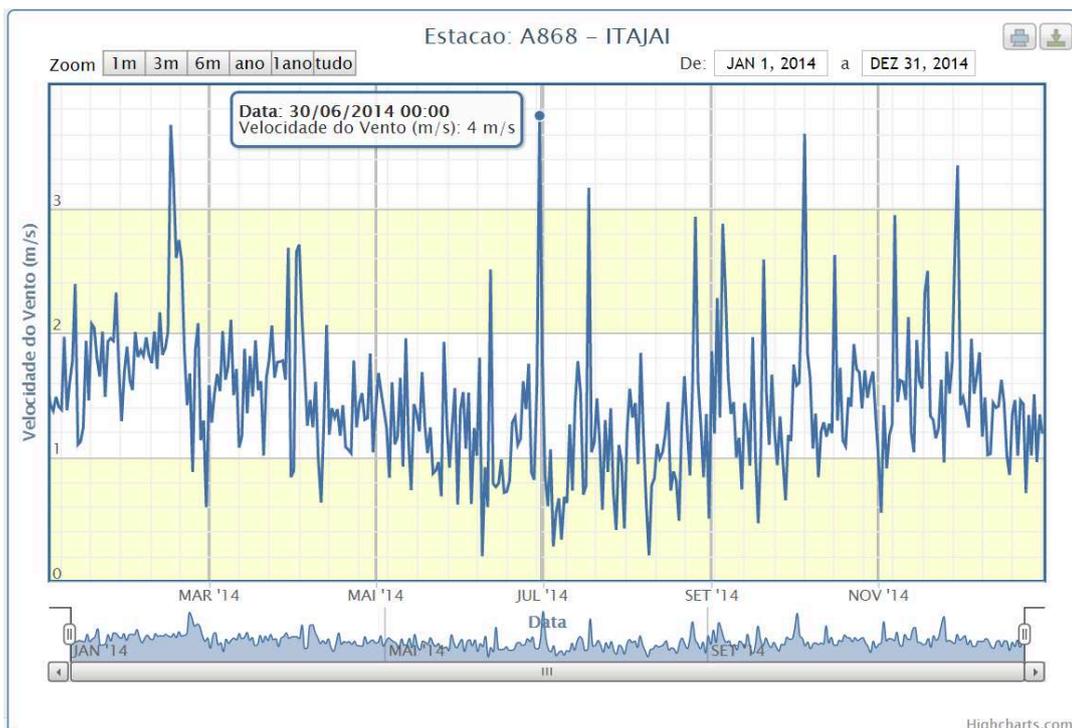


Figura 4.7– Análise dos ventos em Itajaí durante o ano de 2014

Utilizou-se como período de análise todo o ano de 2014 (Figura 4.7). Percebe-se através do gráfico que grande parte das medições encontram-se na faixa entre 1 e 2 m/s. A Figura mostra também o maior valor atingido, 4 m/s no dia 30 de junho de 2014 às 00:00 horas. Sendo assim, a bancada de ensaios foi projetada para suprir esta demanda de velocidades de vento.

4.2.1.2 Disposição dos corpos de prova

Outro ponto importante para a determinação das análises que serão realizadas é a forma como os corpos de prova estarão dispostos na bancada de ensaios, bem como a junta a ser utilizada. O intuito é obter, o mais próximo possível, os padrões utilizados no estaleiro. Os corpos de provas disponibilizados pelo estaleiro possuem um chanfro em V cortados com plasma.

No estaleiro, quando são realizadas soldas em condições semelhantes às empregadas neste trabalho, normalmente, são empregados juntas cuja fresta é relativamente grande. Diante disso, é comum a utilização do backing cerâmico.

No presente trabalho optou-se por não utilizar backing cerâmico, pois o mesmo poderia interferir na corrente de vento que fluirá na raiz das juntas. Desta forma, a distância entre as chapas deverá ser menor do que a utilizada pelo estaleiro. Outro fator decisivo nesta escolha foi a forma que os corpos serão soldados. Nesta análise, como já visto no tópico anterior, a solda será realizada mecanicamente com um equipamento (Tartílope), que possui apenas um grau de liberdade, impedindo desta forma que aconteça o movimento de tecimento realizado normalmente pelo soldador durante o processo de soldagem no estaleiro. A definição da distância entre as chapas será exposta no próximo item.

A condição dos corpos de prova é outro fator importante a ser considerado. Os chanfros dos mesmos encontravam-se, em alguns casos, com depressões que prejudicariam o processo de soldagem. A Figura 4.8 mostra em detalhes algumas dessas depressões.



Figura 4.8 – Depressões nos chanfros dos corpos de prova

A solução para tal problema foi uma escolha seletiva das chapas que seriam utilizadas durante os ensaios. Optou-se por chanfros mais uniformes de forma que os mesmos interferissem menos possível nos resultados das futuras análises. Outra medida tomada foi a limpeza dos corpos de prova. Os mesmos passaram por um processo de esmerilhamento para retirar algumas imperfeições na sua superfície.

4.2.1.3 Testes Preliminares

Alguns testes preliminares foram realizados com o objetivo de definir as variáveis do processo. As análises destes testes definiram os parâmetros utilizados durante o experimento.

4.2.1.3.1 Calibração do gerador de ventos

Com o objetivo de conhecer o comportamento do gerador de ventos produzido neste trabalho e a intensidade dos ventos, foram realizados testes em bancada no laboratório de ligações permanentes.

O teste inicialmente consistiu em aplicar uma determinada tensão e corrente ao ventilador do gerador de ventos e captar os resultados através do anemômetro localizado a 250 e 300 mm da saída do túnel. Os dados foram tabelados e criou-se gráficos relacionando estas variáveis. A Figura 4.9 mostra como foi realizado tal teste.



Figura 4.9 – Análise dos ventos

A Tabela 4.1 mostra os valores obtidos nestes experimentos. A tensão inicial aplicada foi de 9,0 V pois tensões inferiores não acionavam o ventilador. É possível observar que não existe uma diferença significativa entre as distâncias de 250 e 300 mm. O Gráfico 4.1 mostra esta diferença. Desta forma, utilizou-se nos ensaios futuros a distância de 250 mm como padrão entre o centro da junta e o final do túnel de ventos. O Gráfico 4.2 relaciona a tensão e a velocidade a 250 mm.

Testes realizados a 250 mm de distância			Testes realizados a 300 mm de distância		
Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (m/s)	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (m/s)
9,0	0,06	0,0	9,0	0,06	0
10,0	0,08	1,2	10,0	0,1	1,2
11,0	0,12	1,8	11,0	0,13	1,7
12,0	0,19	2,3	12,0	0,19	2,2
13,0	0,34	3,2	13,0	0,35	3,1
14,0	0,39	3,5	14,0	0,38	3,3
15,0	0,42	3,7	15,0	0,42	3,6
16,0	0,46	3,8	16,0	0,46	3,8
17,0	0,5	4,1	17,0	0,5	4
18,0	0,54	4,4	18,0	0,54	4,2
19,0	0,58	4,7	19,0	0,58	4,4
20,0	0,62	4,9	20,0	0,62	4,5
21,0	0,66	5,1	21,0	0,66	4,8
22,0	0,71	5,3	22,0	0,71	5
23,0	0,75	5,5	23,0	0,76	5,2
24,0	0,81	5,7	24,0	0,8	5,3
25,0	0,85	5,9	25,0	0,85	5,6
26,0	0,91	6,1	26,0	0,9	5,7
27,0	0,96	6,2	27,0	0,96	5,9
28,0	1,01	6,4	28,0	1,01	6,1
29,0	1,06	6,7	29,0	1,06	6,3
30,0	1,11	6,9	30,0	1,11	6,4

Tabela 4.1 Dados das análises do teste de ventos.

