

**Gustavo Pereira Volponi**

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA TENSÃO SOBRE  
JUNTAS DE 89,00 MM DE ESPESSURA  
SOLDADAS PELO PROCESSO DE  
ELETROESCÓRIA**

Monografia apresentada ao Programa de  
Educação Continuada em Engenharia da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

Fevereiro/2012

**Gustavo Pereira Volponi**

Tecnólogo em Soldagem Faculdade de Tecnologia de São Paulo

2012

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA TENSÃO SOBRE  
JUNTAS DE 89,00 MM DE ESPESSURA  
SOLDADAS PELO PROCESSO DE  
ELETROESCÓRIA**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração:  
Engenharia da Soldagem

Orientador:  
Professor Doutor Sérgio Brandi

São Paulo

Fevereiro/2012

*"Não sei onde estou indo, mas sei que estou em meu caminho,  
enquanto você me critica eu estou no meu caminho, eu sou o que  
sou pois eu vivo da minha maneira, só sei que eu sinto que fui  
sempre assim a minha vida inteira, e enquanto você me critica eu  
estou no meu caminho, você fica parado esperando respostas e  
olhando para o espaço eu tão ocupado vivendo eu nem me  
pergunto eu faço..."*

*Raul Seixas.*

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a minha esposa Ana Paula que sempre me esteve ao meu lado e me incentivou e também em memória de meu Pai Antonio que deu sua vida para me educar.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a empresa Voith Hydro a seus gestores fabris Gert Roetter, Denis Loureiro e Alexandre Bueno que propiciaram a viabilidade do estudo realizado.

Agradeço aos operadores do equipamento de soldagem por eletroescórias senhores Mouraci José Siqueira Gallerdo e Carlos Alberto Vieira pela dedicação e empenho durante a execução dos corpos de prova.

Agradeço ao Edmilson Santos Junior técnico em Ensaios não destrutivos que tanto colaborou no estudo realizado pela técnica de ultrassom.

Agradeço aos técnicos metalurgistas Flávio Vanderlei Gonçalves da Silva Supervisor do Laboratório de Ensaios Mecânicos e Metalográficos Paulo Cesar de Carvalho ensaísta e a toda equipe do laboratório de ensaios mecânicos da Voith Hydro pelo empenho e suporte técnico na realização dos ensaios mecânicos e metalográficos.

Finalmente agradeço ao meu Professor orientador Doutor Sérgio Duarte Brandi que tanto colaborou ajudando a nortear os estudos realizados neste trabalho.

## **CURRICULUM VITAE**

Gustavo Pereira Volponi, 32 anos, casado, Tecnólogo em Soldagem formado pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC), atua no mercado desde 2004 na área de ensaios não destrutivos englobando as técnicas de Inspeção visual e dimensional de soldas e fundidos, ensaio por Líquidos penetrantes, ensaio por Partículas magnéticas, e finalmente ensaio por Ultrassom.

Atua na empresa Voith Hydro desde 2008 na área de inspeção de qualidade em soldas e componentes fundidos, forjados, caldeirados, usinados e no equipamento como um todo, especializado em componentes da área de hidrogeração, atua tanto na fabricação de componentes, como em inspeções em fornecedores e clientes.

## **RESUMO**

Em função da nova demanda de investimentos em grandes obras no Brasil o processo de soldagem por eletroescórias torna-se uma interessante alternativa na soldagem de juntas de grande espessura em função de sua grande produtividade e baixo índice de defeitos aliados a grande facilidade operacional. Este trabalho tem por objetivo evidenciar a influência da tensão sobre a junta soldada, no que tange as propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta. Para isso foi executada a soldagem de três juntas em aço de baixo teor de carbono denominado EN-10025-2-04-S235-J0-N com 89 milímetros de espessura e foi adotada a tensão base de 40 volts tendo sido variada em 20% para mais e para menos após a soldagem foram executados ensaios mecânicos de tração, dobramento guiado e impacto todos os ensaios foram executados a temperatura ambiente, foi executada a medição da atenuação sônica, metalografia, medição de tamanhos de grãos e fator de forma.

Os resultados obtidos demonstram que a variação da tensão tem forte influência na largura e altura da poça de fusão, resistência ao impacto, atenuação sônica e crescimento de grãos em contrapartida tem pouca relevância no fator de forma e resistência a tração e escoamento.

## **ABSTRACT**

Depending on the demand for new investment in major projects in Brazil, the welding process electroslag becomes an interesting alternative in the welding together of very thick due to its high productivity and low defect rate combined with high operational ease. This paper aims to demonstrate the influence of stress on the welded joint, regarding the mechanical and metallurgical properties of the joint. To this was carried out the welding together of three steel of low carbon called EN-10025-2-04-S235 J0-N 89mm thick and was adopted base voltage of 40 volts was varied by 20% plus or less after welding tests were carried tensile, bending and impact driven all at room temperature, was performed by measuring the attenuation sonic metallography, measuring grain size and form factor. The results show that the voltage variation has a strong influence on the width of the weld pool, impact resistance, ultrasonic attenuation and grain growth in turn has little relevance in the form factor and tensile strength and yield.

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Erro! Indicador não definido.</b> Figura 2.2 Exemplo de tracionadores de arame utilizados para soldagem por eletroescórias (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).	12
Figura 2.3 Exemplo de tubos guia não consumível (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	16
Figura 2.4 Exemplo da conexão entre tubo guia não consumível (acima) e tubo guia consumível (abaixo) (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	17
Figura 2.5 Conectores para acoplamento dos tubos guia não consumível aos tubos guia consumíveis (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	18
Figura 2.6 Vista superior dos conectores (ver Figura 2.5) (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	18
Figura 2.7 Posicionamento dos anéis isolantes nos tubos guia consumível (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	19
Figura 2.8 Fixação dos anéis de isolamento através de pontos de solda e travamento dos tubos. (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	20
Figura 2.9 Exemplo de preparação de junta para soldagem por eletro escórias. (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	20
Figura 2.10 Exemplo de painel de controle remoto (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	21
Figura 2.11 Exemplo de sapata de contenção utilizada para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	26
Figura 2.12 Exemplo do posicionamento da sapata de contenção para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).26	
Figura 2.13 Exemplo do posicionamento da sapata de contenção para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).27	
Figura 2.14 Exemplo de sapatas de contenção lateral utilizadas durante a progressão da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	27
Figura 2.15 Exemplo de sapatas de contenção lateral conectadas a refrigeração posicionadas por travas e cunhas (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo). ....	28

Figura 2.16 Fator de forma menor que 1 (a) e fator de forma maior que 1 (b). (Fonte AWS) .....	32
Figura 2.17 Relação entre a profundidade do banho de escória e a velocidade de alimentação do eletrodo,paradiferentes valores da relação espessura poça/eletrodo (Soldagem, E. Wainer e outros). .....	39
Figura 2.18 Relação entre a largura total da junta e a velocidade de alimentação do eletrodo para valores da relação espessura da poça/eletrodo (Solagem E.Wainer e outros). .....	39
Figura 4.1 Esquema de montagem e soldagem das juntas. .....	51
Figura 5.1 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se tensão de 32 V. .....	52
Figura 5.2 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se tensão de 40 V. .....	53
Figura 5.3 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se tensão de 48 V. .....	53
Figura 5.4 Comparação entre ostrês ciclos térmicos do termopar 1 e com tensões diferentes.....	55
Figura 5.5 Comparação entre os três ciclos térmicos do termopar 2 e com tensões diferentes. ....	55
Figura 5.6 Comparação entre os três ciclos térmicos do termopar 3 e com tensões diferentes. ....	56
Figura 5.7 Mapeamento dos pontos colhidos para medição da atenuação sônica. .....	58
Figura 5.8 Atenuação sônica do CP32V em % lida no ecograma medidos no pontos determinados. ....	60
Figura 5.9 Atenuação sônica do CP40V em % lida no ecograma medidos no pontos determinados. ....	61
Figura 5.10 Atenuação sônica do CP48V em % lida no ecograma medidos no pontos determinados. ....	61
Figura 5.11 Atenuação sônica comparativo entre diferentes tensões. ....	62
Figura 5.12 Atenuação sônica comparativo entre diferentes tensões. ....	62
Figura 5.13 Atenuação sônica da zona de ligação em diferentes tensões. ....	63
Figura 5.14 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 32 volts). ....	66

Figura 5.15 Local da fratura corpo de prova (tensão 32 volts). ....	66
Figura 5.16 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 32 volts). ....	66
Figura 5.17 Local da fratura corpo de prova (tensão 32 volts). ....	66
Figura 5.18 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 40 volts). ....	67
Figura 5.19 Local da fratura corpo de prova (tensão 40 volts). ....	67
Figura 5.20 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 40 volts). ....	67
Figura 5.21 Local da fratura corpo de prova (tensão 40 volts). ....	67
Figura 5.22 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 48 volts). ....	68
Figura 5.23 Local da fratura corpo de prova (tensão 48 volts). ....	68
Figura 5.24 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 48 volts). ....	68
Figura 5.25 Local da fratura corpo de prova (tensão 48 volts). ....	68
Figura 5.26 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 32 volts).71	
Figura 5.27 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 32 volts).71	
Figura 5.28 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 40 volts).72	
Figura 5.29 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 40 volts).72	
Figura 5.30 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 48 volts).73	
Figura 5.31 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 48 volts).73	
Figura 5.32 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts). ....	75
Figura 5.33 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts). ....	75
Figura 5.34 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts). ....	75
Figura 5.35 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts). ....	77
Figura 5.36 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts). ....	77
Figura 5.37 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts). ....	77
Figura 5.38 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts). ....	79
Figura 5.39 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts). ....	79
Figura 5.40 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts). ....	79
Figura 5.41 Corpo de prova (tensão 32 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes. ....	82

Figura 5.42 Corpo de prova (tensão 40 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes.	83
Figura 5.43 Corpo de prova (tensão 48 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes.	83
Figura 5.44 Fator de forma menor que 1 (a) e fator de forma maior que 1 (b). (Fonte AWS).	84
Figura 5.45 Esquema da retirada do cubo de macrografias	85
Figura 5.46 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 32 volts.	86
Figura 5.47 Fator de forma junta soldada com tensão 32 volts.	86
Figura 5.48 Tamanho de grãos junta soldada com tensão 32 volts.	87
Figura 5.49 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 40 volts.	88
Figura 5.50 Fator de forma junta soldada com tensão 40 volts.	88
Figura 5.51 Tamanho de grãos junta soldada com tensão 40 volts.	89
Figura 5.52 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 48 volts.	90
Figura 5.53 Fator de forma junta soldada com tensão 48 volts.	90
Figura 5.54 Tamanho de grãos junta soldada com tensão 48 volts.	91
Figura 5.55 Ciclo térmico das juntas.	93
Figura 1 Anexo Registro dos termopares junta soldada com tensão 32 volts.	108
Figura 2 Anexo Registro dos termopares junta soldada com tensão 40 volts.	109
Figura 3 Anexo Registro dos termopares junta soldada com tensão 48 volts.	110
Figura 4 Anexo Certificado da chapa utilizada.	111
Figura 5 Anexo Certificado de ensaio de Ultrassom.	112
Figura 6 Anexo Certificado do fluxo utilizado.	113
Figura 7 Anexo Certificado do arame consumível	114

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 Relação entre as variáveis de soldagem e as características da junta soldada no processo eletroescória ( Soldagem Processos e metalurgia – Emilio Wainer e outros página 285 Tabela 6.1). .....40

**Erro! Indicador não definido.**

## **LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS**

AWS: American Welding Society

dB deci Bells

ESW Electro Slag Welding (soldagem por eletro escórias)

ZAC Zona afetada pelo calor

## **SUMÁRIO**

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
CURRICULUM VITAE.....	iv
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS .....	xiii
SUMÁRIO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 Histórico do processo.....	2
2.2 Fundamentos do processo.....	4
2.2.1 Tipos de processo utilizados. ....	5
2.2.2 Processo convencional tubo guia não consumível.....	5
2.2.3 Processo com tubo guia consumível. ....	7
2.2.4 Equipamento. ....	9
2.2.5 Fonte de alimentação.....	10
2.2.6 Alimentação do eletrodo.....	11
2.2.7 Tubo guia.....	15
2.2.8 Painel de controle. ....	21
2.2.9 Cabeçote de soldagem. ....	23
2.2.10 Sapatas de contenção. ....	24
2.3 Vantagens do processo. ....	28
2.4 Desvantagens do processo. ....	30
2.5 Variáveis do processo. ....	31
2.5.1 Fator de forma. ....	31
2.5.2 Corrente de soldagem. ....	32
2.5.3 Tensão de soldagem. ....	33
2.5.4 Extensão do eletrodo. ....	35
2.5.5 Oscilação do eletrodo. ....	36
2.5.6 Profundidade do banho de escórias.....	37
2.5.7 Número de eletrodos. ....	37
2.5.8 Velocidade de alimentação dos eletrodos. ....	38
2.5.9 Abertura de raiz. ....	40
2.5.10 Preparação e projeto das juntas.....	41
2.5.11 Qualidade da junta e defeitos. ....	43
3. OBJETIVOS. ....	45
4. MATERIAIS E MÉTODOS. ....	46
4.1 Material de base utilizado. ....	46
4.1.1 Consumíveis .....	48
4.1.2 Procedimento de soldagem utilizado e dados de execução. ....	49
4.1.3 Avaliação das juntas por ultrassom. ....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	52
5.1 Registro da história térmica das juntas.....	52

5.2 Registros da atenuação sônica das juntas .....	57
5.3 Resultados do ensaio de tração. ....	64
5.4 Resultados do ensaio de dobramento guiado.....	69
5.5 Resultados do ensaio de impacto. ....	74
5.6 Analise química e metalográfica.....	81
5.7 Fator de forma e tamanho de grãos.....	84
5.8 Relação dos ciclos térmicos com a extensão da ZAC .....	92
6. CONCLUSÕES.....	97
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS. ....	100
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	101
ANEXO I – Registros dos termopares e certificados dos materiais utilizados ..	108

## **1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.**

Devido à nova onda de investimentos brasileiros, em grandes obras estruturais o processo de soldagem por eletroescória mostra-se uma importante opção para união de chapas grossas, (entende-se aqui como chapa grossa espessuras iguais ou superiores a 44,5mm). Neste trabalho, procura-se evidenciar a influência da variação da tensão sobre a junta soldada, quando levado em consideração propriedades mecânicas, variações metalográficas e de fator de forma sem, contudo ter a objetividade de esgotar qualquer dos referidos assuntos a serem abrangidos neste trabalho, mas sim objetivar e evidenciar o processo como possível alternativa a execução de tais juntas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

### **2.1 HISTÓRICOS DO PROCESSO.**

Tem-se como anseio no universo da engenharia de construções soldadas especialmente quando à necessidade de se unir chapas de grande espessura a utilização de técnicas de soldagem em passe único como um meio de evitar as técnicas de soldagem multipasse, consequentemente ganhando tempo de fabricação e evitando grandes distorções. Os fundamentos do processo de eletroescória já eram conhecidos desde 1900, nesta época os moldes de grafite eram colocados em cada lado do espaço entre as placas verticais para conter metal fundido criado por eletrodos de grafite, gerando a fusão das bordas para formar a solda. Posteriormente moldes de grafite foram substituídos por moldes de cobre ou de cerâmica, e os arcos de solda convencional tochas, gás e misturas térmite foram planejados para gerar o metal fundido com um grau de superaquecimento suficiente para obter a coalescência uniforme e manter a estabilidade do processo. [2]

No início dos anos da década de 1950, cientistas russos do Instituto Paton de Soldagem, em Kiev Electric anunciou o desenvolvimento de máquinas que empregavam o princípio de uma escória eletricamente condutiva para produzir em um único passe de solda uma junta na posição vertical ascendente. Os trabalhos posteriores do Instituto de Soldagem Bratislava, na Tchecoslováquia, foram disponibilizados para os engenheiros na Bélgica em 1958, e através deles para o resto do mundo ocidental. Uma unidade de eletroescória foi introduzida

nos Estados Unidos em 1959. Desde então muitas melhorias e modificações foram feitas, resultando em máquinas de soldagem com capacidade de atender os padrões da nossa indústria. No mesmo período a técnica foi introduzida no Brasil impulsionado na época pelos incentivos governamentais a industrialização e desenvolvimento do país fato o qual demandou da necessidade de execução de grandes obras de engenharia como exemplo cita-se as usinas hidrelétricas de Itaipu (bi-nacional Brasil/Paraguai).[1]

Desde então, o processo tem sido utilizado na fabricação de estruturas pesadas, que inclui pontes, prensas, flanges, tanques entre outras. Em meados de 1970, após várias falhas que ocorreram em serviços e seus estudos revelaram a formação de uma estrutura grosseira na junta soldada pelo processo de eletroescória. Com base nesses fatos, a Federal Highway Administration (EUA) passou a proibir o uso do processo de soldagem por eletroescória em juntas com grande solicitação estrutural. [2]

Em tese pesquisas Estabelecem relações fundamentais entre variáveis de processo, microestrutura e propriedades mecânicas de juntas soldadas pelo processo de eletroescória. [2]

## **2.2 FUNDAMENTOS DO PROCESSO.**

O processo é iniciado um por um arco elétrico entre eletrodos consumíveis e uma chapa base semelhante a um cadinho localizado na base inferior da junta então é adicionado fluxo em pó que é fundido pelo calor gerado pelo arco. Depois uma camada de escória fundida se forma com espessura estabelecida entre 25 a 50 milímetros, o arco elétrico é extinto e a corrente de soldagem (500-700A) passa a partir do eletrodo através do banho de escória fundida (eletroescória) por condução. A passagem da corrente fornece a energia necessária que é transformada em calor e gera a fusão do arame(s) tubo(s) consumível e de parte do metal de base (zona de diluição). [3]

O processo ESW requer um grande aporte de calor acompanhado de lentidão no resfriamento, quando comparado com outros processos de soldagem.

