

DESENVOLVIMENTO DE SUPORTE DE SOLDA À BASE DE TECIDO  
DE FIBRA DE VIDRO

**LUIZ CLÁUDIO SOARES TATAGIBA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JULHO DE 2009

# **DESENVOLVIMENTO DE SUPORTE DE SOLDA À BASE DE TECIDO DE FIBRA DE VIDRO**

**LUIZ CLÁUDIO SOARES TATAGIBA**

“Dissertação apresentada ao Centro de  
Ciência e Tecnologia, da Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,  
como parte das exigências para obtenção de  
título de Mestre em Engenharia e Ciência dos  
Materiais.”

Orientador: Prof. Ronaldo Pinheiro da Rocha Paranhos

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
JULHO DE 2009

# DESENVOLVIMENTO DE SUPORTE DE SOLDA À BASE DE TECIDO DE FIBRA DE VIDRO

**LUIZ CLÁUDIO SOARES TATAGIBA**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais.”

Aprovada em 09 de julho de 2009

Comissão examinadora:

---

Prof. Osvaldo Guilherme Comineli (Doutor, Engenharia Mecânica) – UFES/DEM

---

Prof. Luis Augusto Hernandez Terrones (Doutor, Eng. e Ciência dos Materiais) – UENF/CCT

---

Prof<sup>a</sup>. Lioudmila Matlakhova (Doutora, Eng. e Ciência dos Materiais) – UENF/CCT

---

Prof. Ronaldo Pinheiro da Rocha Paranhos (Doutor, Eng. e Ciência dos Materiais) – UENF/CCT

## DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista à minha família e a meu pai Adeildo (em memória), pelo apoio e incentivo durante minha jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Ronaldo Pinheiro da Rocha Paranhos pela oportunidade dada para eu realizar este gratificante trabalho.

Ao corpo docente do LAMAV – UENF que direta e indiretamente me ajudaram durante o mestrado.

Aos amigos Luciana Lezira Pereira de Almeida, Joaquim Pessanha Rocha, Elaine Aparecida Santos Carvalho e Carlan Ribeiro Rodrigues pela colaboração e atenção dada.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	X
RESUMO	XII
ABSTRACT	XIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO	2
2.1 Objetivo geral	2
2.2 Objetivos específicos	2
2.3 Justificativas	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Soldagem a arco elétrico	4
3.1.1 Processo de soldagem a arco Mig-Mag	4
3.1.1.1 Modos de transferência de metal	5
3.1.1.2 Corrente e tensão de soldagem	8
3.1.1.3 Gases de proteção	8
3.1.1.4 Arames	9
3.1.2 Processo de soldagem a arco com Arame tubular	9
3.1.2.1 Modos de transferência de metal	12
3.1.2.2 Corrente, voltagem e extensão do eletrodo	14
3.1.3 Soldagem unilateral	16
3.1.3.1 Soldagem unilateral com suporte não fusível	17
3.1.3.2 Soldagem unilateral com suporte com cama de fluxo	18
3.1.3.3 Soldagem unilateral com suporte por passe de selagem	19
3.1.3.4 Soldagem unilateral com suporte metálico fusível	20
3.1.3.5 Soldagem unilateral com suporte cerâmico	21
3.1.4 Custos da soldagem	21
3.1.4.1 Fator de Operação	22
3.1.4.2 Taxa de Deposição	23
3.1.4.3 Velocidade de Soldagem	24

3.1.4.4 custo da soldagem	24
3.2 Propriedades, características e processo de fabricação do material fibra de vidro / fibra de cerâmica	25
3.2.1 Cerâmica e vidros	25
3.2.1.1 Vidros	26
3.2.1.2 Transição Vítreas	27
3.2.1.3 Reforços cerâmicos	30
3.2.1.3.1 Fibra de vidro	30
3.2.1.3.2 Fibra cerâmica	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 Materiais	36
4.1.1 Materiais para confecção do suporte à base de fibra de vidro	36
4.1.2 Materiais e equipamentos utilizados para confecção de juntas soldadas	39
4.1.2.1 Materiais	39
4.1.2.2 Equipamentos de soldagem	39
4.1.2.3 Equipamentos para medição dos parâmetros de soldagem	40
4.2 Metodologia	40
4.2.1 Verificação da eficiência da fibra de vidro em suportar o metal de solda líquido durante o passe da raiz da solda	41
4.2.2 Determinação do campo operacional para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro	43
4.2.3 Avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro	46
4.2.3.1 Tração e dobramento	49
4.2.3.2 Microdureza Vickers	51
4.2.3.3 Microscopia Ótica	51
4.2.3.4 Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) das inclusões do cordão de solda	52
4.2.4 Avaliação do custo da soldagem	52

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1 Verificação da eficiência da fibra de vidro e fibra de vidro em suportar o metal de solda líquido durante a soldagem da raiz	54
5.2 Determinação do campo operacional para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro	59
5.2.1 Juntas soldadas com suporte com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total)	60
5.2.2 Juntas soldadas com suporte com 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica na espessura de 1,6 mm (2,08 mm de espessura total)	63
5.3 Avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro	70
5.3.1 Visual de solda (VS) e líquido penetrante (LP)	71
5.3.2 Macrografia	72
5.3.3 Tração e dobramento	72
5.3.4 Microdureza Vickers	74
5.3.5 Microscopia Ótica	75
5.3.6 Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) das inclusões do cordão de solda	76
5.3.6.1 EDS das inclusões da raiz e do acabamento da junta soldada	77
5.4 Avaliação do custo da soldagem	79
6 CONCLUSÕES	82
7 SUGESTÕES	84
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 3.1 – Equipamento básico para soldagem a arco elétrico
- Figura 3.2 – Equipamento básico de soldagem MIG / MAG
- Figura 3.3 - Taxa de fusão em função da intensidade de corrente para diferentes diâmetros de arame.
- Figura 3.4 – Equipamento básico de soldagem Arame Tubular
- Figura. 3.5 – Seção transversal de arame tubular
- Figura 3.6 – Arame Tubular Auto-protegido
- Figura 3.7 – Arame Tubular com Proteção adicional de gás
- Figura 3.8 - Transferência por pulverização axial
- Figura 3.9 - Transferência globular
- Figura 3.10 - Transferência spray
- Figura 3.11 - Transferência por curto-circuito
- Figura 3.12 – Tipos de juntas com suporte de cobre
- Figura 3.13 – Dimensões de suportes de cobre
- Figura 3.14a – Método de refrigeração com água do suporte de cobre
- Figura 3.14b – Método de evitar empenamento do suporte de cobre
- Figura 3.15– Suporte com cama de fluxo
- Figura 3.16 – Suporte por passe de selagem na raiz
- Figura 3.17– Tipos de passe de selagem usado como suporte
- Figura 3.18a – Suporte metálico fusível em tira
- Figura 3.18b – Suporte metálico fusível estrutural
- Fig. 3.19 – Suportes cerâmicos
- Figura 3.20 – Custos aproximados de soldagem para o Brasil e E. U. A.
- Figura 3.21 – Classificação dos materiais cerâmicos pela aplicação
- Figura 3.22 - Comparação esquemática das estruturas da sílica cristalina e a não-cristalina
- Figura 3.23 – Gráfico Volume específico versus Temperatura para vidro e material cristalino
- Figura 3.24 - Representação esquemática da transição de moléculas de um material do estado líquido, desorganizado, para o estado sólido cristalino, organizado
- Figura 3.25 – Esquema de fabricação de fibra de vidro

Figura 3.26 – Formas que a fibra de vidro é comercialmente disponível: a – filamentos picados; b – fio contínuo; c – fibras para tecer; d – tecido.

Figura 3.27 – Fibra de vidro contínua obtida pela técnica sol-gel

Figura 3.28 – Papel KAOWOOL® 700E de fibra cerâmica prensada

Figura 3.29 – Corda KAOWOOL 980® de fibra cerâmica

Figura 4.1 – Fita adesiva dupla face Y-5369

Figura 4.2 – Conjunto máquina de solda e gás de proteção utilizados na soldagem pelo processo GMAW

Figura 4.3 – Desenho esquemático com as vistas frontal e superior com dimensões dos modelos de suportes de solda à base de fibra de vidro

Figura 4.4a – Suporte de solda de tecido de fibra de vidro

Figura 4.4b – Suporte de solda de tecido de fibra de vidro conjugado com fibra cerâmica

Figura 4.5 – Desenho esquemático com dimensões do chanfro e montagem do suporte na chapa

Figura 4.6a – Suporte de solda e chapa antes da montagem do conjunto

Figura 4.6b – Suporte de solda montado na chapa pronto para a soldagem

Figura 4.7 – Suporte utilizado na segunda fase sem a camada de tecido utilizada para fixação na chapa de teste

Figura 4.8 – Desenho esquemático com as dimensões do suporte

Figura 4.9 – Suporte utilizado na terceira etapa da pesquisa

Figura 4.10 – Desenho esquemático com dimensões da chapa de teste e suporte de solda

Figura 4.11 – Parte superior e inferior da chapa de teste com suporte de solda fixado

Figura 4.12 – Desenho do corpo de prova para ensaio de tração

Figura 4.13 – Desenho do corpo de prova para ensaio de dobramento

Figura 4.14 – Localização dos corpos de prova de tração e dobramento na chapa de teste

Figura 4.15 – Desenho esquemático com a localização onde foram executadas as impressões das impressões

Figura 5.1 – Juntas soldadas pelo processo FCAW após execução de VS e LP

Figura 5.2 – Juntas soldadas pelo processo GMAW após execução de VS e LP

Figura 5.3 – Fixação de suporte cerâmico na junta soldada com fita adesiva de alumínio

Figura 5.4 – Mudança de técnica de soldagem de retilínea para com pequena oscilação (junta 03)

Figura 5.5 – Junta 03. Resultado da inspeção VS (a) e LP (b) na junta

Figura 5.6 - Macrografia da seção transversal da junta soldada de n.º 3

Figura 5.7 – junta soldada n.º 11 após ensaios de VS (a) e LP (b)

Figura 5.8 – Macrografia da junta n.º 11 com dimensões de largura e altura do reforço

Figura 5.9 – Mudança de técnica de soldagem na junta n.º 05

Figura 5.10 – junta soldada n.º 05 após ensaios de VS (a) e LP (b)

Figura 5.11- Macrografia da junta n.º 05 com dimensões de largura e altura do reforço

Figura 5.12 – junta soldada n.º 08 após ensaios de VS (a) e LP (b)

Figura 5.13 - Macrografia da junta n.º 08 com dimensões de largura e altura do reforço

Figura 5.14 – Mudança de técnica de soldagem na junta n.º 09

Figura 5.15 – Resultado da inspeção VS (a) e LP (b) na junta

Figura 5.16 - Macrografia da junta n.º 09 com dimensões de largura e altura do reforço

Figura 5.17 – Gráfico do campo operacional determinado pela análise qualitativa

Figura 5.18 – Ensaios de VS (a) e LP (b) na junta soldada CT-01-FV

Figura 5.19 - Macrografia da junta CT-01-FV com dimensões de largura e altura do reforço

Figura 5.20 – Corpos de prova após a ruptura no ensaio de tração

Figura 5.21 – Corpos de prova após o ensaio de dobramento

Figura 5.22 - Micrografia da seção transversal da junta soldada com aumento de 500X (a) Raiz da junta soldada (b) Acabamento da junta soldada. 1- PF(G), 2- FS(A) e 3- AF

Figura 5.23 – Imagem do MEV sem ataque químico com aumento de 500X – raiz

Figura 5.24 – Imagem do MEV sem ataque químico com aumento de 500X – acabamento

Figura 5.25 - EDS típico das inclusões da raiz (a) e do acabamento (b) da junta soldada

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo das características do processo de soldagem MIG / MAG

Tabela 3.2 - Faixa ótima de corrente de curto-circuito para vários diâmetros de arame

Tabela 3.3 – principais características do processo de soldagem FCAW

Tabela 3.4 - Características físicas e mecânicas de alguns materiais cerâmicos

Tabela 3.5 - Composições e características de alguns vidros comerciais

Tabela 3.6 - Composição do vidro utilizado em lã e produtos têxteis

Tabela 3.7 – Propriedades típicas das fibras de vidro tipo E

Tabela 4.1 – Principais características do tecido de fibra de vidro WR-200

Tabela 4.2 – Propriedades físicas do papel KAOWOOL®700E

Tabela 4.3 – Análise química (% peso) e % de perda ao fogo do papel KAOWOOL®700E

Tabela 4.4 – Principais características do fio de fibra de vidro 68/4-400

Tabela 4.5 – Principais características da fita dupla face Y-5369

Tabela 4.6 – N.º de juntas soldadas e características construtivas do suporte de solda (etapa 1)

Tabela 4.7 – N.º de juntas soldadas, características construtivas do suporte de solda (etapa 2)

Tabela 5.1 – Juntas soldadas cujos suportes suportaram o metal de solda líquido e parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a execução das soldas

Tabela 5.2 – Juntas soldadas aprovadas, as reprovadas e parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a execução das soldas

Tabela 5.3 – Parâmetros utilizados para análise qualitativa e determinação do campo operacional para soldagem da raiz com suporte de solda à base de fibra de vidro

Tabela 5.4 – Faixa operacional de soldagem da raiz para avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro

Tabela 5.5 – Parâmetros de soldagem medidos durante a execução da solda

Tabela 5.6 – Resultados do ensaio de Tração

Tabela 5.7 - Valores da microdureza HV da junta soldada

Tabela 5.8 Resultado do EDS em 5 de peso dos elementos detectados nas inclusões não metálicas da raiz e do acabamento da junta soldada

Tabela 5.9 – Redução de custo analisado pela fórmula Fator de Operação (FO em %) = Tempo de arco aberto (TAA em s) / Tempo total de soldagem (TTS em s)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma nova categoria de suporte de solda para a soldagem unilateral do aço carbono. O material usado para a confecção do suporte de solda foi tecido de fibra de vidro e de fibra cerâmica. Trata-se de uma proposta de inovação tecnológica, uma evolução do suporte cerâmico. A soldagem unilateral com estes suportes de solda foi executada em chapas de aço carbono, pelos processos de soldagem a arco com arame tubular (FCAW) e MIG-MAG (GMAW). O trabalho foi executado em 4 etapas. Na primeira etapa foram executados testes preliminares para verificação da eficiência da fibra de vidro e da fibra cerâmica em suportar o metal de solda líquido durante a soldagem do passe de raiz. A segunda etapa teve como objetivo determinar uma possível faixa de operação para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro. A terceira etapa consistiu na execução de uma junta soldada com parâmetros de soldagem no interior do campo operacional identificado na etapa anterior, com o objetivo de verificar as propriedades da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro, que foi feito por meio de ensaios destrutivos e não-destrutivos. A quarta etapa consistiu na análise do custo da soldagem entre uma junta soldada de forma convencional e a soldada na etapa anterior. Com os resultados obtidos foi possível concluir que os materiais à base de fibra de vidro e fibra cerâmica se mostraram eficientes para suportar a poça de solda líquida. O modo de fixação do suporte de solda na junta soldada com tecido de fibra de vidro também mostrou ser efetivo. Foi possível estimar uma faixa de operação com abertura de raiz de 2,0 a 3,0 mm, energia de soldagem menor que 1,8 kJ/mm, técnica de soldagem com pequena oscilação e espessura do suporte de solda de tecido de fibra de vidro maior que 1,7 mm. Os testes de soldagem realizados indicaram que houve penetração nas laterais do chanfro, reforço de solda adequado na raiz e não foram notadas descontinuidades. A microestrutura é semelhante na raiz e no acabamento da junta soldada e típica de metal de solda de aços ferríticos. Não foi observada contaminação da fibra de vidro tanto na superfície do cordão de solda como nas inclusões não metálicas. Os resultados dos ensaios mecânicos (tração, dobramento e microdureza) foram adequados e mostraram a eficiência deste suporte de solda para aplicações na indústria de fabricação por soldagem. A redução do custo da soldagem foi estimada em 32% em relação à soldagem convencional.

Palavras-chaves: soldagem unilateral, suporte cerâmico, fibra de vidro, fibra cerâmica, custo da soldagem.

## ABSTRACT

The objective of this study was the development of a new category of weld backing for the one-side welding of carbon steel. The material used for the manufacturing of the weld backing was fiberglass tissue and ceramic fiber. This is a technological innovation proposal, being an evolution of the ceramic backing. The one-side welding with these weld backings was made on carbon steel plates by flux-cored arc welding (FCAW) and gas metal arc welding (GMAW). The work was accomplished in four steps. In the first step preliminary tests were made in order to verify the efficiency of the fiberglass and ceramic fiber to support the molten weld metal during the welding of the root pass. The second step the objective was to determine a possible operation range for the use of the fiberglass weld backing. The third step consisted in the execution of a weld joint with parameters inside the operation range identified in the previous step, and the objective was to verify the properties of the welded joint with the fiberglass weld backing, by means of destructive and non destructive testing. The fourth step consisted in the cost analysis between a conventional welded joint and the joint welded in the previous step. With the obtained results **IT** was possible to conclude that the fiberglass and ceramic fiber were efficient to support the molten weld pool. The mounting set up of the weld backing in the weld joint using fiberglass also proved to be effective. It was possible to estimate an operation range for the process, with a root opening of 2,0 to 3,0 mm, a heat input lower than 1,8 kJ/mm, AND A welding technique using a small oscillation and thickness of the weld backing above 1,7 mm. The welding tests indicated that there was penetration into the groove sidewall, adequate weld reinforcement in the root bead and no discontinuities. The microstructure is similar in both the root and the finishing weld bead, and typical of ferritic steel weld metal. Fiberglass contamination was not observed in the surface of the weld bead and in the non-metallic inclusions. The results of mechanical testing (tension, bending and micro hardness) were appropriate and showed the efficiency of this weld backing for welding production industry applications. The cost reduction was estimated at 32% compared to the conventional welding.

Key words: one side welding, ceramic backing, fiberglass, ceramic fiber, welding cost

## 1 INTRODUÇÃO

A soldagem é hoje considerada como o mais importante processo industrial utilizado na transformação do aço em produtos acabados. É um processo de fabricação amplamente utilizado em diversos setores industriais que, na maioria das vezes, é uma influência significativa no custo e no desempenho do produto. (Wainer, 1992).

O sucesso da soldagem está associado, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional, que em conjunto com dispositivos auxiliares à soldagem torna-a bastante produtiva e competitiva com outros processos de fabricação. A importância de atingir a produtividade na soldagem é se conseguir um produto com a qualidade requerida ao menor custo. Para tal é necessário a escolha apropriada do processo de soldagem, tipo de junta, quantidade de peças a serem soldadas, etc.

A soldagem unilateral com suporte é considerada um processo de alta produtividade, pois a eliminação da necessidade de virar a peça para soldar o lado oposto suprimiu trabalhos extras de preparação na montagem antes da soldagem.

Este tipo de soldagem aumenta a produção e recomenda-se o seu uso em fabricação de grande porte através de soldas com penetração em um único passe, se mostra como uma opção viável para indústria, principalmente a naval (costados de navios) e fabricação de plataformas (Malin, 2001). Para se realizar este tipo de solda é necessário um adequado suporte para a poça de solda líquida. Existem vários métodos para suporte da poça de solda e o suporte cerâmico é o mais freqüentemente usado na soldagem do aço. O suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro, uma variação do suporte cerâmico, é uma perspectiva como novo produto a ser desenvolvido, pois apresenta as principais características da cerâmica aliada à sua principal característica que é a capacidade de moldar-se sobre qualquer superfície.

O suporte de solda é usado quando o metal base não apresenta massa suficiente para fornecer um adequado anteparo para a poça de solda líquida, ou quando se precisa obter completa penetração da solda em um único passe. Devido à soldagem gerar uma poça de solda de grande volume, que permanece fluida por um longo período de tempo, torna-se essencial que o metal fundido tenha um suporte até sua total solidificação.



## **2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo principal deste trabalho é o desenvolvimento de uma nova categoria de suporte para metal de solda líquido à base de tecido de fibra de vidro e a avaliação das variáveis do processo e a aplicabilidade deste novo suporte de soldagem. Trata-se de uma proposta de inovação tecnológica, uma evolução do suporte cerâmico.

Para tal, estudos e testes de possíveis formatos para este novo conceito de suporte de soldagem, bem como a avaliação a sua eficiência e custo durante a soldagem foram efetuados.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 1- Verificar a eficiência da fibra de vidro em suportar o metal de solda líquido durante o passe da raiz da solda;
- 2- Determinar campo operacional com as variáveis de soldagem para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro;
- 3- Avaliar uma junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro;
- 4- Avaliar o custo da soldagem.

### **2.3 Justificativas**

Dentre os diversos métodos para suporte da poça de solda o suporte cerâmico é o mais frequentemente usado na soldagem do aço. Diversas vantagens são mencionadas com o seu uso: (Gullico Internacional, 2006).

A soldagem é realizada por apenas um lado da junta, sem necessidade de virar a chapa e soldar do lado oposto.

b) Evita operação de goivagem, esmerilhamento e soldagem pelo lado oposto da junta, e implica redução de custos.

c) É a única opção quando a peça não possui acesso para goivagem e soldagem pelo lado oposto.

d) Consegue-se obter qualidade radiográfica com as juntas soldadas.

O aspecto rígido e frágil da cerâmica impede que esta se molde adequadamente de acordo com os vários formatos de chanfros da soldagem. Sua aplicação é mais favorável para chanfros retilíneos. Em soldas circunferenciais,

apenas diâmetros superiores a 600 mm podem receber o suporte cerâmico articulado. (Xiangshan Welding Backing Factory, 2006)

O suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro é uma nova concepção de produto a ser desenvolvido, que possibilitará uma nova categoria de suporte de solda. A flexibilidade deste suporte durante a sua montagem na junta da solda seria um diferencial importante deste produto em relação aos produtos hoje existentes.

Outras características importantes que a fibra de vidro apresenta comuns às cerâmicas, e que permitiriam seu potencial uso como materiais para suporte da poça de solda são:

- Temperatura de fusão elevada, em torno de 1540° C, ligeiramente superior à do aço;

- Por ser fabricado por processo de fusão da sílica, não gera gases, logo evita defeitos no cordão de solda;

- Existe no mercado uma grande variedade de produtos de fibra de vidro, como tecidos e fios contínuos, com diferentes espessuras;

- Fios contínuos e tecidos de fibra de vidro são produtos de baixo custo, o que geraria um suporte de solda também de baixo custo;

- É flexível e capaz de moldar-se sobre qualquer superfície.

Todos os aspectos mostrados anteriormente justificam o desenvolvimento de suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Soldagem a arco elétrico

Soldagem a arco elétrico é um dos muitos processos existentes para a união de metais por fusão. Com aplicação de intenso calor duas partes metálicas da junta se fundem, e se misturam diretamente ou com o uso de um metal de adição. O calor necessário é produzido por um arco elétrico formado entre a peça a ser soldada e o eletrodo. A figura 3.1 mostra um arranjo básico para soldagem a arco. (The James F. Lincoln Welding Foundation, 2000).

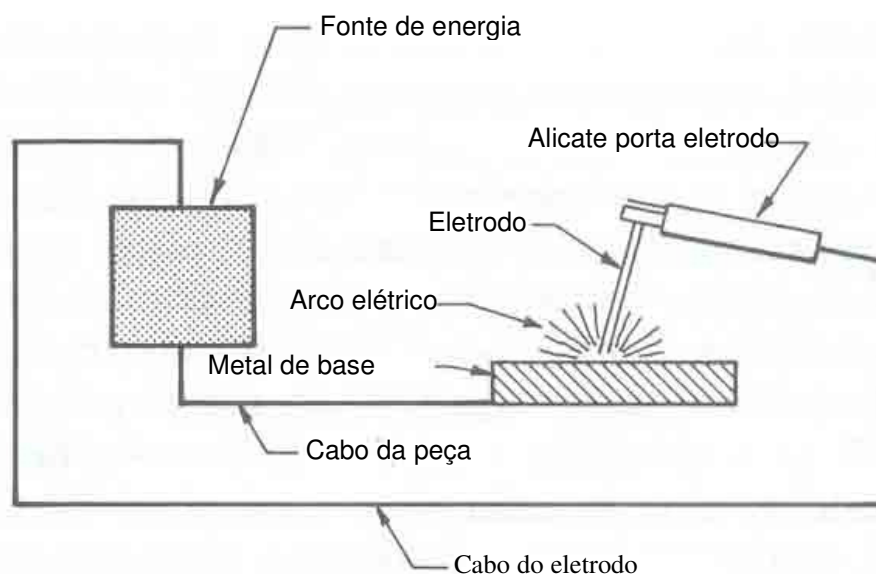


Figura 3.1 – Equipamento básico para soldagem a arco elétrico (The James F. Lincoln Welding Foundation, 2000)

##### 3.1.1 Processo de soldagem a arco Mig-Mag

O processo de soldagem Mig-Mag ou Gas Metal Arc Welding (GMAW) é utilizado amplamente na indústria para a fabricação de peças como para montagem de conjuntos mecânicos, tanto em materiais ferrosos quanto para não ferrosos (Cary, 1998). Sua versatilidade em conjunto com sua produtividade relativamente elevada, confiabilidade e facilidade de utilização e automatização são as vantagens que confere a este processo uma extensa utilização industrial (Bingul et al., 2006; Ngo et al., 2007).

Também conhecida como soldagem MIG (Metal Inert Gas) e MAG (Metal Active Gás), o arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma

de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás inerte ou por uma mistura de gases. A Figura 3.2 mostra o equipamento básico de soldagem MIG / MAG. (Esab, 2004).

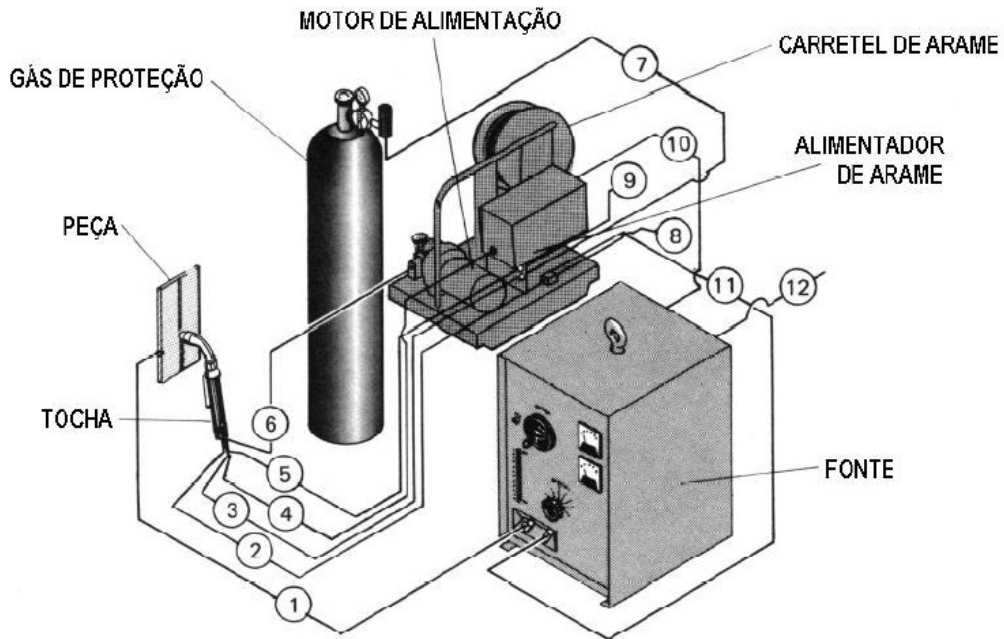


Figura 3.2 – Equipamento básico de soldagem MIG / MAG (Esab, 2004)

Abaixo a tabela 3.1 apresenta as principais características, vantagens e limitações, etc. do processo MIG / MAG. (Wainer, 1992).