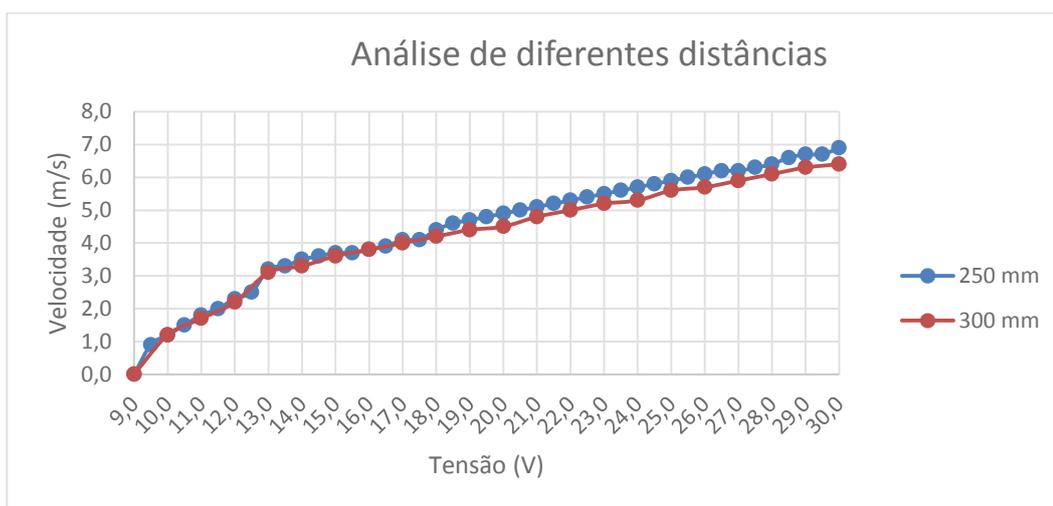


Gráfico 4.1 – Análise dos ventos

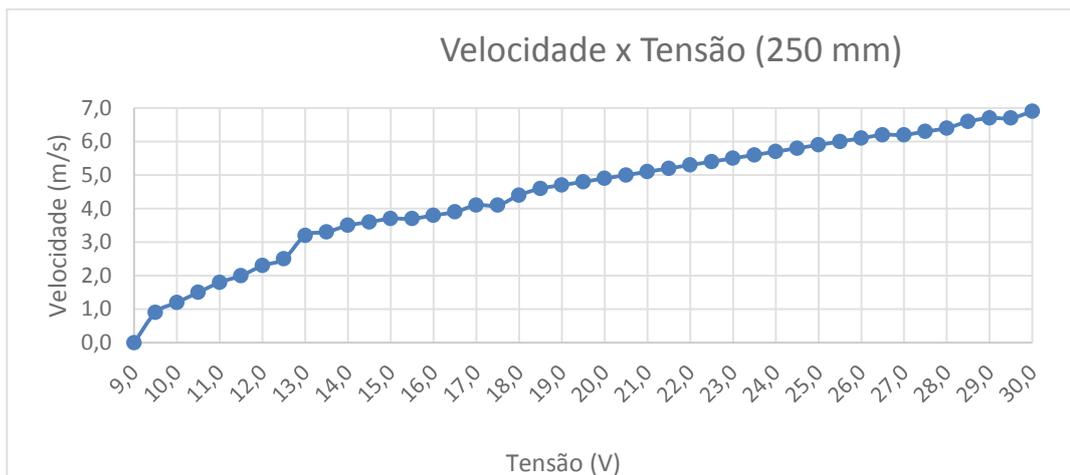


Gráfico 4.2 – Velocidade x Tensão (250 mm)

A segunda parte deste experimento foi identificar o alcance transversal do vento. Para quantificar esta variável alimentou-se o túnel de vento com uma tensão fixa de 30 V e moveu-se o anemômetro transversalmente ao túnel de ventos. Para tal análise considerou-se a posição zero o centro da saída do túnel. A Tabela 4.2 mostra os valores obtidos com esta análise.

Testes de análises Transversais (30V) - 250 mm		
Distância (mm)	Velocidade (m/s)	Velocidade (km/h)
200	0	0
150	2,0	7,2
125	3,5	12,6
100	6,2	22,32
50	6,5	23,4
0	6,9	24,84
-50	1,8	6,48
-100	0	0
-150	0	0
-200	0	0

Tabela 4.2 – Testes de análise transversal

O Gráfico 4.3 mostra os resultados dos dados contidos na Tabela 4.2. Percebe-se que o comportamento é similar a uma curva normal deslocada para a direita, ou seja, as maiores intensidades de ventos encontram-se dentro de uma faixa de 100 mm a direita do centro da saída do túnel de ventos. Acredita-se que isto ocorre devido à vorticidade ocorrida no interior do tubo.

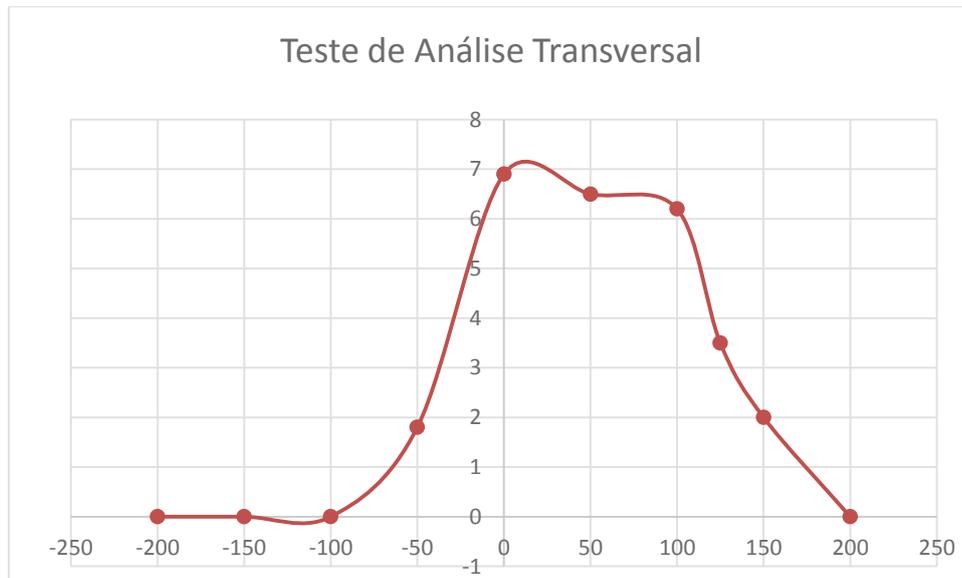


Gráfico 4.3 – Teste de Análise Transversal

A partir desta análise é possível determinar a posição das chapas na bancada de testes, as mesmas deverão ficar ao máximo dentro do alcance dos ventos para que os ventos atinjam os corpos de prova o máximo possível. Sendo assim, será realizada uma marcação no centro da chapa e uma marcação na bancada correspondente ao centro do túnel de ventos, todos os corpos utilizados neste experimento deverão ser alinhados antes de iniciar a soldagem.

4.2.1.3.2 Ensaios para determinação das variáveis de soldagem

Outra análise importante diz respeito a taxa de deposição do consumível. Visando reproduzir, da melhor forma possível, as condições de soldagem empregadas no estaleiro X, a princípio, neste trabalho, serão utilizadas as mesmas variáveis utilizadas no estaleiro. Entretanto, como a solda no estaleiro é realizada manualmente por soldadores, e não se tem valores bem conhecidos para a velocidade de soldagem (V_s), além da distância entre o bico de contato e a peça (DBCP), fez-se necessário a realização de ensaios preliminares para a determinação destas variáveis.

A Tabela 4.3 mostra os valores utilizados nos experimentos e os valores utilizados pelo estaleiro. Optou-se por utilizar uma velocidade de deslocamento de tocha de

soldagem de 35 cm/min e uma DBCP de 14 mm. Para padronizar tal distância, utilizou-se um gabarito e ao início de cada ensaio tal distância foi conferida.

	Estaleiro	Teste #1	Teste #2
U (V)	25,2	25,2	25
Im (A)	156	156	150
Va (m/min)	4	4	5
Vz (L/min)	18	18	18
Vs (cm/min)	-	35	35
DBCP (mm)	-	14	14

Tabela 4.3 – Valores utilizados no teste de deposição sobre chapa

As Figura 4.10 e 4.11 mostram, respectivamente, os cordões realizados nos ensaios 1 e 2 e o gabarito utilizado para a definição do DBCP.

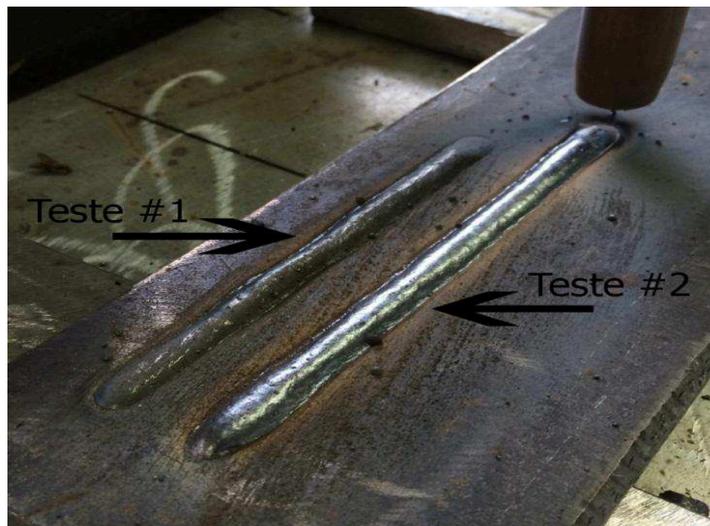


Figura 4.10 – Teste de deposição sobre chapas

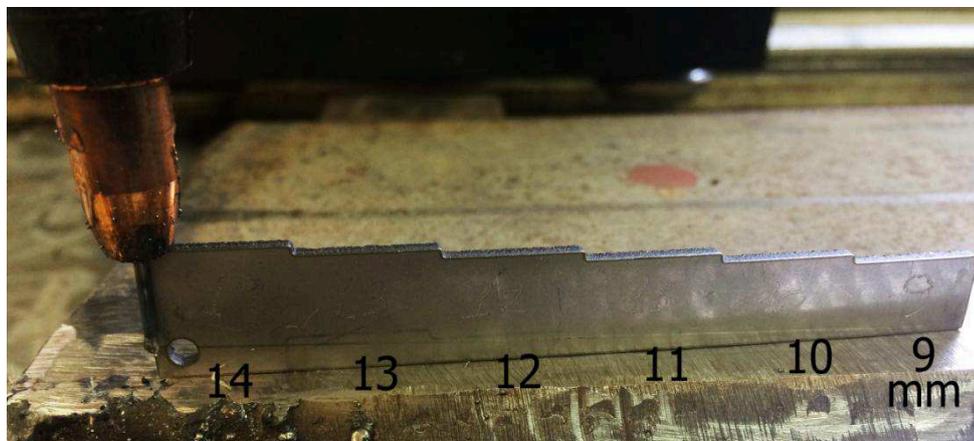


Figura 4.11 – Gabarito DBCP

Observou-se através deste experimento de deposição sobre chapas que os parâmetros utilizados no estaleiro geravam um cordão com baixa molhabilidade. Alteraram-se então os parâmetros e chegou-se a um cordão com características melhores. Com o intuito de comprovar a qualidade do cordão e avaliar a quantidade de passes que seriam necessários para realizar a soldagem decidiu-se realizar um novo teste que será abordado no próximo tópico.