Para conter e controlar a poça de fusão e a grande quantidade de calor desenvolvido durante o processo, são utilizadas sapatas comumente de cobre que podem ser resfriadas pela passagem de água são utilizadas em ambos os lados das chapas sendo soldadas. [3]

Além da extração de calor, estas sapatas têm por objetivo conter o banho de escórias líquidas e a poça de fusão durante a soldagem e fornecer o formato final da solda. Normalmente, soldagens executadas por eletroescória são preparadas na posição vertical ou muito próxima desta posição. O depósito de solda utiliza-se uma determinada técnica para inicio e conclusão da soldagem da junta que consiste na utilização de um bloco de escoamento para eliminar

defeitos associados com o início e o término do processo devido a instabilidade da poça de fusão. [3]

Pode-se concluir que soldagem por eletroescória ou ESW (electro slag welding) é um método de união em que um banho de escória fundida em alta temperatura funde o metal de deposição e as faces e região subjacente do metal de base aqui denominada zona de diluição. A poça de fusão é protegida pela escória fundida, que se move ao longo de toda a junta durante a execução da soldagem enquanto o processo progride, e que o princípio físico do processo se baseia no resfriamento controlado da poça de fusão. [1]

### **2.2.1 TIPOS DE PROCESSO UTILIZADOS.**

Tradicionalmente considerasse-a dois tipos de processo por soldagem por eletroescória trata-se da soldagem convencional onde os tubos guia não são consumíveis e o processo de soldagem onde os tubos guia são consumíveis.

### **2.2.2 PROCESSO CONVENCIONAL TUBO GUIA NÃO CONSUMIVEL.**

No processo convencional os tubos não são consumíveis e são posicionados entre 50 e 75 milímetros de distância banho de escoria e toda a cabeça de soldagem (entende-se aqui como cabeça de soldagem o dispositivo que suporta os tubos não consumíveis e que recebe primeiramente a corrente das fontes) que se movimenta verticalmente no sentido ascendente de forma sincronizada

com a velocidade de soldagem. Neste processo um ou mais eletrodos são alimentados no conjunto, dependendo da espessura do material a ser soldado. Os eletrodos são alimentados através de guias de fio não consumíveis acima da escória fundida, ainda pode ser utilizada uma técnica de oscilação horizontal dos eletrodos para realizar a soldagem de juntas muito espessas. Sapatas de cobre refrigerado a água são normalmente utilizados em ambos os lados da junta a ser soldada para conter o metal fundido e escória do banho. As sapatas estão ligadas à cabeça de soldagem e movem-se verticalmente acompanhando a cabeça de soldagem. O movimento vertical da cabeça de soldagem é sincronizado com a taxa de deposição do eletrodo para manter o equilíbrio do processo. O movimento pode ser automático ou controlado pelo operador de soldagem. [2]

O movimento vertical das sapatas expõe as superfícies da junta soldada. Há normalmente um pequeno reforço na solda, que é formado por um sulco na sapata, as superfícies de solda são cobertas com uma fina camada de escória. O consumo de escória precisa ser compensado durante a soldagem por meio da adição de pequenas quantidades de fluxo para o banho de escória fundida, este fluxo é normalmente adicionado manualmente, entretanto arames tubulares podem ser usados para fornecer o fluxo necessário à formação do banho de escoria. [2]

O método convencional de eletroescória pode ser usado para soldar chapas de espessura variando entre 1/2 a 20 polegadas (13-500 mm). Espessuras de 3/4 a 18 polegadas (19 a 460 mm) são mais comumente soldadas. A utilização de um eletrodo oscilante pode se obter êxito na soldagem de juntas com até 5

polegadas (120 mm) de espessura, dois eletrodos podem soldar com êxito juntas com espessura de até 9 polegadas (230 mm), e três eletrodos podem soldar com êxito juntas com espessura de até 20 polegadas (500 mm). Para cada eletrodo, o processo tem condições de depositar em media 11-20 kg de metal de adição por hora. O diâmetro do eletrodo é geralmente usado é de 3,2mm. A eficiência da transferência de metal de adição é quase 100 por cento. Em geral o processo de electroescória consome cerca de 2,3 kg de fluxo para cada 45 kg de metal de solda depositado. [2]

### **2.2.3 PROCESSO COM TUBO GUIA CONSUMIVEL.**

O neste processo é realizada a soldagem com utilização de tubos consumíveis que são montados junto com a junta e que mergulham no banho de escória, ou seja, método no qual o tubo guia dos arames também entra na composição da poça de fusão como metal de adição, mais simples que o primeiro visto que não à necessidade de movimentação da cabeça de soldagem que permanece fixa, atualmente este é o método mais utilizado.

Neste método, o metal de adição é fornecido que é fornecido por arame eletrodo pode variar a quantidade em função da espessura e é (são) ligado(s) na cabeça de soldagem, o arame eletrodo é direcionado para a parte inferior da junta por um tubo guia que se estende por todo o comprimento da junta (altura). A transmissão da corrente de soldagem é feita pelo tubo guia, e ele funde fora logo acima da superfície do banho de escória. Assim, a cabeça de soldagem não se move verticalmente, sapatas refrigeradas a água são

usadas. Em soldas de pequeno comprimento as sapatas podem ser ter o mesmo comprimento que a junta, entretanto o mais usual é a utilização de vários pares de sapatas como técnica para soldagem de juntas de maior comprimento. À medida que o metal se solidifica, um conjunto de sapatas é removido e é colocado em cima das sapatas que suportam o banho de escórias e a poça de fusão esta técnica é repetida até que a soldagem da junta seja concluída. [1]

O tubo guia consumível fornece cerca de 5 a 15 por cento do metal de adição em geral são utilizados tubos com formulação química semelhante a do metal de base.

Tal como acontece com o método convencional, um ou mais eletrodos podem ser utilizados, e podem oscilar horizontalmente na junta, entretanto o mais usual é que os tubos se mantenham fixos. Uma vez que o tubo de guia conduz a corrente elétrica, pode ser necessário e é recomendável isolá-lo das paredes laterais da junta (metal de base) bem como da superfície das sapatas. Pode ser feito um revestimento de fluxo no lado externo do tubo guia consumível para isolá-lo e para ajudar a reabastecer o banho de escória. Outras formas de isolamento incluem isoladores em forma de anel, luvas de fibra de vidro e fita adesiva. [8]

O método com tubo guia consumível pode ser usado para executar soldagem de juntas com espessura praticamente ilimitada. Ao usar eletrodos fixos, cada eletrodo é capaz de soldar com êxito cerca de duas polegadas (50 mm) de espessura da chapa. Um eletrodo oscilante solda com êxito até cinco polegadas (125 mm), dois eletrodos com oscilação solda com êxito até doze polegadas

(300 mm), e três eletrodos oscilantes são capazes de soldar com êxito até dezoito polegadas (450 mm), comprimentos de solda de até nove metros tem sido rotineiramente executados com um único eletrodo estacionário, problemas com o controle da oscilação podem ocorrer em longos comprimentos de solda. Portanto, se a quantidade necessária de oscilação não pode ser adequadamente controlada, mais eletrodos podem ser acrescentados e oscilação reduzida ou eliminada. [8]

#### **2.2.4 EQUIPAMENTO.**

O equipamento para ambos os processos de soldagem por eletroescória ESW é o mesmo, exceto para o desenho dos tubos de guia de eletrodo e os requisitos para o curso vertical do cabeçote de soldagem. A seguir, são listados os principais componentes do equipamento de soldagem por eletroescória:

- (1) Fonte de alimentação.
- (2) Alimentador de arame e oscilador.
- (3) Tubo guia do eletrodo.
- (4) Painel de controle das variáveis de soldagem.
- (5) Cabeçote de soldagem.
- (6) Sapatas de retenção.

## 2.2.5 FONTE DE ALIMENTAÇÃO.

A fonte de energia utilizada é tipicamente do tipo retificador de tensão constante com transformador com capacidade 750 a 1000 Amperes DC, com fator de trabalho de 100%. A fonte é semelhante à utilizada para solda a arco submerso, tensões de carga em geral, variam de 30 a 55 Volts, portanto, a tensão em circuito aberto mínima da fonte de alimentação deve ser de 60 Volts constantes, fontes de alimentação que fornecem corrente alternada com características semelhantes são usadas para algumas aplicações. A utilização de uma fonte de alimentação separada para cada eletrodo pode ser necessária. [2]

A fonte de energia é geralmente equipada com um contator, um meio de controle remoto da tensão de saída, um meio para equilibrar instalações de eletrodos múltiplos, um interruptor principal, um controle da faixa de tensão e corrente, um amperímetro e um voltímetro. [2]

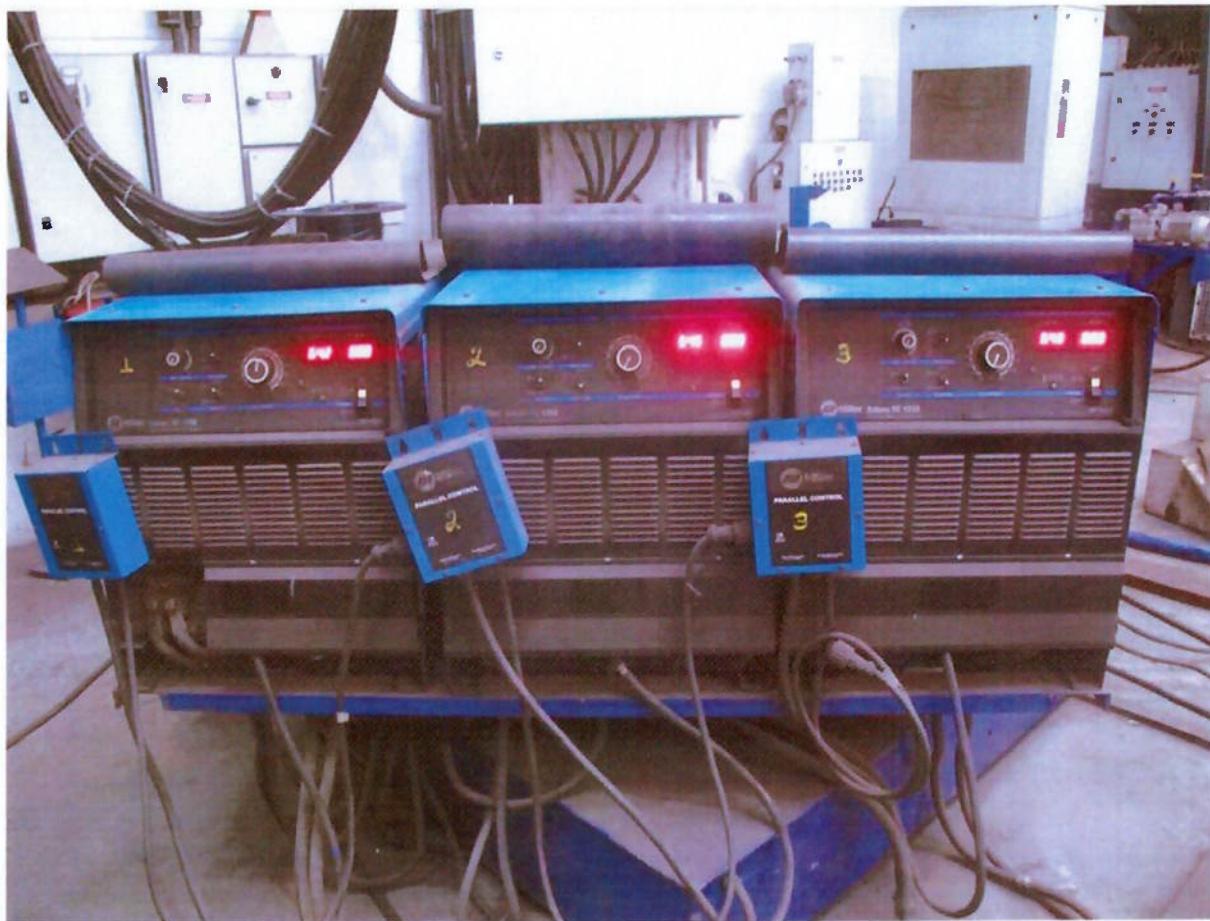


Figura 2.1 Exemplo de fontes de alimentação (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro - São Paulo).

## 2.2.6 ALIMENTAÇÃO DO ELETRODO.

Para a alimentação da junta a ser soldada é necessária a utilização de um dispositivo de alimentação de fio que tem por função abastecer a poça de fusão com o arame eletrodo a uma velocidade constante de fornecimento de arame através do tubo de guia. O alimentador de arame é normalmente montado na cabeça de soldagem, entretanto pode ser montado de forma separada da cabeça de soldagem. [2]

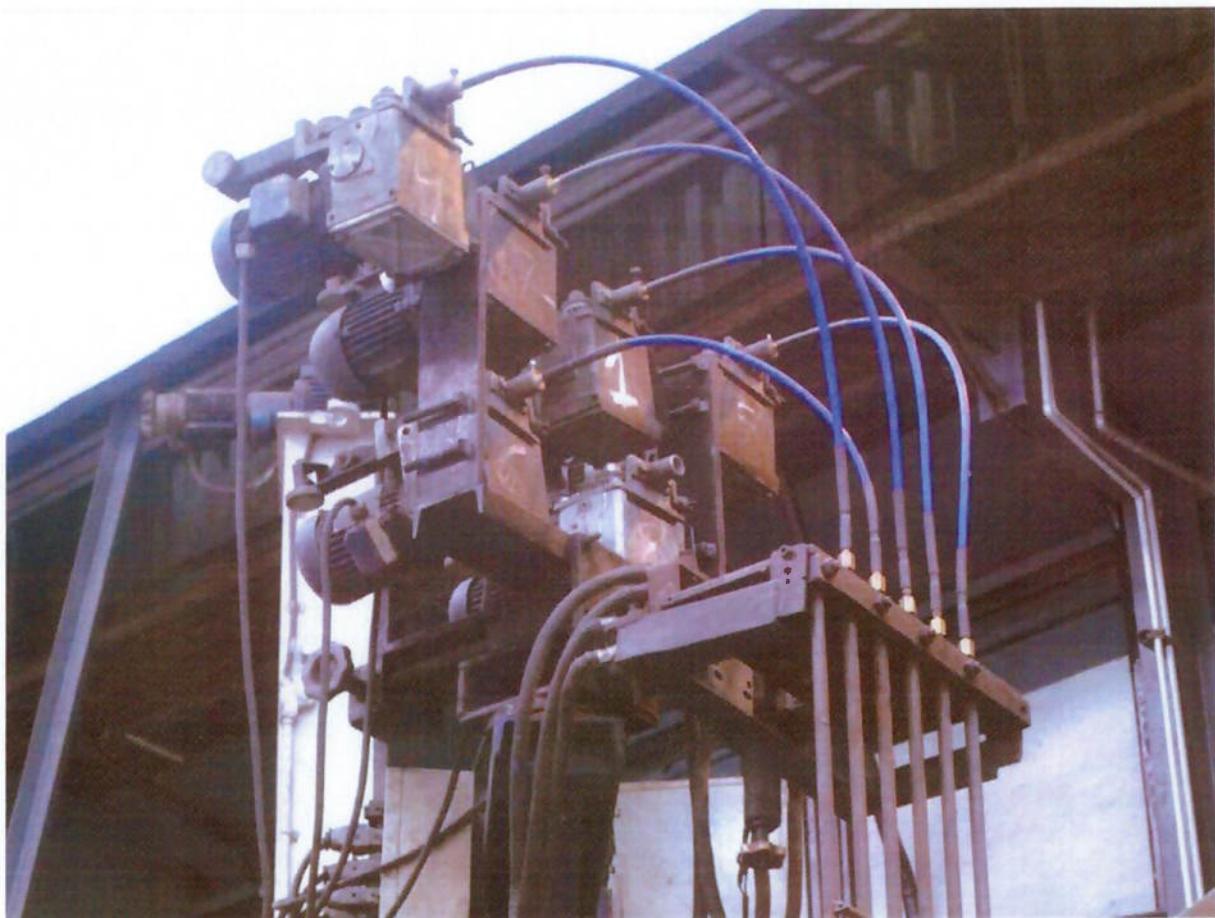


Figura 2.2 Exemplo de tracionadores de arame utilizados para soldagem por eletroescória (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro - São Paulo).