### 3.1.1.1 Modos de transferência de metal

O processo MIG/MAG possui quatro técnicas distintas de modo de transferência de metal: curto-circuito, globular, globular repellido e spray (aerosol ou goticular) que podem ser obtidos pelo ajuste adequado das condições de operação (Kin et al., 1993; Praveen, et al., 2005; Wang et al., 2003; Santana, I J. e Modenesi, P. J., 2009).

Tabela 3.1 – Resumo das características do processo de soldagem MIG / MAG (Wainer, 1992)

Tipo de operação: - Semi-automática ou automática	Equipamentos: Retificador, gerador, pistola, unidade de alimentação de arame e cilindro de gás (dual shield).
Características: - Taxa de deposição: 1 a 15 Kg/h - Espessuras soldadas: > 3mm na soldagem semi-automática e 1,5 mm na automática. - Posições de soldagem: todas - Diluição: 10 a 30% - Faixa de corrente: 60 a 500 A	Custo do equipamento: - 5 a 1 vezes o custo de equipamento de eletrodo revestido
	Consumíveis: - Eletrodo nu de 0,5 a 1,6 mm - Bocal - Gases: Argônio, Hélio, CO <sub>2</sub> e misturas (Ar + CO <sub>2</sub> ; Ar + O <sub>2</sub> )
Vantagens: - Taxa de deposição elevada - Poucas operações de acabamento - Solda com baixo teor de hidrogênio - Facilidade de execução da soldagem	Limitações: - Velocidade de resfriamento elevada com possibilidades de trinca - Dificuldade na soldagem em locais de difícil acesso
Segurança: - Proteção ocular - Proteção da pele para evitar queimaduras pela radiação ultr-violeta e projeções metálicas	

Os principais parâmetros responsáveis pela delimitação do modo de transferência e condições operacionais (Lesnewich, 1958; ASM Handbook, 1993), são:

- magnitude e tipo de corrente de soldagem;
  - diâmetro do eletrodo;
  - composição do eletrodo;
  - comprimento do eletrodo;
  - composição do gás de proteção;
  - polaridade.
- Transferência por curto-circuito:

A transferência ocorre quando um curto-circuito elétrico é estabelecido. Isso acontece porque o metal fundido na ponta do arame toca a poça de fusão.

Neste tipo de transferência utilizam-se arames de diâmetro na faixa de 0,8 mm a 1,2 mm, e aplicam-se pequenos comprimentos de arco (baixas tensões) e baixas correntes de soldagem. A poça de fusão obtida tem rápida solidificação. Utilizam-se esta técnica de soldagem para união de materiais de pequena espessura

em qualquer posição, materiais de grande espessura nas posições vertical e sobre cabeça, e no enchimento de largas aberturas e consegue-se uma distorção mínima da peça. A Tabela 3.2 ilustra a faixa de corrente ótima para a transferência de metal por curto-circuito para vários diâmetros de arame. (ESAB, 2004).

Tabela 3.2 - Faixa ótima de corrente de curto-circuito para vários diâmetros de arame (ESAB, 2004).

Diâmetro do arame		Corrente de soldagem (A)	
pol (")	mm	Mínima	Máxima
0,030	0,76	50	225
0,035	0,89	75	175
0,045	1,10	100	225

- Transferência globular:

Quando se aumenta a corrente e a tensão de soldagem para valores acima do máximo recomendado para a soldagem por curto-circuito, a transferência de metal tomará um aspecto diferente. Esta técnica de soldagem é comumente conhecida como transferência globular, na qual o metal se transfere através do arco. Usualmente as gotas de metal fundido têm diâmetro maior que o do próprio arame. Esse modo de transferência pode provocar respingos e curtos-circuitos ocasionais. (ESAB, 2004).

- Transferência por aerossol (spray):

A transferência de metal torna-se um verdadeiro arco em aerossol (spray) quando se aumenta a corrente e a tensão de soldagem ainda mais. Esse fenômeno ocorre a partir de uma corrente mínima que é chamada corrente de transição. A corrente de transição depende do diâmetro do arame e do gás de proteção. Quando o gás de proteção para soldar aços carbono contiver mais que 15% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) não haverá transição de transferência globular para transferência por aerossol. As gotas que saem do arame são muito pequenas, e proporciona boa estabilidade ao arco. Neste tipo de transferência os curtos-circuitos são raros e com poucos respingos.

### 3.1.1.2 Corrente e tensão de soldagem

A intensidade da corrente é uma variável ajustável e o parâmetro de maior influência sobre a taxa de deposição; modo de transferência; penetração e reforço. A taxa de fusão varia quase linearmente com esse parâmetro, e este efeito é mais observado em altos valores de corrente. A figura 3.3 mostra a taxa de fusão em função da intensidade de corrente para diferentes diâmetros de arame. (Machado, 1996)

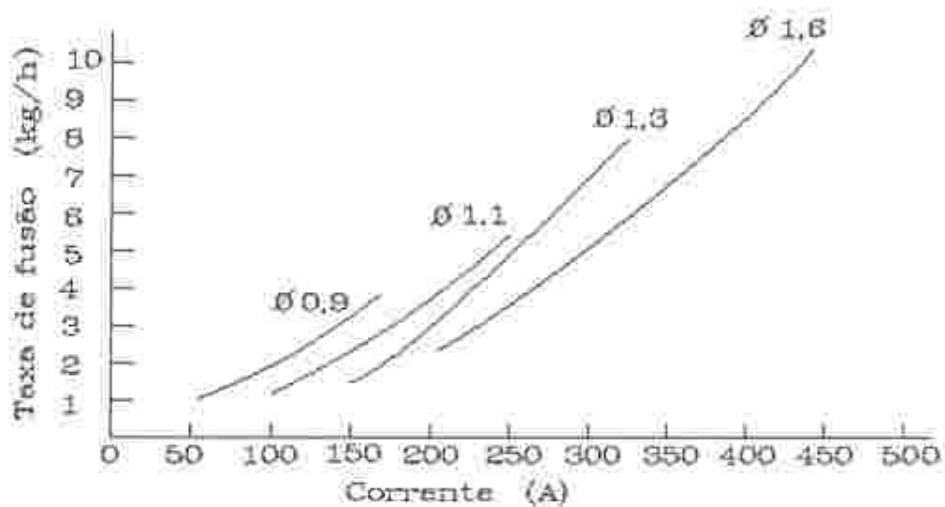


Figura 3.3 - Taxa de fusão em função da intensidade de corrente para diferentes diâmetros de arame. (Machado, 1996)

A tensão está associada ao comprimento do arco. Uma tensão baixa provoca um pequeno comprimento de arco. Em geral, tensões abaixo de 22 Volts favorecem a transferência por curto-circuito, acima, de acordo com a corrente, favorece a transferência globular e a aerossol. O valor da voltagem também influencia a largura do cordão: se a voltagem aumenta, para uma corrente constante, aumenta-se a largura do cordão. Elevadas tensões geram porosidade, excesso de respingo e mordedura. Valores muito baixos induzem o aparecimento de porosidade e sobreposição. (Wainer, 1992).

### 3.1.1.3 Gases de proteção

Para evitar a contaminação da poça de fusão o ar atmosférico na região de soldagem é expulso por um gás de proteção. A contaminação é causada principalmente pelo nitrogênio ( $N_2$ ), oxigênio ( $O_2$ ) e vapor d'água ( $H_2O$ ) presentes na

atmosfera. Três gases principais são utilizados como proteção: argônio (Ar), hélio (He) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Além desses, pequenas quantidades de oxigênio (O<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>) provaram ser benéficas em algumas aplicações. Desses gases, apenas o argônio e o hélio são gases inertes (não se combinam com outros elementos). A tendência de oxidação dos outros gases é compensada por formulações especiais dos arames. O argônio, o hélio e o dióxido de carbono podem ser empregados puros, em combinações ou misturados com outros gases (ESAB, 2004).

#### **3.1.1.4 Arames**

Um fator importante na soldagem MIG / MAG é a seleção correta do arame de solda. O arame, em combinação com o gás de proteção, produzirá o depósito químico que determina as propriedades físicas e mecânicas da solda. Basicamente existem cinco fatores principais que influenciam a escolha do arame (ESAB, 2004):

- 1- composição química do metal de base;
- 2- propriedades mecânicas do metal de base;
- 3- gás de proteção empregado;
- 4- tipo de serviço ou os requisitos da especificação aplicável;
- 5- tipo de projeto de junta.

#### **3.1.2 Processo de soldagem a arco com Arame tubular**

A soldagem a arco com arame tubular (FCAW) é um processo que combina as principais vantagens da soldagem do processo GMAW, como alta taxa de deposição e alto rendimento e resulta em uma elevada produtividade, com as vantagens da soldagem manual com eletrodos revestidos (SMAW), como versatilidade, ajustes da composição química do cordão de solda e facilidade de operação em campo (Starling et al., 2009).

A soldagem a arco com FCAW é um processo que produz a união de metais pelo fusão destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo tubular, contínuo, consumível e a peça de trabalho. (The James F. Lincoln Welding Foundation, 2000). O arco e o cordão de solda são protegidos por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ser complementado por uma fonte externa através de um gás. Os fluxos podem ter outras funções além de proteção



como: desoxidar e refinar o metal de solda, adicionar elementos de liga, estabilizar o arco etc. (FBTS, 1999). A Figura 3.4 ilustra o processo.

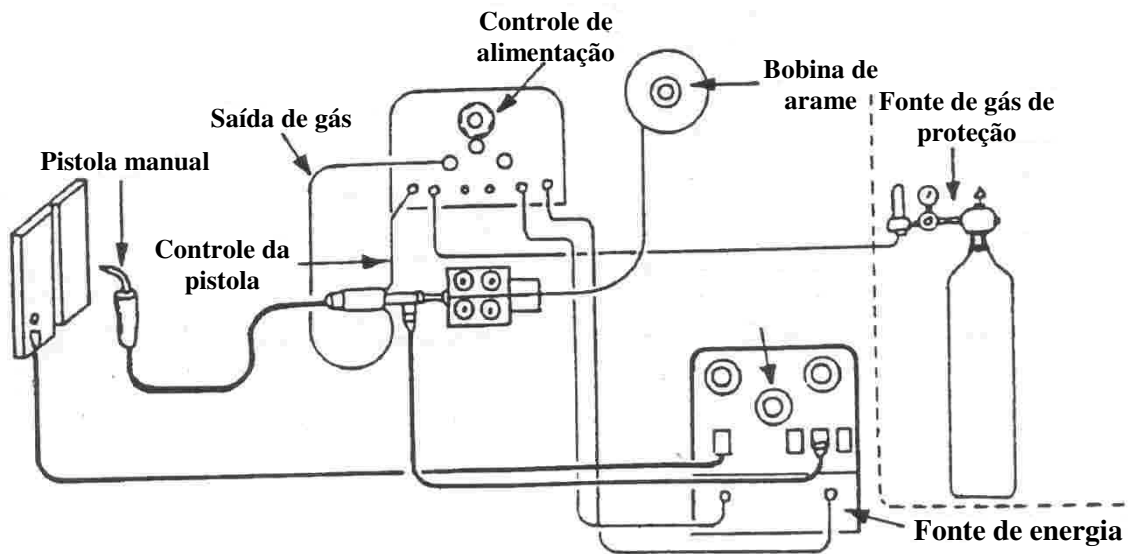


Figura 3.4 – Equipamento básico de soldagem Arame Tubular (FBTS, 1999)

Na soldagem FCAW o arame eletrodo maciço, do processo Mig-Mag, foi substituído por um arame tubular (eletrodo tubular) com alma de fluxo fusível, conforme foto de seção transversal de um arame tubular na figura 3.5 (Marques, 2005).

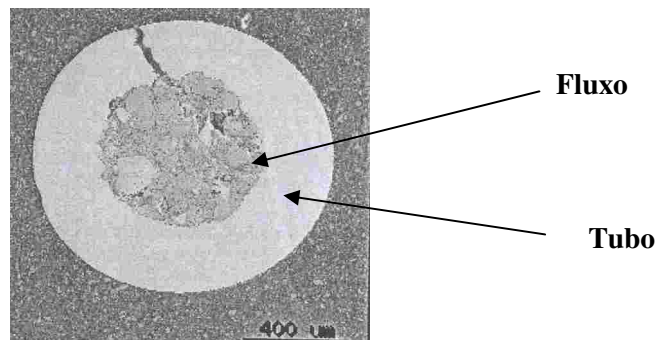


Figura. 3.5 – Seção transversal de arame tubular (Marques, 2005)

Existem duas variações do processo FCAW (FBTS, 1999)

- Auto-protegido: a proteção do arco e da poça de fusão é feita unicamente pela queima do fluxo em pó, contido no núcleo do arame, conforme mostra figura 3.6.

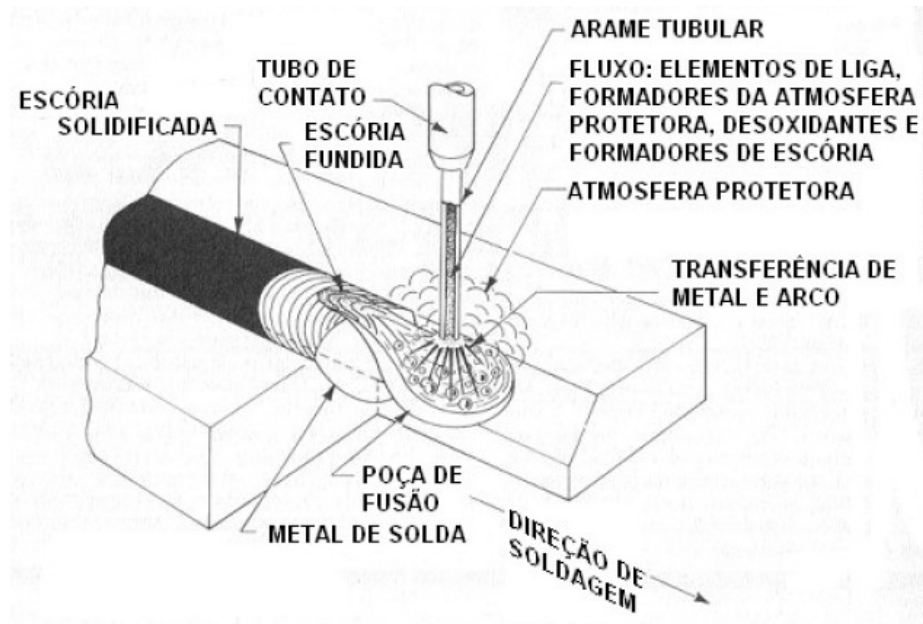


Figura 3.6 – Arame Tubular Auto-protetido (Esab, 2004)

- Proteção adicional de gás: além dos gases gerados pelo fluxo, é utilizado um gás adicional para a proteção, que flui pelo mesmo bocal junto com o arame tubular (figura 3.7). Os gases normalmente utilizados são:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ar} + 2\%$  de  $\text{O}_2$  e  $\text{Ar} + 18 - 25\%$  de  $\text{CO}_2$ .

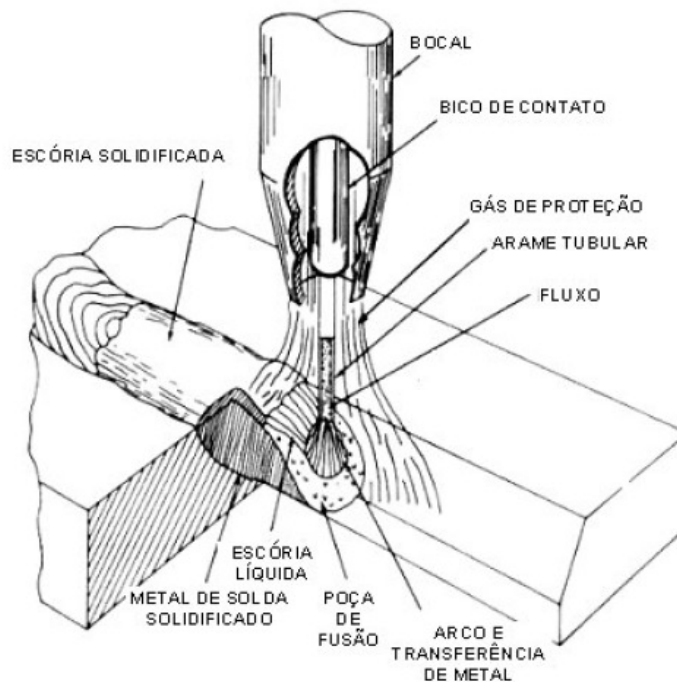


Figura 3.7 – Arame Tubular com Proteção adicional de gás (Esab, 2004)

### 3.1.2.1 Modos de transferência de metal

Variações inerentes para cada processo, como o comprimento de arco elétrico e a velocidade de alimentação do arame, são responsáveis pela instabilidade de um processo de soldagem e influem na taxa de fusão e no modo de transferência do metal. No processo FCAW esta instabilidade não foi totalmente eliminada, contudo, a presença do fluxo que atua durante a soldagem tanto nas características do arco elétrico como no comportamento físico do banho de fusão e metal depositado, veio corrigir alguns defeitos do processo MIG-MAG (Infosolda, 2006).

A transferência do metal por FCAW varia com o tipo de arame utilizado, proteção gasosa ou ausência desta, polaridade de soldagem e intensidades envolvidas. Para FCAW com proteção adicional de CO<sub>2</sub> e auto-protegidos sob condições de corrente contínua polaridade inversa (CC+) nota-se que, em condições ideais de intensidade de corrente, a transferência do metal dá-se na forma de pulverização axial, onde as gotas são formadas a partir da ponta do arame com tamanhos e freqüência de destacamentos uniformes, conforme esquematizado na Figura 3.8.

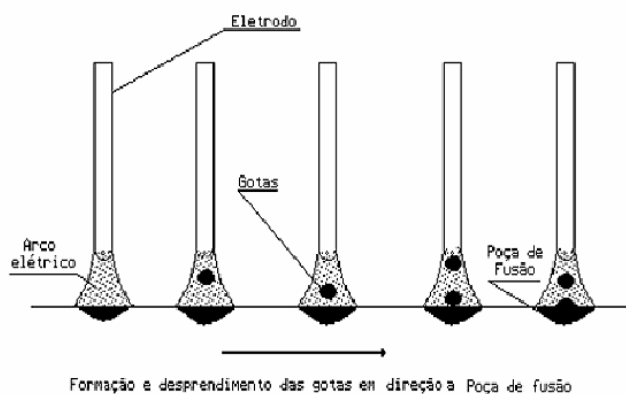


Figura 3.8 - Transferência por pulverização axial (Infosolda, 2006)

Para altas intensidades de corrente a taxa de fusão do arame é maior que a taxa de fusão da escória, e provoca a formação de gotas grandes nas partes laterais do arame, que caracterizam a transferência globular. Nota-se também a existência de pequenas explosões devido à formação de gases provenientes do fluxo fundido no interior da gota de metal durante a transferência. Gotas de fluxo fundido são produzidas dentro da coluna de arco e transferidas independentemente das gotas de

metal, e a reação entre a escória e o metal fundido é pequena neste estágio. O esquema da transferência globular pode ser observado na figura 3.9 abaixo.

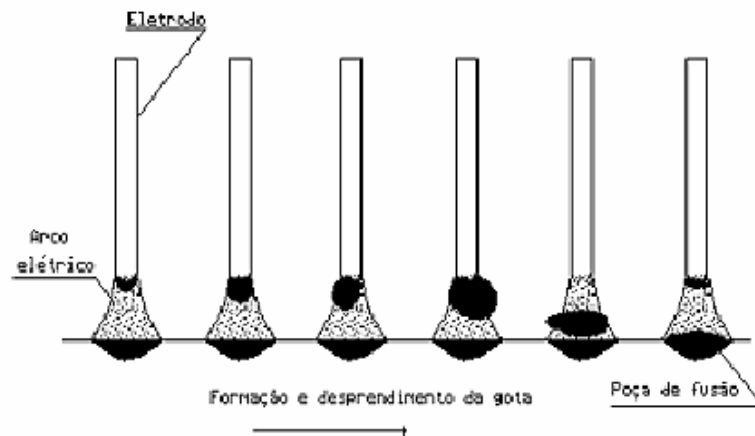


Figura 3.9 - Transferência globular (Infosolda, 2006)

A transferência do metal pode dar-se também na forma spray, ou seja, o metal transfere-se a poça de fusão sob forma de gotas de pequenos diâmetros, conforme pode ser observado na Figura 3.10 - Transferência spray. Esta transferência ocorre apenas quando é atingida a intensidade crítica mínima, que é função do diâmetro e tipo de arame. O gás de proteção, quando presente, pode diminuir ou aumentar esta intensidade crítica mínima (dióxido de carbono aumenta a intensidade crítica, enquanto que o argônio a diminui).

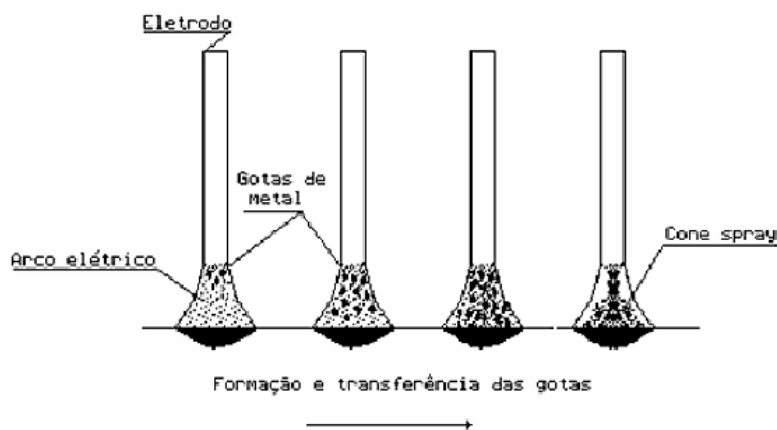


Figura 3.10 - Transferência spray (Infosolda, 2006)

A transferência do metal por curto circuito ocorre a baixas intensidades de corrente. Este tipo de transferência é caracterizado pela formação de uma gota na ponta do arame que se destaca quando o circuito elétrico se fecha entre a poça de

fusão e a gota. Este tipo de transferência é bastante instável e origina uma série de defeitos tais como respingos excessivos, colagens e algumas vezes inclusões de escória. A Figura 3.11 mostra o tipo de transferência por curto circuito.

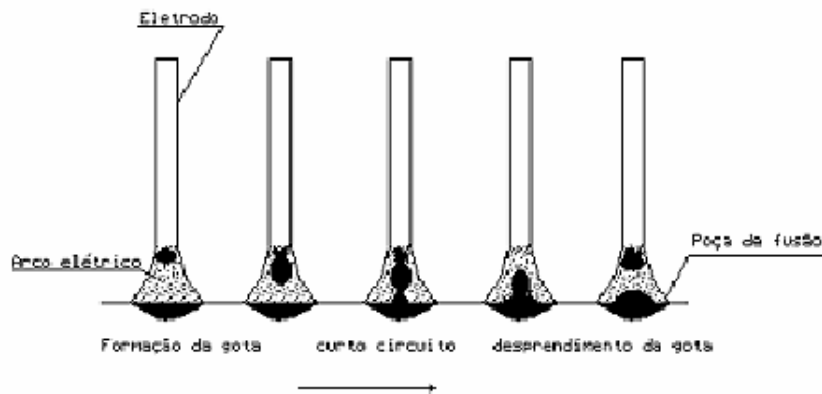


Figura 3.11 - Transferência por curto-circuito (Infosolda, 2006)

### 3.1.2.2 Corrente, voltagem e extensão do eletrodo

Corrente de Soldagem:

A corrente ideal de soldagem é proporcional a velocidade de alimentação do arame para um determinado diâmetro, composição e extensão do eletrodo. Com a conservação das outras variáveis constantes, para um determinado diâmetro de eletrodo, o aumento da corrente de soldagem provocará aumento da taxa de deposição e aumento da penetração. Aumento excessivo da corrente acarretará um cordão de solda convexo com aparência ruim. Já uma corrente insuficiente irá produzir respingos excessivos e porosidade no metal solda. A corrente de soldagem aumenta ou diminui de acordo com a variação da velocidade de alimentação do arame. Para uma taxa de alimentação a corrente vai variar em função do comprimento do eletrodo. Aumentado a extensão do eletrodo, a corrente de soldagem tende a diminuir e vice-versa (Bracarense, 2000).

Tensão de Soldagem:

Há uma relação direta entre a tensão do arco e o seu comprimento. A tensão do arco afeta a aparência, penetração e propriedades do cordão de solda. Altas tensões (comprimento de arco maior) podem resultar respingos excessivos e contorno irregular do cordão de solda. Em eletrodos auto-protégidos, o aumento da tensão pode provocar aumento na absorção de hidrogênio. Tensões baixas (arco

menor) resultarão em uma superfície estreita, excesso de respingos e redução de penetração.

#### Extensão do Eletrodo

Extensão do eletrodo é o comprimento não fundido a partir do bico de contato. Com o aumento da extensão do eletrodo sua temperatura tende a aumentar devido ao efeito Joule. A temperatura do eletrodo afetará a taxa de deposição e a penetração. Os fabricantes recomendam a extensão de 19 a 38 mm para eletrodos com proteção gasosa e 19 a 95 mm com eletrodos auto-protegidos, dependendo da aplicação.

A soldagem FCAW tem como principais características a elevada taxa de deposição e solda de boa qualidade, que permite vasta aplicação nas diversas áreas da indústria.

A tabela 3.3 fornece as principais características deste processo de soldagem (FBTS, 1999):

Tabela 3.3 – principais características do processo de soldagem FCAW (FBTS, 1999)

<p><b>Tipo de operação:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Semi-automática ou automática</li> </ul>	<p><b>Equipamentos:</b></p> <p>Retificador, gerador, pistola, unidade de alimentação de arame, unidade de deslocamento (para o processo automático) e cilindro de gás (proteção gasosa).</p>
<p><b>Características:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Taxa de deposição: 1 a 18 Kg/h</li> <li>- Espessuras soldadas: &gt; 3mm</li> <li>- Posições: todas</li> <li>- Diluição: 20 a 50%</li> <li>- Faixa de corrente: 90 a 600 A</li> </ul>	<p><b>Consumíveis:</b></p> <p><b>Arame:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1,2 a 4,0mm – aços carbono e baixa liga</li> <li>• 1,6 a 4,0mm – aços cromo e cromo-níquel</li> </ul> <p><b>Gases:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub> ou Ar + CO<sub>2</sub>: aços carbono e baixa liga</li> <li>• CO<sub>2</sub> ou Ar + O<sub>2</sub> ou Ar + He: aços cromo e cromo-níquel</li> </ul>
<p><b>Vantagens:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta taxa de deposição</li> <li>- Ótimo acabamento</li> <li>- Baixo teor de hidrogênio combinado com alta energia</li> </ul>	<p><b>Limitações:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação somente em aços Carbono e aços Inoxidáveis</li> <li>- Soldagem fora da posição restrita a transferência por curto-circuito</li> </ul>

### 3.1.3 Soldagem unilateral

Como o próprio nome diz este é um tipo de soldagem no qual a solda é realizada somente por um lado peça. A soldagem unilateral é um processo tão antigo como a primeira soldagem realizada. (TERAL. 1969)

Este processo, muito utilizado na indústria naval, através de soldagem por processos automáticos em painéis formados por chapas de grandes dimensões e em linhas de produção.

A história da soldagem unilateral pode ser dividida em três períodos principais:

No primeiro período, início do século XX, era utilizado em soldagem de grandes tubos de aço para caldeiras. A soldagem a gás era o único método utilizado, e neste período, inventou-se o suporte de solda (backing ring) utilizado em tubos de aço com grandes espessuras. Este suporte de solda diversificou-se para outros serviços, como por exemplo, em estruturas metálicas.