4.2.1.3.3 Procedimento para determinação do número de passes

No estaleiro são realizados, para união de chapas similares ao do presente estudo, cinco passes, sendo: um de raiz, um de preenchimento e três de acabamento. Optou-se por realizar dois testes: o primeiro com um único passe de acabamento e o segundo com dois passes de acabamento, mantendo em ambos um passe de raiz e um passe de preenchimento. A Figura 4.12 mostra o resultado das duas análises.



Figura 4.12 – (a) Um passe de acabamento; (b) Dois passes de acabamento.

Percebe-se que com apenas um passe de acabamento (Figura 4.12a) não houve a completa fusão do metal base e do metal de adição este problema não ocorreu com dois passes de acabamento (Figura 4.12b). Desta forma, optou-se pela utilização da segunda análise nos ensaios futuros. A Figura 4.13 apresenta toda extensão do cordão de solda focando nos passes de acabamento e de raiz.

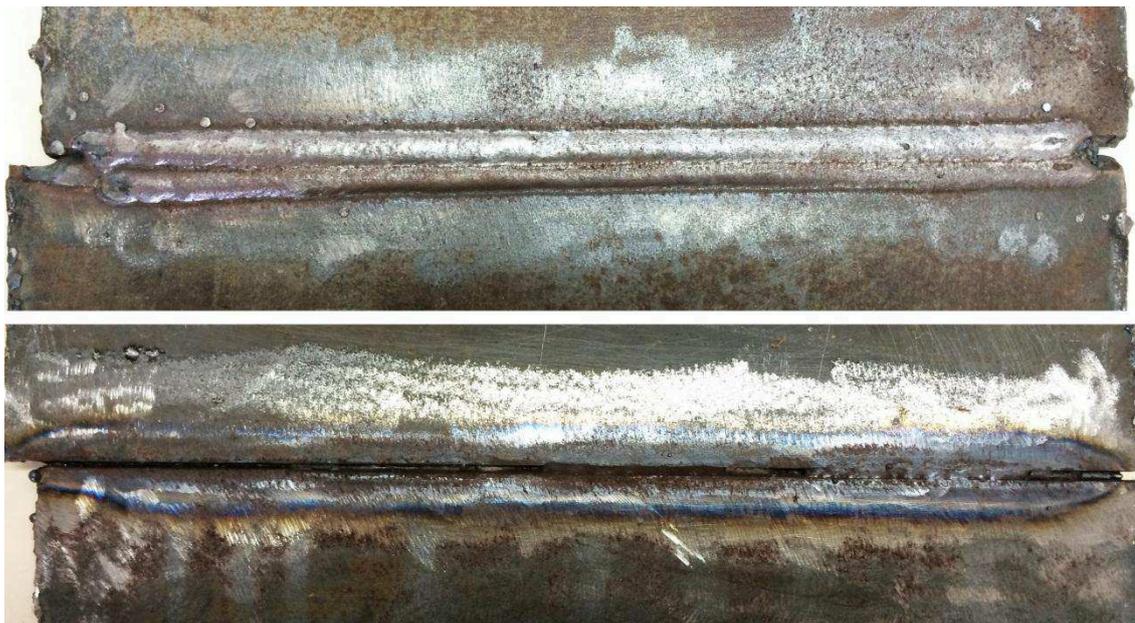


Figura 4.13 – Teste de preenchimento

Percebe-se na Figura 4.13 que não houve uma fusão da raiz. Este fato se a deve a pequena distância entre as chapa adotada. No entanto, como o objetivo do presente estudo é analisar a influência dos ventos, este preenchimento incompleto não afetará na análise.

4.2.1.3 Definição do procedimento de soldagem

Com a realização dos testes preliminares pode-se definir os parâmetros que serão utilizados nos ensaios. Definiu-se inicialmente que a análise dos ventos dar-se-á dentro de uma faixa de velocidades entre 0 e 4 m/s. O gerador de ventos estará localizado a uma distância de 250 mm do centro da junta.

As análises serão realizadas em quatro passes, sendo eles: de raiz, de preenchimento e dois de acabamento conforme mostra a Figura 4.14.

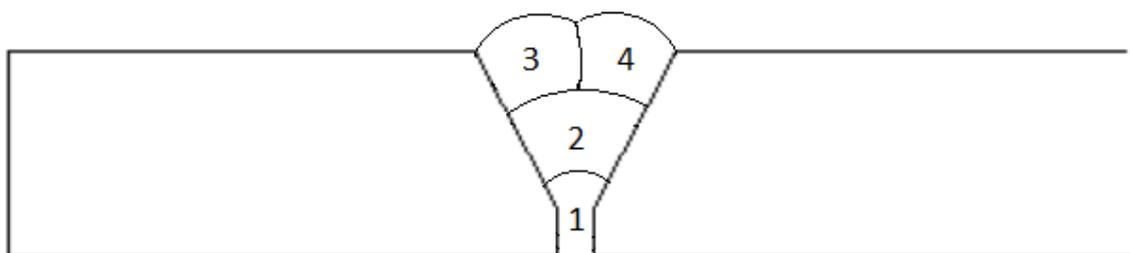


Figura 4.14 – Sequência de passos de soldagem

As variáveis do processo serão:

- Tensão (U): 25 V;
- Corrente média (Im): 150 A;
- Vazão do gás de proteção (Vz): 18 L/min;
- Velocidade de alimentação do arame (Va): 5 m/min;
- Velocidade de avanço da tocha (Vs): 35 cm/min;
- Distância bico de contato com peça (DBCP): 14 mm;

Por fim, definiu-se que serão realizados quatro ensaios. O primeiro sem a influência dos ventos e as demais com a influência.

4.2.2 Setup da bancada de testes

O Setup da bancada de testes é um item muito importante, pois os testes precisam seguir um padrão para que as análises sejam realizadas com os mesmos requisitos. Pode-se separar este item nos seguintes subitens: Alimentação do Arame; Organização da Bancada; Programar Fonte de Soldagem; Seleção dos corpos de prova; Tratamento dos corpos de prova; Verificação da Vazão de gás; Verificação da Unidade de Resfriamento; Verificação do Sistema de Aquisição dos Dados; Posicionamento da Chapa; Alinhamento da Chapa; Teste DBCP. A Figura 4.15 exemplifica os passos realizados.

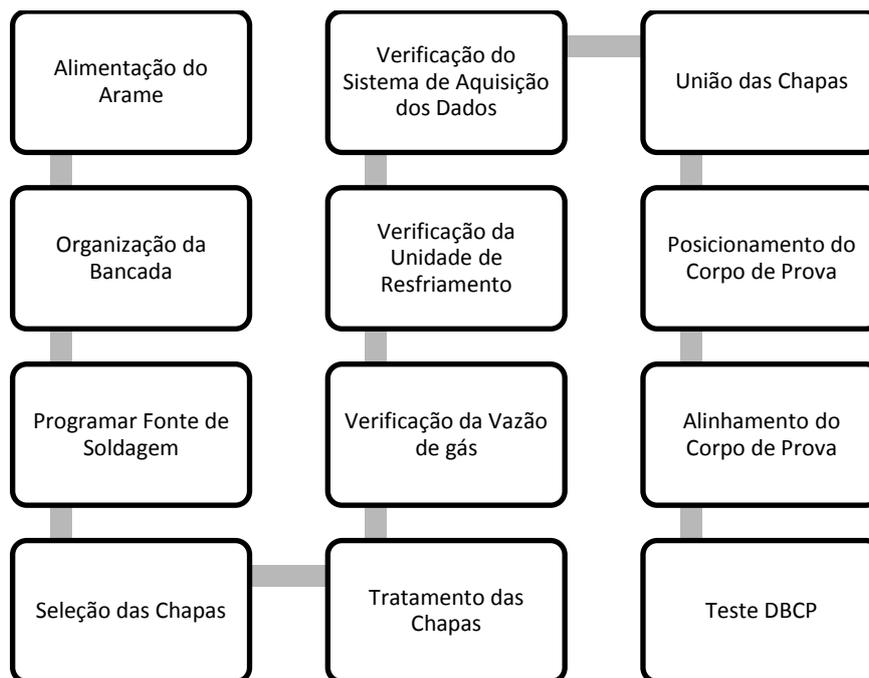


Figura 4.15 – Processo realizado para o setup da bancada de testes

Inicialmente alimentou-se o sistema tracionador, deve-se ter o cuidado de utilizar o bico específico de 1,2 mm na saída da tocha para que não ocorram problemas de travamento durante a operação. Outro ponto interessante é a pressão exercida pelas roldanas do tracionador que precisam estar reguladas corretamente para não exercerem muita força no arame, danificando-o desta forma, nem deixa-lo muito livre.

A organização da bancada é um fator importante, o posicionamento das máquinas devem estar de forma a não prejudicar a ação de outra atividade, por exemplo, o movimento da tocha de soldagem não deve ser prejudicado pelo mau posicionamento do sistema de deslocamento automático. O setup definido para as análises foi o apresentado na figura 4.2.

A programação da fonte de soldagem deve se dar no início do processo. Inicialmente deve-se selecionar os parâmetros de soldagem MIG/MAG, posteriormente entra-se com os parâmetros de Tensão e corrente. A fonte de soldagem utilizada gravava em sua memória os parâmetros iniciais, no entanto recomenda-se a verificação antes de iniciar o processo de soldagem.

Como já visto anteriormente, algumas chapas possuem depressões e impurezas, optou-se por corpos de provas que tivessem maior simetria e chanfros mais uniformes.

Em todas as chapas foi realizado um processo de esmerilhamento para corrigir pequenas imperfeições na junta e limpar a área a ser soldada.