Em geral, cada arame eletrodo é movido pelo seu próprio motor de acionamento e rolos de alimentação. A caixa de velocidades de dupla para conduzir dois eletrodos a partir de um motor pode ser usada, mas em caso de um problema na alimentação a estabilidade do banho de escórias provavelmente será comprometida. No caso da soldagem com eletrodos múltiplos, a falta de uma unidade de acionamento de arame pode ser compensada não havendo necessidade de encerrar a operação de soldagem sendo que uma medida corretiva pode ser realizada rapidamente com a soldagem em execução sem, entretanto comprometer a qualidade da junta. Convém salientar, contudo, que para a soldagem por eletroescória ser bem sucedida, é vital evitar desligar a alimentação de qualquer arame eletrodo

porque um reparo de solda no reinicio de uma soldagem tende a ser caro. Às vezes, cinqüenta horas de funcionamento contínuo ou mais são exigidas desses tracionadores de arame eletrodo para a soldagem de juntas muito longas. [2]

Os alimentadores de arame com motor são semelhantes em concepção e funcionamento aos utilizados em outros processos de soldagem com eletrodo contínuo, como o arco submerso por exemplo. A alimentação de roletes consiste normalmente em um par engrenado de roletes tracionadores ligados ao motor, assim sendo aplicada força de tração por ambos os roletes. A configuração dos roletes pode variar em função da natureza do arame ser sólido ou tubular. Os cuidados devem ser tomados para que o fio de arame não patine, mas não seja apertado com tanta força a ponto de danificar o arame especialmente causando cerrilhamento do arame, o arame serrilhado pode criar o efeito de um desgaste abrasivo dos componentes entre os roletes de alimentação e pode gerar problemas na passagem pelo tubo guia, com uma configuração oval dos roletes foi encontrado o melhor desempenho para ambos os tipos de arame, sem perigo de esmagamento do arame tubular.

Um dispositivo para corrigir distorções do arame pode ser necessário quando se utiliza o método convencional a sua função consiste em retirar a tendência do arame de assumir o formato de espiral e direcionar o mesmo evitando assim causar alterações na posição da poça de fusão que pode causar defeitos, tais como falta de fusão. O desvio do arame eletrodo provoca um problema mais grave na soldagem de juntas de grande espessura. [2]

A velocidade de alimentação do arame eletrodo depende da corrente necessária para a taxa de deposição desejada e também o diâmetro e o tipo de eletrodo

utilizado. Geralmente, uma gama de velocidades de 17 a 150 mm / segundo é inteiramente adequada para uso com arames de 2,4 mm ou de 3,2 mm de diâmetro seja de arame tubular ou arame sólido. [2]

A alimentação precisa ser uniforme e contínua, o tracionador deverá permitir a alimentação de arame com um mínimo de requisitos de torque a condução de modo que a interrupção de ligação ou o do próprio arame não irá acontecer.

O rolo de arame deve ser de tamanho adequado para completar a soldagem de toda a junta sem interrupções, entretanto quando a soldagem é feita com múltiplos arames e com tubo guia consumível a troca do rolo de arame é possível durante o processo sem causar danos a junta. [2]

Dispositivos de oscilação do eletrodo são necessários quando a espessura da junta for superior a cerca de 2-1/4 de polegadas (57 mm) por eletrodo. Oscilação do tubo guia de eletrodo(s) podem ser fornecida pelo motor de acionamento ou de mecanismos de acionamento mecânico, como um parafuso de avanço ou um pinhão e cremalheira. A unidade deve ser adaptável à distância percorrida, velocidade de deslocamento, e atraso variável no final de cada curso. Controle do movimento de oscilação é geralmente feito usando circuitos eletrônicos. [3]

## 2.2.7 TUBO GUIA.

No método convencional de soldagem eletroescória, o tubo guia não consumível orienta os arames eletrodos dos rolos de arame de alimentação para o banho de escória de em fusão. Ele também funciona como um contato elétrico para energizar o arame eletrodo. A extremidade de saída do tubo é posicionada próximo ao banho de escória líquida, e ele vai se deteriorar com o tempo devido à ação do calor. [1]

O tubo guia geralmente é fabricado em cobre berílio e apoiado por duas estreitas bases retangulares soldadas aos mesmos. O cobre Berílio é usado porque ele mantém boa estabilidade mecânica e características de condutibilidade razoável em temperaturas elevadas. Os tubos são isolados para evitar curto-circuito com a estrutura de sustentação. [1]

A seguir a imagem exemplifica tubos guias para processo com tubos guia consumível, entretanto a primeira parte dos tubos que aparecem na imagem não é consumível.



Figura 2.3 Exemplo de tubos guia não consumível (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

Para alimentar os arames eletrodos verticalmente para a escória em fusão, os guias devem ser curvos e estreitos o suficiente para acessar a abertura da junta. São geralmente menos de  $\frac{1}{2}$  polegada (13 mm) de diâmetro. Para corrigir desvios direcionais no arame eletrodo dentro dos tubos os mesmos devem ser suficientemente longos. [2]

No método com uso de tubo guia consumível, o tubo em geral é construído em um material compatível com o metal base e ou de propriedades um pouco melhores que a da junta a ser soldada. Comumente o tubo guia consumível utiliza-se das seguintes dimensões: 12 a 16 mm de diâmetro externo, e 3,2 a 4,8 mm de diâmetro interno, considerar-se a que diâmetros menores são necessários para as secções de soldagem inferiores a 19 mm de espessura. [2]

O tubo guia é ligado a um tubo de suporte não consumível de liga de cobre, que é montado no cabeçote de soldagem. A corrente de soldagem é transmitida a partir do tubo de cobre para o tubo de aço, e depois para o arame eletrodo como demonstrado na foto.



Figura 2.4 Exemplo da conexão entre tubo guia não consumível (acima) e tubo guia consumível (abaixo) (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

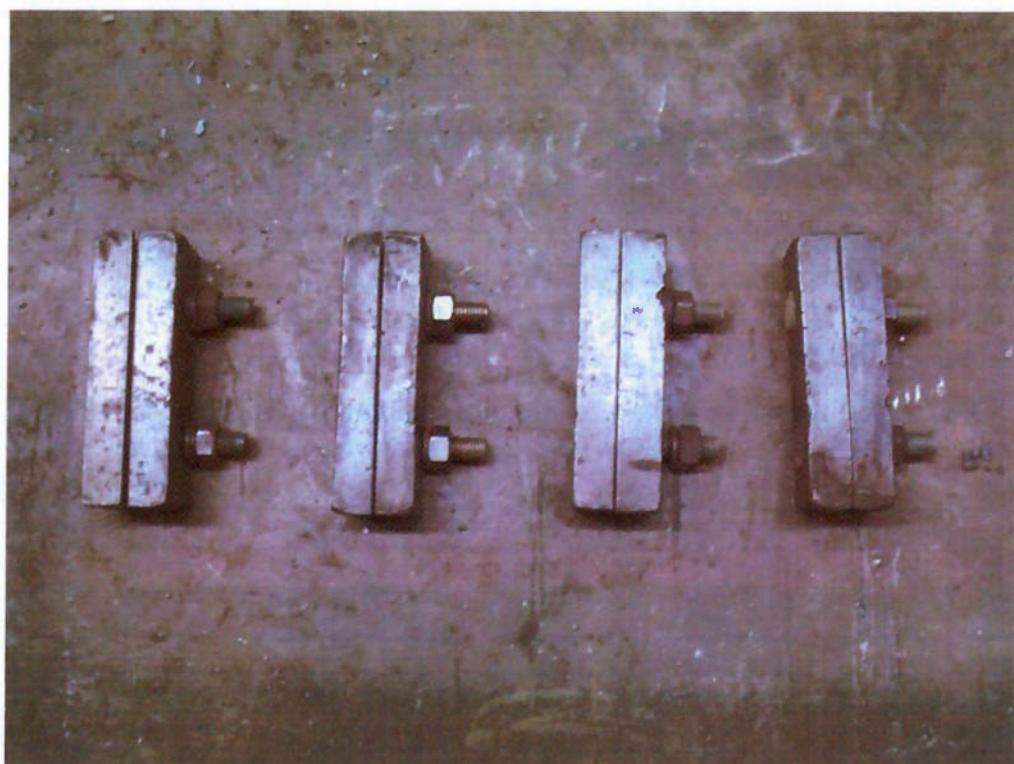


Figura 2.5 Conectores para acoplamento dos tubos guia não consumivel aos tubos guia consumíveis (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

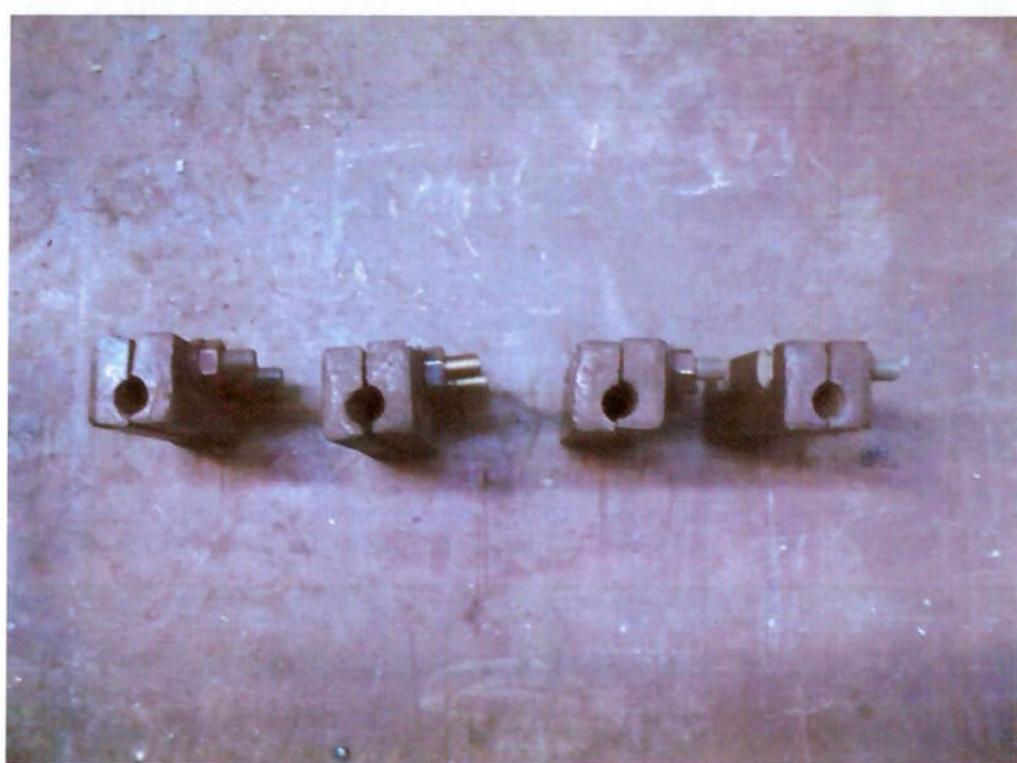


Figura 2.6 Vista superior dos conectores (ver Figura 2.5) (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

Para soldagem de juntas com mais de 600 mm de comprimento, é necessário soldar o(s) tubo(s) guia para evitar curto-circuito com a junta. O comprimento do tubo inteiro pode ser revestido com fluxo, ou podem ser utilizados anéis isolantes, espaçados de 30 a 45 mm de distância entre si (conforme sugestão da AWS), entretanto em função das características da junta a distância entre os anéis pode variar para mais ou para menos, para evitar que os anéis deslizem pelo tubo pode ser executados no local de cada anel pequenos pontos de solda para ancoragem do anel ao tubo. A cobertura de fluxo ou anéis isolante ao fundir pode ajudar a reabastecer o banho de escória enquanto o tubo guia é consumido. [3]

A figura a seguir mostra um tubo guia consumível preparado com isolante já posicionado no chanfro onde será executada a soldagem da junta.

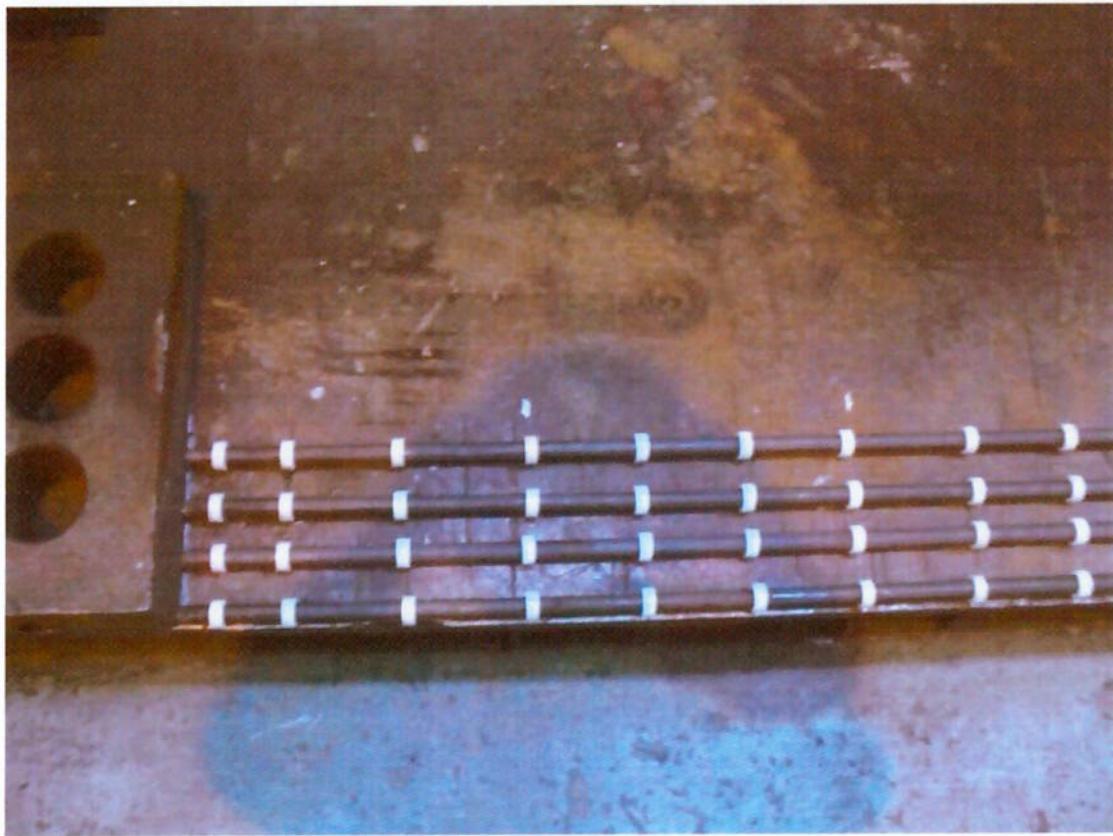


Figura 2.7 Posicionamento dos anéis isolantes nos tubos guia consumível (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

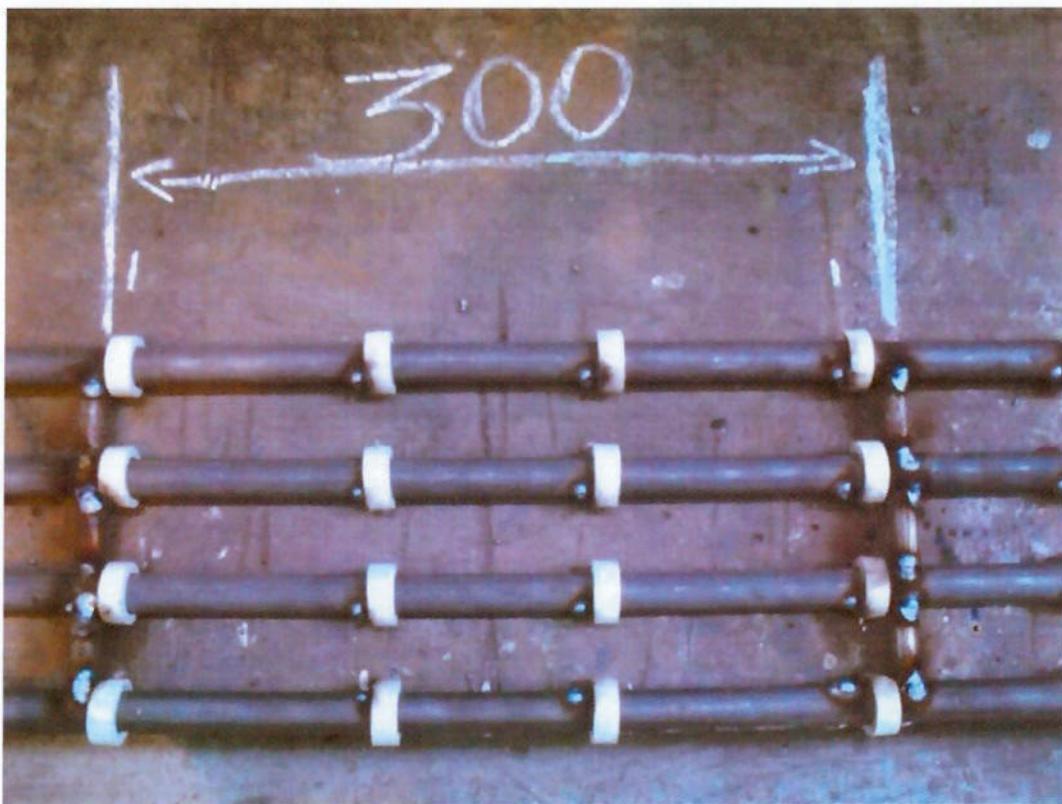


Figura 2.8 Fixação dos anéis de isolamento através de pontos de solda e travamento dos tubos. (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).