No segundo período desenvolveram-se técnicas que solucionaram problemas puramente técnicos, como eliminação de trabalho ineficiente de soldagem na posição sobre cabeça em peças que não podiam ser viradas para cima (ou era extremamente difícil virar), pois não existiam guindastes dimensionados para cargas excessivas, e para reduzir o tempo de soldagem. A pesquisa neste método continuou devido à simplicidade dele.

No terceiro período a competitividade e escassez de mão de obra especializada e a busca de melhoria de produtividade se tornou uma necessidade urgente. Houve o desenvolvimento de novos consumíveis de soldagem que podiam ser soldados em qualquer posição. Devido a isto se deu a racionalização de sistemas de produção e promoção de forte controle da qualidade, como parâmetro para o crescimento da indústria.

Como resultado, intensificou-se o controle e redução ao mínimo de imperfeições e irregularidades na preparação das peças, melhoria contínua nos meios de transporte e movimentação de peças, e proporciona assim a diminuição do tempo em preparações para soldagem. Como resultado de tais esforços, a indústria utilizou a soldagem unilateral mais intensamente.

As características de juntas e a eliminação da necessidade de virar a peça para soldar o lado oposto suprimiram trabalhos extras de preparação na montagem antes da soldagem.

A soldagem unilateral em conjunto com um processo automático tem maior eficiência, porém ela pode ser utilizada em processos semi-automáticos e manuais. Aumenta a produção e recomenda-se o seu uso em fabricação de grande porte como, por exemplo, na construção naval de plataformas de petróleo.

A utilização de suportes de solda está intimamente ligada à soldagem unilateral, pois a poça de solda gerada permanece fluida por um período de tempo e torna-se necessário que o metal fundido tenha um suporte para contê-lo até sua solidificação. (Paranhos, 1999).

Muir (1985) identifica algumas vantagens na utilização de soldagem unilateral:

- Redução de ensaios não destrutivos (END) e de reparos, comparado com a soldagem convencional;
- Redução significativa de defeitos principalmente falta de fusão;
- Redução dos passes de solda durante o processo de soldagem
- Redução na distorção dos equipamentos após soldagem
- Redução do custo da soldagem;

Há quatro tipos principais de soldagem unilateral que são identificados pelos métodos de suporte para o metal de solda líquido.

### 3.1.3.1 Soldagem unilateral com suporte não fusível

Neste tipo o suporte temporário, que é removido após terminar a soldagem, é freqüentemente de Cobre (cobre junta). Sua utilização é apropriada quando o metal base não apresenta massa suficiente para suportar a poça de solda líquida, ou quando se precisa obter completa penetração da solda em um único passe. Alguns tipos de juntas com suporte de cobre são mostrados na fig. 3.12.

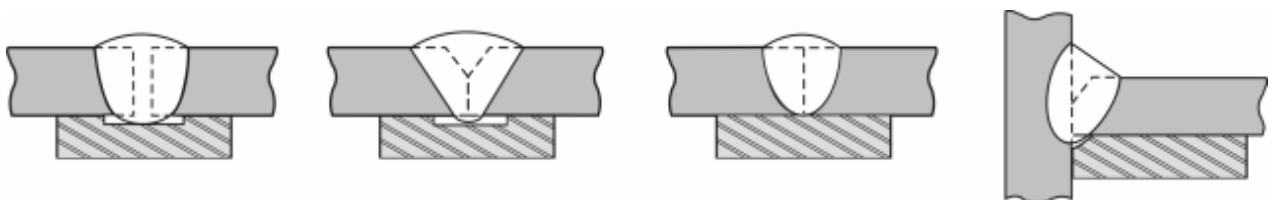


Figura 3.12 – Tipos de juntas com suporte de cobre. (Paranhos, 1999)

Para soldas em chapas com espessura acima de 3,4mm, as dimensões do suporte de cobre podem variar de 0,5 a 1,5mm de profundidade e 6 a 19mm de largura, figura 3.13. Essas dimensões normalmente aumentam proporcionalmente



com a espessura da chapa, pois o cobre que atua como resfriador evitaria a penetração total e normalmente é desejável o escape de algum metal para fornecer reforço adicional do lado debaixo da junta. Quanto mais largos os chanfros, maior desalinhamento das chapas é permitido, o que facilita soldagem de peças muito comprida.

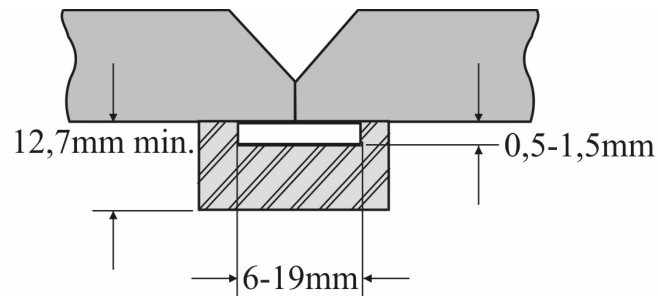


Figura 3.13 – Dimensões de suportes de cobre. (Paranhos, 1999)

A vida útil do suporte de cobre é função do cuidado contra possíveis empenamentos e superaquecimentos durante o uso. Devemos atentar também para superfície de contato do suporte de cobre com a peça, que deve ser livre de depressões ou inclusões.

O suporte resfriado por meio de circulação de água através de furos usinados no fundo da barra de cobre – figura 3.14a – ou montado sob uma estrutura rígida – figura 3.14b - são dispositivos utilizados para evitar ele empene devido a superaquecimento.

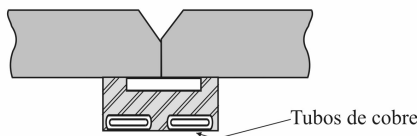


Figura 3.14a – Método de refrigeração com água do suporte de cobre. (Paranhos, 1999)

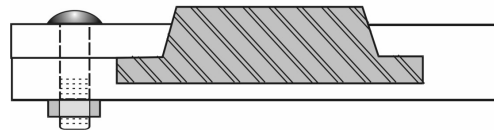


Figura 3.14b – Método de evitar empenamento do suporte de cobre. (Paranhos, 1999)

### 3.1.3.2 Soldagem unilateral com suporte com cama de fluxo

Como no caso anterior é também utilizado um suporte temporário que é removido no término da soldagem. Utiliza-se o mesmo fluxo usado pelo processo de soldagem por Arco Submerso que forma uma cama de fluxo sob a peça. Na figura 3.15 são mostrados dois métodos: o fluxo é mantido uniformemente contra o fundo da junta por uma mangueira resistente ao calor inflada com ar ou água.

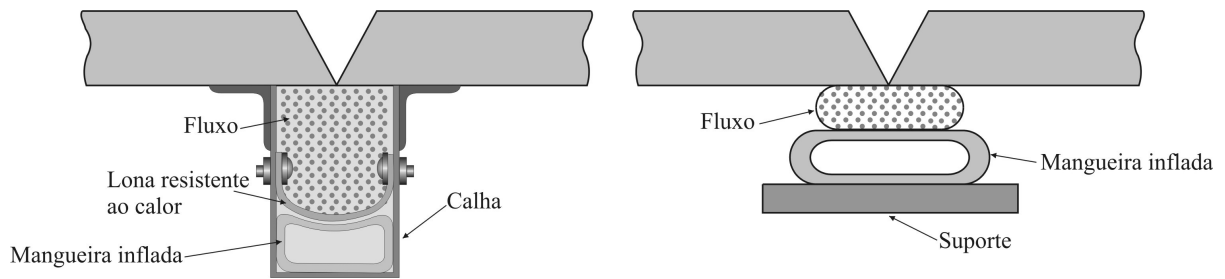


Figura 3.15– Suporte com cama de fluxo. (Paranhos, 1999)

Devido ao material granulado ser capaz de deslocar-se e acomodar o desalinhamento das chapas o uso de cama de fluxo tolera irregularidades maiores que os outros tipos de suporte no ajuste da junta.

A pressão da mangueira deve ser controlada, pois se for maior que a apropriada para manter a cama de fluxo contra o fundo da junta, produzirá uma superfície côncava no fundo da solda.

### 3.1.3.3 Soldagem unilateral com suporte por passe de selagem

Passe de selagem ou passe de raiz é o método mais utilizado para fornecer suporte ao metal de solda, pois fornece o suporte necessário para a deposição dos passes subseqüentes, e pode ser aplicado tanto no lado oposto ou do mesmo lado da solda.

O passe de selagem pelo lado oposto, em soldas de topo, figura 3.16, é suficiente para suportar o cordão de solda de acabamento e fornece penetração total sem perfurar a chapa.

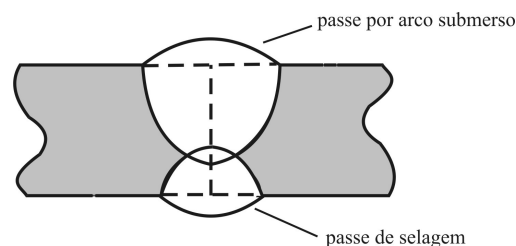


Figura 3.16 – Suporte por passe de selagem na raiz. (Paranhos, 1999)

Pode ser aplicado por qualquer processo de soldagem convencional (figura 3.17 a, b e c). É usado quando não é conveniente utilizar outro método de suporte por falta de acesso, má preparação da junta ou dificuldade em virar a peça. Para o passe de selagem permanecer como parte da junta soldada deverá ter qualidade

adequada, caso contrário deverá ser posteriormente removido por goivagem ou esmerilhamento e substituído por outro cordão de solda.

É importante que o passe de selagem seja de boa qualidade, sem poros e sem inclusões de escória, pois a solda subsequente poderá também conter estes defeitos, pois esta penetra e refunde uma parte do passe de selagem.

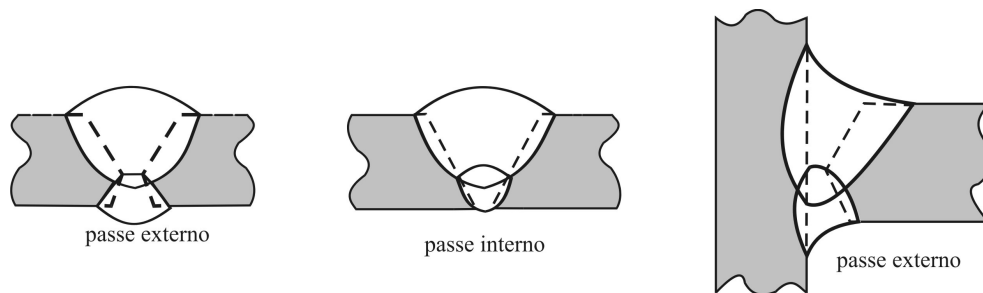


Figura 3.17– Tipos de passe de selagem usado como suporte. (Paranhos, 1999)

#### 3.1.3.4 Soldagem unilateral com suporte metálico fusível

Após soldagem, este suporte torna-se temporária ou permanentemente parte integrante da peça soldada, pois neste método a solda penetra e funde-se com o material do suporte. Usa-se como suporte tiras de metal compatível com o metal a ser soldado - figura 3.18a - ou a junta pode ser localizada em uma parte da estrutura que funciona como suporte - figura 3.18b. As superfícies de contato devem ser bem limpas e muito próximas, pois pode ocorrer vazamento da poça de solda fundida ou porosidade.

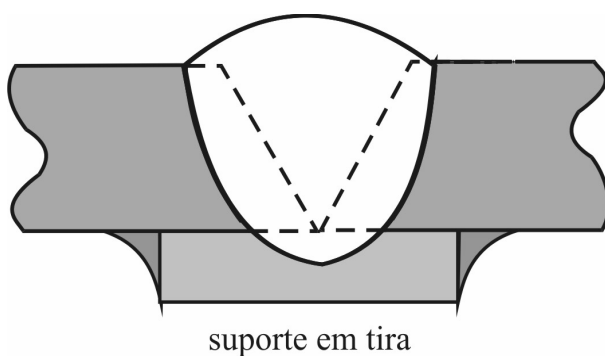


Figura 3.18a – Suporte metálico fusível em tira.  
(Paranhos, 1999)

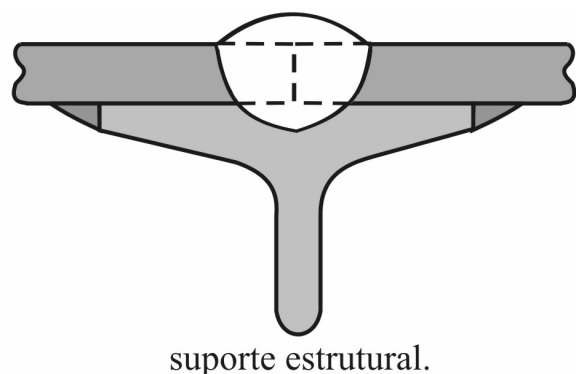


Figura 3.18b – Suporte metálico fusível estrutural.  
(Paranhos, 1999)

### 3.1.3.5 Soldagem unilateral com suporte cerâmico

Dentre os diversos métodos para suporte da poça de solda o suporte cerâmico é atualmente freqüentemente usado na soldagem do aço. (Gullco Internacional, 2006).

O suporte cerâmico é utilizado uma única vez, e após a execução do passe de solda ele deve ser descartado. Esta é uma diferença entre o suporte cerâmico (consumível) com os suportes de ligas de cobre que podem ser utilizados outras vezes. O sistema de fixação do suporte cerâmico à peça a ser soldada mais adequado é com a fita adesiva de alumínio que é o modelo favorito nas aplicações industriais da soldagem unilateral (Andrade, 2007). A figura 3.19 mostra modelos de suportes cerâmicos utilizados em juntas de topo (chanfro X, V) e juntas de ângulo em T.

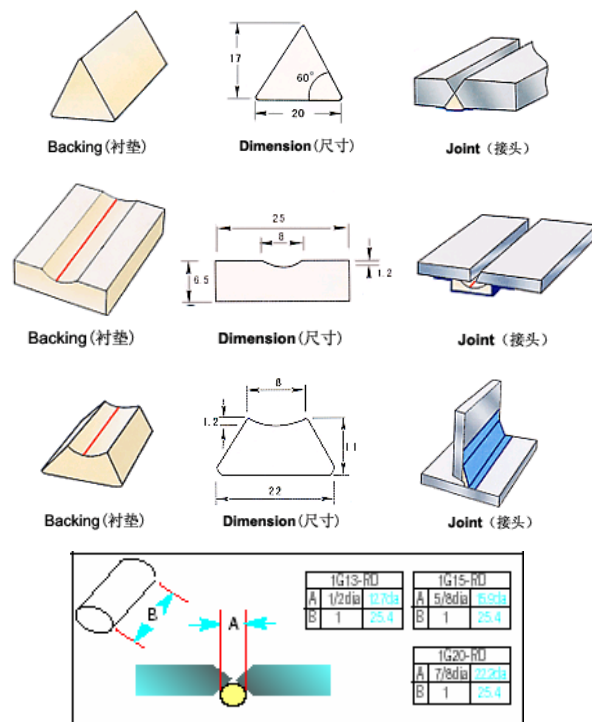


Fig. 3.19 – Suportes cerâmicos. (Xiangshan Welding Backing Factory e Gullco Internacional, 2006)

### 3.1.4 Custos da soldagem

A produtividade numa operação de soldagem pode ser analisada por três importantes indicativos que são: fator de operação, taxa de deposição e velocidade de soldagem, que também são importantes nos cálculos do custo da soldagem

### 3.1.4.1 Fator de Operação

A operação de soldagem não engloba várias tarefas que o soldador deve realizar além da soldagem propriamente dita. O arco elétrico aberto durante toda a operação seria o ideal, pois sempre que o arco elétrico não está estabelecido, o processo de fabricação por soldagem não progride. Na prática o soldador prepara a junta, monta as peças, ponteia, remove a peça do posicionador, limpa a junta de solda, que são operações necessárias, mas improdutivas no que diz respeito à progressão da soldagem (The James F. Lincoln Welding Foundation, 2000).

Deste modo o fator de operação é a razão entre o tempo que o soldador permanece com o arco aberto (Tempo de Arco Aberto, TAA) e o Tempo Total de Soldagem (TTS), que determina o rendimento da operação de soldagem (Brito, 2005).

O Tempo Total de Soldagem (TTS) é igual ao Tempo de Arco Aberto (TAA) mais o Tempo de Parada (TP). O TAA é o tempo efetivo que foi gasto para a deposição da solda.

Este fator é utilizado em cálculos de custo de soldagem, e para determinar avaliações seguras e corretas deve ser determinado com precisão.

Um fator de operação de 50% significa que metade do tempo o soldador se dedica à solda e a outra metade a outras atividades como preparação, esmerilhamento, troca de eletrodo, reposição de fluxo, alinhamento, posicionamento da peça, limpeza, etc. Quanto mais paradas para executar as atividades citadas, menor o fator de operação. Abaixo medidas que melhoram o fator de operação

- Montagem e ponteamento executada por mão de obra especializada;
- Supervisão eficaz;
- Planejamento
- Utilizar procedimentos de soldagem qualificados;
- Utilizar dispositivos de fixação;
- Almoxarifado de consumíveis próximo ao local de trabalho;
- Condições ambientais (ventilação, temperatura) cômodas e equipamentos de proteção individual adequado para o soldador.

### 3.1.4.2 Taxa de Deposição

A maior ou menor produtividade da operação de soldagem é determinada pela taxa de deposição. É definido como o peso do metal depositado por unidade de tempo. Para a escolha do processo de soldagem devemos avaliar outros parâmetros, como por exemplo, eficiência de deposição, posição de soldagem, qualidade da solda, penetração requerida, disponibilidade de equipamento e pessoal qualificado, (Brito, 2005).

As principais variáveis que influenciam na taxa de deposição para um determinado processo de soldagem são:

- Intensidade de corrente: Quanto maior a intensidade de corrente, maior a taxa de deposição.

- Densidade de corrente no eletrodo: razão entre a intensidade de corrente e a área da seção do arame utilizado.

- Tipo de corrente e polaridade: polaridade negativa no eletrodo deposita mais que polaridade positiva. Corrente alternada tem um comportamento intermediário as anteriores

- Diâmetro do eletrodo: quanto maior, maior a capacidade de conduzir corrente, e então maior taxa de deposição.

- Extensão do eletrodo: distância entre a extremidade do bico de contato e a peça de trabalho.

- Posição de soldagem: a posição plana é a que oferece melhor condição para se obter maior taxa de deposição.

É preferível usar um processo mecanizado no lugar de um processo semi-automático, e este no lugar de um processo manual, para se obter melhores taxas de deposição. Uso de processos de soldagem com múltiplos arames aumentam substancialmente a taxa de deposição.

A taxa de deposição pode ser determinada com a deposição de uma quantidade conhecida de material numa chapa de peso conhecido. A diferença entre o peso final e o peso inicial da chapa, dividido pelo tempo de arco aberto é o valor da taxa de deposição. O peso final menos o peso inicial da chapa é igual ao peso de metal. Ainda, catálogos de fornecedores indicam valores de taxa de deposição em função do diâmetro do eletrodo e da intensidade de corrente empregada.

### **3.1.4.3 Velocidade de Soldagem**

O tamanho do cordão de solda é controlado pela velocidade de soldagem. Para uma maior taxa de deposição, torna-se necessário soldar com uma maior velocidade de soldagem.

Na soldagem de passe único, como é o caso de grande parte de produtos seriados, é evidente que o uso de velocidade de soldagem elevada é a principal variável que controla a produtividade da operação de soldagem.

Geralmente os processos de soldagem automáticos operam com velocidade de soldagem maior que os processos semi-automáticos, que por sua vez trabalham mais rápidos que os processos manuais.

### **3.1.4.4 Custo da soldagem**

Uma análise de custo pode ser necessária antes de se executar uma operação de soldagem ou para se avaliar se uma operação de soldagem, já em utilização, tem lucratividade como resultado. É uma ferramenta gerencial importante quando se deseja comparar a utilização do processo de fabricação por soldagem ou de outro processo de fabricação e obter uma estimativa de custo total de um projeto ou empreendimento.

Uma análise de custos da soldagem é composta pelo somatório de vários fatores:

- Custo do metal depositado;
- Custo da mão de obra;
- Depreciação do equipamento;
- Custo de manutenção;
- Custo de energia elétrica;
- Despesas gerais.

O tempo de soldagem é uma variável efetiva para se calcular o custo da mão de obra, que de acordo com (Brito, 2005) este custo representa 75 a 80% do custo total da soldagem. A figura 3.20 mostra que o custo de aquisição e manutenção de equipamentos de soldagem representa 5 a 9%, os consumíveis de soldagem 12 a 13%, energia elétrica cerca de 3% do custo total da soldagem.

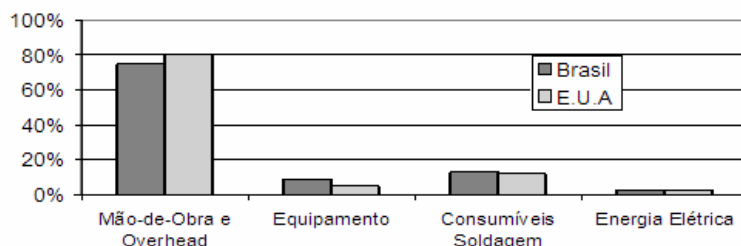


Figura 3.20 – Custos aproximados de soldagem para o Brasil e E. U. A. (Brito e Paranhos, 1999)

## 3.2 Propriedades, características e processo de fabricação do material fibra de vidro / fibra de cerâmica

### 3.2.1 Cerâmica e vidros

Os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos e não-metálicos. A maioria das cerâmicas consiste em compostos de elementos metálicos e não-metálicos, (Callister, 2000).

Os materiais cerâmicos são classificados, a maioria deles, de acordo com sua aplicação que inclui os seguintes grupos: vidro, produtos estruturais à base de argila, louças brancas, refratários, abrasivos, cimentos e as cerâmicas avançadas. A figura 3.21 apresenta esta classificação.

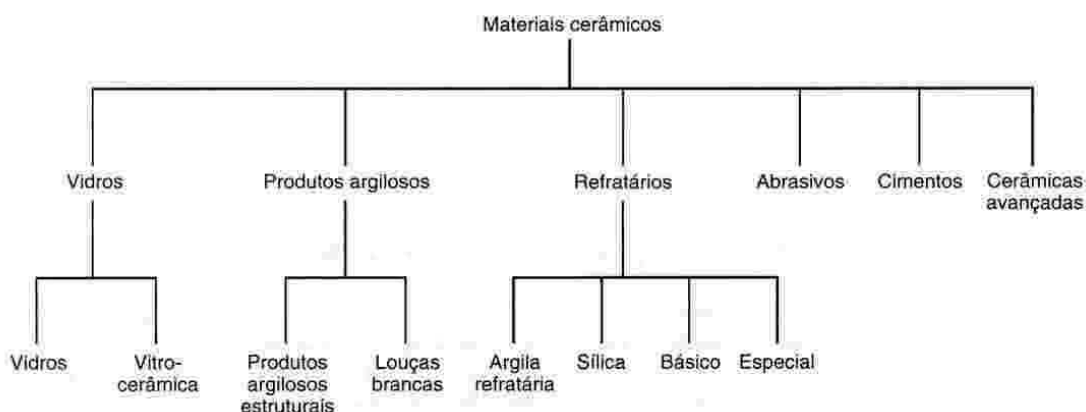


Figura 3.21 – Classificação dos materiais cerâmicos pela aplicação (Callister, 2000)

Para a cerâmica tradicional a matéria prima utilizada é comumente de origem mineral (sílica, argila, materiais refratários), beneficiada para remoção de impurezas para posterior processamento da cerâmica. Matérias primas para cerâmica avançada são pós de alta pureza preparados quimicamente, como por exemplo: Óxido de Alumínio, Óxido de Zircônio, Carboneto de Silício, Nitreto de Silício e



Nitreto de Alumínio. (ASM, 1991). A tabela 3.4 dá características físicas e mecânicas de alguns deles.

### 3.2.1.1 Vidros

Existe uma polêmica quanto à definição de vidro (Araujo, 1997). Os termos sólido não-cristalino, sólido amorfo e vidro são utilizados como sinônimos, porém é necessário que se faça distinção entre esses três termos. Sólidos não-cristalinos podem ser divididos em vidros e sólidos amorfos (Gupta). Um sólido não-cristalino (vidro) é quando o ordenamento de sua estrutura a longo alcance for igual à de sua massa fundida, pois uma estrutura aleatória a longo alcance do líquido permanece no material solidificado pelo resfriamento rápido.

Tabela 3.4 - Características físicas e mecânicas de alguns materiais cerâmicos  
(Chawla, 1993)

	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Ponto de fusão (°C)	Módulo Young (GPa)	Coefficiente de expansão térmica (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	Resistência a fratura (MPa m <sup>1/2</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	2050	380	7 – 8	1 – 3
SiC	3,2	-	420	4,5	2,2 – 3,4
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3,1	-	310	3,1	2,5 – 3,5
MgO	3,6	2850	210	3,6	-
Mulita	3,2	1850	140	5,3	3,0 – 4,0
Vidro Borosilicato	2,3	-	60 – 70	3,5	0,5 – 2,0
Vidro sodalime	2,5	-	60 – 70	8,9	0,5 – 1,0

Chawla (1993) cita que cerâmicas não-cristalinas ou amorfas não são realmente sólidos, mas líquidos super-resfriados. Líquidos fluem sob sua própria massa, todavia eles podem tornar-se muito viscosos em baixas temperaturas (por exemplo, o mel em tempo frio). Eles se comportam como sólidos, apesar de manterem uma estrutura desordenada característica de líquidos, ou seja, não sofrem

transformação para uma estrutura cristalina. Em muitas circunstâncias as cerâmicas não-cristalinas, como os vidros, se comportam como sólido, mas estruturalmente eles são líquidos.

Os vidros consistem em silicatos não-cristalinos. A Sílica (dióxido de silício),  $\text{SiO}_2$ , é o material mais simples à base de silício, geralmente suprida na forma de areia de quartzo. A Sílica constituída na forma de vidro, com um elevado grau de aleatoriedade atômica característica dos líquidos, é conhecida como Sílica fundida ou vítrea. A figura 3.22 compara esquematicamente as estruturas da sílica cristalina e a não-cristalina. (Callister, 2000).



Figura 3.22 - Comparação esquemática das estruturas da sílica cristalina e a não-cristalina (Akerman, 2000)

A tabela 3.5 apresenta as composições e características de alguns vidros comerciais.

### 3.2.1.2 Transição Vítrea

A figura 3.23 representa a variação de volume de uma massa fixa de um determinado material em função da temperatura.

Todo material possui uma temperatura característica de fusão ( $T_f$ ), então acima de sua  $T_f$  o estado em que o material vai estar é o líquido e abaixo é o sólido.

Pelo gráfico, no ponto **A** o material é um líquido estável com temperatura maior que a  $T_f$ . À medida que o líquido se esfria até chegar à  $T_f$  este se contrai, pois a agitação de suas moléculas é menor e uma mesma massa passa a ocupar um espaço menor (maior densidade). No ponto **B**, para cristais, acontece uma considerável redução de volume, pois as moléculas que antes se movimentavam umas sobre as outras, característica do estado líquido, passam a se ordenar na forma de cristais.

Cristais são constituídos por arranjos ordenados de moléculas que se repetem em períodos regulares. A figura 3.24 representa esquematicamente a transição das moléculas de um material do estado líquido, desorganizado, para o estado sólido cristalino, organizado.