A verificação da vazão do gás, da unidade de resfriamento e da unidade do sistema de aquisição de dados deve ser realizado no início de todo o processo. Como mencionado no capítulo anterior, a vazão de gás é de 18 L/min, a mangueira do gás deve estar acoplada a fonte de soldagem para depois ser ajustada a pressão no cilindro de gás. A unidade de resfriamento precisa estar com o nível de água adequado e as mangueiras ligadas corretamente seguindo o fluxo descrito na máquina. E, o sistema de aquisição de dados deve estar conectado ao polo positivo e negativo da fonte de soldagem para poder fazer a leitura dos dados de forma correta.

As chapas, devidamente tratadas, foram unidas com um espaçamento específico para que não sofram deformações térmicas durante o processo de soldagem. Tal espaçamento foi definido em 4 mm, conforme a figura 4.16 apresenta. A união foi realizada ponteando, através do processo de soldagem por eletrodo revestido, as extremidades das chapas. Formando assim, os corpos de provas. Todos os corpos de provas foram ponteados utilizando um gabarito de 4 mm para certificar-se que não haveria mudanças no espaçamento entre as chapas o que poderia ocasionar em uma falsa análise posterior.



Figura 4.16 – Espaçamento entre chapas

O posicionamento dos corpos de prova também é um fator determinante neste experimento. Após conhecer o comportamento dos ventos na saída do túnel é possível determinar o posicionamento das chapas. Inicialmente, criou-se um suporte para que os corpos de prova pudessem ficar na mesma altura que foi realizado o teste das análises do vento (50 mm). Tal suporte também faz com que tenha uma circulação de ventos na

parte inferior dos corpos de prova, ou seja, o passe de raiz também será afetado pela ação dos ventos. O suporte pode ser visto na figura 4.17 abaixo do corpo de prova.

Foram realizadas marcações na bancada de testes e no túnel de ventos para facilitar o alinhamento de ambos. O suporte também possui marcações para o posicionamento da chapa. Este processo de alinhamento repete-se em todas as análises.



Figura 4.17 – Posicionamento do corpo de prova

Embora o corpo de prova e o túnel de vento estejam alinhados, ainda é preciso alinhar o corpo de prova com a tocha de soldagem. Este processo de alinhamento também precisa ser realizado com todos corpos de provas, pois os mesmos possuem pequenas alterações em suas dimensões quando comparados uns aos outros. O procedimento para realização desta etapa se dá de forma visual, a tocha é deslocada sobre a junta e o alinhamento é realizado sob a orientação do eletrodo que precisa estar no centro da junta.

Por fim, após o corpo de prova estar devidamente posicionado e alinhado, foi realizada a medição da distância entre o bico de contato e a peça (DBCP). Para tal medição é utilizado um gabarito como visto na figura 4.17. Também é recomendado retirar o bocal de cerâmica após a soldagem para realizar a limpeza do mesmo.

4.2.3 Execução dos ensaios

A soldagem é a principal etapa do trabalho. Todos os parâmetros previamente definidos e todo o setup da bancada é configurado para que não ocorram problemas durante esta etapa do experimento. Os processos desta etapa são definidos nesta ordem: Alimentar o túnel de ventos; Realizar o passe de raiz; Bater escória; Realizar o passe de preenchimento; Bater escória; Realizar o primeiro passe de acabamento; Bater escória; Realizar o segundo passe de acabamento; Bater escória. Conforme é apresentado na Figura 4.18.

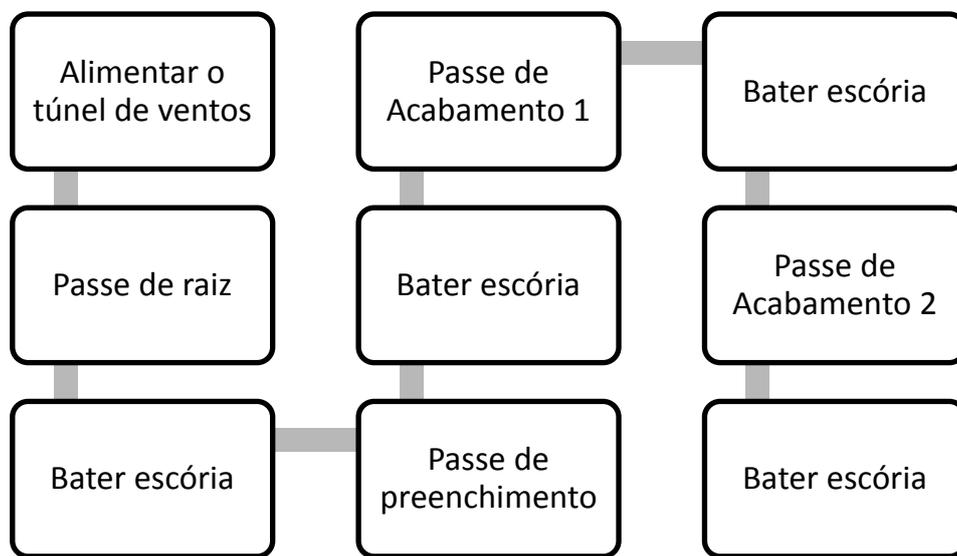


Figura 4.18 – Processos da Soldagem

Inicialmente, para que o processo de soldagem seja realizado, é preciso definir a intensidade do vento que o corpo de prova será exposto. Optou-se por realizar quatro análises com as variáveis expostas na Tabela 4.4

CP	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade do vento (m/s)
1	0	0	0
2	9,3	0,06	0,5
3	10	0,08	1,2
4	12	0,19	2,3

Tabela 4.4 – Variáveis do túnel de vento

A abordagem inicial previa cinco análises com intervalos de tensão entre 10 e 16 V, o suficiente para atingir velocidades de 0 à 4 m/s. No entanto, ao induzir uma tensão 10 V percebeu-se uma grande porosidade na superfície do cordão e, com 12 V já não foi possível completar a solda de raiz devido a intensidade do vento que prejudicava a abertura do arco deixando-o muito instável. A partir deste momento, optou-se por trabalhar com quatro análises sendo estas duas já realizadas (10 e 12 V), a análise padrão sem ventos e um intermediário entre 0 V e 10 V.

Após definido a intensidade dos ventos e, com o setup da bancada já em perfeitas condições é possível, de fato, iniciar o processo de soldagem. A primeira etapa consiste na soldagem do passe de raiz. É imprescindível que exista o alinhamento entre a tocha e o chanfro para que não ocorram imperfeições no cordão. Como já visto anteriormente, não há uma molhabilidade adequada da raiz, portanto o cordão na parte inferior do corpo de prova não ficará totalmente preenchido, tal fato não altera a análise deste estudo.

Por tratar-se de um eletrodo tubular, existe uma proteção do cordão em forma de escória oriundo do fluxo interno do eletrodo. Tal escória protege o cordão, no entanto, é necessário retirá-la após o processo de soldagem para que o próximo passe seja realizado. Designa-se a este processo o termo “bater escória”, a escória é retirada com o auxílio de uma ferramenta e posteriormente é realizada a limpeza com escova de aço do cordão para retirar quaisquer impurezas. A Figura 4.19 mostra um passe de raiz com escória.

O passe de preenchimento é então realizado, sob as mesmas orientações do passe de raiz. Novamente, é necessário bater escória e limpar o cordão.

Por fim, são realizados o primeiro e o segundo passe de acabamento. Diferente dos passes de raiz e de preenchimento, os passes de acabamento não são centralizados. Os mesmos são alinhados com a borda do chanfro inicialmente à direita e, posteriormente, à esquerda. Ao fim de cada passe é realizado o processo de retirada da escória e limpeza do cordão, como já mencionado anteriormente.



Figura 4.19 – Passe de Raiz e Escória

Vale salientar que durante todos estes processos de soldagem é utilizado o Sistema de Aquisição de Dados, tal sistema irá coletar as informações de corrente e tensão durante a soldagem e mostrar graficamente em seu software.

4.2.4 Macrografia

A última etapa das análises é em relação ao processo de análise macrográfica. Os subitens deste tópico podem ser divididos em: Cortes nos Corpos de Prova; Retífica; Lixa; Ataque Químico; Macrografia (Figura 4.20).

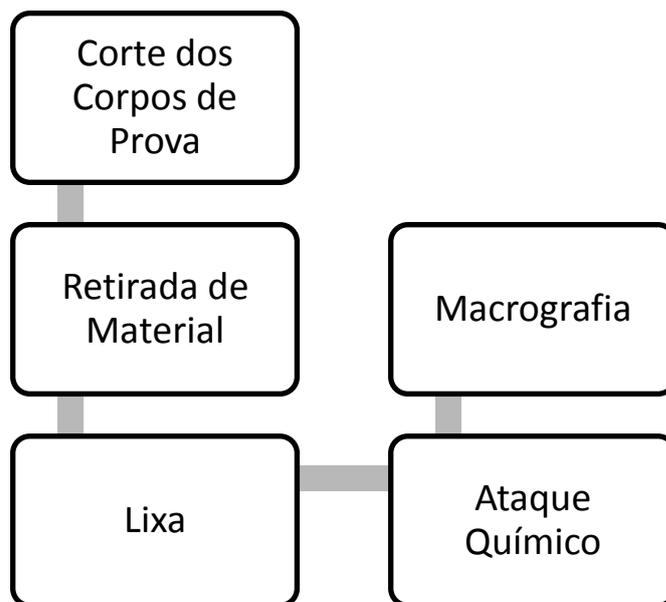


Figura 4.20 – Processos para realização da Macrografia

Optou-se por realizar os cortes nos corpos de prova por dois motivos: analisar o cordão de solda internamente e, diminuir o tamanho dos mesmos para facilitar no manuseio durante os processos seguintes.

Desta forma, cinco cortes foram realizados, sendo dois na direção longitudinal do cordão e três na direção perpendicular ao cordão. Reduzindo desta forma os corpos de prova de 300x220x10 mm para 40x90x10 mm e duplicando o número de amostras. A Figura 4.21 mostra os corpos de prova referentes ao CP2.