Figura 2.9 Exemplo de preparação de junta para soldagem por eletro escórias. (Figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

## 2.2.8 PAINEL DE CONTROLE.

O painel de controle do equipamento para soldagem por eletroescória em geral é composto por um console montado próximo do cabeçote de soldagem, que contém os seguintes grupos de componentes:

- (1) Sistema de alarme para falhas ocorridas no processo, por exemplo, falta de água de refrigeração.



Figura 2.10 Exemplo de painel de controle remoto (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

- (2) Amperímetros, voltímetros e controles remoto, interruptor para cada uma das fontes de energia, e controle remoto na forma de um reostato manual ou um reostato motor que é acionado por um interruptor de marcha inversa.

(3) Um controle de velocidade para cada um dos motores tracionadores do arame eletrodo. Este controle também deve possibilitar acelerar e reverter o movimento do arame eletrodo. Em alguns consoles, o interruptor de energia e tracionador de arame eletrodo podem ser ativados por um interruptor comum.

(4) Controles para execução do movimento oscilatório dos guias no sentido da espessura da junta (normalmente são utilizados apenas no método convencional) a ser soldada, limite ajustável com interruptores montados no controle da cabeça de soldagem e duração estabelecida do tempo de pausa entre oscilações; sensores que permitam o ajuste do tempo de duração de permanência do guia em cada extremidade da junta a ser soldada.

(5) Sistema de controle para o movimento de ascensão vertical da cabeça de soldagem (método convencional, apenas). Este movimento depende da taxa de deposição de material podendo ser ativado manualmente ou automaticamente. Um sensor de célula fotoelétrica pode ser usado com o dispositivo de ascensão para o controle automático. O sensor orienta-se através de um ponto abaixo do topo da sapata de contenção e é ajustado para detectar o início do banho de escória fundida. Quando o banho sobe acima do ponto de detecção, a célula fotoelétrica envia informação e ativa o movimento de ascensão da cabeça de soldagem e sapatas de contenção, até o banho não ser mais detectável. Desta forma consegue-se um movimento contínuo e sincronizado com a progressão do banho de escória. [3]

Outra maneira de se realizar o movimento de progressão com razoável exatidão é através do cálculo da velocidade de subida do banho de escoria uma vez que se têm os seguintes dados: espessura da chapa abertura da junta, número de

eletrodos, e velocidade do arame eletrodo. Esta velocidade pode ser definida em um motor de velocidade variável pelo operador de soldagem, e à medida que a soldagem avança, pequenos ajustes podem ser feitos para manter o banho de escória fundida e a poça de metal líquido dentro das sapatas de contenção. [3]

## **2.2.9 CABEÇOTE DE SOLDAGEM.**

No processo de soldagem por eletroescória, as soldagens são relativamente grandes e pesadas, portanto, é conveniente estabelecer um local único para a fonte de alimentação e, em seguida, utilizar de cabos longos, e um controle remoto para funções essenciais, e um cabeçote de soldagem portátil no local de execução da solda. As caixas de controle são geralmente leves e devem conter o menor numero possível de componentes. Os controles de interconexão entre a fonte de alimentação e alimentadores de arame são posicionados em geral sobre o cabeçote de soldagem. [3]

O cabeçote de soldagem inclui o alimentador de arame, tubos de guia do arame eletrodo, conexões elétricas para os tubos de guia, e uma forma de ligá-la a junta a ser soldada. Pode também incluir disposições para o funcionamento de eletrodos múltiplos e uma unidade de acionamento de oscilação do eletrodo. Onde a portabilidade é necessária, o alimentador de arame e a fonte podem estar localizados a uma curta distância da cabeça de soldagem, como ocorre nos processos de soldagem com proteção gasosa. [3]

Um dispositivo tracionador é utilizado no processo convencional para execução do movimento vertical da placa porta eletrodo e do cabeçote de soldagem, um arame alimenta a poça de fusão através de um tubo guia não consumível. Depois da soldagem iniciada, o conjunto indexador é impulsionado para cima por uma roda dentada que acompanha o conjunto de solda. A velocidade vertical do movimento do conjunto é definida por controle remoto. Duas sapatas de cobre refrigeradas a água deslizam ao longo da junta para conter o metal líquido e o banho de escória. As sapatas de cobre são mantidas pressionadas contra o metal de base de ambos os lados através da tensão aplicada por molas posicionadas entre a dianteira e traseira do tracionador da placa porta eletrodo, ou seja, todo o conjunto: tubo guia, placa porta eletrodo cabeçote de soldagem e sapatas de contenção precisam mover-se de forma sincronizada a fim de garantir a estabilidade do processo e o êxito da soldagem da junta. [3]

O tracionador pode ser usado para soldar chapas de espessura variando de 13 mm a 51 mm, e a velocidade de subida pode ser de até três mm/segundo. [3]

## **2.2.10 SAPATAS DE CONTENÇÃO.**

As sapatas de contenção e o sistema de circulação de água serão tratados em comum neste capítulo. A função das sapatas é manter o metal fundido e o banho de escória da junta que está sendo soldada. As sapatas são fabricadas em geral em cobre berílio e geralmente incluem passagens de água em pontos críticos de acúmulo de calor para evitar o superaquecimento ou fusão. Cada

sapata, tem geralmente uma cavidade usinada na lateral em direção à solda gerando assim um ligeiro reforço de metal de solda. [2]

A sapata pode ser refrigerada por um sistema de circulação de água de um reservatório ou água da rede, a circulação de água deve ter capacidade de remoção de calor na ordem de 32-42 kJ/h. Um sistema de recirculação normalmente não causa condensação sobre as sapatas. A água da rede é encontrada freqüentemente a uma temperatura inferior à do ar ambiente, causando a condensação sobre as sapatas. Se a condensação escorre pelas sapatas e se acumula nas guias de partida antes de iniciar a soldagem, provavelmente ocorrerá defeito do tipo porosidade na solda. Condensação no interior das sapatas durante a soldagem vai evaporar antes do avanço do banho de escória. Assim, é melhor ligar o sistema de refrigeração antes de iniciar a soldagem. [2]

Na soldagem convencional, sapatas de refrigeração são montadas no conjunto de soldagem e são levadas sempre acompanhando o banho de escórias enquanto a soldagem avança. Com o método de tubo guia consumível, as sapatas não se movem. No entanto, elas podem ser reposicionadas, na medida em que a soldagem avança verticalmente. Às vezes, as sapatas não são refrigeradas a água, mas elas devem ter massa suficiente para propagar o calor e evitar a fusão das mesmas. As sapatas são presas no local, geralmente por cunhas contra pontes em forma de U ao longo da junta, ou por grandes grampos-C em soldas curtas feitas pelo método de guia de consumível. [1]



Figura 2.11 Exemplo de sapata de contenção utilizada para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

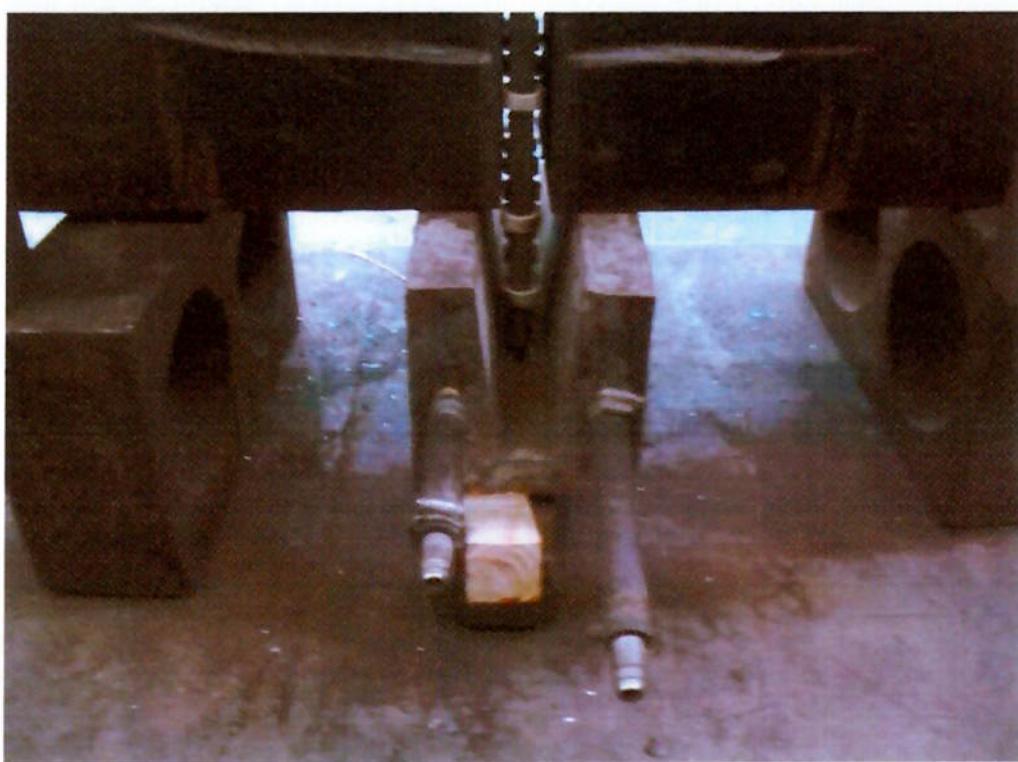


Figura 2.12 Exemplo do posicionamento da sapata de contenção para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

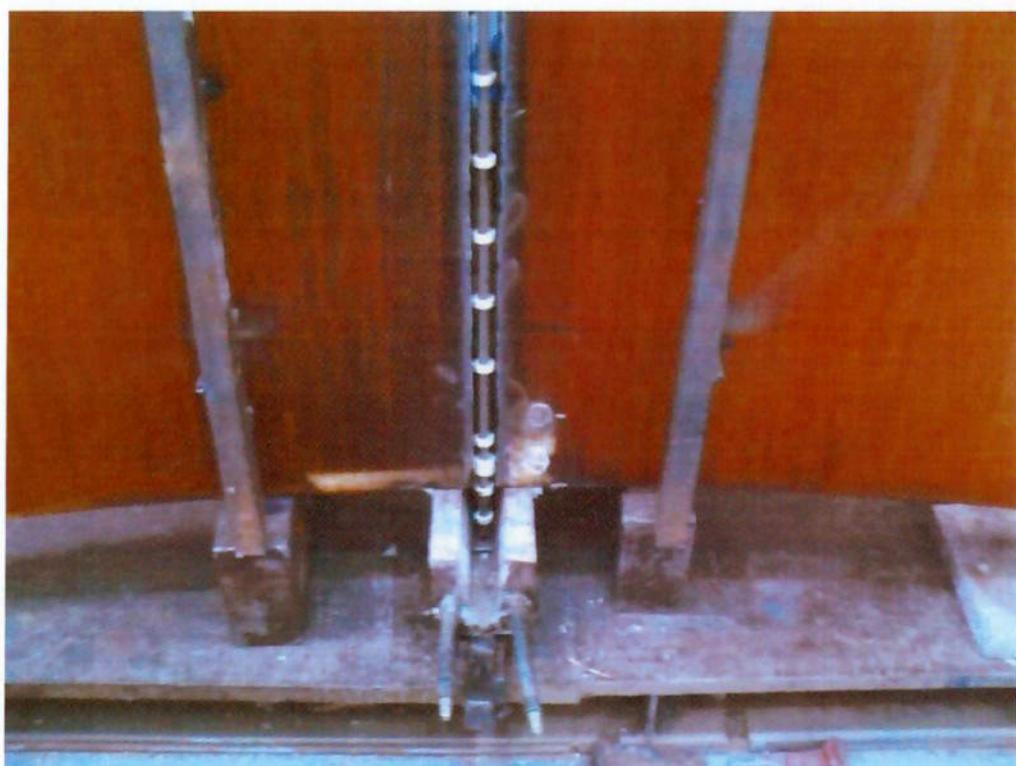


Figura 2.13 Exemplo do posicionamento da sapata de contenção para inicio da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).



Figura 2.14 Exemplo de sapatas de contenção lateral utilizadas durante a progressão da soldagem (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).



Figura 2.15 Exemplo de sapatas de contenção lateral conectadas a refrigeração posicionadas por travas e cunhas (figura gentilmente cedida pela empresa Voith Hydro – São Paulo).

### **2.3 VANTAGENS DO PROCESSO.**

Trata-se de um processo altamente estável e praticamente não sofre variações com relação ao tipo de corrente utilizada, bem como assimila muito bem variações de corrente comuns a rede. [1]

A faixa de corrente a ser utilizada é bastante ampla compreendendo desde 0,2 a 300 A/mm<sup>2</sup>. [1]

O(s) eletrodo(s) consumível (is) pode ser utilizado desde arame com 1,6mm de diâmetro até barras com mais de 400mm<sup>2</sup> de secção transversal. [1]

A velocidade de deposição é extremamente alta e a corrente de soldagem por eletrodo pode atingir até 10000 amperes. [1]

Distorções angulares são mínimas em função da configuração das juntas.

Em geral não há necessidade de pré ou pós aquecimento da junta, devido às altas temperaturas do banho de escórias e da lentidão da progressão da poça de fusão. [1]

Trata-se de um processo bastante econômico visto que consome de 15 a 20% menos energia elétrica que o processo por arco submerso, para uma mesma quantidade de metal depositado, além disso, consome menos metal de adição e aproximadamente 90 a 95% menos fluxo que o processo por arco submerso.

Não exige grandes preparações da junta a ser soldada sendo em geral utilizado chanfro reto, a presença de óxidos nas faces e serem unidas é praticamente desconsiderada, pois em geral não causa problemas a soldagem. [9]

Após iniciado o processo é praticamente automatizado havendo a necessidade apenas de acompanhamento pelo operador.