Tabela 3.5 - Composições e características de alguns vidros comerciais (Callister, 2000)

Tipo de vidro	Composição (%p)						Características e aplicações
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Outros	
Sílica fundida	> 99,5						Elevada temperatura de fusão, coeficiente de expansão muito baixo
96% Sílica (Vycor)	96				4		Resistente a choques térmicos e a ataques químicos – usados em vidraçarias de laboratório
Borosilicato (Pyrex)	81	3,5		2,5	13		Resistente a choques térmicos e a ataques químicos – usados em vidraçarias de laboratório
Recipientes (cal soda)	74	16	5	1		4MgO	Baixa temperatura de fusão, facilmente trabalhável e também durável
Fibra de vidro	55		16	15	10	4MgO	Facilmente estirado na forma de compósitos de fibras – vidro-resina
Sílex ótico	54	1				37PbO, 8K <sub>2</sub> O	Alta densidade e alto índice de refração – lentes óticas
Vitrocerâmica (piroceram)	43,5	14		30	5,5	6,5TiO <sub>2</sub> , 0,5As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Facilmente fabricados; resistente; resiste a choques térmicos – usados em vidrarias para forno

Conforme gráfico na figura 3.23, após a completa cristalização do material, se encontra no ponto **C**, e o resfriamento em andamento ocasiona uma redução ainda maior de volume ou aumento de densidade. A inclinação da reta **CD** é menor que a **AB**, pois no estado sólido os átomos têm menor liberdade de movimentação.

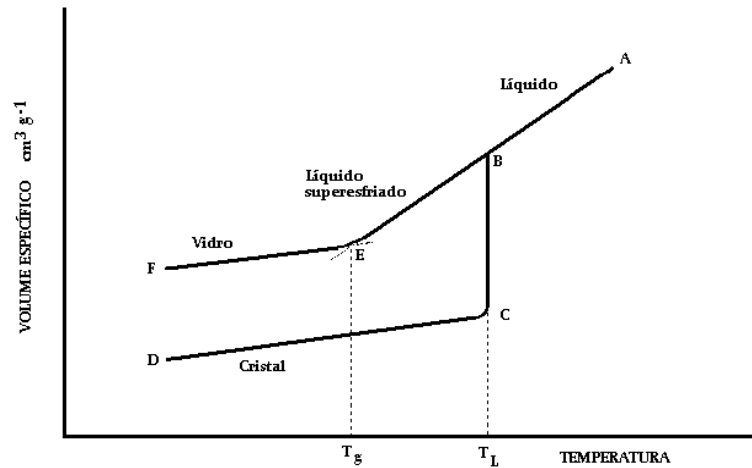


Figura 3.23 – Gráfico Volume específico versus Temperatura para vidro e material cristalino (Akerman, 2000)

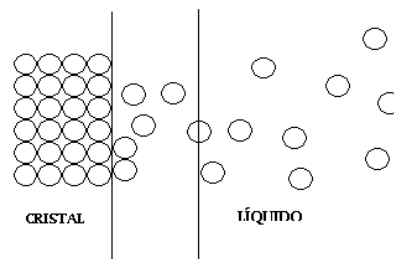


Figura 3.24 - Representação esquemática da transição de moléculas de um material do estado líquido, desorganizado, para o estado sólido cristalino, organizado. (Akerman, 2000)

Caso o resfriamento ocorra muito rapidamente a partir do ponto **B** e não houve tempo para a cristalização, é obtido um líquido super-resfriado, onde a redução de volume é ocasionada pela diminuição da agitação térmica, pois ainda não houve possibilidade de cristalização. Caso a viscosidade deste líquido aumente muito com a redução da temperatura chega-se ao ponto **E**, onde a viscosidade é tão alta que impossibilita qualquer movimentação de moléculas, umas em relação às outras, e conseqüentemente a cristalização. A partir do ponto **E** o material possui a característica de um líquido, isto é, suas moléculas amontoadas ao acaso sem um arranjo definido passam a se comportar semelhantemente ao sólido cristalino.

A temperatura de transição vítrea acontece no ponto **E**, abaixo do qual o material se comporta como um sólido e é o vidro que conhecemos. Acima do ponto **E** o material comporta-se como um líquido.

Teoricamente pode-se deduzir que é possível processar vidros de qualquer material, com apenas um resfriamento suficientemente rápido. Mas isto não acontece, pois os materiais utilizados para constituir vidros possuem a característica de ter uma grande alteração de viscosidade com a mudança de temperatura. Portanto, para se obter um vidro, na sua forma mais popular (garrafas e de janelas), precisa-se antes ter um líquido viscoso de tal maneira que durante o resfriamento esta viscosidade aumente, e apresente assim a transição vítrea.

Verifica-se também no gráfico que o vidro ocupa um volume superior que um sólido para uma mesma composição química, pois suas moléculas estão desordenadas enquanto que no sólido estão bem organizadas. (Akerman, 2000).

### **3.2.1.3 Reforços cerâmicos**

Grande variedade de fibras é usada como reforço para compósitos. As principais características da maioria das fibras de reforço são: alta resistência, alta dureza e densidade relativamente baixa. A fibra de vidro é a mais utilizada na fabricação de compósitos de baixo a médio desempenho. Fibra de vidro aplicada em compósito como reforço, contido em uma matriz plástica, pode ser contínuo ou descontínuo (Almeida, 2004). Reforços não precisam necessariamente estar na forma de fibras longas. Eles podem ter a forma de partículas, flocos, uísqueres, fibras curtas, fibras contínuas ou folhas.

Fibra de vidro, em suas várias formas, é o reforço mais comum para matrizes de polímero. (Chawla, 1998)

#### **3.2.1.3.1 Fibra de vidro**

É um nome genérico como fibra de carbono ou aço. Fibras de vidro comuns são à base de sílica (50-60% SiO<sub>2</sub>) e contêm óxidos de cálcio, boro, sódio, alumínio e ferro. (Chawla, 1998).

Algumas características da fibra de vidro são (Moldeglass, 2009):

- Baixa condutividade térmica;
- Alta resistência a agentes químicos quando combinado com resinas apropriadas;
- Excelente isolante elétrico;
- Incombustível: não propaga nem matem uma chama.
- Quando exposta ao calor não emite fumaça nem produtos tóxicos;

- Estabilidade dimensional;
- Baixo coeficiente de expansão linear.

Quando levamos em conta a composição do vidro utilizado para produção de fibra de vidro, devemos observar certos fatores antes da adoção de um tipo específico. A escolha do tipo de vidro deve-se considerar as seguintes características (ASM, 1991):

- desempenho do produto final;
- características de preparação do vidro (fundição, refino, homogeneização);
- características de fabricação da fibra;
- considerações ambientais;
- matéria prima, combustível, e custo do processo.

A tabela 3.6 apresenta a composição média da maioria dos tipos de vidros utilizados para produção de lã de vidro (recipientes - tipo A; isolamento térmico - tipo T) e produtos têxteis (tipos E, C e S).

Tabela 3.6 - Composição do vidro utilizado em lã e produtos têxteis (ASM, 1991)

Matéria prima	Lã			Tecido		
	Isolante térmico			Elétrico tipo E	Resistência química tipo C	Resistência / rigidez tipo S
	Recipientes, tipo A	T1	T2			
SiO <sub>2</sub>	72 – 72,5	63	58,6	52 – 56	64 – 68	64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0 – 2,0	5	3,2	12 - 16	3,5	25
MgO	2,5 – 4,0	3	4,2	0 - 6	2 – 4	10
Cão	5,5 – 10,0	14	8,0	16 - 25	11 - 15	-
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	10,0 – 16,0	10	15,1	0 – 2	7 - 10	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5	10,1	5 - 10	4,6	-
BaO	-	-	-	-	0 - 1	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	0 – 1,5	-	-
F <sub>2</sub>	-	-	-	0 - 1	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,8	-
FeO	-	-	-	0,8	-	-

A figura 3.25 mostra esquematicamente o procedimento de fabricação convencional para fibras de vidro. A matéria prima é fundida e o vidro fundido é alimentado em buchas de platina eletricamente aquecidas. Cada bucha contém aproximadamente 200 furos na sua base. O vidro fundido flui por gravidade por estes furos e formam-se finos filamentos contínuos. Estes são coletados e trançados na dimensão desejada antes de ser enrolado em um tambor ou carretel.

O diâmetro final da fibra é uma função, principalmente, do diâmetro de orifício da bucha de platina.

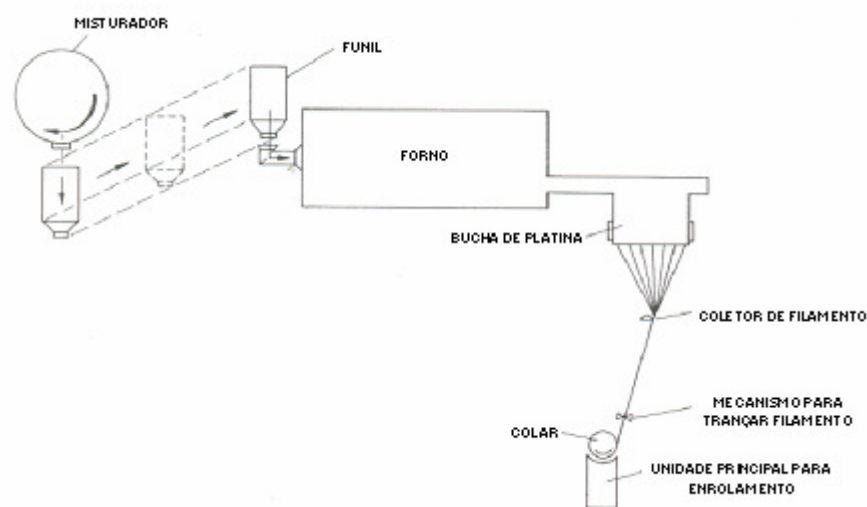


Figura 3.25 – Esquema de fabricação de fibra de vidro (Chawla, 1998)

Os métodos convencionais para produzir fibras de vidro ou cerâmica possuem algumas dificuldades práticas como as altas temperaturas requeridas, imiscibilidade dos componentes no estado líquido e a fácil cristalização destes durante o resfriamento. Na figura 3.26 são mostradas algumas formas que a fibra de vidro comercialmente disponível.

Outra técnica para a preparação de fibras de vidro e cerâmica é a sol-gel que basicamente consiste em uma suspensão coloidal, o sol, onde as pequenas partículas (na ordem nano métrica) não mostram nenhuma sedimentação. Por outro lado, o gel é uma suspensão no qual o líquido ficou viscoso o bastante para se comportar mais ou menos como um sólido.

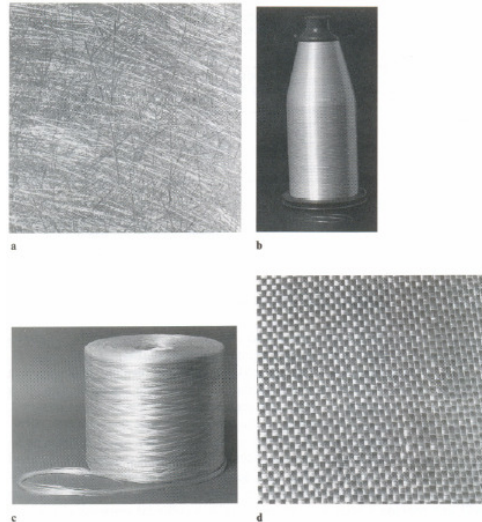


Figura 3.26 – Formas que a fibra de vidro é comercialmente disponível: a – filamentos picados; b – fio contínuo; c – fibras para tecer; d – tecido. (Chawla, 1998)

O processo converte géis fibrosos, tirado de uma solução em baixa temperatura, em fibras de vidro ou cerâmica em várias centenas de graus Celsius. A temperatura máxima de aquecimento nesta técnica é muito menor que para a fabricação convencional de fibra de vidro (Chawla, 1998).

A técnica de sol-gel é muito eficiente para produção de fibras de vidro e cerâmica. A companhia 3M produz as séries de fibras de alumina e fibras de sílica-alumina, chamada de fibras Nextel. A figura 3.27, abaixo, apresenta uma amostra de fibra tirada de sílica (cortada de uma fibra contínua enrolada em carretel) obtida pela técnica sol-gel.

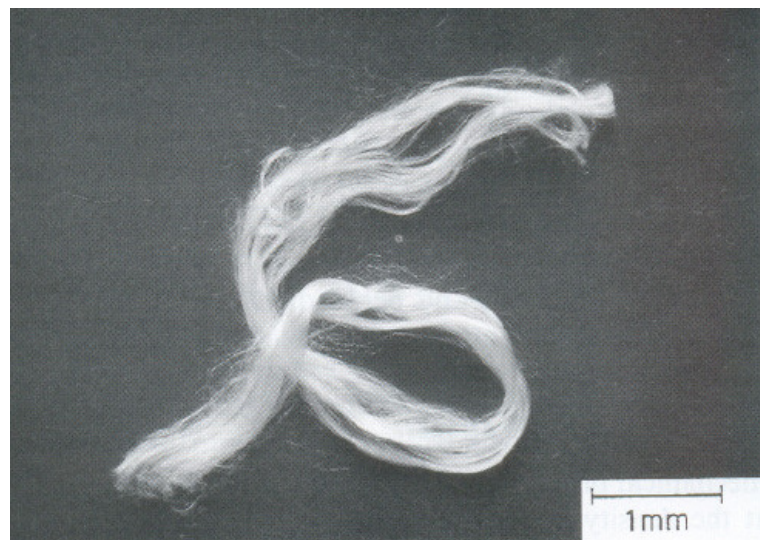


Figura 3.27 – Fibra de vidro contínua obtida pela técnica sol-gel. (Chawla, 1998)



As propriedades típicas das fibras de vidro tipo E estão resumidas na tabela 3.7. Observamos que a densidade da fibra de vidro é baixa e a resistência a tração é bastante elevada, porém o módulo de elasticidade não é muito alto. Assim, enquanto a razão entre resistência e peso de fibras de vidro é bastante alta, a razão entre módulo de elasticidade e peso é moderada. As desvantagens da fibra de vidro são: a umidade diminui sua resistência e são suscetíveis ao que é chamada fadiga estática, ou seja, o enfraquecimento da fibra de vidro quando fica sujeita a uma carga constante para um período de tempo estendido.

Tabela 3.7 – Propriedades típicas das fibras de vidro tipo E (Callister, 2000)

Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência a tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de expansão térmica (K <sup>-1</sup> )
2,55	1750	70	4,7 X 10 <sup>-6</sup>

### 3.2.1.3.2 Fibra cerâmica

Fibra cerâmica é um material refratário processado a partir de fibras de sílica e alumina de alta pureza. São muito utilizadas como reforço de materiais cerâmicos, pois elas combinam alta resistência e elevado módulo de elasticidade com temperaturas elevadas. Em geral não causam danos ambientais e tornam-se atraentes para utilização em materiais estruturais em altas temperaturas. (Chawla, 1993).

As principais características da fibra cerâmica são:

- Estabilidade térmica;
- Baixa condutibilidade térmica;
- Baixo armazenamento de calor;
- Resiliência;
- Baixo peso;
- Resistente a choques térmicos;
- Boa resistência dielétrica;
- Alta resistência a tração sob fogo;
- Boa resistência a chamas.

Fibras cerâmicas são fabricadas basicamente por três processos: deposição química de vapor, pirólise de polímeros e o processo sol-gel. A técnica de sol-gel foi mencionada no item 3.2.1.3.1 anterior relativo à fabricação de fibras de vidro.

As figuras 3.28 e 3.29 fornecem exemplos de fibra cerâmica, prensada e na forma de corda, utilizada comercialmente.

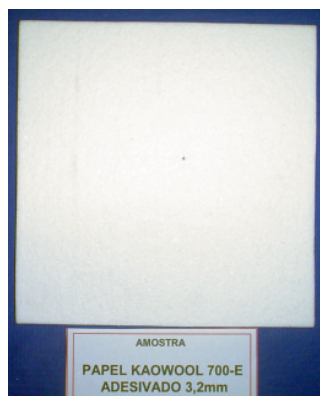


Figura 3.28 – Papel KAOWOOL® 700E de fibra cerâmica prensada (Thermal Ceramics, 2000)



Figura 3.29 – Corda KAOWOOL 980® de fibra cerâmica (Thermal Ceramics, 1997)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo detalha-se os materiais empregados para confecção do suporte de solda à base de fibra de vidro, a chapa de teste para avaliação do desempenho do suporte durante soldagem, o procedimento de execução da soldagem unilateral com as variáveis principais, a preparação da junta soldada, a técnica de soldagem utilizada, os ensaios destrutivos e não-destrutivos para verificação da eficácia da soldagem com este suporte e, por fim, a análise utilizada para avaliar o custo da soldagem.

Foram selecionados e adaptados materiais usados na indústria e procedimentos de soldagem para realização dos testes e avaliação da qualidade e efetividade dos suportes de solda produzidos.

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Materiais para confecção do suporte à base de fibra de vidro

As características da fibra de vidro e da fibra cerâmica apresentadas na revisão bibliográfica indicaram o potencial destes materiais para serem utilizados como suporte de solda. Os materiais descritos a seguir foram utilizados para a confecção dos suportes de solda:

- Fibra de na forma de tecido; marca comercial WR-200 da Texiglass Indústria e Comércio Têxtil. A tabela 4.1 mostra as principais características do tecido de fibra de vidro WR-200.

Tabela 4.1 – Principais características do tecido de fibra de vidro WR-200  
(Texiglass, 2004)

Matérias Primas Requeridas					
Material da Trama / Urdume	Fio de Fibra de Vidro E				
Peso (g/m <sup>2</sup> )	200				
Espessura (mm)	0,21				
Carga de ruptura da Trama / Urdume (kgf)	50				
Tipo de tecelagem	Tela				
Faixa de Composição (%peso)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
	52 - 56	12 - 16	11 - 15	5 - 10	0 - 6

- Papel de fibra cerâmica marca comercial KAOWOOL®700E, nas espessuras de 1,6 mm e 3,2 mm da Morganite Brasil LTDA. A tabela 4.2 mostra as principais propriedades físicas e a tabela 4.3 indica a análise química e o % peso de perda ao fogo após queima da fibra cerâmica.

Tabela 4.2 – Propriedades físicas do papel KAOWOOL®700E (Thermal Ceramics, 2000)

Cor	Branca
Densidade Nominal (kg/m <sup>3</sup> ) -	176
Compressão 4 lbs/ft <sup>2</sup>	208
Temperatura máxima (°C) :	
Uso contínuo	1150
Uso limite	1260
Ponto de Fusão (°C)	1760
Resistência a Tração (psi)	105 - 130
Após queima	10 – 20

Tabela 4.3 – Análise química (% peso) e % de perda ao fogo do papel KAOWOOL®700E (Texiglass, 2007)

Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	47
Sílica (SiO <sub>2</sub> )	53
Outros	Traços
Perda ao fogo (% peso)	7 - 10

- Fio de fibra de vidro 68/4-400 fornecido por Maxepoxi Indústria e Comércio Ltda. A tabela 4.4 abaixo mostra as principais características do fio de fibra de vidro 68/4-400. -

- Linha NZ 60 / 80 100% poliamida alta tenacidade (nylon) bonderizado, cor branca marca LINHASITA – Industrias de Linhas de Cozer LTDA. aplicadas principalmente em calçados em geral, bolsas e cintos

Tabela 4.4 – Principais características do fio de fibra de vidro 68/4-400 (Texiglass, 2004)

Matérias Primas Requeridas					
Material de Urdume	Fio de Fibra de Vidro E				
Material de Trama	Fio de Fibra de Vidro E				
Informações de Torção					
Tipo de Torção	Retorcido				
Tipo de Embalagem (bobina)	Garrafa				
Parâmetros	Unidade	Mínimo	Nominal	Máximo	
Número de Fios (de pernas)	N.º de Fios	4	4	4	
Peso por Bobina	kg	2,4	3,0	3,6	
Comprimento / Massa	m/kg	3125	3676	4227	
Comprimento por Embalagem	km/bobina	8,822	11,028	12,131	
Carga de Ruptura Teórica	kgf	10	13	14	
Porcentagem de Resina em Peso	%	0	0	0	
Informações Adicionais					
Composição (% peso)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
	52 - 56	12 - 16	11 - 15	5 - 10	0 - 6
Validade	Indeterminada				

- Fita adesiva dupla face Y-5369 do fabricante 3M utilizadas para aplicações automotivas como colagem de frisos laterais, aerofólios, espelhos retrovisores e alarmes, (figura 4.1). As principais características da fita dupla face Y-5369 são mostradas na tabela 4.5 abaixo:



Figura 4.1 – Fita adesiva dupla face Y-5369 (3M)

Tabela 4.5 – Principais características da fita dupla face Y-5369 (3M, 2004)

<b>Construção</b>	
Dorso	Espuma acrílica
Adesivo	Sintético à base de Ester de ácido acrílico
Liner	Filme de polietileno amarelo
<b>Propriedades físicas</b>	
Espessura	0,8 +/- 0,10 mm
Densidade	0,64 g/cm <sup>3</sup> +/- 0,15 g/cm <sup>3</sup>
Resistência à tração	4,5 kgf/cm <sup>2</sup> - inicial
Absorção de água	3% máximo

#### **4.1.2 Materiais e equipamentos utilizados para confecção de juntas soldadas**

##### **4.1.2.1 Materiais**

O metal de base utilizado na soldagem unilateral foi chapa de aço ASTM A36. Duas dimensões diferentes foram utilizadas para as diferentes etapas de desenvolvimento deste trabalho:

- Chapa A-36 com dimensões de 100 X 100 X 6,4 mm para as etapas iniciais;
- Chapa A-36 com dimensões de 500 X 300 X 15,8 mm para a etapa final.

Para soldagem com processo Arame Tubular (FCAW) foi utilizado arame E71T-1 (AWS A5-20, 1998) com diâmetro 1,1 mm. Como gás de proteção foi utilizado o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Para o processo MIG-MAG (GMAW) os consumíveis foram arame com 0,8 mm de diâmetro de classificação ER70S-6 (AWS A.5.18, 1998) e o gás de proteção foi uma mistura de 75 % de argônio e 25 % CO<sub>2</sub>.

##### **4.1.2.2 Equipamentos de soldagem**

A soldagem pelo processo GMAW foi executada pela máquina **SolMig 250** e pela máquina **Puls.Sarc 400** para o processo FCAW disponíveis no LAMAV/UENF. A figura 4.2 mostra o conjunto máquina de solda e gás de proteção utilizado para o processo GMAW.



Figura 4.2 – Conjunto máquina de solda e gás de proteção utilizados na soldagem pelo processo GMAW

#### 4.1.2.3 Equipamentos para medição dos parâmetros de soldagem

A medição de corrente e tensão de soldagem foi feita por um alicate volt-amperímetro. A temperatura de interpasse foi medida por meio de um termômetro infravermelho. O tempo de soldagem foi medido por um cronômetro digital

### 4.2 Metodologia

A metodologia utilizada para alcançar os objetivos foi dividida em quatro etapas.

Na primeira etapa foram executados testes preliminares para verificação da eficiência da fibra de vidro e da fibra cerâmica em suportar o metal de solda líquido durante a soldagem da raiz.

A segunda etapa teve como objetivo determinar uma possível faixa de operação para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro.

A terceira etapa foi a execução de uma junta soldada com dimensões e parâmetros de soldagem no interior do campo operacional identificado na etapa anterior. O objetivo foi verificar as propriedades da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro, que foi feito por meio de ensaios destrutivos e não-destrutivos.

A quarta etapa consistiu na análise do custo da soldagem entre uma junta soldada de forma convencional e a soldada na etapa anterior.

#### 4.2.1 Verificação da eficiência da fibra de vidro e fibra cerâmica em suportar o metal de solda líquido durante o passe da raiz da solda

Nesta etapa foram confeccionados dois modelos básicos de suporte de solda. Foram usadas diferentes espessuras do tecido de fibra de vidro. Esta variação de espessura foi obtida com a sobreposição em camadas do tecido de fibra de vidro.

O primeiro modelo foi confeccionado com camadas sobrepostas do tecido de fibra de vidro de 50 mm de largura. O segundo modelo teve o acréscimo de uma camada de papel de fibra cerâmica.

Para a fixação do suporte nas chapas de teste foi utilizado o próprio tecido de fibra de vidro, com largura de 100 mm, sobre o qual foram costurados as camadas do suporte com o fio de fibra de vidro 68/4-400. A fita adesiva dupla face Y-5369 foi fixada nas extremidades do conjunto. A figura 4.3 mostra o desenho esquemático das vistas de frente e superior destes modelos com as respectivas dimensões. As figuras 4.4a 4.4b mostram os suportes montados.

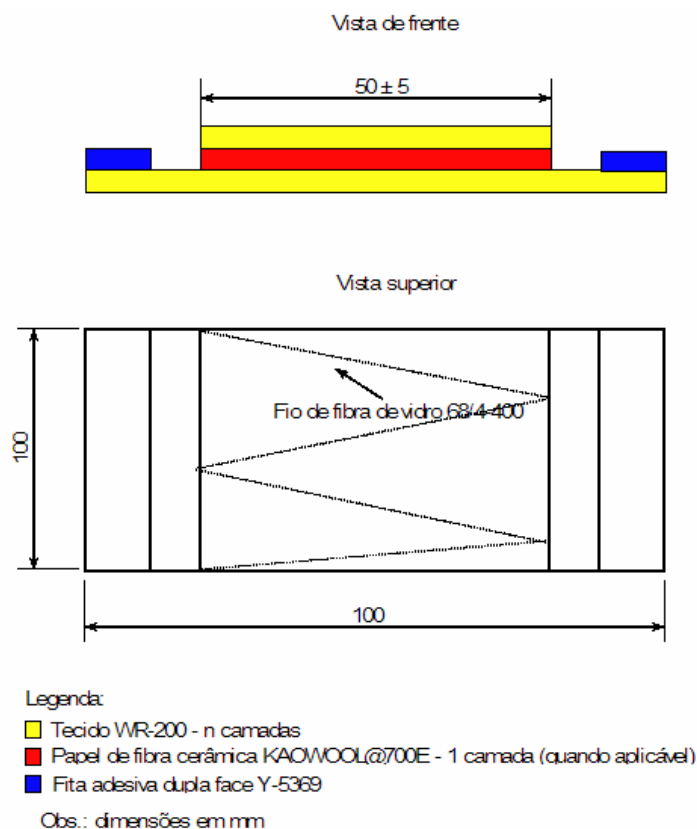


Figura 4.3 – Desenho esquemático com as vistas frontal e superior com dimensões dos modelos de suportes de solda à base de fibra de vidro





Figura 4.4a – Suporte de solda de tecido de fibra de vidro

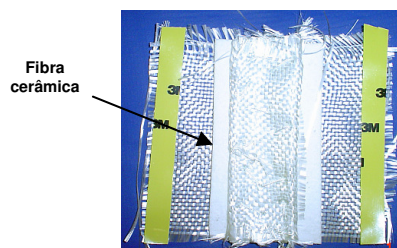


Figura 4.4b – Suporte de solda de tecido de fibra de vidro conjugado com fibra cerâmica

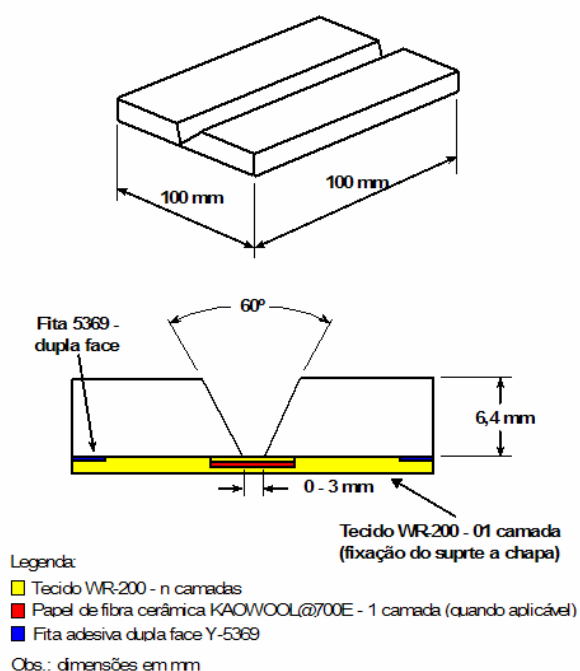


Figura 4.5 – Desenho esquemático com dimensões do chanfro e montagem do suporte na chapa

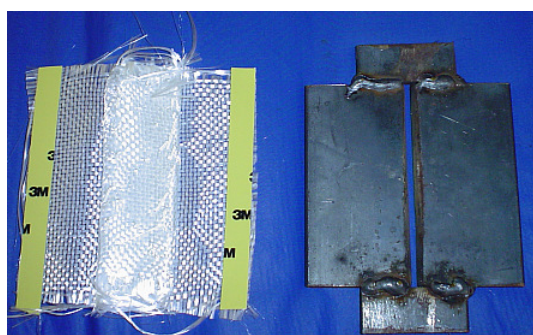


Figura 4.6a – Suporte de solda e chapa antes da montagem do conjunto.