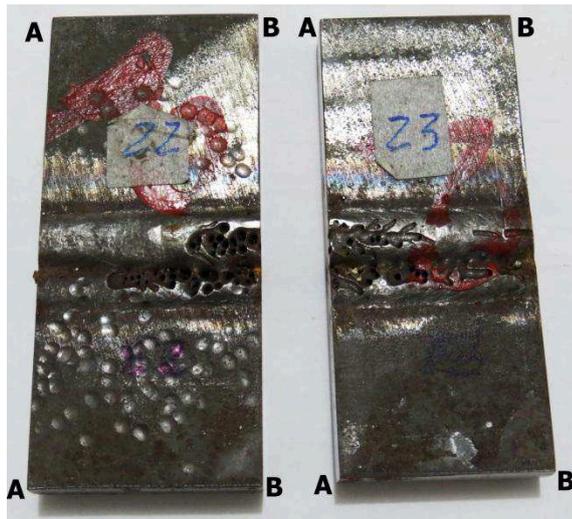


Figura 4.21 – Corpos de prova 22 e 23 referentes ao CP2

O corte dos corpos de prova foi realizado pelo processo de corte à plasma, como este processo funde o material fazendo com que os possíveis poros existentes nos passes internos do cordão se fechem ou fiquem preenchidos por materiais, foi necessário um processo de retirada de material através de uma fresa. Neste processo retirou-se 4 mm de cada lado das amostras.

Iniciou-se então o processo da Macrografia, como passo inicial de realizar o processo de lixamento. Foram utilizados as lixas 120, 220, 360, 600 e 1200. A cada troca de lixa modificava-se a direção do corpo de prova em 90 graus. A Figura 4.22 exemplifica o processo realizado.



Figura 4.22 – Lixamento do corpo de prova

Após o processo de lixamento os corpos de provas já estão aptos para o ataque químico. Em uma análise macrográfica, busca-se um ataque para evidenciar a macroestrutura dos cordões para que os mesmos fiquem visíveis a olho nu. O ataque deu-se com a utilização do reagente Nital 2%, o mesmo foi aplicado sob a área de análise com o auxílio de uma haste flexível com pontas de algodão. A Figura 4.23 exemplifica o processo realizado.



Figura 4.23 – Ataque químico com Nital 2%

Enfim, é possível realizar a análise macrográfica. Como já mencionado, o objetivo da macrografia é examinar, a olho nu ou com pouca ampliação, o aspecto de

uma superfície. No presente experimento realizaram-se 12 fotografias das amostras, correspondentes as duas superfícies dos seis fragmentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 5.1 a 5.4 mostram os resultados oriundos do processo de soldagem realizado nos quatro corpos de provas (vide Tabela 4.4), mostrando os passes de acabamento e raiz. Nestas Figuras é possível perceber que com ausência dos ventos não houve descontinuidades aparentes (Figura 5.1), por outro lado, percebe-se uma grande quantidade de poros nos passes de acabamento dos corpos de prova realizados com velocidade de vento de 0,5 e 1,2 m/s (Figuras 5.2 e 5.3).