Devido à presença do banho de escórias a proteção da poça de fusão é muito eficaz assim como ocorre no processo por arco submerso, podendo ainda ser melhorada se for utilizada uma corrente de um gás inerte apropriado dirigido à poça de fusão como exemplo pode ser citado o Argônio. [3]

## **2.4 DESVANTAGENS DO PROCESSO.**

Pode ser citado como desvantagens neste processo o custo do equipamento que é relativamente alto quando comparado a outros processos de soldagem por arco elétrico. [1]

Ocorre em função da soldagem uma tendência de "fechamento" da junta no sentido longitudinal que pode ser pré compensada durante a preparação, entretanto é necessário cuidados como essa distorção especialmente em juntas a serem executadas em partes onde a geometria é um fator considerado muito importante. [2]

Devido às altas temperaturas atingidas durante o processo de soldagem, infelizmente há a formação de uma zona termicamente afetada com dimensões bastante significativas. [1]

Em função da relativa lentidão no resfriamento existe a tendência de se produzir colunas dendríticas e em função desta tendência deve ser feito um controle mais acurado da microestrutura resultante. [3]

Em geral devido às dimensões dos componentes soldados por eletroescória torna-se inviável a realização de tratamento de normalização da microestrutura, e devido a ocorrência de crescimento exagerado de grãos; e formação de grãos colunares e uma zona termicamente afetada bastante extensa se comparada a outros processos. Estes são motivos que fazem com que as juntas soldadas pelo processo de eletroescória em geral, tenham resistência ao impacto comprometida especialmente em baixas temperaturas. [9]

## **2.5 VARIÁVEIS DO PROCESSO.**

No processo de eletroescória bem como em qualquer outro as variáveis de soldagem precisam ser definidas de maneira adequada a fim de proporcionar uma operação estável, com penetração adequada, fusão completa, e ausência de trincas, porosidade. Para tanto devem ser consideradas algumas variáveis do processo como se segue. [2]

### **2.5.1 FATOR DE FORMA.**

Este elemento, que da a idéia do formato da poça de fusão na soldagem por eletroescória, é definido como a razão entre a largura total da poça (abertura da raiz mais a profundidade da penetração em ambos os lados do metal-base) e sua máxima profundidade (considerando somente o metal em fusão), conforme mostra a figura 2.16. Esse fator é de grande importância à qualidade da junta soldada, visto que influi diretamente na orientação da solidificação do metal de solda. Altos valores do fator de forma tendem a provocar uma solidificação tal que os grãos do metal solidificado se encontram no centro da junta, formando um ângulo agudo; nesta configuração, a resistência ao trincamento é bastante alta. Ao contrário baixos valores do fator de forma tendem a provocar um encontro dos grãos em formato de ângulo obtuso, configuração na qual a resistência ao trincamento é mais baixa. [1]

Entretanto o fator de forma isoladamente não controla a resistência ao trincamento da junta soldada, pois diversas outras variáveis, como a composição do metal-base e o grau de restrição da junta, influem decisivamente naquele parâmetro. [1]

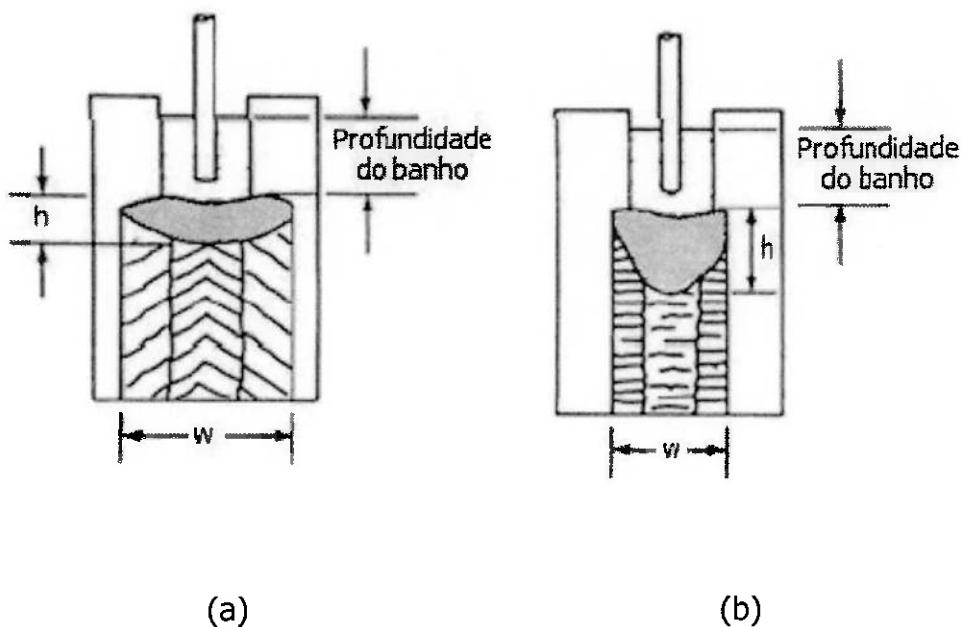


Figura 2.16 Fator de forma menor que 1 (a) e fator de forma maior que 1 (b). (Fonte: AWS)

## 2.5.2 CORRENTE DE SOLDAGEM.

Esta variável, juntamente com a velocidade de alimentação do eletrodo, está intimamente relacionada, de modo que podem ser tratadas em conjunto. O aumento da corrente implica no aumento da velocidade do eletrodo, provocando como consequência maior profundidade da poça de fusão.

É importante observar os efeitos da corrente de soldagem no fator de forma. Experiências mostram que quando se solda com eletrodos de 3,2mm de diâmetro e correntes abaixo de 400A, o aumento na intensidade provoca um

acrúscimo na largura total da poça de fusão e o efeito que se percebe é uma ligeira redução no fator de forma; entretanto, se a corrente de soldagem for superior a 400A, com o mesmo diâmetro do eletrodo o aumento na corrente reduzira a largura da poça. Assim um aumento da corrente tende a provocar uma redução na resistência ao trincamento da junta de solda. Levando-se em consideração que para eletrodos com 3,2mm de diâmetro são utilizadas correntes de até 700A, é de extrema importância controlar sua intensidade a fim de se obter altos valores de fator de forma. [1]

### **2.5.3 TENSÃO DE SOLDAGEM.**

Tensão de soldagem: Variável com influência direta na penetração e estabilização do processo; sendo que seu aumento provoca o aumento da penetração e da largura total da poça de fusão, como resultado espera-se um ligeiro acréscimo no fator de forma que se traduz por sua vez em um aumento da resistência a formação de trincas na junta soldada. [1]

A penetração precisa ser mais profunda a fim de garantir à fusão completa das bordas próximas as sapatas de resfriamento, garantindo desta forma uma soldagem completa e uniforme. [3]

A faixa de regulagens da tensão deve respeitar limite inferior e superior uma vez que as utilizações de tensões muito baixas provocam curto circuito e centelhamento da poça de fusão, por outro lado o oposto, ou seja, a utilização de tensões muito elevadas pode provocar instabilidade na operação de soldagem e formação de respingos no banho de escórias. A faixa ideal para

utilização da tensão esta relacionada com o processo a ser utilizado (convencional ou com tubo consumível) tipo de metal de base e de adição e diâmetro do arame e dos tubos, entretanto para soldagem de aços carbono de baixa liga é recomendável o uso da tensão na faixa de 38 a 42 volts. [1]

#### **2.5.4 EXTENSÃO DO ELETRODO.**

Esta denominação refere-se a distância entre a superfície do banho de escória e o término do tubo guia onde se processa o contato elétrico do eletrodo. Alguns autores se referem a esta variável como "extensão do eletrodo seco", entretanto no método com tubo guia consumível esta terminologia não se aplique como é o caso deste trabalho.

Segundo estudos realizados se mantidas as demais variáveis de soldagem, o acréscimo da extensão do eletrodo tende a gerar um acréscimo na resistência elétrica do eletrodo, a consequência disto é a diminuição da corrente de soldagem. [2]

Como forma de compensar esse efeito, aumenta-se o comprimento do eletrodo na região imersa no banho de escória. Como resultado espera-se que ocorra um ligeiro aumento no fator de forma resultando por sua vez em um aumento na resistência ao trincamento da junta soldada. [1]

Segundo autores, para eletrodos com diâmetro de 3,2 mm, a extensão do eletrodo varia entre 50 e 75 mm. Valores inferiores a 50 mm podem causar um superaquecimento do tubo guia, situação que necessita ser evitada, por outro

lado valores acima de 75 mm devem gerar aquecimento do próprio eletrodo, como já mencionado. [1]

### **2.5.5 OSCILAÇÃO DO ELETRODO.**

Variável utilizada apenas no processo convencional trata-se de um movimento oscilatório no sentido da espessura da junta e é necessário para garantir que se tenha uma deposição uniforme do metal de adição na poça de fusão. Normalmente é utilizado um eletrodo estático a cada 75 mm de espessura do metal-base, entretanto é recomendada a utilização da oscilação desde que a espessura exceda 50 mm. [3]

Pode se definir um leque de velocidade de oscilação para o eletrodo através de experimentos durante o processo, sendo que a velocidade de oscilação em geral varia de 8 a 40 mm/segundo, a aumento da velocidade tende a ser proporcional ao aumento da espessura da junta sempre que mantido o numero de eletrodo utilizado na soldagem, entretanto é importante salientar que a cada final de curso do movimento oscilatório é necessária uma breve interrupção do movimento para garantir a deposição adequada ao longo de toda a espessura. O tempo de parada pode variar entre dois e sete segundos esse tempo deve ser aferido em função da velocidade de oscilação, espessura da junta e abertura de chanfro. [2]

O aumento da velocidade de oscilação tende a provocar uma diminuição na penetração no metal base e em consequência disto na largura total da poça e no fator de forma. [2]

## 2.5.6 PROFUNDIDADE DO BANHO DE ESCÓRIA.

Esta é uma variável importante e difícil de ser controlada, pois em geral depende muito da habilidade do operador, uma adequada profundidade do banho de escória garante que o(s) eletrodo(s) se funda(m) no interior do banho. Banhos com profundidade muito baixa tendem a causar respingos e centelhamento na superfície do banho; por outro lado profundidades muito elevadas tendem a causar redução na largura da poça de fusão e em consequência disto diminuição do fator de forma, outra característica de banhos muito profundos é a inadequada troca de calor dentro do próprio banho o que pode resultar em inclusões de escórias indesejáveis na junta soldada. [2]

Segundo estudos a profundidade considerada ideal gira em torno de 40 mm para o processo convencional, podendo, entretanto atingir valores entre 25 e 40 mm, para processo com tubo guia consumível foi observado de forma empírica que a espessura do banho varia entre 20 e 30 mm. [1]

## 2.5.7 NÚMERO DE ELETRODOS.

Esta variável está intimamente ligada ao processo utilizado e a espessura a ser soldada, como já mencionado anteriormente a oscilação do eletrodo é conveniente (especialmente no processo convencional) em juntas com espessuras de até 50 mm, entretanto o movimento oscilatório não é ilimitado visto que em virtude do aumento da espessura este movimento tende a não ser uniforme, estudos mostram que em geral se utiliza um eletrodo com

movimento oscilatório para espessuras de até 130 mm, dois eletrodos para espessuras de até 230 mm e três eletrodos para espessuras de até 500 mm, esta recomendação é aplicável tanto para o processo convencional como para o processo com tubo guia consumível. [3]

Em casos de soldagem sem o uso do movimento oscilatório é recomendado à utilização de um eletrodo para cada múltiplo de 75 mm de espessura das juntas a serem soldadas, entretanto não se recomenda a utilização de eletrodos múltiplos com espaçamento entre si abaixo de 50 mm. [1]

## **2.5.8 VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO DOS ELETRODOS.**

Considerada uma variável muito importante, pois afeta diretamente as profundidades do banho de escória bem como o da poça de fusão e ainda a largura total da solda, visto que as duas últimas grandezas mencionadas estão ligadas ao fator de forma o controle fino da velocidade de alimentação dos eletrodos é de fundamental importância para garantir a qualidade da junta soldada. [1]

As figuras 2.16 e 2.17 mostram respectivamente, a relação da profundidade do banho de escórias e da largura total da junta em função da velocidade de alimentação do eletrodo, para alguns valores da poça/eletrodo. [1]

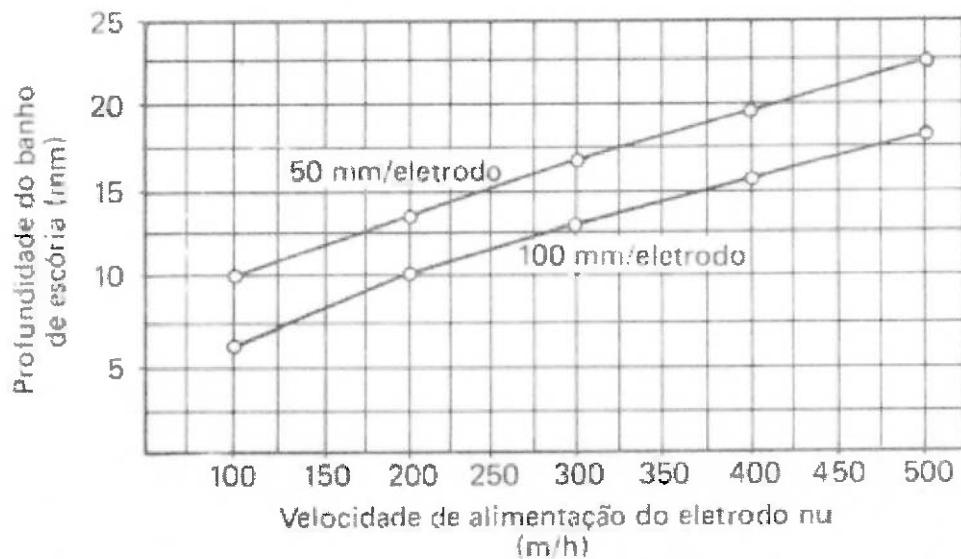


Figura 2.17 Relação entre a profundidade do banho de escória e a velocidade de alimentação do eletrodo, para diferentes valores da relação espessura poça/eletrodo (Soldagem Processos e metalurgia – Emilio Wainer e outros página 284 Figura 6.6)

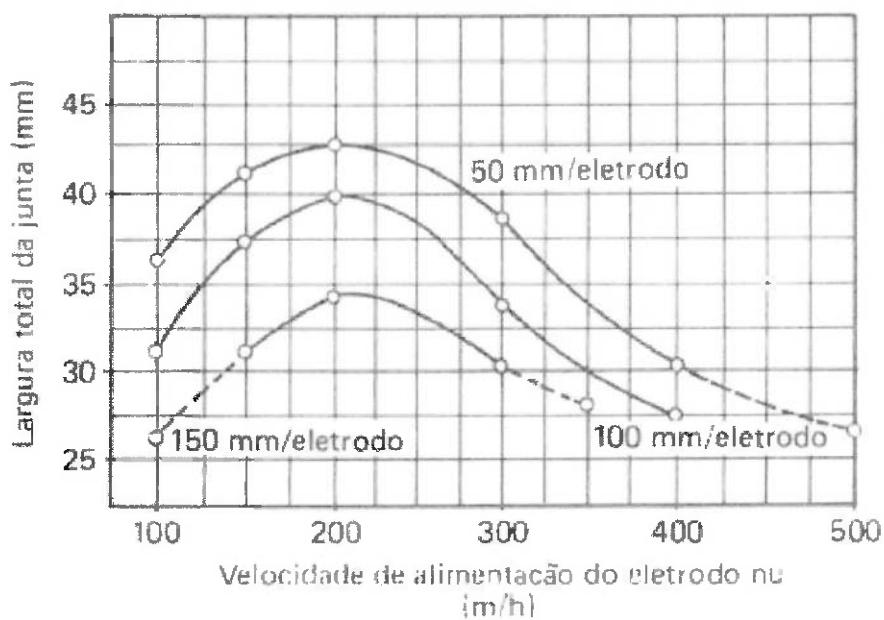


Figura 2.18 Relação entre a largura total da junta e a velocidade de alimentação do eletrodo para valores da relação espessura da poça/eletrodo (Soldagem Processos e metalurgia – Emilio Wainer e outros página 284 Figura 6.7)

## 2.5.9 ABERTURA DE RAIZ.

Em função da espessura do metal-base, do número total de eletrodos e da utilização ou não do movimento oscilatório a abertura de raiz apresenta variação entre 20 e 40 mm. É necessário considerar que a abertura deve permitir o livre movimento do eletrodo e garantir a boa circulação da escória. O aumento da abertura de raiz não traz alterações significativas à profundidade da poça de fusão, entretanto aumenta a largura total da junta e em consequência o fator de forma. [1]

Tabela 2.1 Relação entre as variáveis de soldagem e as características da junta soldada no processo eletroescória ( Soldagem Processos e metalurgia – Emilio Wainer e outros página 285 Tabela 6.1)

Variáveis de Soldagem	Para valores crescentes das variáveis							
	Velocidade de alimentação do eletrodo e corrente de soldagem		Espessura da junta por eletrodo	Tensão de soldagem	Intensidade de oscilação	Profundidade de banho de escórias	Extensão do eletrodo	Abertura de raiz
Características da junta soldada	Até 200 m/h a 400 A	Acima desses valores						
Profundidade da poça de fusão	cresce	cresce	decrece	leve decréscimo	não afeta	leve decréscimo	decrece	não afeta
Largura total da poça de fusão	cresce	decrece	leve decréscimo	cresce	decrece	decrece	não afeta	cresce
Fator de forma	leve decréscimo	decrece	cresce	cresce	decrece	decrece	leve decréscimo	cresce
Contribuição do metal-base no material fundido	leve decréscimo	decrece	leve decréscimo	cresce	decrece	decrece	não afeta	cresce

## 2.5.10 PREPARAÇÃO E PROJETO DAS JUNTAS.

Para a execução da soldagem por eletroescória não grandes necessidades de preparação sendo essa uma de suas maiores vantagens, a solda para ser

executada necessita apenas de um espaço retangular que será preenchido pelo material de adição e em geral a única preparação exigida é o corte adequado das chapas a serem unidas de forma a permitir bom paralelismo entre as faces, sendo que o corte pode ser executado térmica ou mecanicamente. Quando utilizadas sapatas deslizantes há necessidade de superfícies livres de rugosidades, a fim de impedir que as mesmas tenham seu movimento impedito e ou prejudicado causando perca de escória líquida o que compromete a qualidade da junta. [9]

Com o intuito de manter a abertura de raiz bem como o alinhamento da junta a ser soldada, podem ser utilizados dispositivos e reforços adequados que devem ser ponteados as partes a serem unidas. [9]

Em juntas que requerem penetração total em toda sua extensão á necessidade de utilização de "orelhas" e/ou sapatas adicionais para inicio e término da soldagem. As orelhas são utilizadas na parte inferior da junta ainda fora do material base (entretanto o projeto da junta pode considerar sobremetal a ser sacrificado para inicio da soldagem) o objetivo da utilização destas orelhas é de propiciar a formação da poça de fusão e o banho de escórias ainda fora da junta e permitir a estabilização da poça a fim de evitar defeitos na junta, também tem por objetivo garantir que toda a extensão da junta seja devidamente preenchida, da mesma forma na parte superior da junta as orelhas são utilizadas para garantir que o metal de adição possa preencher toda a junta e para suportar o banho de escória. Outra possibilidade bastante comum é a utilização de sapatas de contenção adicionais em substituição as

orelhas a principal vantagem na utilização das sapatas é que as mesmas são utilizadas em outras juntas não sendo desta forma sacrificada. [1]

No quesito projeto da junta existe uma forma básica a ser respeitada, trata-se da junta de topo com seção quadrada ou retangular (podendo em certas aplicações assumir formas circulares (por exemplo, na recuperação de furos de grandes diâmetros), a partir destas derivam-se varias outras através da utilização de sapatas e moldes especiais, segundo literatura também é possível a execução de soldas circunferenciais, mediante a utilização de dispositivos adequados. Para esses casos, é necessário o uso de um mecanismo que permita a rotação da peça a ser soldada de forma que a soldagem seja executada sempre na vertical, sendo que a cabeça de soldagem permanece imóvel enquanto a peça gira. A execução deste tipo de soldagem em peças de pequeno diâmetro em geral não é viável por ser antieconômica sendo recomendada apenas a peças de grande espessura e diâmetro. [1]

### **2.5.11 QUALIDADE DA JUNTA E DEFEITOS.**

Como todo processo de soldagem o processo por eletroescórias apresenta características próprias no que diz respeito à qualidade da junta soldada bem como pode apresentar defeitos, a seguir serão apresentados as principais características da junta e os defeitos mais comumente detectados em juntas soldadas por eletroescórias.