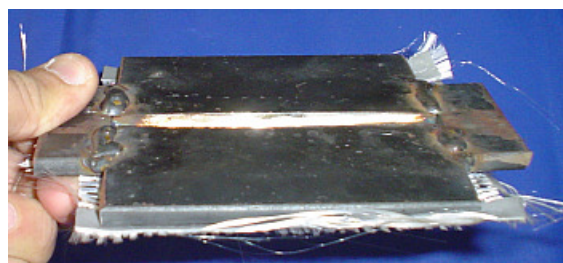


Figura 4.6b – Suporte de solda montado na chapa pronto para a soldagem.

Os processos de soldagem para confecção das juntas soldadas foram o FCAW e GMAW e a soldagem foi na posição plana para todas as juntas. Nesta etapa foram utilizados dois processos com a finalidade de se conseguir uma faixa de corrente de soldagem entre 150A a 300A. Os consumíveis de soldagem utilizados foram citados no item 4.1.2.1. A tabela 4.6 mostra detalhes das juntas soldadas e das características construtivas do suporte de solda. Somente o passe de raiz foi executado nesta etapa.

A avaliação da qualidade superficial das soldas produzidas foi por meio dos ensaios não destrutivos de inspeção visual e inspeção por líquido penetrante.

A inspeção visual foi executada no cordão de solda pelo lado da raiz da junta soldada, com objetivo de verificar o acabamento do cordão de solda e a presença de descontinuidades superficiais. Foram descartados 25 mm no início e no final da solda, que não foi inspecionado. Antes da inspeção, as juntas foram escovadas na solda e em 25 mm adjacentes para remoção de impurezas que pudessem interferir no resultado do ensaio. A região a ser ensaiada foi iluminada com lâmpada, que proporcionou uma luminosidade mínima necessária (Abende, 2004).

O ensaio não-destrutivo por líquido penetrante, também realizado pelo lado da raiz da junta soldada, foi utilizado para verificação de pequenas descontinuidades superficiais. A inspeção cobriu 100% da solda, excluídos 25 mm no início e no final do cordão de solda, e mais 25 mm adjacentes para cada lado da solda. O líquido penetrante utilizado foi o colorido lavável com água aplicado à superfície a ser ensaiada por meio de aerosol do fabricante Metal Chek. (Abende, 2006).

#### **4.2.2 Determinação do campo operacional para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro**

Nesta etapa foram confeccionados dois novos tipos de suportes com base na experiência adquirida.

O primeiro modelo de suporte foi preparado com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total).

O segundo com 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica de espessura 1,6 mm (2,08 mm de espessura total). Em ambos os modelos, as camadas sobrepostas foram unidas por costura com o fio de fibra de vidro 68/4-400.

Tabela 4.6 – N.º de juntas soldadas e características construtivas do suporte de solda (etapa 1)

Processo de soldagem FCAW			
Junta	Abertura de raiz (mm)	N.º camadas do tecido de fibra	Fibra cerâmica
1	0,0	8	0
2	3,0	8	0
3	2,0	8	1
4	3,0	8	1
5	3,0	6	0
6	0,0	6	0
7	3,0	6	1
8	3,0	6	1
9	2,0	4	0
10	0,0	4	0
11	3,0	4	1
12	2,0	4	1
Processo de soldagem GMAW			
Junta	Abertura de raiz (mm)	N.º camadas do tecido de fibra	Fibra cerâmica
1	3,0	8	0
2	3,0	4	0
3	3,0	8	1
4	3,0	4	1
5	3,0	4	1

O método de fabricação dos suportes foi similar ao utilizado na etapa anterior. A figura 4.7 mostra um suporte preparado para esta etapa.

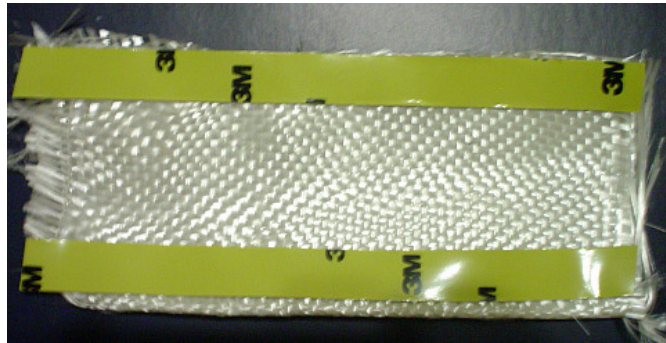


Figura 4.7 – Suporte utilizado na segunda fase sem a camada de tecido utilizada para fixação na chapa de teste.

Para a soldagem do passe de raiz foi utilizado o processo de soldagem GMAW. O arame utilizado foi o de classificação ER70S-6 com 0,8 mm de diâmetro. O gás de proteção foi uma mistura de 75 % de argônio e 25 % CO<sub>2</sub> com vazão de 15 l / min. A extensão do eletrodo (stickout) variou de 18 a 25 mm conforme a corrente de soldagem. A técnica de soldagem utilizada variou entre retilínea ou com pequena oscilação da tocha. As chapas de teste tinham as mesmas dimensões das utilizadas na etapa anterior. A tabela 4.7 identifica os experimentos realizados, a abertura de raiz e características do suporte de solda usado.

O passe de raiz foi avaliado por inspeção visual e por líquido penetrante, com os mesmos procedimentos e materiais da etapa anterior. Também foram realizadas macrografias, para verificação do aspecto da seção transversal do passe de raiz de cada junta soldada. As amostras para macrografia foram obtidas por corte transversal ao cordão de solda. As superfícies foram preparadas por lixamento (lixas 220, 320, 400 e 600 mesh) e a superfície posteriormente atacada com Nital 10%.

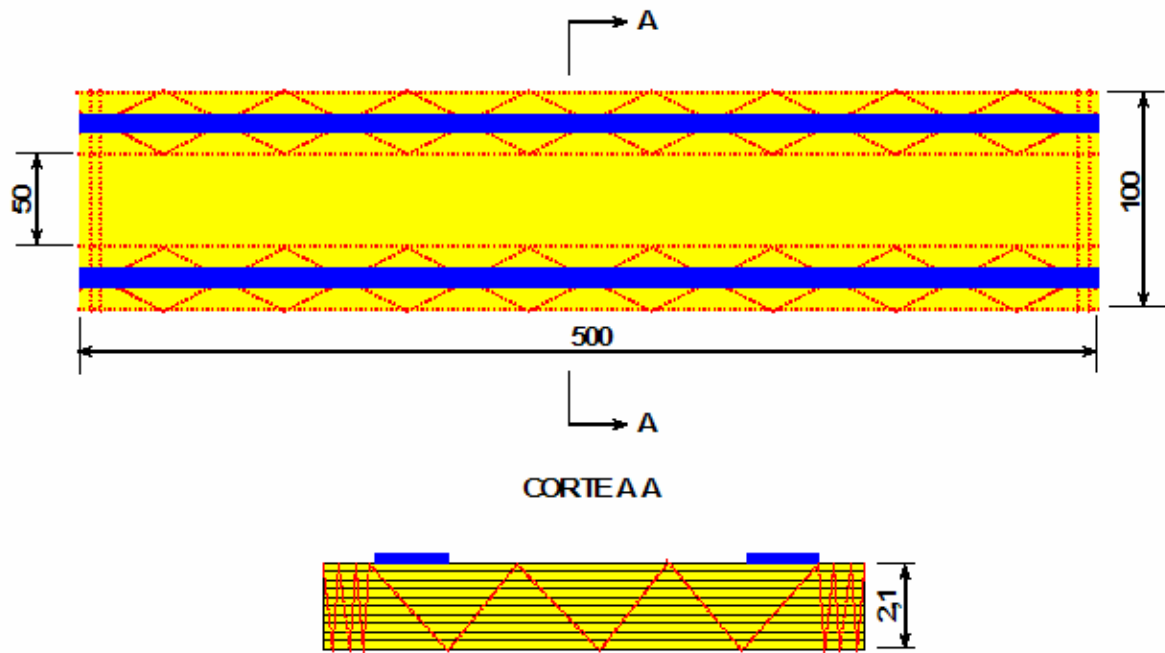
Para determinação do campo operacional foi realizada uma análise qualitativa das seguintes variáveis: número de camadas de fibra de vidro, abertura de raiz e energia de soldagem. Avaliação gráfica foi usada para delinear um possível campo operacional do processo. Os resultados obtidos na etapa anterior, com o processo de soldagem MIG-MAG, também foram utilizados para determinação do campo operacional.

Tabela 4.7 – N.º de juntas soldadas, características construtivas do suporte de solda (etapa 2)

Suporte com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total)	
Junta	Abertura de raiz (mm)
01	0,0
02	2,0
03	4,0
10	0,0
11	2,0
12	4,0
Suporte com 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica na espessura de 1,6 mm (2,08 mm de espessura total)	
Junta	Abertura de raiz (mm)
04	0,0
05	2,0
06	4,0
07	0,0
08	2,0
09	4,0

#### 4.2.3 Avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro

Nesta etapa o suporte de solda à base de fibra de vidro utilizado foi confeccionado apenas com o tecido de fibra de vidro. Dez camadas de tecido de fibra de vidro foram sobrepostas e costuradas em máquina de costura industrial. A costura foi com a linha NZ 60 / 80 100% poliamida, pois o fio de fibra de vidro 68/4-400 não suportou os esforços impostos pela máquina de costura. A costura foi executada nas extremidades do suporte com a finalidade de deixar a região central somente de fibra de vidro, isto porque esta região é que estará em contato com a poça de fusão líquida. A figura 4.8 mostra o desenho esquemático com as dimensões do suporte. A figura 4.9 mostra o suporte de solda utilizado nesta fase.



Legenda:

■ Tecido WR-200 - 10 camadas de 0,21 mm cada

■ Linha NZ 60 / 80 100% poliâmida

■ Fita adesiva dupla face Y-5369

Obs.: dimensões em mm

Figura 4.8 – Desenho esquemático com as dimensões do suporte.

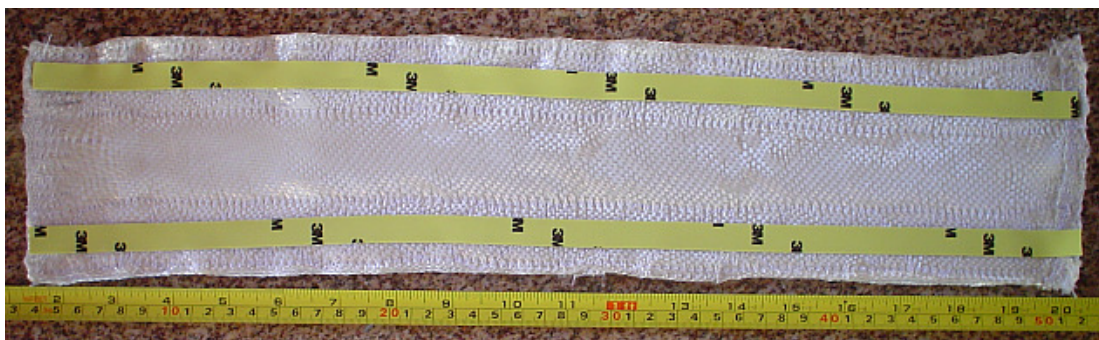
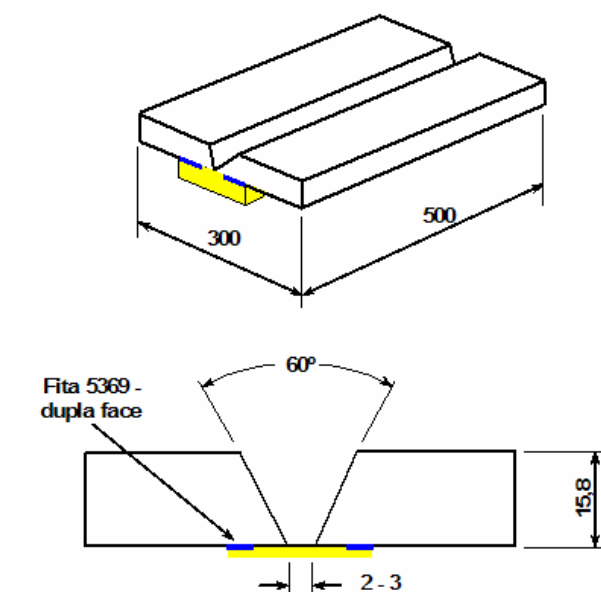


Figura 4.9 – Suporte utilizado na terceira etapa da pesquisa.

A soldagem foi executada em uma chapa A-36 com as dimensões 500 X 300 X 15,8 mm com identificação CT-01-FV. A figura 4.10 mostra o desenho esquemático com dimensões da chapa e do suporte de solda utilizado nesta etapa da pesquisa. Os dispositivos auxiliares de montagem também foram com chapa de

material A-36. A figura 4.11 (a e b) mostra a parte superior e a inferior da chapa de teste montada com o suporte de solda fixado a ela.



Legenda:  
■ Tecido WR-200 - 10 camadas  
■ Fita adesiva dupla face Y-5369  
Obs.: dimensões em mm

Figura 4.10 – Desenho esquemático com dimensões da chapa de teste e suporte de solda

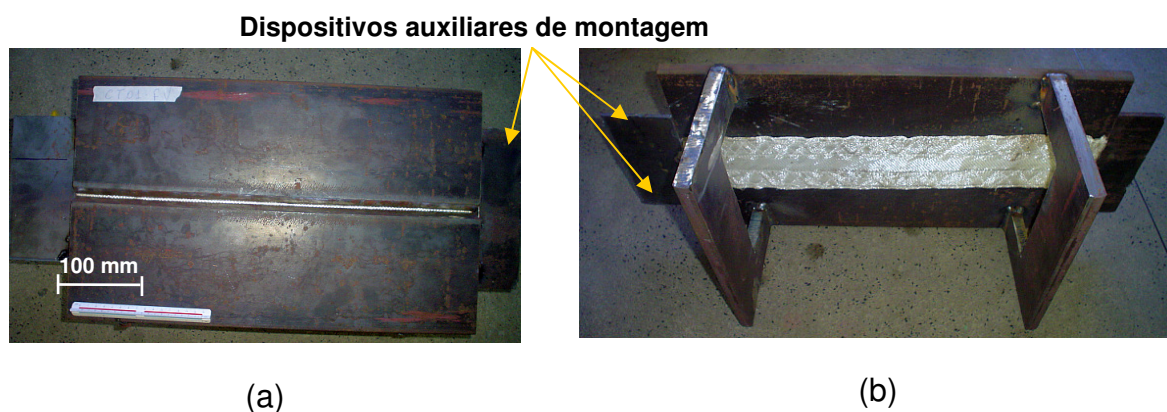


Figura 4.11 – Parte superior (a) e inferior (b) da chapa de teste com suporte de solda fixado

O processo GMAW foi utilizado para soldagem com o arame ER70S-6 com 0,8 mm de diâmetro. A vazão do gás de proteção foi de 15 l / min. A extensão do eletrodo (stickout) variou de 18 a 25 mm. A abertura de raiz foi entre 2,0 e 3,0 mm.

Foram necessários mais de um passe para se completar a soldagem. Na soldagem do passe de raiz, com a chapa na posição plana, o soldador aplicou pequena oscilação (trançado) na tocha. Nos passes de enchimento e acabamento esta mesma oscilação foi controlada pelo soldador com a finalidade de se obter um enchimento adequado do chanfro.

Após a soldagem foram realizados ensaios de inspeção visual, líquido penetrante e macrografia, com os mesmos procedimentos já citados em etapas anteriores. Estes ensaios foram realizados com a finalidade de verificar descontinuidades superficiais e o aspecto da seção transversal da junta soldada.

#### 4.2.3.1 Tração e dobramento

Ensaio de tração e dobramento foram realizados na junta soldada com o suporte de solda de fibra de vidro. As dimensões, quantidade e a localização de retirada dos corpos de prova de dobramento e tração na chapa de teste, assim como os critérios de aceitação dos ensaios foram de acordo com a norma ASME IX (ASME IX, 2004). Para o ensaio de tração foram preparados dois corpos de prova com as dimensões mostradas na figura 4.12. Para o ensaio de dobramento lateral foram preparados quatro corpos de prova com dimensões mostradas na figura 4.13.

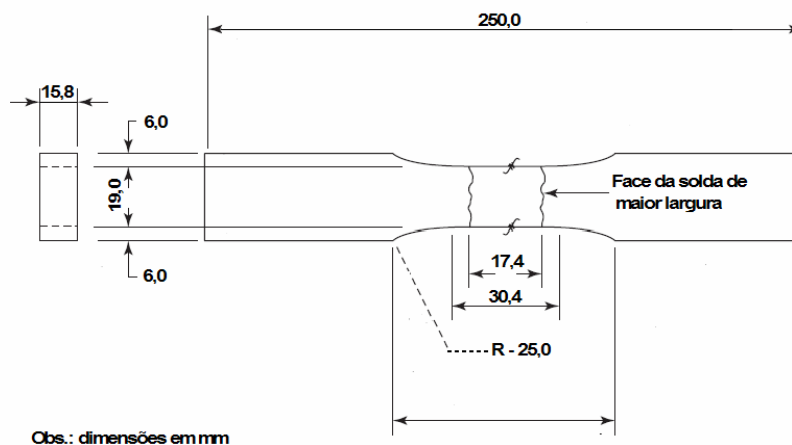
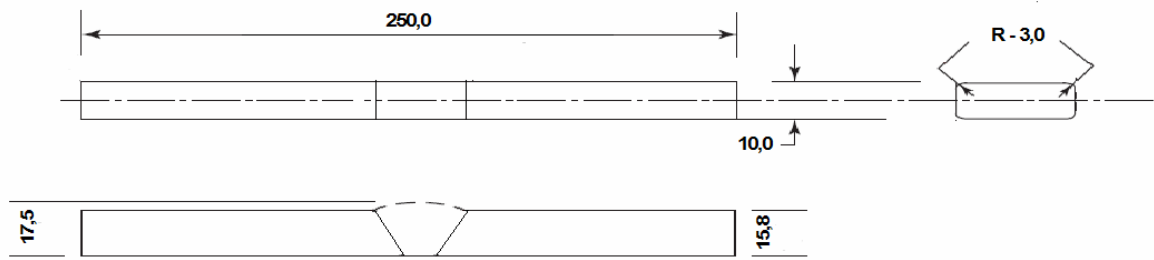


Figura 4.12 – Desenho do corpo de prova para ensaio de tração (ASME, 2004)





Obs.: dimensões em mm

Figura 4.13 – Desenho do corpo de prova para ensaio de dobramento (ASME, 2004)

A localização da retirada dos corpos de prova na chapa de teste é mostrada na figura 4.14. Os ensaios de tração e dobramento foram executados na Máquina Universal de Ensaio Mecânico, modelo 60 TUZ 760 do fabricante WOLPERT.

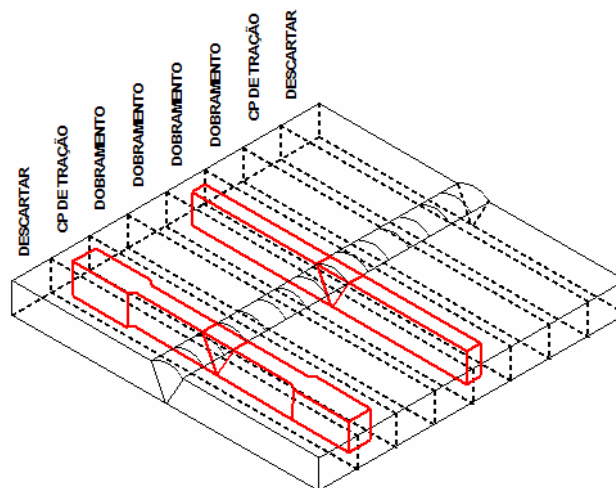


Figura 4.14 – Localização dos corpos de prova de tração e dobramento na chapa de teste (ASME, 2004)

No critério de aceitação para o ensaio de tração a resistência a tração não deve ser inferior a resistência mínima especificada para o aço A-36, ou, se o corpo de prova romper no metal de base, fora da solda ou da interface com a solda, desde que a resistência não seja menor que 5% que a resistência mínima especificada para o aço A-36.

Para o dobramento o critério de aceitação é que o corpo de prova deve estar isento de descontinuidades na solda ou na ZTA da superfície convexa que exceda 3,0 mm, medida em qualquer direção. Não foram consideradas descontinuidades abertas nos cantos do corpo de prova.

#### 4.2.3.2 Microdureza Vickers

A microdureza Vickers foi obtida com um Microdurômetro modelo HMV-2, do fabricante Shimadzu do Brasil. Foi utilizada uma carga de 50 g em 18 pontos: 6 medidas para o metal base (MB), 6 medidas para a zona termicamente afetada (ZTA) e 6 medidas para a zona fundida (ZF). As medições foram feitas tanto na região inferior da junta soldada quanto na superior. A distância entre a face inferior e superior da chapa até a linha horizontal onde foram medidas as durezas foi de 1,5 mm. A figura 4.15 mostra o desenho esquemático com a localização dos pontos onde foram executadas as impressões.

A finalidade deste ensaio foi a verificação da existência de pontos com dureza elevada na junta soldada com o suporte de solda a base de fibra de vidro. Valores abaixo de 200 Vickers foram considerados como aceitáveis.

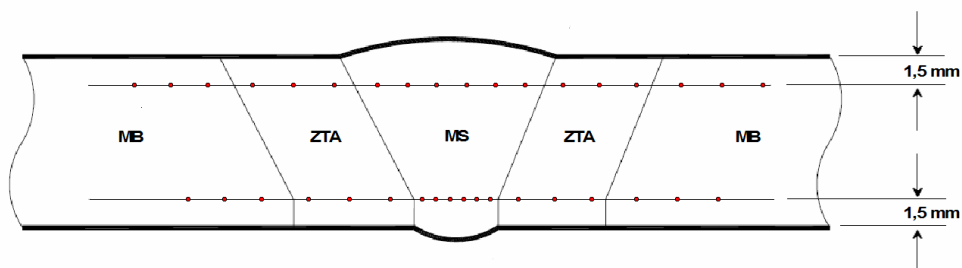


Figura 4.15 – Desenho esquemático com a localização onde foram executadas as impressões das impressões

#### 4.2.3.3 Microscopia Ótica

Para realização da microscopia ótica, foi usada uma seção transversal obtida no centro da junta soldada. A preparação metalográfica usou lixas de granulometria 100, 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh seguido de polimento com pasta de alumina de 1  $\mu\text{m}$  e 0,05  $\mu\text{m}$ . O ataque químico da superfície foi com o reagente NITAL 2% (Matlakhov, 2007).

A microscopia ótica teve por objetivo identificar os constituintes da zona fundida, tanto na raiz da solda, onde foi usado o suporte de fibra de vidro, como no cordão de acabamento. O equipamento empregado foi o microscópio MOTIC Agar-Scientific do LAMAV/UENF.

#### **4.2.3.4 Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) das inclusões do cordão de solda**

A preparação da amostra foi a mesma executada no item anterior, porém sem ataque químico. Foi utilizada uma micro-análise EDS acoplada ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) SSX-550, da empresa SHIMADZU, modelo SEDX, do LAMAV/UENF para se obter uma análise química semi-qualitativa das inclusões tanto no passe de raiz como no passe de acabamento da junta soldada. Esta análise teve a finalidade de verificar uma possível contaminação do material do suporte de fibra de vidro no passe de raiz.

#### **4.2.4 Avaliação do custo da soldagem**

Esta etapa teve como objetivo comparar o custo da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro com uma junta soldada com técnica convencional, que envolve a remoção da raiz e posterior soldagem da mesma pelo lado oposto.

Os materiais e parâmetros de soldagem medidos no item 4.2.3 foram utilizados para os cálculos.

Na análise de custo, foi considerado apenas o Custo da Mão de Obra (CMO), pois este item representa cerca de 80% do custo total da soldagem (Brito e Paranhos, 2005). O CMO foi calculado pelo produto do Valor da Mão de Obra (VMO) pelo Tempo Total de Soldagem (TTS) de acordo com a equação 1. O VMO, mais o over-head, foi estimado em US\$ 30,00.

$$\text{CMO (US\$/h)} = \text{VMO (US\$/h)} \times \text{TTS (h/m)} \quad (\text{eq. 1})$$

O TTS foi calculado pelo Tempo de Arco Aberto (TAA) conforme equação 2 abaixo. O Fator de Operação (FO) considerado foi de 32%, típico para o processo MIG-MAG (Brito e Paranhos, 2005).

$$\text{FO (\%)} = \text{TAA (h)} / \text{TTS (h)} \quad (\text{eq. 2})$$

Para a soldagem com suporte à base de tecido de fibra de vidro o TAA foi o somatório do tempo medido para cada passe da junta soldada no item 4.2.3. Para a soldagem convencional o TAA foi o mesmo da soldagem com suporte acrescido de 16 min (0,27 h): 10 min (0,17 h) para remoção da raiz e 6 min (0,1 h) para a soldagem da raiz após remoção da mesma. O tempo de remoção da raiz foi estimado e o da soldagem após remoção foi o mesmo para a soldagem da raiz medida anteriormente. Estes tempos são para 1 m de solda.

A redução de custo (RC) entre a soldagem com suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro e a convencional foi calculada pela equação 3 abaixo:

$$RC (\%) = \frac{CMO\text{-}ss \text{ (US\$/h)} - CMO\text{-}cs \text{ (US\$/h)}}{CMO\text{-}ss \text{ (US\$/h)}} \times 100 \quad (\text{eq. 3})$$

CMO-ss é o Custo da Mão de Obra para soldagem sem suporte de solda e CMO-cs é para soldagem com suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Verificação da eficiência da fibra de vidro e fibra de vidro em suportar o metal de solda líquido durante a soldagem da raiz

A finalidade dos testes realizados nesta etapa foi verificar a eficiência do tecido de fibra de vidro e da fibra cerâmica em suportar o metal de solda líquido. As juntas soldadas foram executadas com a variação os parâmetros abertura de raiz, corrente de soldagem, n.º de camadas de tecido de fibra de vidro e de fibra cerâmica, de forma a observar o efeito destas variáveis.

Das 12 juntas soldadas pelo processo FCAW somente em 6 o suporte de solda suportou o metal de solda líquido. Para o processo GMAW, das 05 juntas soldadas 04 suportaram o metal líquido. A tabela 5.1 mostra em destaque as juntas soldadas que suportaram o metal de solda líquido e também as que não suportaram, bem como os parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a soldagem.

Os resultados mostraram que o tecido de fibra de vidro conjugado ou não com fibra cerâmica resistiu à poça de fusão para suportes confeccionados com número de camadas maior ou igual a 04, tanto para o processo GMAW como FCAW.