Figura 5.1 – CP1 - Soldas realizadas sem ação dos ventos

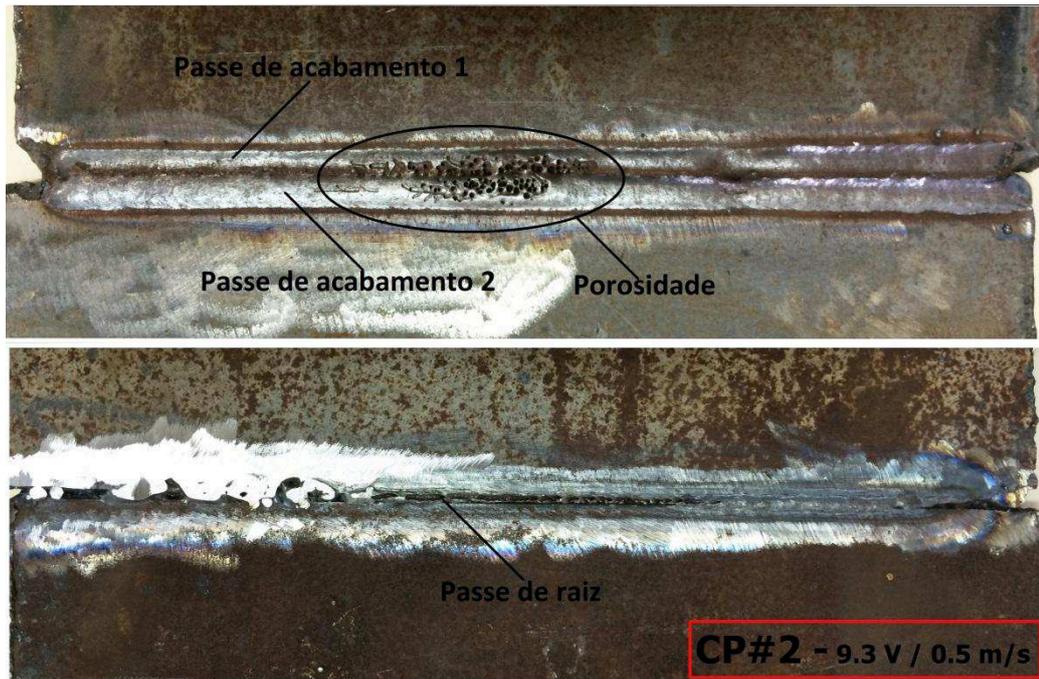


Figura 5.2 – CP2 – Soldas realizadas com ventos a 0,5 m/s

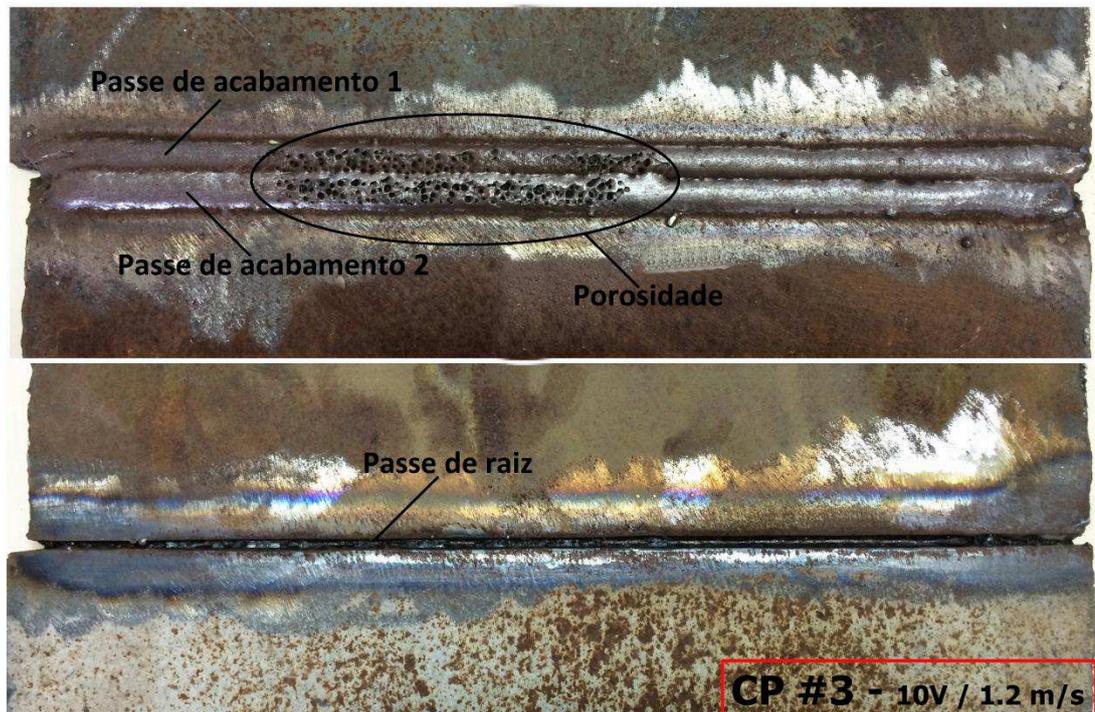


Figura 5.3 – CP3 – Soldas realizadas com ventos a 1,2 m/s

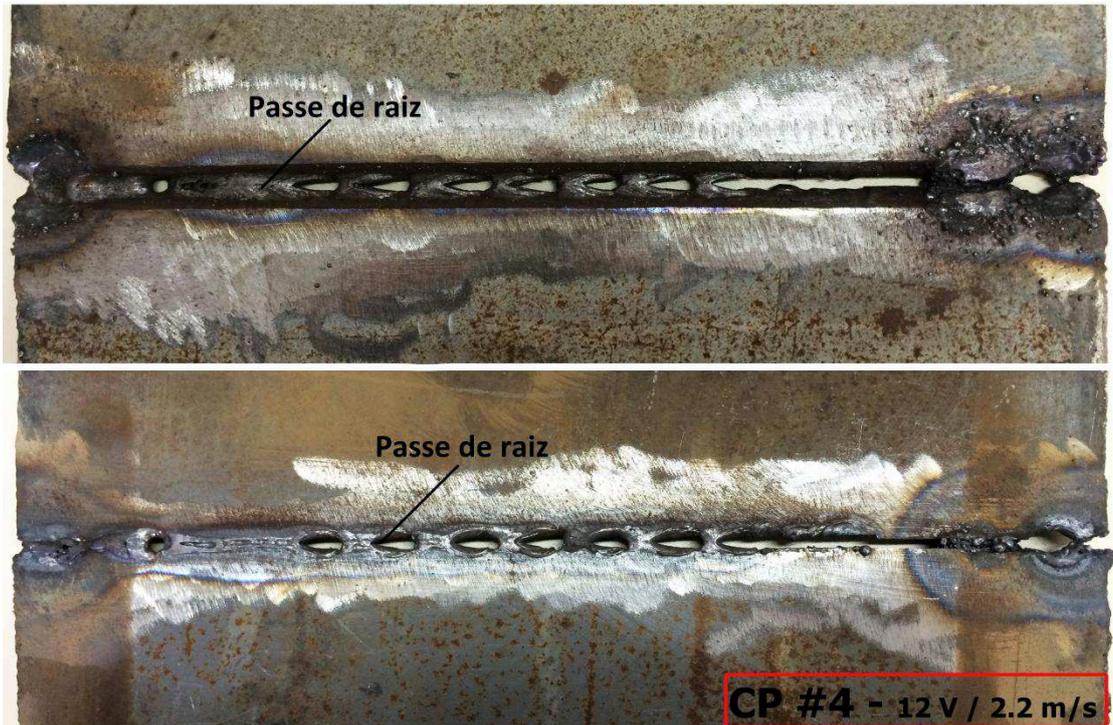


Figura 5.4 – CP4 – Soldas realizadas com 2,2 m/s

Outro aspecto a ser considerado diz respeito à falta de penetração da raiz ocasionada no corpo de prova 4. Observando a Figura 5.4 é possível verificar que não foi possível estabelecer um passe de raiz. Acredita-se que isto se deve a instabilidade provocada pelos ventos que impossibilitou a realização deste cordão. As análises oriundas do sistema de aquisição de dados comprovam esta afirmação. Observando a Figura 5.5 é possível notar que entre o período de 39 à 43 segundos, correspondentes a localização de 22,7 à 25 cm, acontecem cinco eventos no qual a corrente se iguala à 0 A, identificando assim a extinção do arco. Como não foi possível realizar o passe de raiz, este corpo de prova será descartado da análise macrográfica.

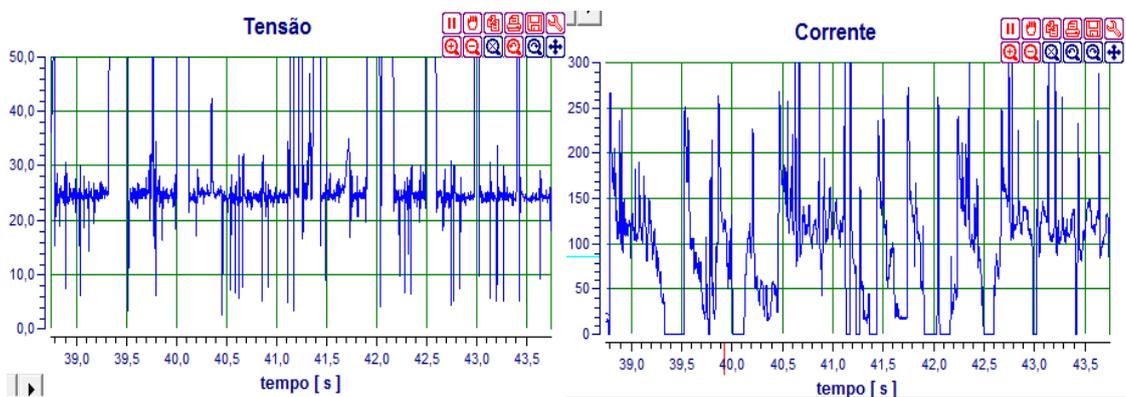


Figura 5.5 – Gráficos oriundos do sistema de aquisição referentes ao CP4

A figura 5.6 apresenta em maiores detalhes as porosidades encontradas nos passes de acabamento dos corpos de prova das Figuras 5.1 a 5.3. O aumento gradativo da quantidade dos poros acompanhou ao aumento da intensidade do vento incidente durante o processo de soldagem. Comprovando desta forma que pequenas alterações na intensidade dos ventos já são suficientes para gerar um aumento considerável de discontinuidades.

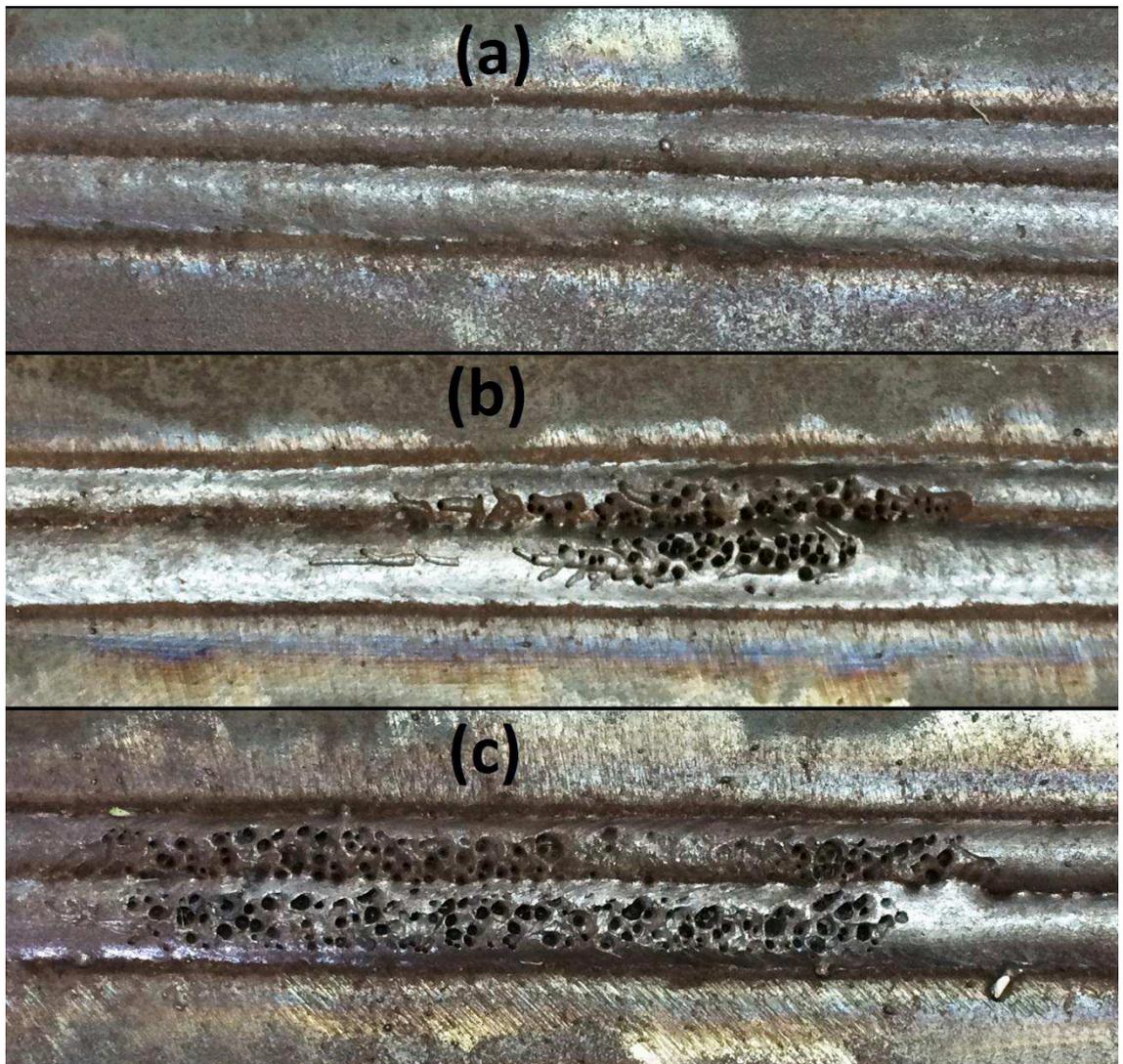


Figura 5.6 – Porosidades - (a) Condição sem ventos; (b) Ventos à 0,5 m/s; (c) Ventos à 1,2 m/s.

A instabilidade do arco é outro ponto a ser analisado. De acordo com Suban (2003), a estabilidade do processo de soldagem é a própria estabilidade do arco, o autor ainda afirma que uma operação de soldagem a arco só é estável se o comprimento do

arco for constante, se a transferência de metal for uniforme e sem presença de respingos. Entretanto, existem diversos autores que caracterizam a estabilidade com outros fatores, como por exemplo, o equilíbrio entre a velocidade de alimentação do arame e sua velocidade de fusão ou a frequência de oscilação da poça de fusão (Scotti, 1998, Vaidya, 2002). Martins (2012) define que a estabilidade de um processo de soldagem se dá quando o resultado alcançado é uma operação com regularidade na transferência metálica, independente do tipo, produzindo o mínimo de respingos. O gás de proteção existentes no processo de soldagem a arame tubular auxilia na estabilidade do arco e, a incidência dos ventos sobre o mesmo desloca-o impossibilitando desta forma de realizar a proteção adequada ao processo.

Diante do fato que no presente trabalho utilizou-se uma fonte do tipo tensão constante e que o modo de transferência do metal fundido do arame foi goticular, espera-se um bom comportamento da corrente durante o processo de soldagem. A figura 5.7 apresenta os gráficos de corrente por tempo considerando um período de 15 a 25 s, equivalentes a 8,74 à 14,57 cm do passe de preenchimento.

Percebe-se, analisando a Figura 5.7a, que não há grandes variações na corrente na condição sem ventos, a corrente mantém-se em sua média de 150 A tendo apenas uma pequena inflexão em 23,5 s, mostrando, desta forma, que o arco permaneceu estável. Na condição de ventos a 0,5 m/s, Figura 5.7b, percebe-se uma variação maior da corrente, ocorrem 14 eventos onde a corrente ultrapassa o valor de 200 A e, na Figura 5.7c nota-se uma grande variação durante todo o período de análise. Observa-se desta forma que o passe de preenchimento provavelmente, terá descontinuidades referentes a esta instabilidade do arco quando aplicados ventos. A análise macrográfica irá revelar se este fato realmente ocorre.