As juntas resultantes do processo de soldagem por eletroescórias apresentam alta qualidade e baixo índice de imperfeições e descontinuidades, entretanto, se a soldagem for executada em condições anormais de operação (muitas vezes

essas condições fogem do controle do operador) podem ocorrer descontinuidade e imperfeições como será demonstrada na tabela 2.2, esta tabela apresenta os principais tipos de defeitos suas possíveis causas e as ações que podem ser tomadas a fim de eliminar a ocorrência destes defeitos.

Na soldagem por eletroescória o preaquecimento da junta pode ser dispensado sem, contudo comprometer a qualidade da junta, visto que o processo por si só já conta com o preaquecimento natural. Deve ser citado também que a maioria das estruturas soldadas por eletroescórias dispensam tratamento térmico posterior haja vista que o processo desenvolve baixo nível de tensões residuais.

[1] Entretanto em casos específicos existe a necessidade de se garantir a sanidade da junta devido a essa necessidade podem ser executados tratamentos térmicos após a soldagem, seja para normalizar a estrutura metalúrgica da zona de solda, seja para promover um alívio de tensões efetivo em toda a estrutura. [2]

Tabela 2.2 Defeitos na soldagem por eletroescória, suas causas e meios de eliminação (Soldagem Processos e Metalurgia – Emilio Wainer e outros página 288 Tabela 6.2).

Localização	Defeito	Causas possíveis	Providencias
Metal de solda	Porosidade	Profundidade insuficiente do banho de escória.  Umidade, óleo ou carepa.  Fluxo úmido ou contaminado.	Adicionar fluxo.  Secar ou limpar a junta.  Secar ou substituir o fluxo
	Trincas	Velocidade de soldagem excessiva. Baixo fator de forma.  Distância excessiva entre eletrodos.	Diminuir a velocidade de soldagem, reduzir a corrente; aumentar a tensão; diminuir a velocidade de oscilação. Reducir a distância entre eletrodos.
	Inclusões não metálicas	Superfície rugosa do metal de base. Inclusões não metálicas provenientes do próprio metal de base.	Esmerilhar a parte rugosa substituir o metal base.
Linha de fusão	Falta de fusão	Baixa tensão. Velocidade de soldagem excessiva. Profundidade excessiva do banho de escória. Desalinhamento do eletrodo ou tubos guias. Tempo de parada insuficiente nos fins de curso. Velocidade de oscilação excessiva. Distância excessiva entre eletrodo e a sapata de resfriamento. Distância excessiva entre eletrodos.	Aumentar a tensão. Reducir a velocidade de alimentação do eletrodo. Reducir a adição de fluxo. Realinhar os eletrodos ou tubos guias Aumentar o tempo de parada. Reducir a velocidade de oscilação. Aumentar o campo de oscilação ou adicionar outro eletrodo. Diminuir o espaço entre eletrodos.
	Mordeduras	Baixa velocidade de soldagem. Tensão excessiva. Excessivo tempo de parada nos fins de curso. Resfriamento inadequado das sapatas. Projeto inadequado das sapatas. Ajuste inadequado das sapatas.	Aumentar a velocidade de alimentação dos eletrodos. Diminuir a tensão de soldagem. Aumentar os tempos de parada. Aumentar a vazão da água de resfriamento ou aumentar a área das sapatas. Reprojetar as sapatas. Melhorar ajustes selar folgas por meio de cimentos refratários ou asbestos.
Zona termicamente afetada	Trincas	Alto grau de vinculação. Material sensível ao trincamento. Inclusões excessivas na chapa base.	Modificar a vinculação. Determinar a causa das trincas. Utilizar chapas de qualidade superior.

### **3. OBJETIVOS.**

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a variação das propriedades mecânicas e variação da formação microestrutural e química, em juntas soldadas por processo eletro escórias sendo para tanto considerada a variação da tensão e tendo sido mantidos inalterados outros parâmetros de soldagem, para tanto será executado ensaios mecânicos e metalográficos e ensaio não destrutivo por ultrassom, através da analise dos resultados obtidos pretende-se definir uma faixa ideal de soldagem para este processo.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS.**

### **4.1 MATERIAL DE BASE UTILIZADO.**

Para execução do experimento foi utilizado aço carbono de baixa liga denominado conforme norma européia com a seguinte sigla:

EN-10025-2-04-S235-J0-N

Dimensões nominais dos quatro corpos de prova utilizados:

Espessura: 89,00 mm

Largura: 500,00 mm

Comprimento: 1000,00 mm

Todos os corpos de prova foram retirados da mesma chapa origem, fornecida pela siderúrgica USIMINAS com certificado de qualidade numero: 410872, este certificado se encontra em: Anexos Figura 4 página 110

A chapa fornecida apresenta as seguintes características transcritas do relatório 410872:

Ensaio de tração:

Tabela 4.1 Resultado do ensaio de tração do metal de base.

Amostra:	Posição:	Direção	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)
274236	T4	T	289,6	413,1	70	36,0

Unidade de tensão: MPa

Ensaio de Charpy:

Tabela 4.2 Resultado do ensaio Charpy do metal de base.

Amostra:	Direção:	Temperatura:	EA1	EA2	EA3	EAM
274236	L	0° C	148 J	165 J	163 J	159 J

Dimensões (mm): 10 X 10 Temperatura (Celsius): 0°

Entalhe (mm): 02 V Unidade: J

Composição química:

Tabela 4.3 Composição química do metal de base.

Corrida	Análise	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Ceq	Mo	Cr	Ni	Nb	V	Ti
951463	P : (%)	0,14	0,79	0,010	0,009	0,211	0,030	0,008	0,4- 0,28	0,000	0,019	0,010	0,000	0,00	0,001

Formula do carbono equivalente:

$$0,4 = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Temperatura de normalização:

Temperatura: 910 +/- 10°C

Tempo de aquecimento (minutos): 145

Tempo de encharque (minutos): 20

Tempo total de forno (minutos): 165

Resfriamento: Ao ar

A chapa referida apresenta certificado de ensaio por ultrassom, fornecido pelo fabricante, tendo sido executado este ensaio conforme especificação da euro norma: EM 10160 S2 E2, com equipamento Krautkramer modelo USL32, para execução do ensaio foi utilizado transdutor Krautkramer modelo B4S, com ganho não informado com certificado ver anexos Figura 5 página 111.

#### **4.1.1 CONSUMIVEIS:**

Para execução da soldagem foi utilizado arame sólido com diâmetro de 3,18mm fornecido pela com certificado numero: 0000000054191, ver anexos Figura 7 página 113

Referencia comercial: 403559 AR Arco Submerso 3,18 RL 30Kg BMAS 122

Normas de referencia:

AWS A5.17 EM12K

ASME SFA 5.17 ED07 AD08 EM12K

Tabela 4.4 Análise química do arame consumível.

X		Al	C	Cu	Mn	P	S	Si
Corrida Nº	Unidade	%	%	%	%	%	%	%
5366203	XX	0,0015	0,0920	0,0060	1,1700	0,0168	0,0180	0,2600

Fluxo: para execução da soldagem foi utilizado fluxo com certificado de qualidade ver anexo Figura 6 página 112.

Análise Química (valores em porcentagem):

Tabela 4.5 Analise química do fluxo.

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO+MgO
26,0 (%)	23,7 (%)	17,0 (%)	31,0 (%)

Análise Granulométrica (% Retida Acumulada)

Tabela 4.6 Análise Granulométrica do fluxo.

#10	#12	#32	#60
0	0	72	91

Tubo consumível utilizado SAE 1020 com diâmetro externo 16.00mm e diâmetro interno 5.00mm.

#### **4.1.2 PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM UTILIZADO E DADOS DE EXECUÇÃO.**

Para soldagem dos corpos de prova foi utilizado parâmetros de soldagem registrados nas tabelas:

A preparação das juntas foi executada conforme figura 4.1 a seguir, a soldagem foi executada de forma independente com diferença de dois dias para garantir o resfriamento ao ar e evitar que o calor gerado pela soldagem de uma junta interferisse na junta seguinte.

A execução da soldagem se deu com os seguintes parâmetros:

Junta soldada com tensão de 32 volts:

Tabela 4.7 Dados colhidos da soldagem da junta com tensão de 32 volts.

Parâmetros observados	Registros obtidos
Peso consumido do metal de adição	18.545 Kg
Quantidade de fluxo consumido	1.500 Kg
Corrente de soldagem fonte 01	310 A
Corrente de soldagem fonte 02	290 A
Corrente de soldagem fonte 03	235 A
Tensão de soldagem fonte 01	32.1 V
Tensão de soldagem fonte 02	32.0 V
Tensão de soldagem fonte 03	32.1 V
Velocidade do alimentador 01	1.2 metros/minuto
Velocidade do alimentador 02	1.2 metros/minuto
Velocidade de soldagem	7 a 8 minutos/100mm
Temperatura inicial	150° C
Número de tubos guia consumível	02
Temperatura da água de refrigeração	31° C

### Junta soldada com tensão de 40 volts:

Tabela 4.8 Dados colhidos da soldagem da junta com tensão de 40 volts.

Parâmetros observados	Registros obtidos
Peso consumido do metal de adição	15.320 Kg
Quantidade de fluxo consumido	1.200 Kg
Corrente de soldagem fonte 01	355 A
Corrente de soldagem fonte 02	300 A
Corrente de soldagem fonte 03	210 A
Tensão de soldagem fonte 01	40.0 V
Tensão de soldagem fonte 02	40.0 V
Tensão de soldagem fonte 03	40.0 V
Velocidade do alimentador 01	1.2 metros/minuto
Velocidade do alimentador 02	1.2 metros/minuto
Velocidade de soldagem	8 a 9 minutos/100mm
Temperatura inicial	150° C
Número de tubos guia consumível	02
Temperatura da água de refrigeração	36° C

### Junta soldada com tensão de 48 volts:

Tabela 4.9 Dados colhidos da soldagem da junta com tensão de 48 volts.

Parâmetros observados	Registros obtidos
Peso consumido do metal de adição	19.790 Kg
Quantidade de fluxo consumido	1.500 Kg
Corrente de soldagem fonte 01	350 A
Corrente de soldagem fonte 02	275 A
Corrente de soldagem fonte 03	175 A
Tensão de soldagem fonte 01	48.0 V
Tensão de soldagem fonte 02	48.0 V
Tensão de soldagem fonte 03	48.0 V
Velocidade do alimentador 01	1.2 metros/minuto
Velocidade do alimentador 02	1.2 metros/minuto
Velocidade de soldagem	11 minutos/100 mm
Temperatura inicial	150° C
Número de tubos guia consumível	02
Temperatura da água de refrigeração	40 a 42° C

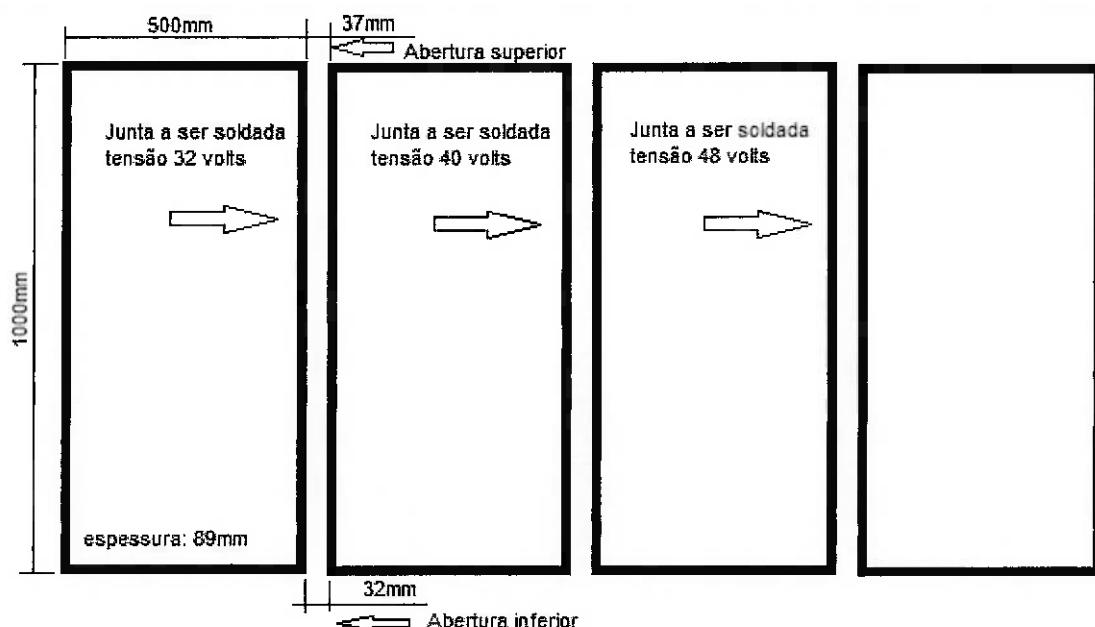


Figura 4.1 Esquema de montagem e soldagem das juntas.

#### **4.1.3 AVALIAÇÃO DAS JUNTAS SOLDADAS POR ULTRASSOM.**

Após execução da soldagem as juntas foram avaliadas através de inspeção por ultrassom para execução desta inspeção foram utilizados os seguintes transdutores:

WB45°N2 número de série: 24732 Fabricante: General Eletrics

WB60°N2 número de série: 24776 Fabricante: General Eletrics

B2S-0° número de série: 22212 Fabricante: General Eletrics

Aparelho de ultrassom: USM35 número de série: 7413a Fabricante: G.E.

A inspeção foi executada tendo como referência o código ASME seção VIII apêndice 4, e foi utilizado um bloco de calibração em aço carbono com furos cilíndricos com diâmetro de 5 mm a técnica utilizada foi a convencional com curvas DAC.

As três juntas apresentaram boa sanidade e não foram detectadas descontinuidades relevantes tendo sido aprovadas por este ensaio.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.**

Neste capítulo será mostrado e comparado os dados colhidos de registro da história térmica das juntas, atenuação sônica, resultados de ensaios de tração, resultados de ensaios de dobramento, resultados de ensaios de impacto, crescimento de grãos e resultado de ensaio metalográfico e químico.

### **5.1 REGISTROS DA HISTÓRIA TÉRMICA DAS JUNTAS.**

A seguir as figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6 demonstram o registro do ciclo térmico imposto as juntas e compara a diferença entre eles em função da variação da tensão de soldagem.