Os ensaios de VS e LP mostraram que, nas juntas que suportaram a poça de solda, houve penetração do passe de raiz e não foram encontradas descontinuidades grosseiras na superfície. As juntas que não suportaram o metal de solda, no ensaio VS, apresentaram perfurações acentuadas ao longo da junta.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as juntas soldadas pelo processo FCAW e GMAW que foram consideradas aprovadas nos ensaios de VS e LP. As regiões de interesse nas inspeções são as que estão entre as linhas verticais.

Tabelas 5.1 – Juntas soldadas cujos suportes suportaram o metal de solda líquido e parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a execução das soldas

Processo de soldagem FCAW							
Junta	Abertura de raiz (mm)	N.º camadas do tecido de fibra de vidro	Fibra cerâmica	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm / min)	Energia de soldagem (kJ/mm)
1	0,0	8	0	32,2	264	337,78	1,51
2	3,0	8	0	31,4	262	285,32	1,73
3	2,0	8	1	29,2	256	171,19	2,62
4	3,0	8	1	29,2	240	195,20	2,15
5	3,0	6	0	29,2	248	202,09	2,15
6	0,0	6	0	29,2	140	222,98	1,10
7	3,0	6	1	27,2	204	181,93	1,83
8	3,0	6	1	25,6	244	286,04	1,31
9	2,0	4	0	25,6	160	245,76	1,00
10	0,0	4	0	32,0	176	225,28	1,50
11	3,0	4	1	26,4	168	212,89	1,25
12	2,0	4	1	26,4	184	199,63	1,46
Processo de soldagem GMAW							
Junta	Abertura de raiz (mm)	N.º camadas do tecido de fibra de vidro	Fibra cerâmica	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm / min)	Energia de soldagem (kJ/mm)
1	3,0	8	0	21,5	152	245,10	0,80
2	3,0	4	0	21,5	150	107,50	1,80
3	3,0	8	1	21,5	150	227,65	0,85
4	3,0	4	1	21,5	150	203,68	0,95
5	3,0	4	1	21,5	130	151,08	1,11
<input checked="" type="checkbox"/> Suportou o metal de solda líquido <input type="checkbox"/> Não suportou o metal de solda líquido							

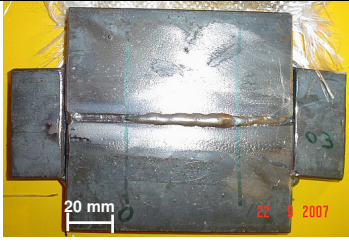
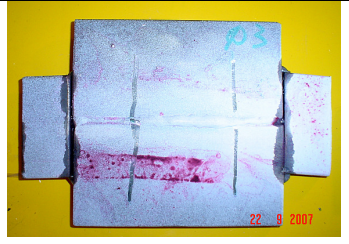
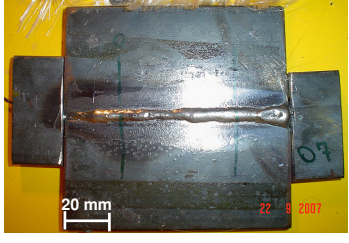
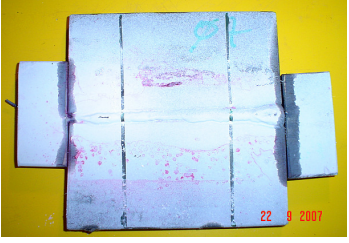
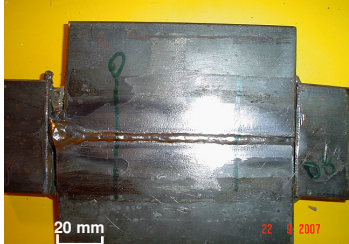
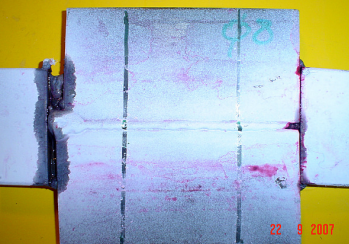
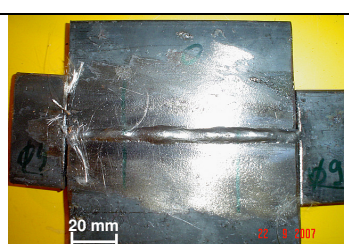
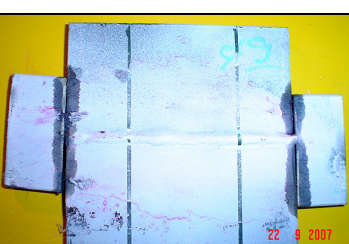

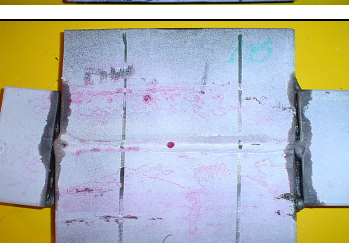


Junta soldada	Visual de solda	Líquido penetrante
Junta 3	 <p>Visual inspection of welded joint 3. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '03' is handwritten on the right side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 3. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '03' is handwritten in blue at the top.</p>
Junta 7	 <p>Visual inspection of welded joint 7. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '07' is handwritten on the right side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 7. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '07' is handwritten in blue at the top.</p>
Junta 8	 <p>Visual inspection of welded joint 8. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '08' is handwritten on the left side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 8. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '08' is handwritten in blue at the top.</p>
Junta 9	 <p>Visual inspection of welded joint 9. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '09' is handwritten on the right side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 9. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '09' is handwritten in blue at the top.</p>
Junta 11	 <p>Visual inspection of welded joint 11. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '11' is handwritten on the right side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 11. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '11' is handwritten in blue at the top.</p>
Junta 12	 <p>Visual inspection of welded joint 12. The image shows a dark metal plate with a horizontal weld line. A 20 mm scale bar is visible at the bottom left. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '12' is handwritten on the right side.</p>	 <p>Penetrant test of welded joint 12. The image shows the same metal plate with a white penetrant applied to the weld. A red date stamp '22 9 2007' is at the bottom right. The number '12' is handwritten in blue at the top.</p>

Figura 5.1 – Juntas soldadas pelo processo FCAW após execução de VS e LP

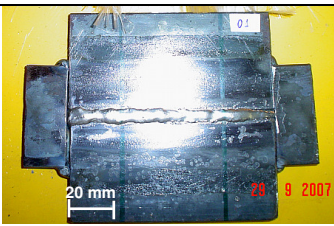
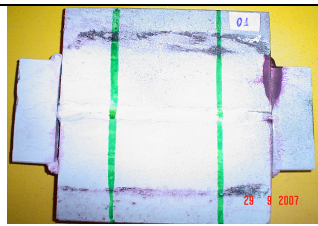
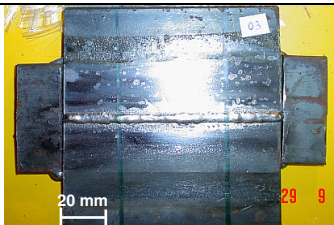
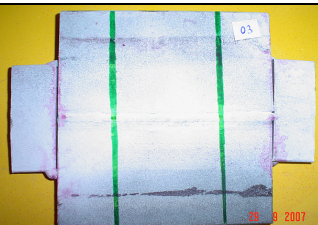
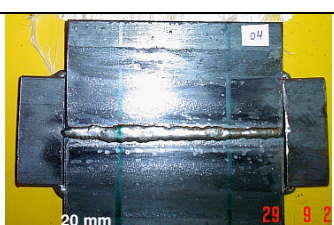
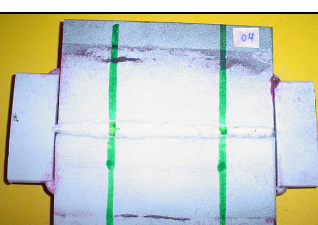

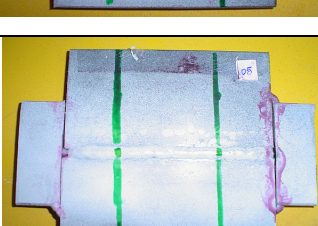
Junta soldada	Visual de solda	Líquido penetrante
Junta 01	 A photograph showing the visual appearance of the welded joint (Junta 01). The metal surface is dark and reflective. A horizontal weld line is visible across the center. A scale bar at the bottom left indicates 20 mm. A date stamp '29 9 2007' is visible in the bottom right corner.	 A photograph showing the liquid penetrant test results for Junta 01. The metal surface is light-colored, and the weld line is clearly visible. Two vertical green lines are drawn on the surface, one on each side of the weld. A date stamp '29 9 2007' is visible in the bottom right corner.
Junta 03	 A photograph showing the visual appearance of the welded joint (Junta 03). The metal surface is dark and reflective. A horizontal weld line is visible across the center. A scale bar at the bottom left indicates 20 mm. A date stamp '29 9' is visible in the bottom right corner.	 A photograph showing the liquid penetrant test results for Junta 03. The metal surface is light-colored, and the weld line is clearly visible. Two vertical green lines are drawn on the surface, one on each side of the weld. A date stamp '29 9 2007' is visible in the bottom right corner.
Junta 04	 A photograph showing the visual appearance of the welded joint (Junta 04). The metal surface is dark and reflective. A horizontal weld line is visible across the center. A scale bar at the bottom left indicates 20 mm. A date stamp '29 9 2' is visible in the bottom right corner.	 A photograph showing the liquid penetrant test results for Junta 04. The metal surface is light-colored, and the weld line is clearly visible. Two vertical green lines are drawn on the surface, one on each side of the weld. A date stamp '29 9 2007' is visible in the bottom right corner.
Junta 05	 A photograph showing the visual appearance of the welded joint (Junta 05). The metal surface is dark and reflective. A horizontal weld line is visible across the center. A scale bar at the bottom left indicates 20 mm. A date stamp '29 9' is visible in the bottom right corner.	 A photograph showing the liquid penetrant test results for Junta 05. The metal surface is light-colored, and the weld line is clearly visible. Two vertical green lines are drawn on the surface, one on each side of the weld. A date stamp '29 9 2007' is visible in the bottom right corner.

Figura 5.2 – Juntas soldadas pelo processo GMAW após execução de VS e LP

As juntas soldadas pelo processo FCAW de n.º 1, 6 e 10, todas com abertura de raiz igual a 0,0 mm, não houve penetração da solda. A energia de soldagem variou de 1,1 a 1,51 kJ/mm. Nestas juntas não foi possível avaliar a eficiência do tecido de fibra de vidro para suportar o metal de solda líquido.

Todas as juntas soldadas pelo processo FCAW com abertura de raiz de 2,0 mm (juntas 3, 9 e 12) foram aprovadas. Estes suportes foram fabricados com 8 camadas de tecido de fibra de vidro conjugado com 1 camada de fibra cerâmica (junta 3), 6 camadas de tecido de fibra de vidro conjugada com 1 camada de fibra cerâmica (junta 9) e com 4 camadas de tecido de fibra de vidro (junta 12). A energia de soldagem foi de 2,62 kJ/mm, 1,00 kJ/mm e 1,46 kJ/mm, respectivamente.



Das 11 juntas soldadas, com abertura de raiz de 3,0 mm (6 pelo processo FCAW e 5 pelo processo GMAW), 7 suportes de solda à base de tecido de fibra de vidro suportaram o metal de solda líquido:

- Pelo processo FCAW as juntas soldadas 7 e 11 suportaram a poça líquida devido à relativamente baixa energia de soldagem (1,83 a 1,25 kJ/mm) e os suportes terem sido confeccionados com 4 a 6 camadas de tecido de fibra de vidro conjugado com 1 camada de fibra cerâmica. A junta 8 foi aprovada apesar de o suporte ter sido confeccionado com 6 camadas de tecido de fibra de vidro, porém a energia de soldagem foi relativamente baixa, de 1,31 kJ/mm. As juntas 2 e 5 foram reprovadas devido à energia de soldagem elevada, 1,73 kJ/mm e 2,15 kJ/mm, e porque foi confeccionado somente com tecido fibra de vidro e conseqüentemente uma espessura total insuficiente. A junta 4 foi reprovada devido à energia de soldagem elevada (2,15 kJ/mm) apesar de o suporte ter sido confeccionado com 8 camadas de tecido de fibra de vidro conjugado com 1 camada de fibra cerâmica.

- Pelo processo GMAW as juntas 1, 3, 4 e 5 foram aprovadas. Isto foi atribuído porque os suportes de solda foram confeccionados com 8 camadas de tecido de fibra de vidro (junta 1), 8 camadas de tecido de fibra de vidro conjugado com 1 camada de fibra cerâmica (junta 3) e 4 camadas de tecido de fibra de vidro conjugado com 1 camada de fibra cerâmica (juntas 4 e 5). Ainda, a energia de soldagem foi relativamente baixa para estes experimentos, entre 0,80 a 1,11 kJ/mm. A junta n.º 2 foi reprovada, pois foi feita com apenas 4 camadas de tecido de fibra de vidro e a energia de soldagem foi relativamente alta, de 1,80 kJ/mm.

Com base nos resultados qualitativos apresentados acima, pode ser observado que:

a) quanto maior a energia de soldagem e a abertura de raiz, maior o número de camadas de tecido de fibra de vidro, e conseqüentemente maior a espessura final necessária para o suporte.

b) a energia de soldagem excessiva foi fator decisivo para a reprovação das juntas.

c) todos os experimentos com abertura de raiz igual a zero (1, 6 e 10 para o FCAW) não foram aprovados.

Outro fato observado nesta etapa foi a efetividade do modo de fixação do suporte de solda à base de tecido de fibra vidro diretamente na junta soldada

antes da soldagem. Este tipo de fixação se trata de uma inovação, pois os suportes de solda cerâmicos normalmente são fixados na junta por uma fita adesiva de alumínio (Cantrell, 1982), conforme mostrado na figura 5.3.

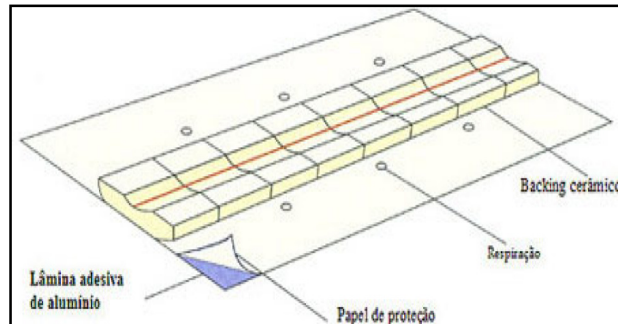


Figura 5.3 – Fixação de suporte cerâmico na junta soldada com fita adesiva de alumínio

Os resultados desta etapa indicam o potencial do tecido da fibra de vidro e fibra cerâmica em suportar a poça de fusão. Não foi observada a formação de gases durante a soldagem e foi verificado um acabamento adequado do cordão de solda, isento de descontinuidades. Estas características são similares aos resultados da soldagem unilateral com o suporte cerâmico observado por Tatagiba et. al. (2008).

## 5.2 Determinação do campo operacional para utilização do suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro

O processo de soldagem MIG-MAG foi escolhido para ser utilizado nesta fase da pesquisa. Esta escolha foi devido à necessidade de uso de uma baixa energia de soldagem, como observado na etapa anterior.

Das 6 juntas soldadas com o suporte fabricado com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total) somente 03 suportaram o metal de solda líquido (juntas 2, 3 e 11), porém a junta 2 não foi aprovada nos ensaios subseqüentes. Para as 6 juntas soldadas com o suporte de 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica na espessura de 1,6 mm (2,08 mm de espessura total) 3 juntas suportaram o metal de solda líquido. A tabela 5.2 mostra as juntas soldadas que suportaram o metal de solda líquido, as que não suportaram e os parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a soldagem.

Tabela 5.2 – Juntas soldadas aprovadas, as reprovadas e parâmetros de soldagem medidos e calculados durante a execução das soldas

Suporte com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total)					
Junta	Abertura de raiz (mm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm / min)	Energia de soldagem (kJ/mm)
01	0,0	21	120	229,09	0,66
02	2,0	21	114	181,82	0,79
03	4,0	20	78	78,66	1,19
10	0,0	22	187	320,57	0,77
11	2,0	22	207	300,26	0,91
12	4,0	22	191	229,20	1,10
Suporte com 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica na espessura de 1,6 mm (2,08 mm de espessura total)					
Junta	Abertura de raiz (mm)	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade (mm / min)	Energia de soldagem (kJ/mm)
04	0,0	22	185	444,00	0,55
05	2,0	22	188	314,13	0,79
06	4,0	22	185	122,10	2,00
07	0,0	22	177	584,10	0,40
08	2,0	21	129	165,86	0,98
09	4,0	21	134	98,16	1,72
<input checked="" type="checkbox"/> Suportou o metal de solda líquido					
<input type="checkbox"/> Não suportou o metal de solda líquido					

A seguir, serão apresentados os resultados das juntas cujo desempenho em soldagem foi considerado satisfatório (juntas 03, 11, 05, 08 e 09).

### 5.2.1 Juntas soldadas com suporte com 08 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada (1,68 mm de espessura total)

#### - Junta 03

Neste corpo de prova, o soldador iniciou a soldagem com emprego da técnica de soldagem retilínea, porém o suporte vazou e o soldador foi orientado a usar a técnica com pequena oscilação da tocha. A figura 5.4 mostra esta mudança na técnica de soldagem.

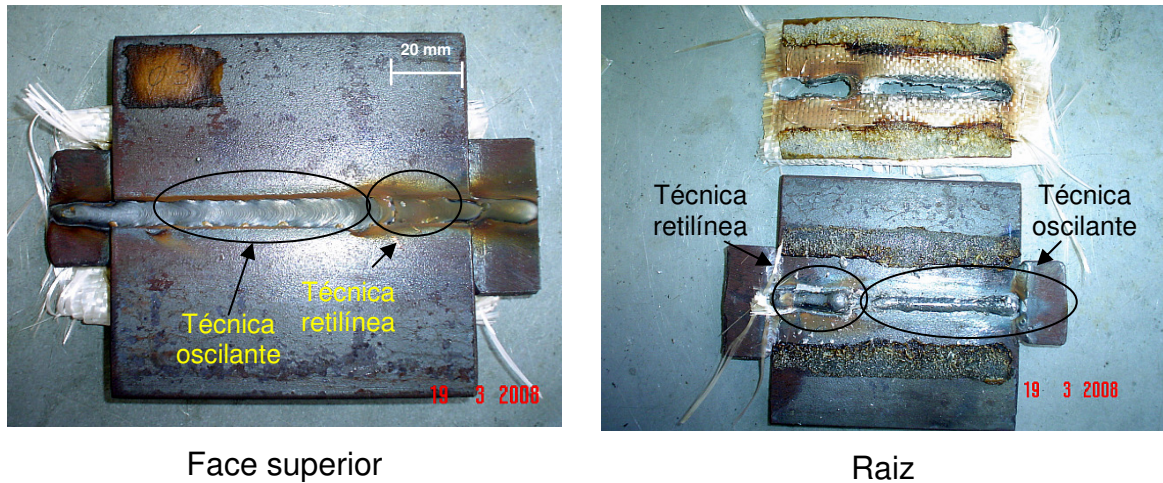


Figura 5.4 – Mudança de técnica de soldagem de retilínea para com pequena oscilação (junta 03)

No pequeno trecho soldado com a técnica retilínea o vazamento do suporte provocou as descontinuidades de perfuração, mordedura e concavidade. Com a mudança para a técnica com pequena oscilação da tocha a solda obteve penetração adequada e não apresentou descontinuidades grosseiras. A figura 5.5a mostra o resultado da inspeção VS e a figura 5.5b a inspeção por LP que não detectou trincas superficiais.

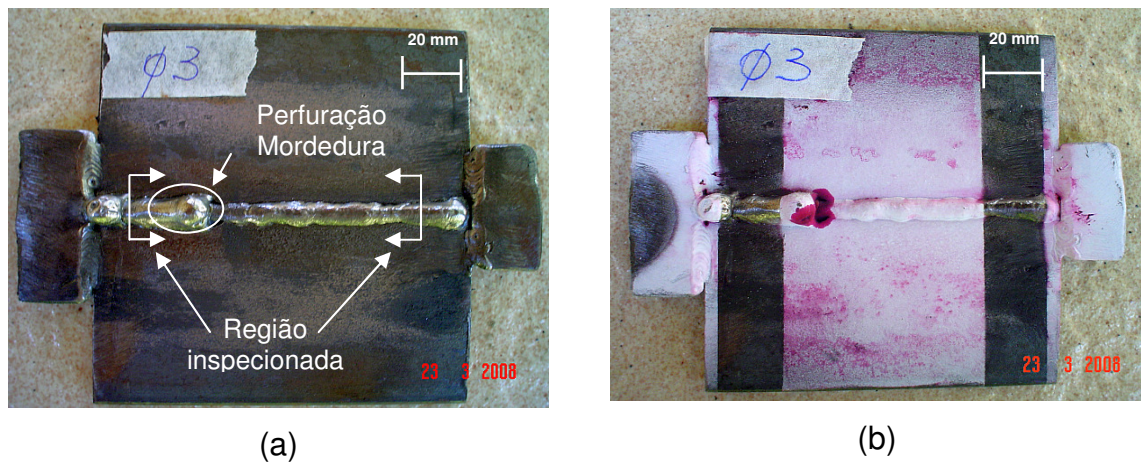


Figura 5.5 – Junta 03. Resultado da inspeção VS (a) e LP (b) na junta

A macrografia (figura 5.6) mostrou um aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz. A largura do cordão de solda foi de 8,0 mm. Como a abertura de raiz neste experimento foi de 4 mm, houve cerca de 2,0 mm de penetração no metal de base em cada uma das chapas. O reforço de raiz foi de 2,6 mm.

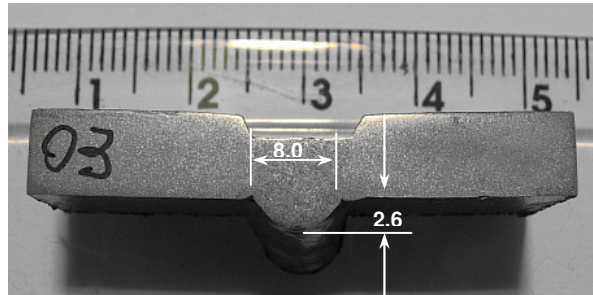
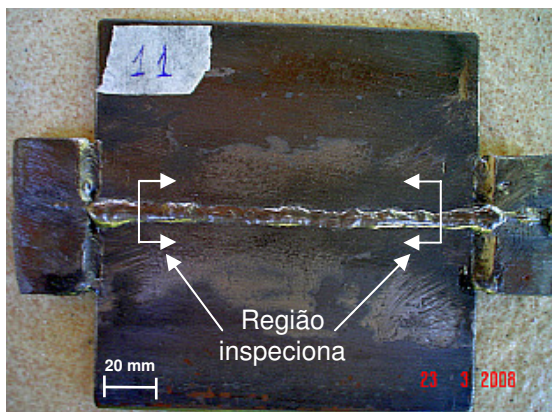


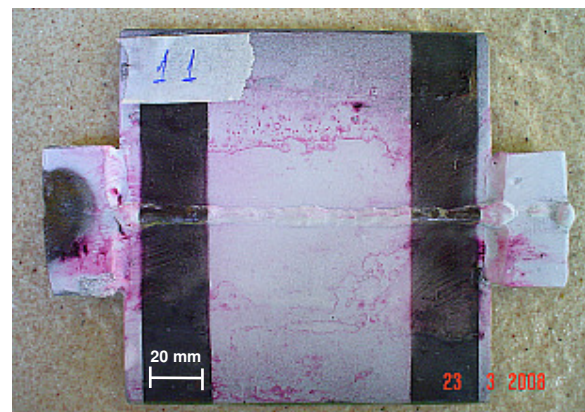
Figura 5.6 - Macrografia da seção transversal da junta soldada de n.º 3

#### - Junta 11

Nesta junta soldada foi utilizada a técnica com pequena oscilação da tocha. Houve penetração uniforme em toda extensão examinada com penetração satisfatória. Os ensaios de VS e LP foram aprovados sem descontinuidades. A figura 5.7a mostra a junta n.º 11 após execução do ensaio VS e a figura 5.7b o ensaio de LP sem descontinuidades.



(a)



(b)

Figura 5.7 – junta soldada n.º 11 após ensaios de VS (a) e LP (b)

A macrografia (figura 5.8) mostrou um aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz. A largura do cordão de solda foi de 5,0 mm. Como a abertura de raiz neste experimento foi de 2,0 mm, houve cerca de 1,5 mm de penetração no metal de base em cada uma das chapas. O reforço de raiz foi de 1,0 mm.

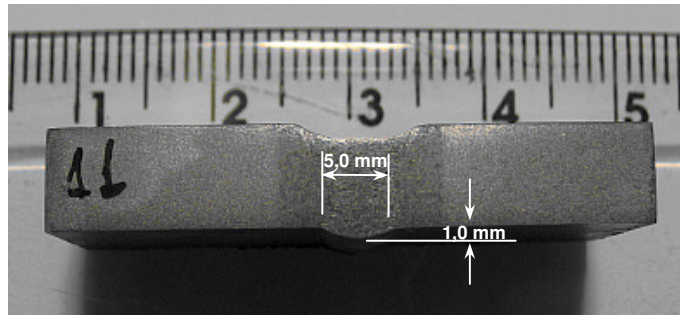
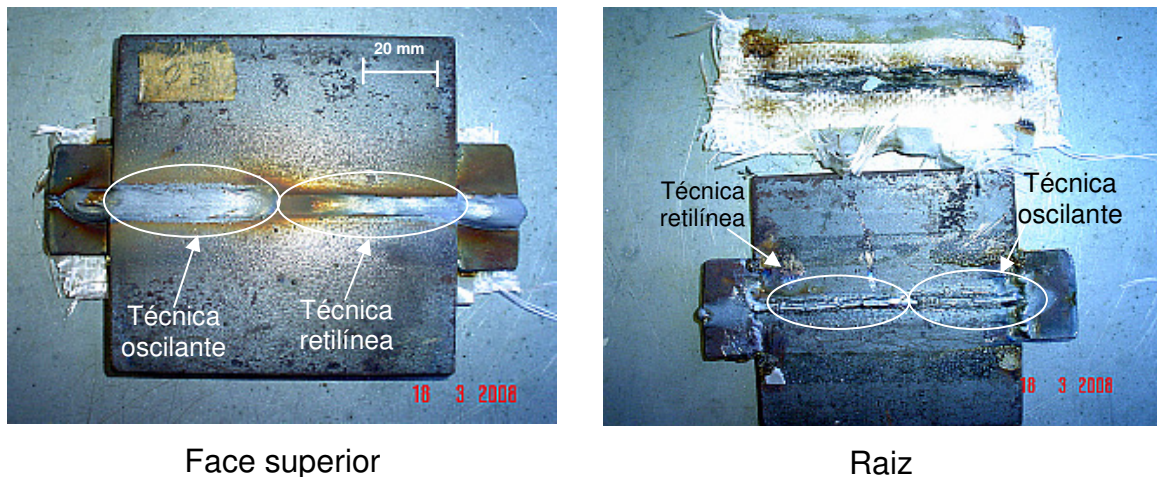


Figura 5.8 – Macrografia da junta n.º 11 com dimensões de largura e altura do reforço

### 5.2.2 Juntas soldadas com suporte com 4 camadas de tecido de fibra de vidro de 0,21 mm cada e uma camada de papel de fibra cerâmica na espessura de 1,6 mm (2,08 mm de espessura total)

#### - Junta 05

Nesta junta soldada também o soldador foi orientado a usar a técnica de soldagem com pequena oscilação da tocha, pois o suporte vazou com a técnica retilínea (figura 5.9).



Face superior

Raiz

Figura 5.9 – Mudança de técnica de soldagem na junta n.º 05

Na região do vazamento do suporte foi detectada mordeduras. As figuras 5.10a e 5.10b mostram a junta n.º 05 após ensaio de VS e LP com a mordedura detectada. A penetração da solda foi considerada adequada em toda extensão da junta.