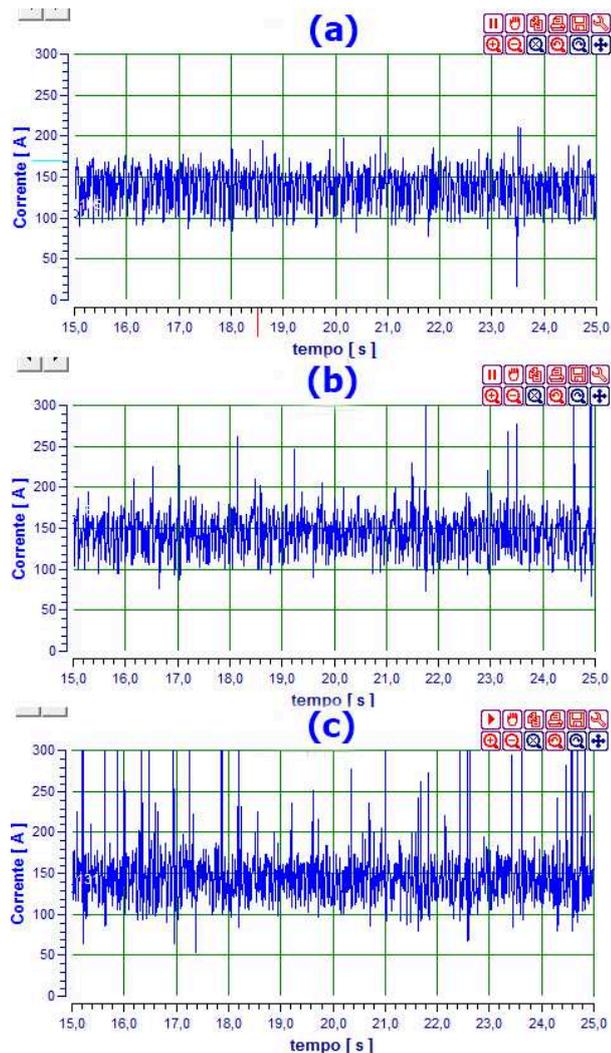


Figura 5.7 – Corrente x Tempo passe de preenchimento – (a) Condição sem ventos; (b) Ventos à 0,5 m/s; (c) Ventos à 1,2 m/s.

Com o objetivo de completar e enriquecer a análise, serão discutidos os resultados provindos dos gráficos plotados do passe de acabamento 2. A Figura 5.8 expõem os gráficos de corrente por tempo, oriundos do sistema de aquisição de dados. Utilizou-se o mesmo intervalo descrito na análise anterior. Observa-se novamente que há um aumento gradual entre a condição sem vento, até a condição de ventos a 1,2 m/s, inclusive muito similar ao passe de preenchimento. Já se esperava que isto fosse acontecer devido às fotos expostas anteriormente. Os gráficos apenas comprovam que a aparição destes poros é, em grande parte, ocasionada devido a instabilidade do arco e a falta de proteção do gás de proteção.

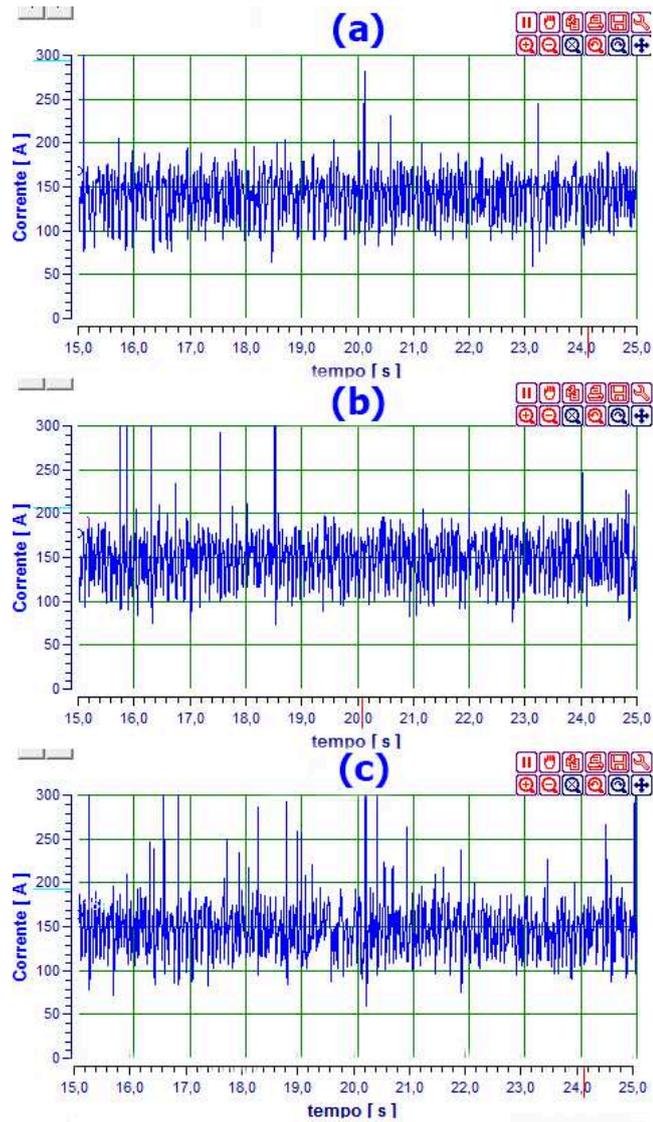


Figura 5.8 - Corrente x Tempo passe de acabamento 2 – (a) Condição sem ventos; (b) Ventos à 0,5 m/s; (c) Ventos à 1,2 m/s.

A última etapa dos resultados refere-se à análise das macrografias. Será apresentado uma análise das superfícies internas de cada corte, desta forma, a análise abrangerá a região com maior incidência dos ventos (Figuras 5.9 à 5.11).

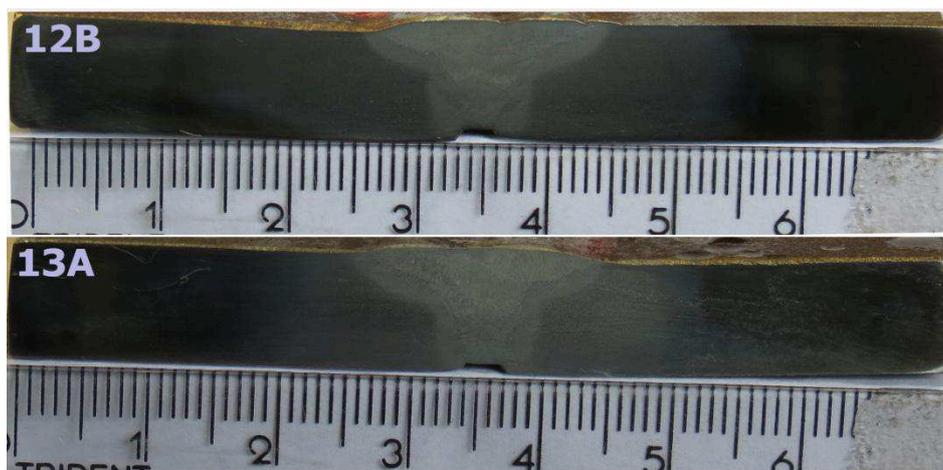


Figura 5.9 – Macrografia CP1 – Condição sem ventos

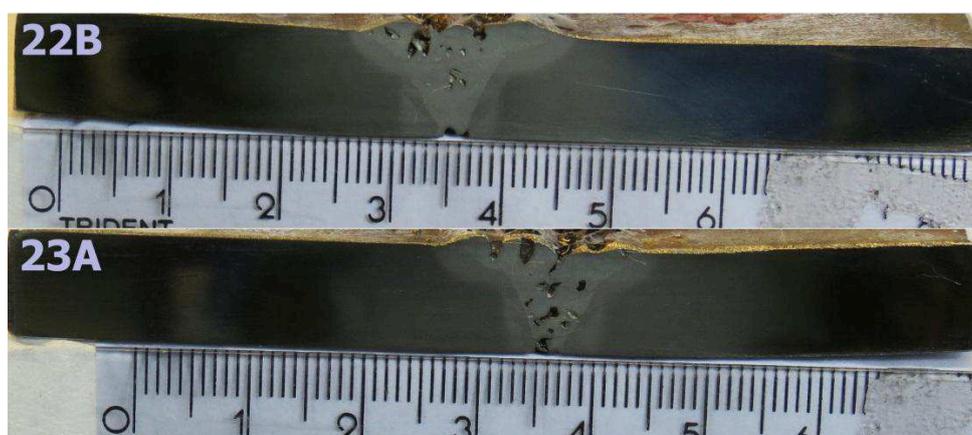


Figura 5.10 – Macrografia CP2 – Ventos à 0,5 m/s

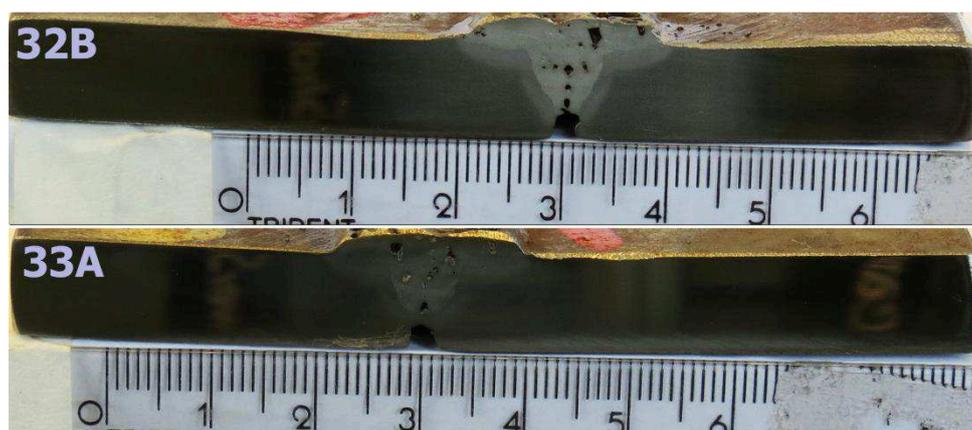


Figura 5.11 – Macrografia CP3 – Ventos à 1,2 m/s

Analisando a Figura 5.9, percebe-se que sem a ação dos ventos não houve nenhuma porosidade e, houve uma completa fusão entre o metal de base e os cordões de solda, mostrando que os parâmetros de soldagem utilizados produzem cordões de qualidade aceitável.