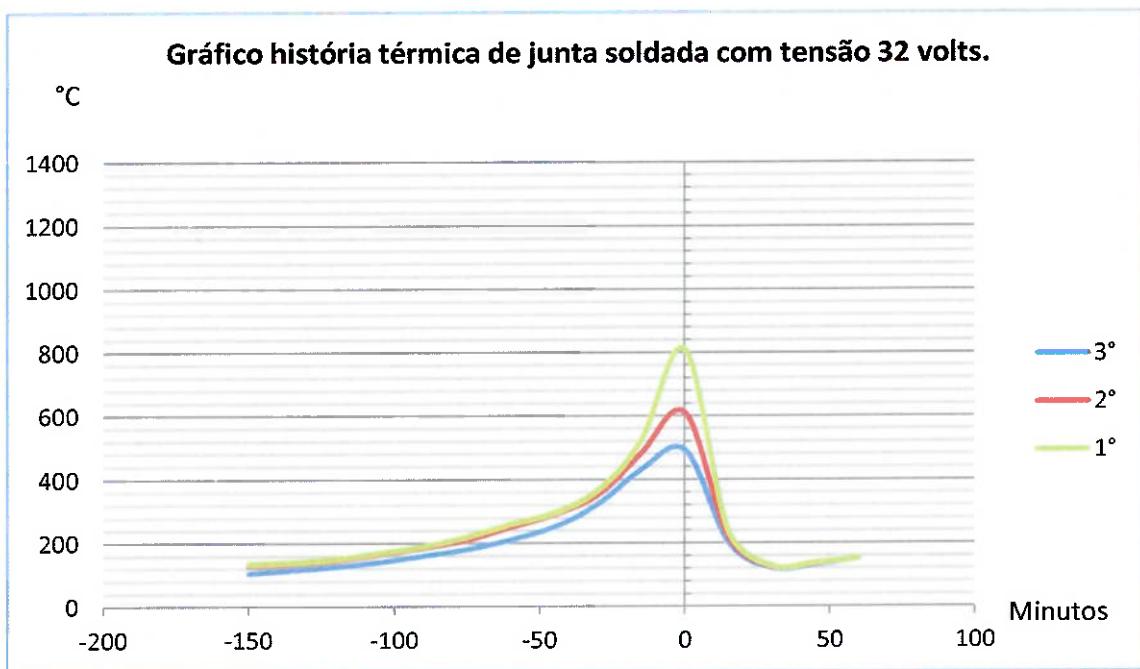


Figura 5.1 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se tensão de 32 V.

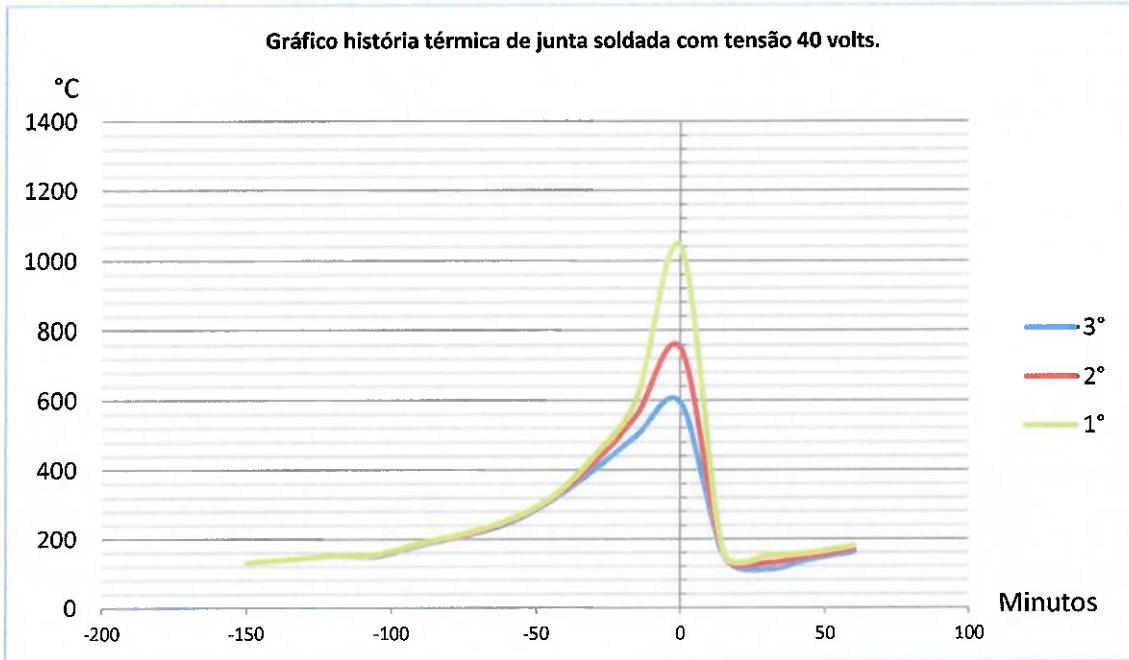


Figura 5.2 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se a tensão de 40 V.

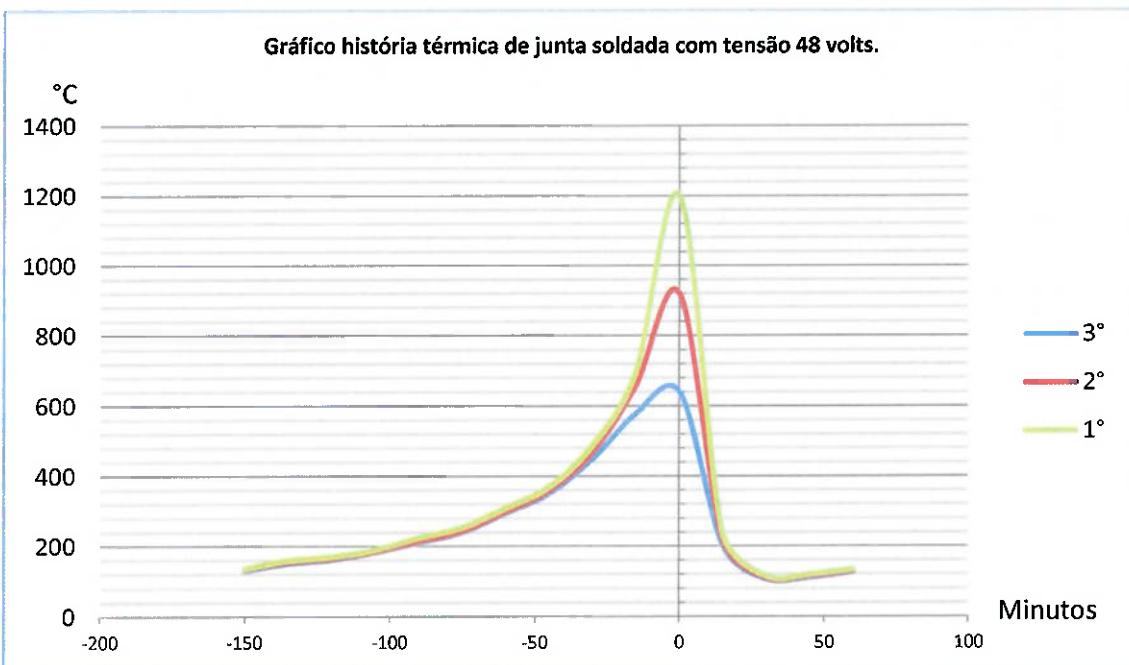


Figura 5.3 Ciclo térmico de soldagem para três termopares empregando-se a tensão de 48 V.

Pode ser observado na figura 5.1 o registro da história térmica da junta soldada com tensão de 32 volts observa-se a temperatura máxima atingida pelo 1º termopar com valor próximo a 820°C, o segundo com valor igual a 620°C, e o terceiro 490°C.

Na figura 5.2 podem ser observadas as seguintes temperaturas máximas registradas pelo primeiro, segundo e terceiro termopar respectivamente: 1050°C, 760°C e 610°C e finalmente na figura 5.3 podem ser observados os seguintes valores máximos para primeiro, segundo e terceiro termopar respectivamente: 1210°C, 930°C e 650°C, com base nestas informações pode se afirmar que a variação da tensão entre as juntas soldadas gerou um acréscimo de temperatura da ordem de 390°C do primeiro termopar da junta soldada com tensão igual a 48 volts para o primeiro termopar da junta soldada com tensão igual a 32 volts, ou seja, um aumento de 67,5% da temperatura, entretanto quando é comparado o valor obtido na junta soldada com 48 volts e a junta soldada com 40 volts a diferença cai para apenas 160°C ou aproximadamente 13,33% e entre a junta soldada com 40 volts e a junta soldada com 32 volts a diferença é respectivamente: 230°C ou 22,12%, portanto o acréscimo de tensão influencia diretamente na energia imposta a soldagem gerando, portanto uma variação nos picos de temperatura o que se relaciona diretamente com tamanho da ZAC e crescimento de grãos.

**Comparativo entre a amplitude térmica do 1º termopar de cada junta.**

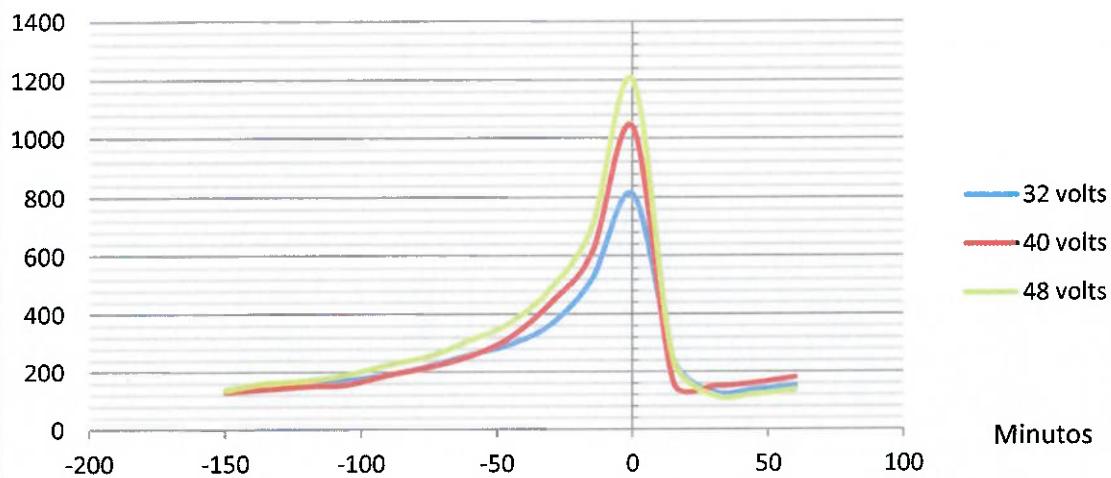


Figura 5.4 Comparação entre os três ciclos térmicos do termopar 1 e com tensões diferentes.

**Comparativo entre a amplitude térmica do 2º termopar de cada junta.**

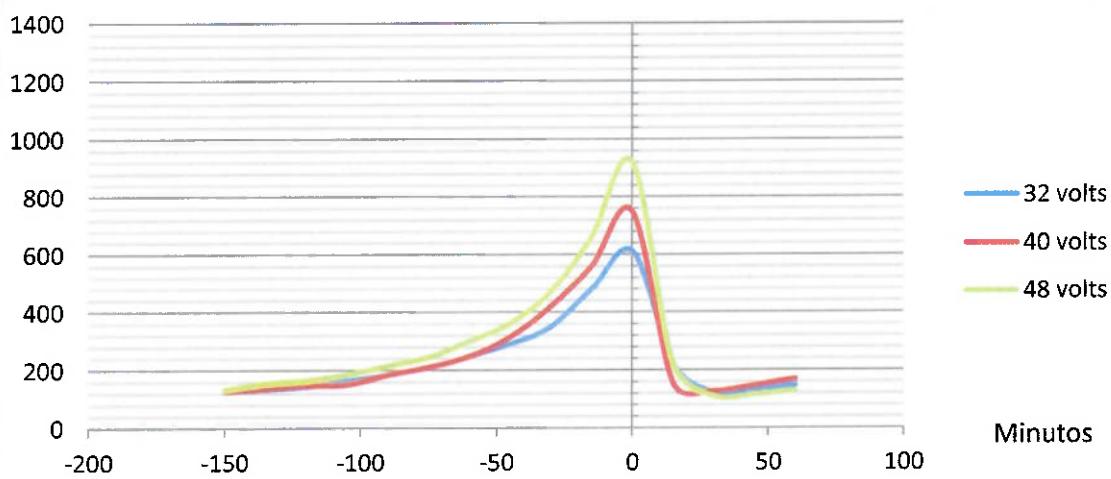


Figura 5.5 Comparação entre os três ciclos térmicos do termopar 2 e com tensões diferentes.

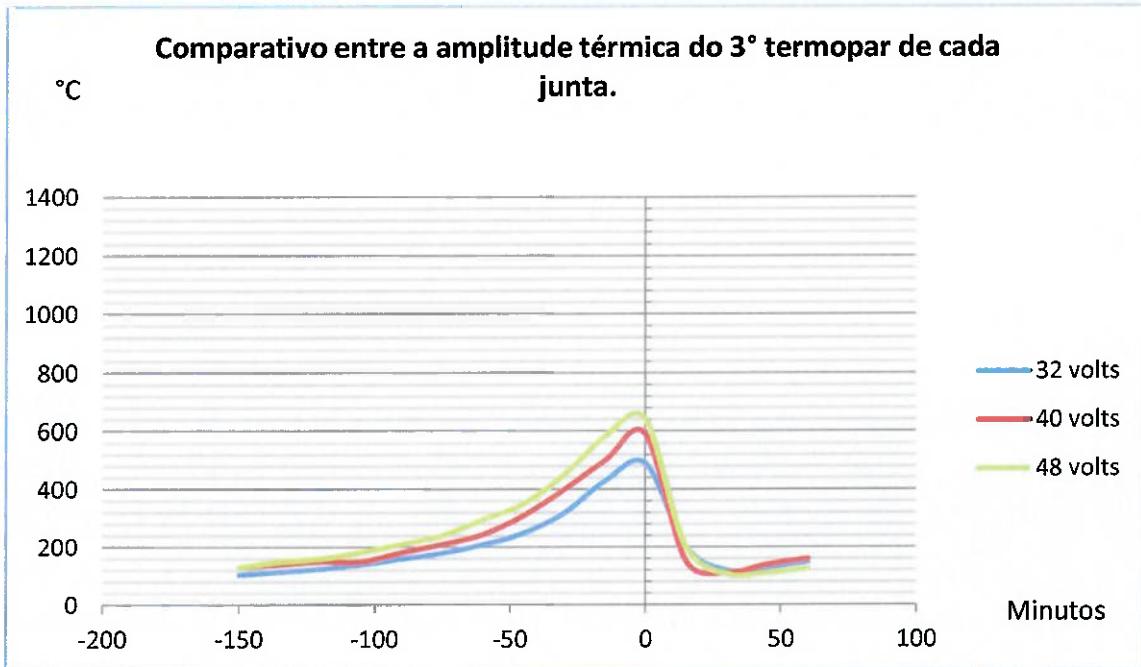


Figura 5.6 Comparação entre os três ciclos térmicos do termopar 3 e com tensões diferentes.

Nas figuras 5.4, 5.5 e 5.6 é demonstrada a diferença entre cada termopar nas 3 juntas evidenciando o aumento da temperatura em função do aumento de tensão e observa-se também que com o aumento da tensão e da temperatura ocorre também o aumento do tempo em que a região da junta permanece em temperaturas mais elevadas favorecendo um provável crescimento de grãos e formação de estruturas colunares.

## **5.2 REGISTROS DA ATENUAÇÃO SONICA DAS JUNTAS.**

Após usinagem de blocos com dimensões regularizadas e ataque das faces topo e planta da junta foi executado um trabalho de mapeamento da atenuação sônica gerada pela variação de tensão para realização deste trabalho foi utilizado um transdutor do tipo MSE4-0° e foi determinado como referência

inicial a reflexão sônica com intensidade de 80% de resposta da energia emitida, na seqüência foi escolhido outros quatro pontos para medição sendo:

Ponto 4: Metal de base

Ponto 3: Região de crescimento de grãos próxima a zona de ligação determinada visualmente através de ensaio macrográfico.

Ponto 2: Zona de ligação determinada visualmente através de ensaio macrográfico.

Ponto 1: Região soldada próxima a zona de ligação determinada visualmente através de ensaio macrográfico.

Ponto 0: Centro da solda determinada visualmente através de ensaio macrográfico.

A medição foi executada em dois sentidos sendo:

Face: Entende-se como plano de acoplamento das sapatas.

Topo: Entende-se como plano de ascensão da junta.