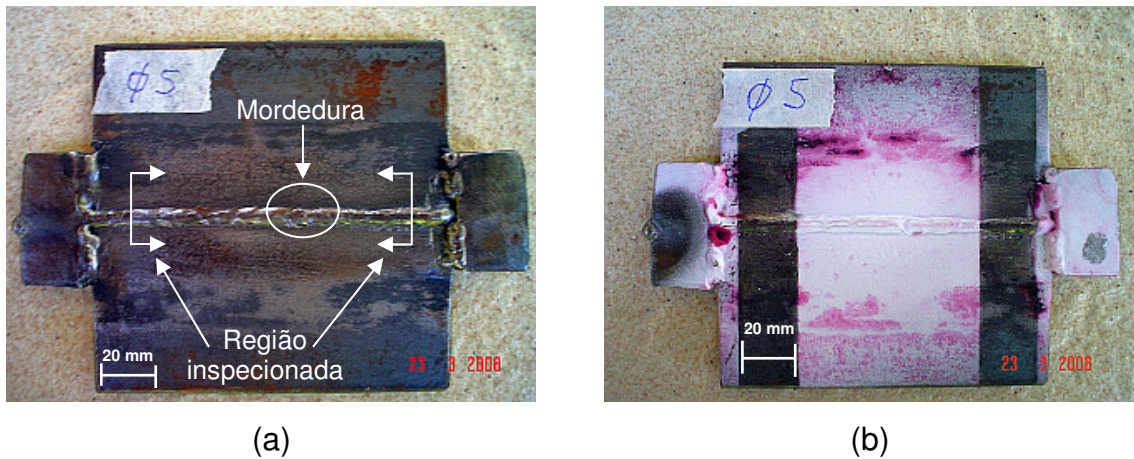


Figura 5.10 – junta soldada n.º 05 após ensaios de VS (a) e LP (b)

A macrografia (figura 5.11) mostrou um aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz. A largura do cordão de solda foi de 6,5mm. Como a abertura de raiz neste experimento foi de 2 mm, houve cerca de 2,2 mm de penetração no metal de base em cada uma das chapas. O reforço de raiz foi de 0,8 mm.

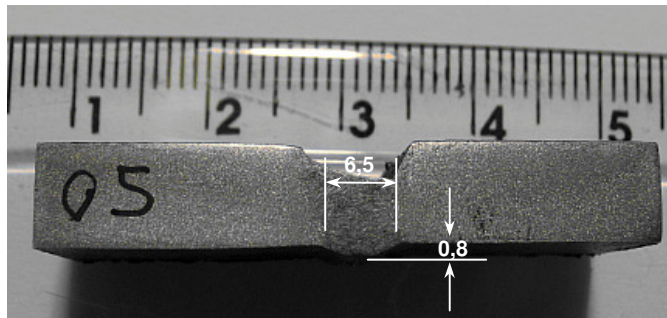


Figura 5.11- Macrografia da junta n.º 05 com dimensões de largura e altura do reforço

### - Junta 8

Utilizada técnica de soldagem com pequena oscilação da tocha em toda extensão da junta. Houve penetração em toda região inspecionada. Não foram detectadas discontinuidades na faixa inspecionada por VS e LP. A figura 5.12a mostra a junta n.º 08 após ensaio de VS e a figura 5.12b após LP.

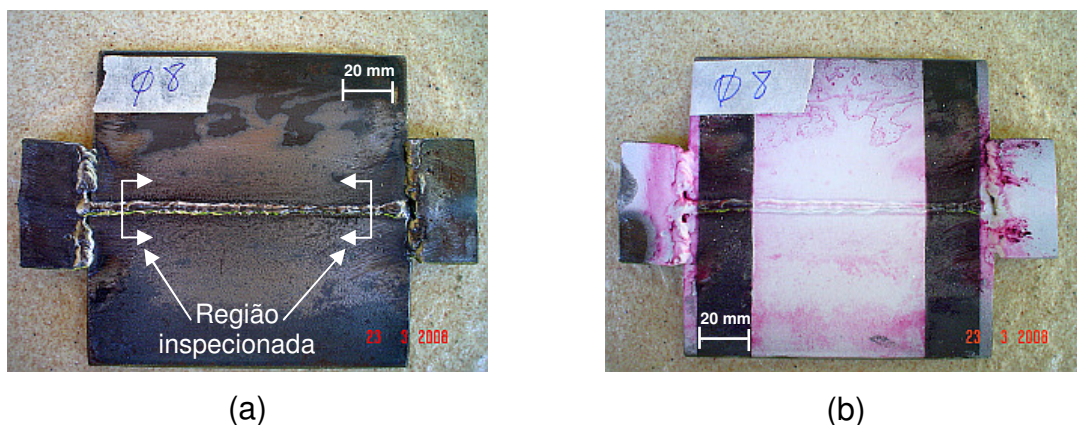


Figura 5.12 – junta soldada n.º 08 após ensaios de VS (a) e LP (b)

A macrografia (figura 5.13) mostrou um aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz. A largura do cordão de solda foi de 5,0 mm. Como a abertura de raiz neste experimento foi de 2 mm, houve cerca de 1,5 mm de penetração no metal de base em cada uma das chapas. O reforço de raiz foi de 0,7 mm.

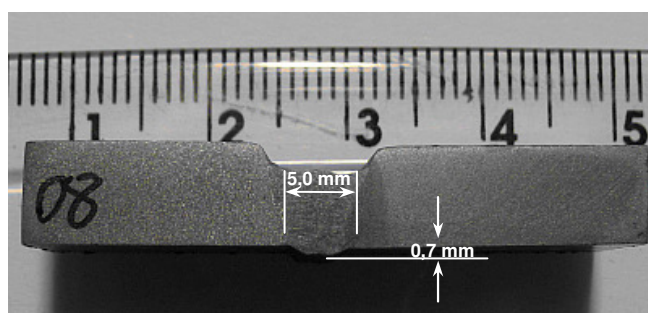
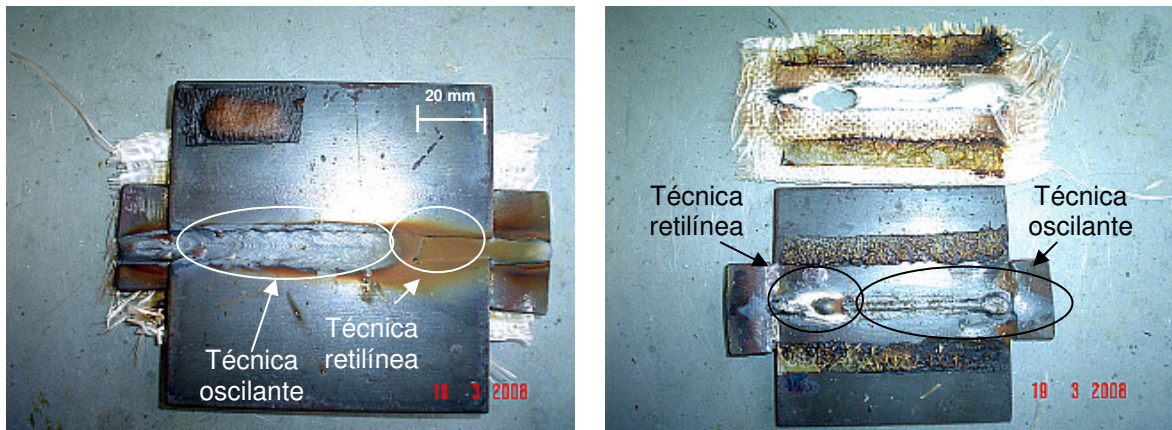


Figura 5.13 - Macrografia da junta n.º 08 com dimensões de largura e altura do reforço

### - Junta 09

Neste experimento o soldador iniciou com a técnica de soldagem retilínea, porém o suporte vazou. Foi então orientado a mudar para a técnica oscilante. Esta mudança de técnica de soldagem é mostrada figura 5.14.



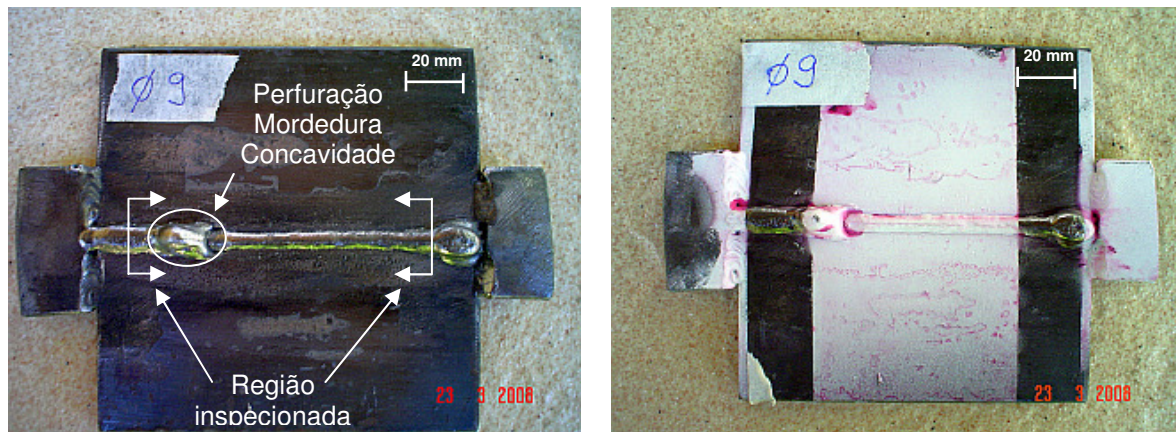


Face superior

Raiz

Figura 5.14 – Mudança de técnica de soldagem na junta n.º 09

Com a técnica oscilante a solda teve penetração regular. O vazamento do suporte provocou as descontinuidades perfuração, mordedura e concavidade. A figura 5.15a e 5.15b mostram a junta n.º 05 após ensaio de VS e LP com as descontinuidades detectadas.



(a)

(b)

Figura 5.15 – Resultado da inspeção VS (a) e LP (b) na junta

A macrografia (figura 5.16) mostrou um aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz. A largura do cordão de solda foi de 5,5 mm. Como a abertura de raiz neste experimento foi de 4 mm, houve cerca de 0,8 mm de penetração no metal de base em cada uma das chapas. O reforço de raiz foi de 2,0 mm.

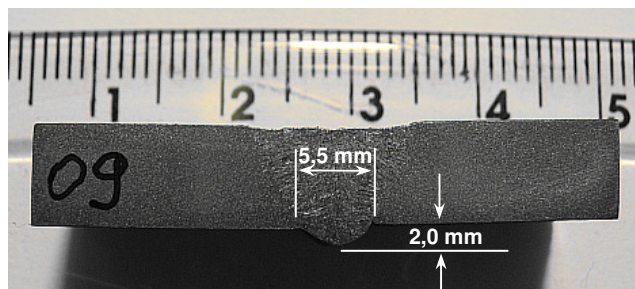


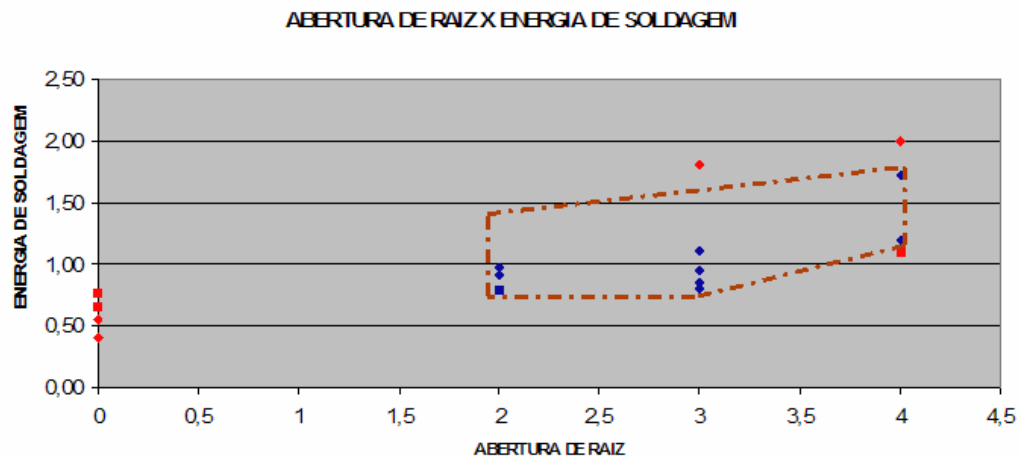
Figura 5.16 - Macrografia da junta n.º 09 com dimensões de largura e altura do reforço

A tabela 5.3 resume os resultados encontrados nos 17 experimentos realizados com o processo GMAW e considerados para estimar o campo operacional. A figura 5.17 mostra o gráfico, elaborado com os dados da tabela 5.3, que indica o campo operacional determinado na análise qualitativa.

Tabela 5.3 – Parâmetros utilizados para análise qualitativa e determinação do campo operacional para soldagem da raiz com suporte de solda à base de fibra de vidro

N.º camadas do tecido de fibra de vidro	Abertura de raiz (mm)	Energia de soldagem (kJ/mm)
4	3,0	1,80
4	3,0	0,95
4	3,0	1,11
4	0,0	0,55
4	2,0	0,79
4	4,0	2,00
4	0,0	0,40
4	2,0	0,98
4	4,0	1,72
8	3,0	0,80
8	3,0	0,85
8	0,0	0,66
8	2,0	0,79
8	4,0	1,19
8	0,0	0,77
8	2,0	0,91
8	4,0	1,10

Suportou o metal de solda líquido  
 Não suportou o metal de solda líquido



Legenda:

- ◆ 4 camadas de tecido de fibra de vidro aprovado
- ◆ 4 camadas de tecido de fibra de vidro reprovado
- 8 camadas de tecido de fibra de vidro aprovado
- 8 camadas de tecido de fibra de vidro reprovado
- ⋈ Campo operacional

Figura 5.17 – Gráfico do campo operacional determinado pela análise qualitativa

Pelo exposto na tabela 5.3 e no gráfico da figura 5.17 foi concluído que:

- Para abertura de raiz igual a 0,0 mm (4 juntas) não houve penetração da solda, portanto, não é adequada para esta técnica de soldagem, devido à restrição construtiva do chanfro.

- Para abertura de raiz de 2,0 mm os dois modelos de suporte suportaram o metal de solda líquido. A energia de soldagem foi relativamente baixa, na faixa de 0,80 a 1,00 kJ/mm em todas as 4 juntas soldadas.

- Para abertura de 3,0 mm também os dois modelos de suporte em 4 juntas soldadas suportaram o metal de solda líquido, com a energia de soldagem na faixa de 0,80 a 1,10 kJ/mm. Em uma junta o suporte de solda não suportou a poça de solda, que se rompeu durante a soldagem. Isto foi atribuído à excessiva energia de soldagem de 1,80 kJ/mm.

- Para abertura de 4,0 mm, das 4 juntas soldadas, duas foram reprovadas, uma com energia de soldagem relativamente baixa e outra relativamente alta, 1,1 e 2,00 kJ/mm respectivamente. Este índice de reprovação mostrou que a utilização de suporte de solda à base de fibra de vidro para esta abertura de raiz é duvidosa.

- Os experimentos que obtiveram sucesso com o suporte com 4 camadas de tecido de fibra de vidro estavam conjugados com uma camada de fibra cerâmica, com espessura total de 2,08 mm;

- A técnica de soldagem com oscilação foi a que obteve o melhor resultado na soldagem. A oscilação direciona a pressão exercida pelo arco durante a transferência do metal de solda para as laterais do chanfro no metal de base, pois a fibra de vidro não é condutora elétrica.

Com o comportamento observado acima, foi possível estimar uma faixa de operação para soldagem, válida para a posição plana, chanfro com ângulo de 60°, processo GMAW, arame ER70S-6 de 0,8 mm de diâmetro, gás de proteção Ar-CO<sub>2</sub> 25%, vazão de 13 a 15 l/min, apresentado na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Faixa operacional de soldagem da raiz para avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro

Abertura de raiz (mm)	2,0 a 3,0
Energia de soldagem (kJ/mm)	Menor que 1,80
Técnica de soldagem	Pequena oscilação
Material do suporte de solda	Tecido de fibra de vidro
N.º de camadas / espessura (mm) do suporte de solda	Maior que 8 / maior que 1,7 mm

Esta faixa operacional mostra semelhança com parâmetros utilizados para a soldagem com o suporte cerâmico convencional (Almeida et. al, 2009). Observa-se ainda que os resultados dos ensaios não-destrutivos, para os experimentos realizados na faixa operacional, não detectaram descontinuidades como inclusões, trincas, poros e mordeduras ao longo do cordão de solda. A macrografia da seção transversal do cordão de solda mostrou penetração nas laterais do chanfro, reforço de solda adequado na raiz e não foram notadas descontinuidades.

### 5.3 Avaliação da junta soldada com o suporte de solda à base de fibra de vidro

Esta etapa teve por objetivo simular uma soldagem semelhante à utilizada na indústria de fabricação por soldagem com os ensaios que normalmente são utilizados para qualificar procedimentos de soldagem.

Com a utilização dos parâmetros do campo operacional determinado anteriormente, mostrado na tabela 5.4, foi executada soldagem em chapa de aço A-36, junta CT-01-FV, cujos parâmetros medidos e calculados durante a soldagem são mostrados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Parâmetros de soldagem medidos durante a execução da solda

Passe	Tensão (V)	Corrente (A)	Corrente média (A)	Tempo de arco aberto (min)	Velocidade (mm / min)	Energia de soldagem (kJ/mm)
01	20 a 22	145 a 152	149	3,00	166,67	1,13
02	20 a 22	139 a 151	142	4,20	119,05	1,50
03	20 a 22	132 a 145	139	3,80	131,58	1,33
04	20 a 22	145 a 154	150	1,83	273,22	0,69
05	20 a 22	139 a 143	141	1,53	326,80	0,54
06	20 a 22	149 a 158	154	1,58	316,46	0,61

Após soldagem, foram realizadas avaliações por meio de ensaio visual de solda, líquido penetrante, macrografia, tração, dobramento, microdureza Vickers, micrografia óptica e Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) das inclusões do cordão de solda, cujos resultados são descritos a seguir.

### 5.3.1 Visual de solda (VS) e líquido penetrante (LP)

Os resultados dos ensaios de VS e LP foram satisfatórios, pois não foram detectadas descontinuidades na junta soldada. Também não foi verificada nenhuma inclusão do material do suporte à base de tecido de fibra de vidro. A figura 5.18 a e b mostra a junta soldada após estes ensaios.

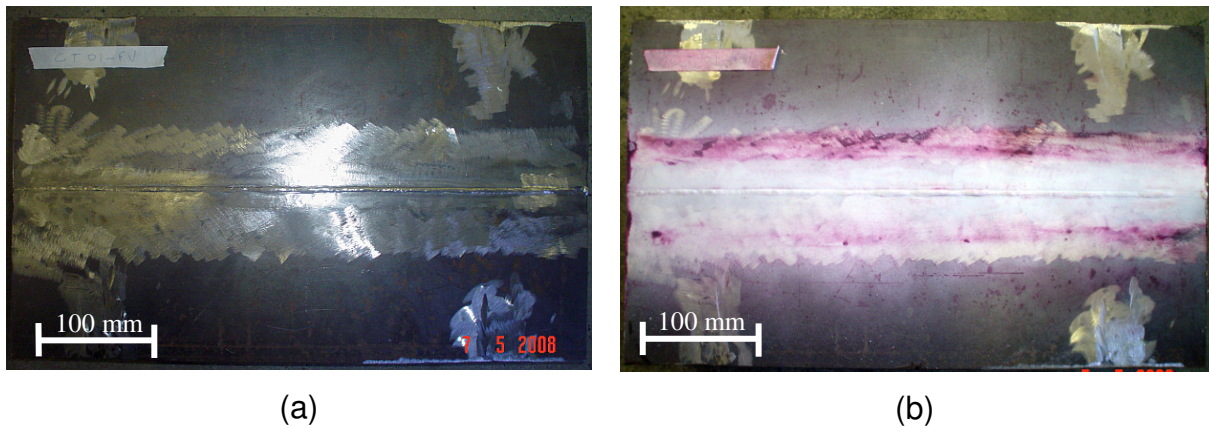
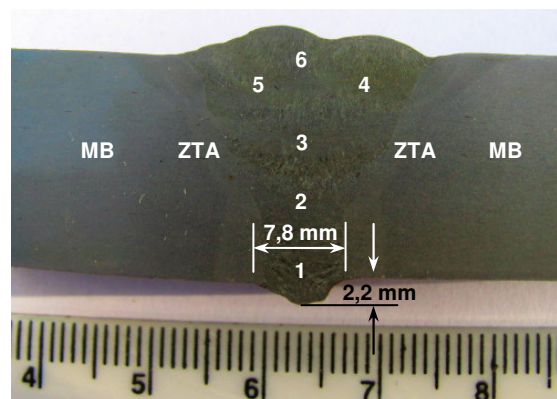


Figura 5.18 – Ensaios de VS (a) e LP (b) na junta soldada CT-01-FV

### 5.3.2 Macrografia

A figura 5.19 mostra a macrografia da seção transversal de uma região central da junta soldada com a sequência de soldagem dos 6 passes de solda, penetração e largura do passe n.º 1 (raiz).



**Legenda:**

**1, 2, 3, 4, 5 e 6 – sequência de passes de solda**

**MB – Metal de Base**

**ZTA – Zona Termicamente Afetada**

Figura 5.19 - Macrografia da junta CT-01-FV com dimensões de largura e altura do reforço

A macrografia mostrou aspecto satisfatório da geometria do passe de raiz com cerca de 2,6 mm de cada chapa fundida na soldagem, reforço de raiz de aproximadamente 2,2 mm e sem descontinuidades.

### 5.3.3 Tração e dobramento

A figura 5.20 mostra os corpos de prova rompidos no metal de base, com aspecto dúctil. A tabela 5.6 mostra os valores de tensão de ruptura medido nos

ensaios e a faixa de resistência mecânica especificada para o metal de base A-36 (ASTM, 2008).



Figura 5.20 – Corpos de prova após a ruptura no ensaio de tração

Tabela 5.6 – Resultados do ensaio de Tração

Corpos de prova	Resistência a Tração (MPa)	Local de ruptura
CP-T1	444	Metal de base
CP-T2	439	Metal de base
<b>Resistência a tração de chapa A-36 (ASTM, 2008) – 400 a 550 Mpa</b>		

Os resultados do ensaio de tração para as duas amostras foram aceitáveis, pois a fratura do tipo dúctil ocorreu no metal de base e os valores de tensão de ruptura ficaram entre os limites especificados no critério de aceitação da norma ASME IX (2004).

No ensaio de dobramento lateral os 4 corpos de prova não apresentaram descontinuidades maiores que 3,0 mm, conforme critério de aceitação da norma ASME IX (2004). A figura 5.21 mostra estes corpos de prova após dobramento.



Corpos de prova após o ensaio de dobramento



### 5.3.4 Microdureza Vickers

Os resultados de dureza Vickers, tanto na parte inferior quanto na superior do corpo de prova, com valor médio de dureza entre 157 e 173 HV no metal base, 150 e 171 HV na ZTA e 154 e 176 HV no metal de solda. A tabela 5.7 mostra os resultados de microdureza Vickers da junta soldada.

Tabela 5.7 – Valores da microdureza HV da junta soldada

Região	Pontos	Microdureza Vickers (kgf/mm <sup>2</sup> )	Pontos	Microdureza Vickers (kgf/mm <sup>2</sup> )	Média de Microdureza (kgf/mm <sup>2</sup> )
Metal Base (superior)	1	135	16	186	157
	2	150	17	135	
	3	166	18	169	
Metal Base (Inferior)	1	175	16	188	173
	2	173	17	146	
	3	169	18	187	
ZTA (Superior)	4	150	13	185	171
	5	171	14	162	
	6	184	15	171	
ZTA (Inferior)	4	150	13	135	150
	5	178	14	155	
	6	131	15	153	
ZF (Superior)	7	151	10	188	176
	8	187	11	190	
	9	175	12	165	
ZF (Inferior)	7	143	10	162	154
	8	146	11	146	
	9	136	12	189	

De acordo com a tabela 5.7 os valores médios de dureza do metal base A-36 superior (158 HV) e inferior (174 HV) são próximos. A ZTA e a zona fundida também apresentaram média de valores de dureza nesta mesma faixa, tanto na parte inferior como na superior da chapa.

Os resultados de microdureza Vickers evidenciam ausência de pontos duros na junta soldada com a utilização do suporte à base de fibra de vidro, e demonstra que o ciclo térmico da soldagem não produziu um endurecimento significativo nesta região. Os valores de microdureza são compatíveis ao aço ferrítico A-36 quanto ao metal de adição produzido com o arame ER70S-6 utilizado na soldagem Mig-Mag. Estes resultados são similares aos encontrados em trabalhos de Almeida et al. (2009a; 2009b), onde a soldagem unilateral foi executada com as mesmas variáveis

(processo de soldagem, metal de base, metal de adição, etc.), porém com suporte de solda cerâmico.

### 5.3.5 Microscopia Ótica

A figura 5.22 a e b mostra a microestrutura do passe de raiz e do passe de acabamento soldado com suporte à base de tecido de fibra de vidro.

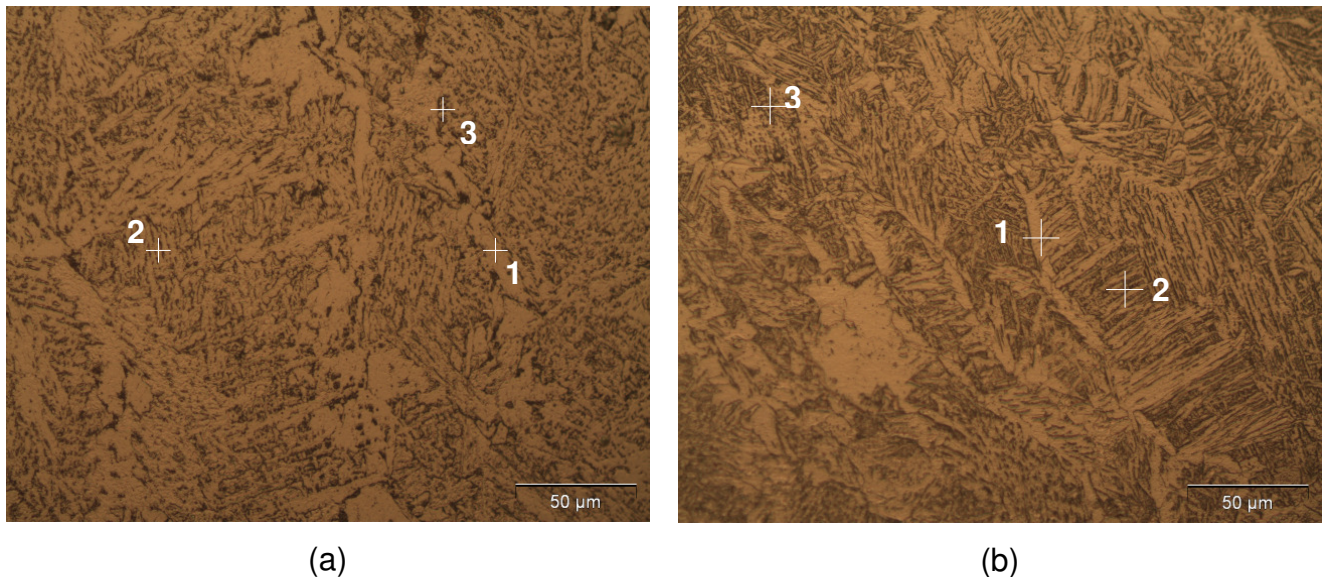


Figura 5.22 - Micrografia da seção transversal da junta soldada com aumento de 500X (a) Raiz da junta soldada (b) Acabamento da junta soldada. 1- PF(G), 2- FS(A) e 3- AF

Em ambas as regiões no metal de solda foi observado uma quantidade significativa de ferrita de contorno de grão (PF(G)) e de ferrita com segunda fase alinhada (FS(A)). A ferrita acicular (AF) aparece em quantidade bem menor quando comparado com os micro-constituintes citados anteriormente. Não foi observada evidência da presença de martensita (M) e de agregado ferrita-carbeto (FC). Nas duas regiões as estruturas são semelhantes e típicas de metal de solda de aços ferríticos (Perdigão, 1987; Dolby, 1986; Fonseca et al., 1992; Silva et al., 2003; Araújo et al., 2006). A microestrutura obtida está coerente com os resultados de dureza mostrados na tabela 5.7 e de acordo com experimentos citados em trabalho de Irikura et. al (2006) cuja microdureza Vickers (HV) no metal de solda variou de 153 a 197 HV.