A Figura 5.10 já apresenta porosidade em todos os quatro cordões que compõem a junta. Ainda em relação a este, observa-se que o terceiro fragmento (23A) apresenta uma maior concentração de poros, o que já era esperado devido a maior intensidade de ventos nesta região, vide Gráfico 4.3. Percebe-se que, com um pequeno aumento na intensidade do vento, tem-se uma estrutura muito mais porosa. Mostrando desta forma a alta sensibilidade que o processo possui.

A Figura 5.11 reforça o que já foi comentado anteriormente. Na medida em que se aumenta a velocidade do vento, aumentam-se as discontinuidades, neste caso, as porosidades. Percebe-se novamente que o terceiro fragmento (33A) apresenta maior quantidade de poros.

Por fim, percebe-se, analisando as Figuras 5.9 à 5.11, que conforme aumenta-se a intensidade dos ventos, aumenta-se também a falta de penetração da raiz. Duas hipóteses podem ser lançadas acerca deste fenômeno. A primeira refere-se novamente a instabilidade do arco, a disposição das chapas na bancada permitia um fluxo de ventos na parte inferior do corpo de prova o que pode ter influenciado na falta de penetração. A segunda hipótese refere-se a não homogeneidade da junta que possuía um chanfro com depressões conforme visto anteriormente.

Com base nas análises macrográficas realizadas não foi detectado quaisquer outros tipos de discontinuidades, como por exemplo, trincas, o que ressalta a qualidade dos parâmetros utilizados. A condição imposta no ensaio sem presença de ventos (CP1) apresentou um cordão com boa aparência em toda a sua extensão, o que não pode-se constatar nos demais ensaios que apresentaram porosidades em algumas partes dos cordões internos e externos.

6. CONCLUSÕES

No atual mercado competitivo no qual os estaleiros vivem é imprescindível cortar custos. O retrabalho é um processo que não agrega valor ao produto final e, só gera prejuízos financeiros para empresa. Desta forma torna-se muito importante aplicar recursos em metodologias de controle da qualidade.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência das correntes de ventos sobre a qualidade das soldas realizadas pelo processo arame tubular em um estaleiro localizado na região do Vale do Itajaí. Inicialmente, utilizou-se da ferramenta disponível no site do INMET para caracterizar os ventos nesta cidade. Utilizou-se como período de análise todo o ano de 2014 e, percebeu-se que a maior parte das medições encontravam-se entre 1 e 2 m/s. Tais ventos foram reproduzidos em laboratório com o auxílio do gerador de ventos concebido neste trabalho. Utilizaram-se quatro velocidades de ventos durante os ensaios: 0 m/s, 0,5 m/s, 1,2 m/s e 2,3 m/s, sendo a última velocidade descartada no primeiro teste.

Os ensaios de soldagem seguiram padrões previamente definidos, testados e com as condições mais próximas possíveis as soldas realizadas no estaleiro. Os resultados confirmaram o que outros estudos já realizados na mesma temática mostraram, existe uma perda significativa de qualidade da soldagem com arame tubular na presença de ventos, mesmo estes sendo em pequenas intensidades. Observou-se um gradativo aumento na quantidade de poros na superfície do cordão com os mesmos;

Os resultados obtidos pelo sistema de aquisição de dados do processo de soldagem apontam que as correntes de ventos deixam o arco instável, gerando dessa forma, uma grande quantidade instabilidades durante o processo.

A análise macrográfica identificou que também ocorreu porosidade no interior do cordão de solda. Intensificando assim a problemática, visto que esta análise nem sempre é realizada in loco. Além de uma falta de penetração da raiz apresentada nos corpos de prova sujeitos a uma maior intensidade de ventos.

Por fim, após a realização deste trabalho ficou nítido que é necessário tomar providencia acerca deste problema que é tão pouco estudado, mas que interfere muito na qualidade das juntas soldadas.

Aconselha-se realizar a soldagem de acessórios e alguns elementos de montagem em cabines apropriadas, quando possível, ou então utilizar-se de tapumes ou elementos

que impeçam que as correntes de ventos atinjam o processo de soldagem. Caso não seja possível utilizar destes artifícios, é recomendado interromper o processo, a fim de não gerar retrabalhos futuros.

O investimento em pesquisa para geração de novas soluções para este problema é uma oportunidade do estaleiro ter competitividade no mercado. Devido a qualidade do processo e a alta produtividade do mesmo.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o conhecimento adquirido na realização deste trabalho, sugere-se os seguintes temas para trabalhos futuros:

- Gerar soluções que tornem o arco voltaico mais imune a influência dos ventos;
- Realizar as análises modificando a direção dos ventos;
- Realizar uma comparação com outros parâmetros de soldagem;
- Realizar uma comparação com outros tipos de processos de soldagem;
- Realizar testes de tenacidade e dobramento com os corpos de prova já existentes;
- Avaliar a possibilidade de um projeto de bocal diferenciado para esta aplicação.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, W. R. **Comparação entre soldagem robotizada com eletrodo sólido e metal cored – A ocorrência do finger.** 2004. 91 p. Dissertação. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- ARIOVALDO SANTANA DA ROCHA. Presidente. **SINAVAL - Informações do setor 2013: Balanço de 2013.** Brasília: Sinaval, 2013.
- ARIOVALDO SANTANA DA ROCHA. Presidente. **SINAVAL - Informações do setor 2013: Geração de Empregos.** Brasília: Sinaval, 2013.
- ARIOVALDO SANTANA DA ROCHA. Presidente. **SINAVAL – Obras e Empregos.** Brasília: Sinaval, 2013.
- BARBEDO, Nancy Del Ducca. **Avaliação comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW utilizando aço ASTM A-36 para verificar a soldabilidade, propriedades metalúrgicas, geometrias e resistência mecânica.** UFI, 2008
- BRACARENSE, A. Q., MODONESI, P. J., MARQUES, P. V. **Soldagem – Fundamentos e tecnologia.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.
- COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **N1738: Descontinuidades em juntas soldadas, fundidos, forjados e laminados.** Rio de Janeiro: Petrobras, 2003.
- Fivos Andritsos; Juan Perez-Prat, **The Automation and Integration of Production Processes in Shipbuilding,** , DG Enterprise, unit E.6, Junho 2000.
- FORTES, C. **Arames Tubulares.** Apostila ESAB S/A, Contagem: 2006.
- MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas: processos.** Porto Alegre, 1996
- MARTINS Filho, Euclides Gonçalves. Estudo da influência relativa das variáveis do processo de soldagem MIG-MAG, Belo Horizonte, CEFET-MG, 2012
- NAVAIS, Paulo Rogerio Santos de. **Avaliação das principais descontinuidades encontradas nas juntas soldadas, causas e possíveis soluções.** In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 4., 2010, São Paulo. Apresentação. São Paulo: Abcem, 2010.
- OKUMURA, T; TANIGUSHI, C **Engenharia de Soldagem e Aplicações. A Soldagem na Construção Naval.** Ed. LTC Livros Técnicos e Científicos.

- ORDÓÑEZ, R. E. C. **Soldagem e caracterização das propriedades mecânicas de dutos de aço API 5L-X80 com diferentes arames tubulares.** 2004. 130 p. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas
- RODRIGUES, Lucilene de Oliveira. Dissertação de Mestrado, **Análise e Otimização de Parâmetros na Soldagem com Arame Tubular.** Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.
- SANTIAGO, Pedro Miguel de Carvalho. **Automação da Colocação de Reforços numa Linha de Produção de Soldadura.** 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.
- SANTOS, Gabriel Silva dos. **Análise da Evolução da Indústria Naval.** 2011. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Centro Universitário Estadual da Zona Oeste Uezo, Rio de Janeiro, 2011.
- SCOTTI, A. **A review on special metal transfer modes in gas metal arc welding.** RBCMJ of the Braz. Soc. Mechanical Sciences, , v.XX, 1998.
- LESSA, Ricardo Marchiori. **Estudo da influência da ação dos ventos sobre a soldabilidade de aço baixo carbono soldado pelos processos FCAW-G e FCAW-S.** Recife: O Autor, 2010
- SINAVAL. **Histórico resumido da indústria de construção naval no Brasil.** Disponível em: <<http://www.sinaval.org.br/docs/Balanco-Historia.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2014.
- VAIDYA, V. **Shielding gas mixtures for semiautomatic welds.** Welding Journal, v.81, 2002.
- VIEIRA, Isabela (Ed.). **Indústria naval alerta sobre falta de mão de obra especializada para o setor. 2012.** Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-08-01/industria-naval-alerta-sobre-falta-de-mao-de-obra-especializada-para-setor>>. Acesso em: 30 abr. 2014.