### 5.3.6 Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) das inclusões do cordão de solda

Foram observadas inclusões globulares no metal de solda, com tamanhos variados, no passe de raiz e no passe de acabamento.

As figuras 5.23 e 5.24 mostram microfotografias, com aumento de 500X, executadas por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) das inclusões não metálicas na raiz e no acabamento da junta soldada, bem como a localização das inclusões onde foram realizadas micro-análises EDS.

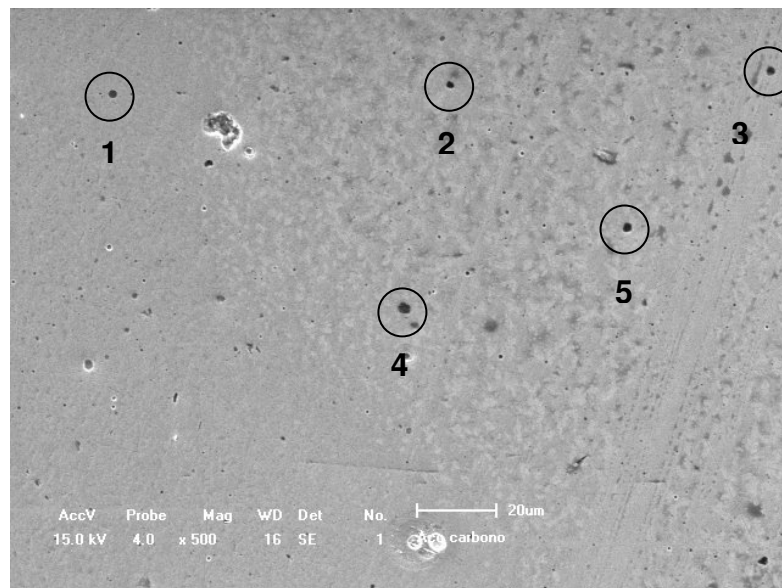


Figura 5.23 – Imagem do MEV sem ataque químico com aumento de 500X - raiz

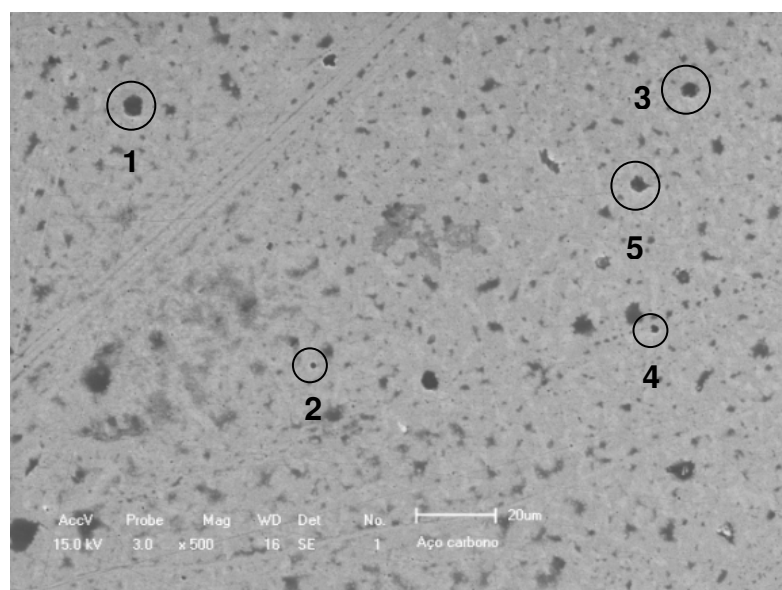


Figura 5.24 – Imagem do MEV sem ataque químico com aumento de 500X - acabamento

### 5.3.6.1 EDS das inclusões da raiz e do acabamento da junta soldada

Os resultados do MEV em % de peso dos elementos detectados nas inclusões não metálicas da raiz e do acabamento são mostrados na tabela 5.8 e a figura 5.25a 5.25b mostra os gráficos típicos destas análises.

Tabela 5.8 - Resultado do EDS em 5 de peso dos elementos detectados nas inclusões não metálicas da raiz e do acabamento da junta soldada					
<b>Raiz</b>					
Inclusões (Figura 5.23)	Elementos				
	C	O	Al	Si	Fe
1	10,821	45,421	16,721	-	27,037
2	13,341	26,933	11,939	1,372	40,447
3	6,682	40,998	4,262	12,014	17,152
4	12,044	22,809	6,215	2,344	54,220
5	12,550	37,166	15,299	2,383	30,611
<b>Acabamento</b>					
Inclusões (Figura 5.24)	Elementos				
	C	O	Al	Si	Fe
1	7,711	38,124	6,913	9,125	35,924
2	11,474	33,671	11,215	5,194	35,666
3	10,948	34,460	14,337	2,318	36,401
4	9,681	39,986	15,134	3,664	28,517
5	6,661	44,344	20,905	2,819	23,861

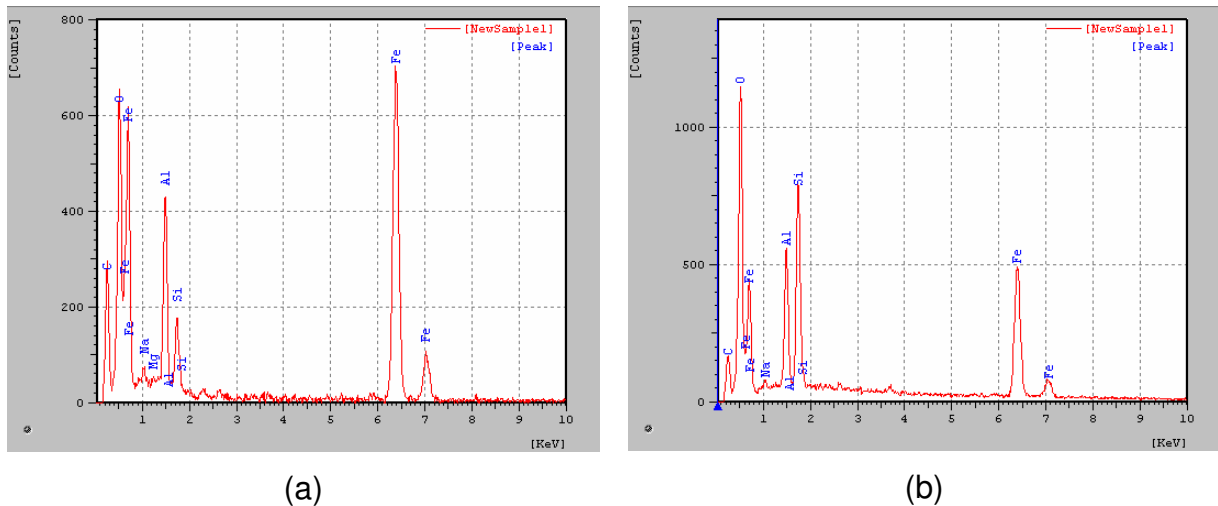


Figura 5.25 - EDS típico das inclusões da raiz (a) e do acabamento (b) da junta soldada

As composições médias mais significativas, em porcentagem peso, nas cinco inclusões da raiz analisadas são de 37,166% de Oxigênio, 30,611% de Ferro, 12,044% de Carbono, 11,939% de Alumínio, 2,364% de Silício. Para o acabamento as composições médias mais significativas são de 38,124% de Oxigênio, 35,666% de Ferro, 14,337% de Alumínio, 9,681% de Carbono, 3,664% de Silício. As micro-análises EDS realizadas mostraram que a composição média das inclusões do passe de raiz e do ultimo passe de solda apresentam porcentagem peso próximas.

Estes resultados indicam que a complexidade da natureza química das inclusões verificadas está em conformidade com os relatos da literatura (Abson, 1989; Byun et al, 2003). Os elementos encontrados na composição da inclusão dos passes de raiz e acabamento não são relacionados com a constituição do tecido de fibra de vidro, e sim porque durante a solidificação do metal fundido, o oxigênio em excesso é rejeitado da solução e associa-se com os elementos manganês, silício, alumínio, etc. presentes no metal de base e no metal de solda em forma de inclusões. Abson (1989) cita ainda que a quantidade de inclusões é afetada essencialmente pela composição química, particularmente do oxigênio em solução no metal fundido.

O silício tem percentual baixo e disperso (1,372 a 12,014%), que foi atribuído à presença deste elemento químico na poça de fusão, proveniente do metal de adição que age como desoxidante. Quando a concentração de oxigênio é alta e a de silício é baixa na poça de solda o composto  $\text{FeO-SiO}_2$  pode ser formado (Liu, 1987). O comportamento do alumínio também é atribuído o mesmo motivo (Musardo et

al.,2005). Pode-se então concluir que não houve contaminação do material do suporte à base de tecido de fibra de vidro no passe de raiz da junta soldada.

Os resultados desta etapa mostraram concordância com os resultados das micro-análises EDS do trabalho de Almeida (2009) onde foi utilizado suporte cerâmico para soldagem unilateral.

#### 5.4 Avaliação do custo da soldagem

Nesta etapa final da pesquisa foi feita uma análise de custo da mão de obra. As equações 1, 2, 3 do item 4.2.4 foram utilizadas no cálculo. Abaixo as abreviaturas dos termos das equações utilizadas no cálculo:

Tempo de arco aberto – TAA (h)

Fator de operação – FO (%) = 32%

Tempo total de soldagem – TTS (h/m)

Valor da mão de obra – VMO (US\$/h) = US\$ 30,00

Custo da mão de Obra – CMO (US\$/h)

Redução de Custo – RC (%)

Para a análise do custo da soldagem com suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro, o tempo de arco aberto (TAA) foi calculado pelo somatório dos tempos de cada passe executados na etapa anterior (tabela 5.5).

$$\text{TAA (min)} = 3,0 + 4,2 + 3,8 + 1,83 + 1,53 + 1,58 = 15,94 \text{ min}$$

$$\text{TAA (min para 1,0 m)} = 31,80 \text{ min}$$

$$\text{TAA (h)} = 31,80 / 60 = 0,53 \text{ h}$$

Pela equação 2 foi calculado o TTS:

$$\text{TTS (h / m)} = 0,53 / 32\% = 1,7$$

Pela equação 1 foi calculado o CMO:

$$\text{CMO (US$ / m)} = 1,7 \times 30,00 = \text{US\$ } 51,00 / \text{ m}$$

Para soldagem convencional com remoção da raiz e posterior soldagem da mesma o TAA foi considerado 10 min para remoção da raiz e 6 min para soldagem da mesma, em um total de 16 min (0,27 h)

$$\text{TAA (h)} = 0,53 \text{ h} + 0,27 \text{ h} = 0,80 \text{ h}$$

Pela equação 2 foi calculado o TTS:

$$\text{TTS (h / m)} = 0,80 / 32\% = 2,50 \text{ h / m}$$

Pela equação 1 foi calculado o CMO:

$$\text{CMO (US\$ / m)} = 2,50 \times 30,00 = \text{US\$ } 75,00 / \text{m}$$

A RC pelo TAA, de acordo com a equação 3, é:

$$\text{RC (\%)} = [(75,00 - 51,00) / 75,00] \times 100 = 32 \%$$

O resumo do cálculo da redução do custo da mão de obra é mostrado na tabela 5.9 abaixo.

Tabela 5.9 – Redução de custo analisado pela fórmula Fator de Operação (FO em %) = Tempo de arco aberto (TAA em s) / Tempo total de soldagem (TTS em s).

Dados para cálculo	Com suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro	Sem suporte de solda
TEMPO DE ARCO ABERTO (h/m)	0,53	0,8
FATOR DE OPERAÇÃO (%)	32%	32%
TEMPO TOTAL DE SOLDAGEM (h/m)	1,7	2,5
CMO (US\$/ m)	51,00	75,00
<b>RC da MO (%)</b>	<b>32%</b>	
Obs: Tempo de soldagem da junta sem suporte acrescido 10 min de goivagem mais 6 min para soldagem posterior (por metro soldado).		

Estes resultados indicaram uma redução considerável do custo da soldagem, calculado pelo custo da mão de obra, quando utilizado suporte cerâmico à base de tecido de fibra de vidro.

De acordo com Junior (2009) para soldagem com suporte cerâmico em espessura de 16,0 mm a redução do custo total e aumento da produtividade em

relação a soldagem convencional (remoção da raiz e soldagem do contra passe) é em torno de 16% e 45% respectivamente. Isto evidencia que o suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro se comportou de maneira eficiente em relação à redução de custo.



## **6 CONCLUSÕES**

O estudo realizado neste trabalho, sobre o desenvolvimento de suporte de solda à base de tecido de fibra de vidro, pode-se concluir que:

Materiais à base de fibra de vidro e cerâmica se mostraram eficientes para suportar a poça de fusão. Não houve formação de gases durante a soldagem e proporcionou um cordão de solda com acabamento adequado, isento de descontinuidades.

O modo de fixação do suporte de solda na junta soldada com tecido de fibra de vidro provou ser efetivo como alternativa a fita adesiva de alumínio utilizado em suportes cerâmico.

Foi possível estimar uma faixa de operação para soldagem com os testes realizados que demonstrou a eficiência do suporte de tecido à base de fibra de vidro: abertura de raiz de 2,0 a 3,0 mm, energia de soldagem menor que 1,8 kJ/mm, técnica de soldagem com pequena oscilação, material do suporte de solda de tecido de fibra de vidro com mais de 8 camadas (espessura maior 1,7 mm).

A macrografia da seção transversal, em todas as juntas soldadas aprovadas, indicou que houve penetração nas laterais do chanfro, reforço de solda adequado na raiz e não foram notadas descontinuidades.

A microestrutura é semelhante na raiz e no acabamento da junta soldada e típica de metal de solda de aços ferríticos.

Não foi observada contaminação da fibra de vidro tanto por adesão à superfície do cordão de solda como nas inclusões não metálicas.

Os resultados adequados de resistência à tração, dobramento e microdureza mostraram a eficiência do suporte à base de tecido de fibra de vidro para aplicações na indústria de fabricação por soldagem.

A redução do custo da operação de soldagem unilateral o suporte à base de tecido de fibra de vidro em relação à soldagem convencional foi calculada em 33,60 %.

## **7 SUGESTÕES**

Sugestões para trabalhos futuros:

Desenvolvimento de técnica de fixação do suporte a base de fibra de vidro na peça a ser soldada.

Estudo de suporte a base de fibra de vidro e fibra cerâmica com seção transversal circular para utilização em juntas de topo, chanfro em X.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M do Brasil. 2004. Fita 5369 - Dupla Face de Espuma Acrílica – Dados técnicos. <http://www.ketzin.com.br/DocProd/29042008025108.pdf> em 03/07/2008.

Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2004. Ensaio Visual e Dimensional de Soldas - Procedimento de END- PR-050 Rev. 1. São Paulo, SP. ABENDE. 8 p.

Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos, 2006. Líquido Penetrante - Procedimento de END - PR-001 Rev. 3. São Paulo, SP. ABENDE. 7 p.

Abson, D. J., 1989, *Non-metallic inclusions in ferritic steel weld metals – a review*. *Welding in the World*, v. 27, n. 3/4, pp. 76-101.

Akerman, M. Apostila Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro. CETEV - CENTRO TECNOLÓGICO DE ELABORAÇÃO DO VIDRO - SAINT-GOBAIN VIDROS BRASIL, 2000. 37 p.

Almeida, L.L.P. (2009). Desenvolvimento de Suporte Cerâmico para Aplicação em Soldas Unilaterais com Elevada Produtividade. Tese (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 127p.

Almeida, L.L.P., Tatagiba, L.C.S., Rocha, J.P., Bastos, L.R., Ribeiro, P.C., Paranhos, R.P.R. (2009). Avaliação da Junta Soldada com Suporte Cerâmico a Base do Mineral Refratário Cordierita. CD-ROM dos Anais do 5<sup>o</sup> COBEF- Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Seleção de Soldagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Almeida, S.P.S. (2004). Avaliação das Propriedades Mecânicas de Compósitos Pultrudados de Matriz Polimérica com Reforço de Fibra de Vidro. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 101p.

American Society For Testing And Materials (1998) Specification For Carbon Steel Electrodes And Rods For Gas Shielded Arc Welding, ASTM A5.18.

American Society For Testing And Materials. (1998) Specification For Carbon Steel Electrodes For Flux Cored Arc Welding, ASTM A5.20.

Andrade, S. T. (2007). Mapeamento do Processo Mecanizado de Soldagem Unilateral FCAW com Backing Cerâmico Aplicável no Passe de Raiz em Aço Carbono. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Belo Horizonte – MG, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 103p.

Araújo M. R. V.; Asselli, A. A. C.; Yamakami, W. J.; Tokimatsu, R. C.; Ventrella, V. A.; Gallego, J. (2006). Estudo das Inclusões Não-metálicas Formadas no Metal de Solda Depositado por Arco Submerso. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 5318 a 5329, Anais.

Araujo, E. B. Vidro: uma breve história, técnicas de caracterização e aplicações na tecnologia. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 325-329, Set.1997.

ASM Handbook. (1993). Volume 6 - Welding, Brazing, and Soldering. ASM International. United States of America.

ASM International. Engineered Materials Handbook - Volume 4 - Ceramics and Glasses (1991). United States of America.

The American Society of Mechanical Engineers - Boiler & Pressure Vessel Code, (2004) - Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators: ASME IX. New York, USA.

American Society For Testing And Materials A36 / A36M . (2008). Standard Specification for Carbon Structural Steel. Copyright @ASTM International. United States of America.

Bingul, Z.; Cook G. E., 2006, *A real time prediction model of electrode extension for GMAW*, IEEE/ASME Transactions On Mechatronics, vol. 11, n. 1, february.

Bracarense, A. Q. Apostila Processo de Soldagem por Arame Tubular - FCAW. Belo Horizonte, 2000- Universidade federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. 16 p.

Brito, J. D. e Paranhos, R. (2005). Como Determinar o Custo da Soldagem. Campos dos Goytacazes, RJ. Ronaldo Paranhos. 74 p.

Byun, J.-S.; Shim, J.-H.; Cho, Y. M. and Lee, D. N., 2003, *Non-metallic inclusion and intragranular nucleation of ferrite in Ti-killed C-Mn steel*. Acta Materialia, v. 51, pp. 1593-1606.

Callister JR., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Rio de Janeiro, 2002. LTC Editora. 589 p. CHAWLA, K. K. Ceramic Matrix Composites. London, 1993. Chapman & Hall. 415 p.

Cantrell, R. E. (1982). *Ceramic weld backing evaluation*, Welding Journal, vol. 61 pp.27-34.

Cary, H.B., 1998, *Modern welding technology*, 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 780p.

Chawla, K. K. Composite Materials - Science and Engineering, Second Edition. New York, 1998. Springer. 483 p.

Dolby,R.E.,1986, *Guidelines For Classification Of Ferritic Steel Weld Metal Microstructural Constituents Using The Light Microscope*, Welding In The World, Vol. 24, No 7/8, Pp. 144-148.

Esab. (2004). Apostila Soldagem MIG-MAG. <http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/Apostilas.cfm> 15/08/2004 página mantida pela Esab.

Fonseca, A.S.M., Almeida,A.L.S., Rios,P.R., 1992, *Análise Comparativa Ponto A Ponto Da Quantificação Da Microestrutura Do Metal De Solda Segundo O Método Do Iiw*, In: Encontro Nacional De Tecnologia Da Soldagem, 18, P. 513 – 522, Anais.

Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem (1998) - Inspetor de Soldagem. Volume 1, Fascículo 1, 3º Edição, 463 p.

Gallego, J.; Araújo M. R. V.; Ventrella, V. A.; Tokimatsu, R. C.; Yamakami, W. J. (2009). Efeito da Energia de Soldagem Sobre a Geometria e a Microestrutura do Metal de Solda Depositado por Arco Submerso. CD-ROM dos Anais do 5º COBEF- Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Seleção de Soldagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Gullco Internacional. Catálogo de produtos. KATBAK Ceramic Weld Backing, [http://www.gullco.com/index\\_files/Page593.htm](http://www.gullco.com/index_files/Page593.htm) em 23/04/2007 página mantida pela Gullco Internacional.

Gupta, P. K. Non-Crystalline Solids: Glasses and Amorphous solids. *Journal of Non-Crystalline Solids*, Amsterdam, v.195, n.1-2, p. 158-164, Fev. de 1996.

Infosolda. (2006). Processo de Soldagem por Arame Tubular (2). Engº Roberto Joaquim; <http://www.infosolda.com.br/downloads.asp?arvoreID=33&ConteudoDescID=1> em 21/06/2006 página mantida pela Infosolda.

Irikura S. I.; Hirayama, R.; Tokimatsu, R. C.; Ventrella, V. A.; Gallego, J.; Yamakami, W. J (2006). Análise Microestrutural de uma Junta Soldada - Microdureza e Fração Volumétrica. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 5036 a 5047, Anais.

Junior, R. C. (2009). *Soldagem com Backings Cerâmicos*. Solução, Minas Gerais, n.º 11, p 55-62.

Kin, Y. S.; Eagar, T. W., 1993, *Analysis of Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding*, Welding Research Supplement, p. 269-278.

Lesnewich, A., 1958, *Control of melting rate and metal transfer*, parts I & II. Welding Journal, p. 343-353s e 418-425.

Liu, S.; Olson, D. L., 1987, *The Influence of Inclusion Chemical Composition on Weld Metal Microstructure*. J. Materials Engineering, Vol. 9, No. 3, pp. 237-251.

Machado, I. G. (1996). Soldagem e Técnicas Conexas: processos. Porto Alegre. Editado pelo autor. 477 p.

Malin, V. (2001). Root Weld Formation in Modified Refractory Flux One-Sided Welding: part 1 – Effect of Welding Variables, Welding journal, vol. 80 pp. 217s-226s, e part 2 – Effect of Joint Geometry, Welding journal, vol. 80 pp. 227s-237s, September.

Marques, P. V. (1991 - 18 Reimpressão - 2002). Tecnologia da Soldagem. Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni - FCO. 352 p.

Marques, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A. Q (2005). Soldagem - Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte. Editora UFMG.

Matlakhov, A. N., 2007. Caracterização dos Materiais I. Apostila. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – LAMAV/CCT/UENF/2007. 90 p.

Modelglass. O que é a Fibra de Vidro e suas aplicações. <http://www.modelglass.net/fibradevidro.htm> em 15/05/2009 página mantida pela MOLDEGLASS.

Muir, J. (1985), *Single side panel welding with ceramic tile backing*, Metal Construction, p.651-653, October



Musardo, G.B, Araújo, M.R.V, Yamakami, W.J.,Ventrella, V.A., Gallego, J. (2005), Recuperação de turbinas hidráulicas cavitadas por deposição de revestimentos à base de cobalto – aspectos microestruturais. 60º Congresso da ABM. Belo Horizonte – MG.

Ngo, M. D.; Duy, V. H.; Phuong N. T.; Kim, H. K.; Kim, S. B., 2007, *Development of digital gas metal arc welding system*, Journal of Materials Processing Technology, p. 384-391.

Paranhos, R. P. R. e Souza, A. C (1999). Soldagem a Arco Submerso – Coleção Soldagem 2000. Rio de Janeiro. FIRJAN 1 SENAI, 87 p.

Praveen, P.; Yarlagadda P. K. D. V.; Kang, M. J., 2005, *Advancements in pulse gas metal arc welding*, Journal of Materials Processing Technology, p. 164–165.

Perdigão, S. C. Instrução para Classificação dos Constituintes Microestruturais do Metal de Solda dos Aços Ferríticos, Utilizando-se Microscopia Ótica. ABS- Associação Brasileira de Soldagem, 1987.

Santana, I. J., Modenesi, P.J., (2009). Modelagem Matemática do processo de Soldagem GMAW – Modelo Estático. CD-ROM dos Anais do 5.º COBEF-Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Seleção de Soldagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Silva, A. F.; Delforge, D. Y. M.; Tokimatsu, R. C.; Ventrella, V. A, 2003. Análise Microestrutural do Metal de Solda de Perfis Soldados de Um Lado Só Utilizados na Construção Civil; <http://www.dem.feis.unesp.br/maprotec/publicacoes.shtml> em 15/05/2009 página mantida pela UNESP.

Silva, A. F.; Delforge, D. Y. M.; Tokimatsu, R. C.; Ventrella, V. A, 2003. Análise Microestrutural do Metal de Solda de Perfis Soldados de Um Lado Só Utilizados na Construção Civil; <http://www.dem.feis.unesp.br/maprotec/publicacoes.shtml> em 15/05/2009 página mantida pela UNESP.

Starling, C. M D., Modenesi, P.J., Borba, T. M. D., (2009). Estudo Comparativo do Desempenho operacional e das características do cordão na Soldagem com Diferentes Arames Tubulares em Polaridade Negativa. CD-ROM dos Anais do 5.º COBEF-Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – Seleção de Soldagem, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Tatagiba, L.C.S., Almeida, L.L.P., Rocha, J.P., Bastos, L.R., Ribeiro, P.C., Paranhos, R.P.R. (2008). Avaliação de Formulações para Suporte de Solda à base de Materiais Cerâmicos. Anual do 63º Congresso da ABM. Santos - SP.TecArt, 3417-3425p.

Teral, K, Arikawa, M. Recent Developments in One Side Automatic Welding. The Sanpo, INC. Japan, 1969. 161 p.

Texiglass. (2004). Fixa técnica de fio. São Paulo. Texiglass Indústria e Comércio Têxtil. 1 p.

Texiglass. (2004). Fixa técnica de tecidos. São Paulo. Maxepoxi Industrial e Comercial Ltda.; em [http://www.maxepoxi.com.br/tecnica\\_tecidos.asp](http://www.maxepoxi.com.br/tecnica_tecidos.asp) em 03/06/2007 página mantida pela TEXIGLASS.

The James F. Lincoln Arc Welding Foundation (2000). The Procedure Handbook of Arc Welding, Fourteenth Edition. THERMAL CERAMICS. Catálogo de CORDA KAOWOOL 980@. Morganite Brasil Ltda. Rio de Janeiro, 1997. 2 p.

Thermal Ceramics. Catálogo de PAPEL KAOWOOL@700E. Morganite Brasil Ltda. Rio de Janeiro, 2000. 2 p.

Wainer, E.; Brandi, S. D. E Mello, F. D. H (1992). Soldagem - Processos e Metalurgia. São Paulo. Editora Edgard Blücher LTDA.

Wang, F.; How, W. K.; Hu, S.J.; Kannatey-Asibu, E.; Schultz, W.W.; Wang, P. C. 2003, "Modeling and analysis of metal transfer in gas metal arc welding", Journal of Physics D: Applied Physics. April.

Welding Handbook, v.2, 8a ed., American Welding Society, Miami, 1991. Cap.5 - Flux cored arc welding, p. 158-190.

Xiangshan Welding Backing Factory. Catálogo de produtos. Welding Backing Factory; <<http://www.chinabacking.com/en/products.php>> em 23/04/2007 página mantida por Xiangshan Welding Backing Factory.