Por ter sido adotado um transdutor de dois cristais sendo um emissor do pulso ultra-sônico e o segundo receptor da reflexão do pulso foi necessário determinar a posição de varredura a ser utilizada como demonstra a figura a seguir:

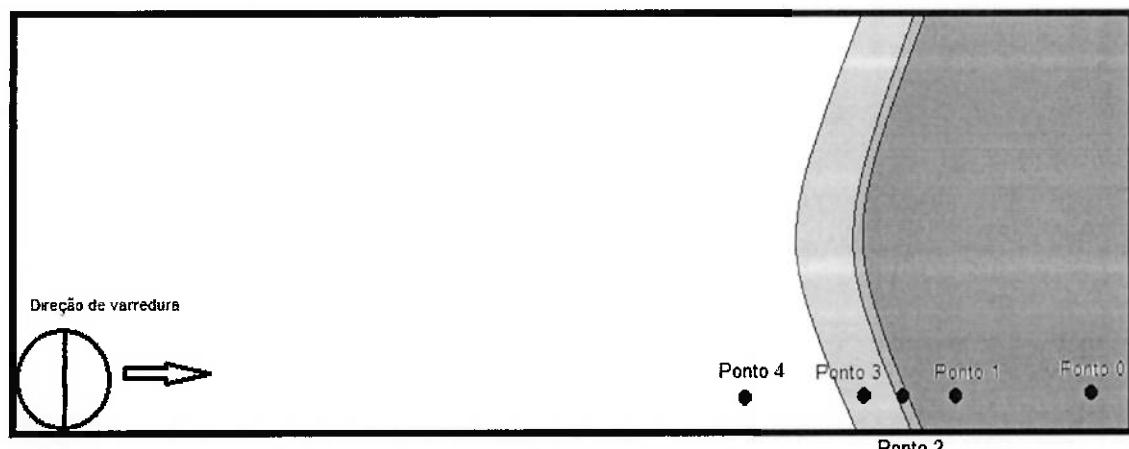


Figura 5.7 Mapeamento dos pontos colhidos para medição da atenuação sônica.

Após a execução da varredura foram encontrados os seguintes valores dispostos nas tabelas a seguir:

Tabela 5.1 Atenuação do CP 32 Volts Face.

CP32V Face	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	53	52.4	57	56.4	52.2
Atenuação	0	-0.6	4	3.4	-0.8
%	80	85	53	54	88

Tabela 5.2 Atenuação do CP 32 Volts Topo.

CP32V Topo	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	53	53.8	59.2	54.8	54.6
Atenuação	0	0.8	6.2	1.8	2.6
%	80	72	39	64	70

Tabela 5.3 Atenuação do CP 40 Volts Face.

CP40V Face	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	50	53	62	57.2	54.8
Atenuação	0	3	12	7.2	4.8
%	80	57	20	35	46

Tabela 5.4 Atenuação do CP 40 Volts Topo.

CP40V Topo	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	49.4	52	58.6	57	54
Atenuação	0	2.6	9	7.6	4.6
%	80	62	27	33	50

Tabela 5.5 Atenuação do CP 48 Volts Face.

CP48V Face	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	49.8	54.2	65.2	60.2	59.6
Atenuação	0	4.4	15.4	10.4	9.8
%	80	48	13	24	26

Tabela 5.6 Atenuação do CP 48 Volts Topo.

CP48V Topo	Base (referência)	Crescimento de grãos	Zona de ligação	Solda	Centro da solda
Ponto	04	03	02	01	0
dB	51.6	53.2	63.2	61.4	59.4
Atenuação	0	1.6	11.6	9.8	7.8
%	80	67	21	26	32

Entende-se a energia em dB obtida no ponto 4 como referência para os demais dados por esse fato o ponto 4 tem sempre atenuação com valor igual a zero, na linha com indicação do símbolo porcentagem entende-se a leitura obtida sem correção de ganho da amplitude de resposta no ecograma do aparelho, na linha dB é demonstrada a energia de correção necessária para obter-se a resposta no ecograma na faixa de 80% de amplitude e finalmente a linha atenuação mostra a diferença entre a energia necessária para obtenção de um eco com amplitude de 80% do ecograma tendo como referência o metal de base.

Nota-se a diferença de energia necessária para os diferentes corpos escaneados bem como na posição de varredura: Face ou Topo.

Entretanto é necessário salientar que o plano topo foi mensurado apenas durante o experimento a partir de corpos de prova usinados de tal forma que a altura (topo ou seja plano de ascensão da soldagem da junta) e espessura foram iguais ou seja 89,00 mm, na prática o plano topo não pode ser avaliado por ultrassom em função da geometria das juntas e dimensões.

A seguir foram construídos gráficos para melhor ilustrar a atenuação nos diferentes pontos medidos estes gráficos podem ser correlacionados com os gráficos da história térmica de cada junta e de forma simples com o crescimento de grãos ocorrido:

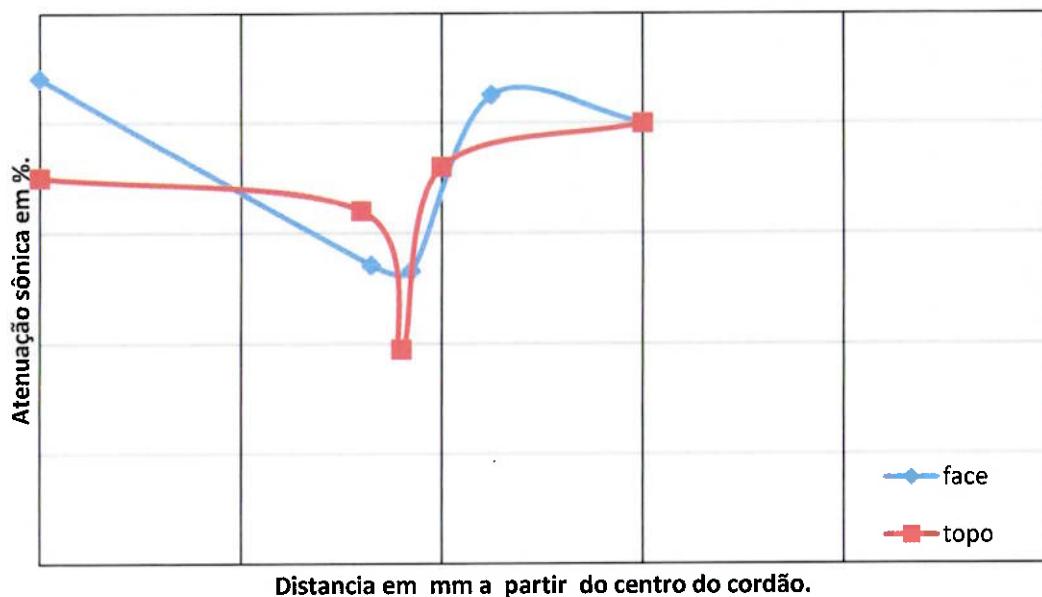


Figura 5.8 Atenuação sônica do CP32V em % lida no ecograma medida nos pontos determinados.

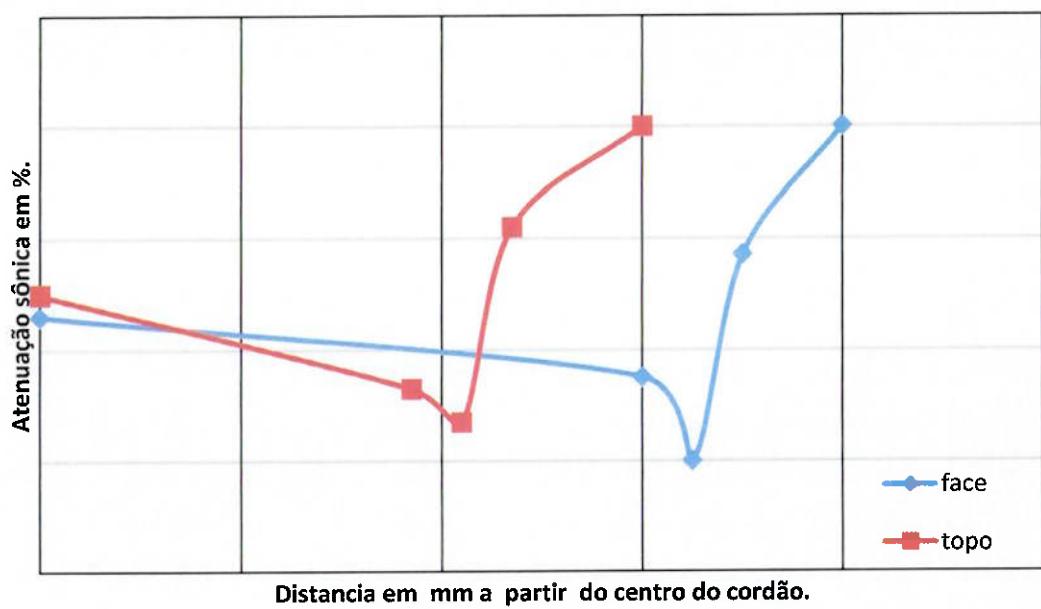


Figura 5.9 Atenuação sônica do CP40V em % lida no ecograma medida nos pontos determinados.

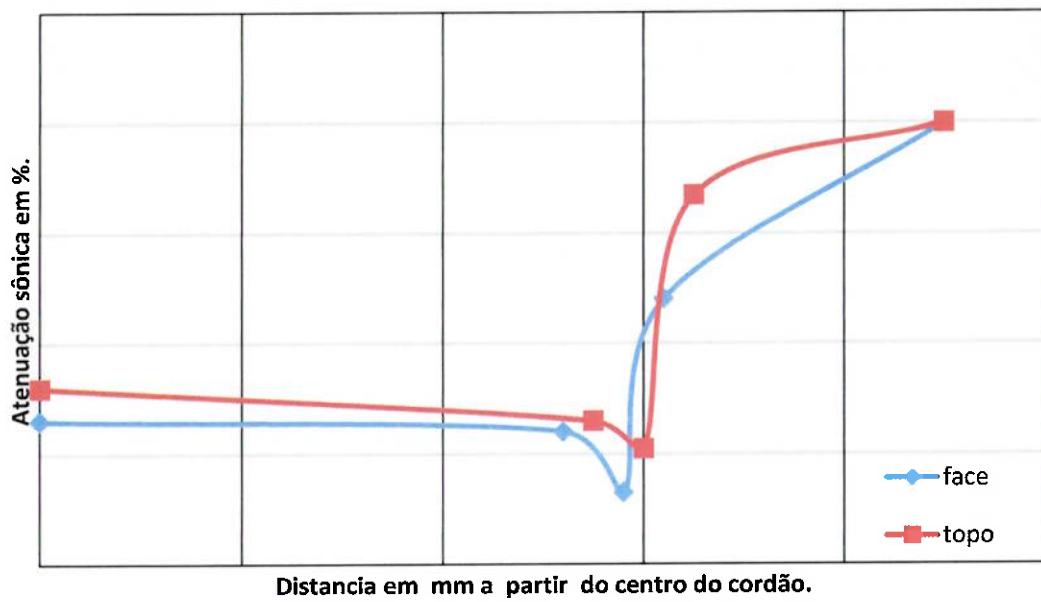


Figura 5.10 Atenuação sonica do CP48V em % lida no ecograma medida nos pontos determinados.

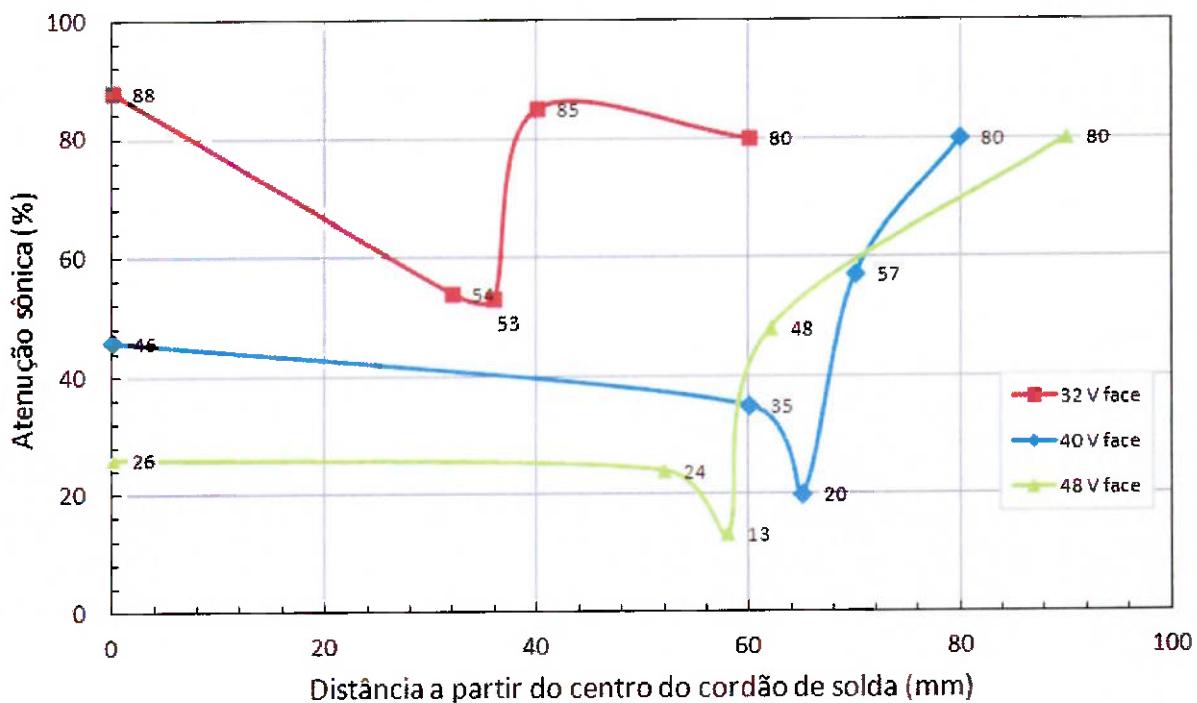


Figura 5.11 Atenuação sônica comparativo entre diferentes tensões.

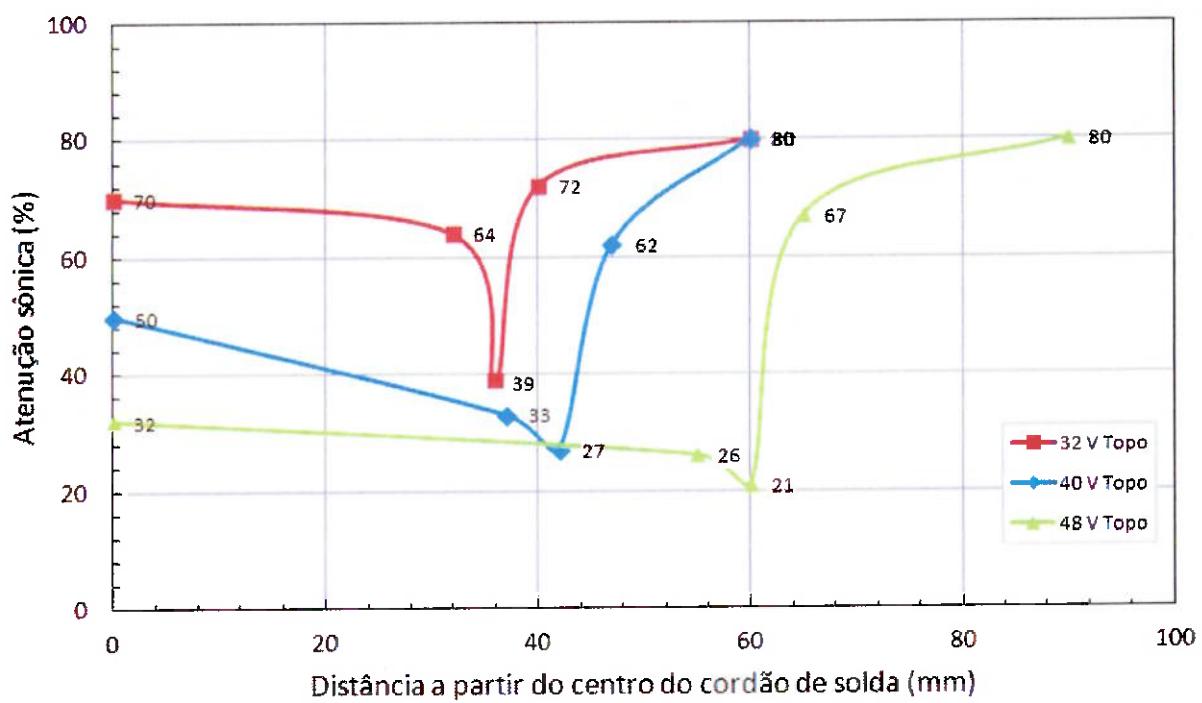


Figura 5.12 Atenuação sônica comparativo entre diferentes tensões.

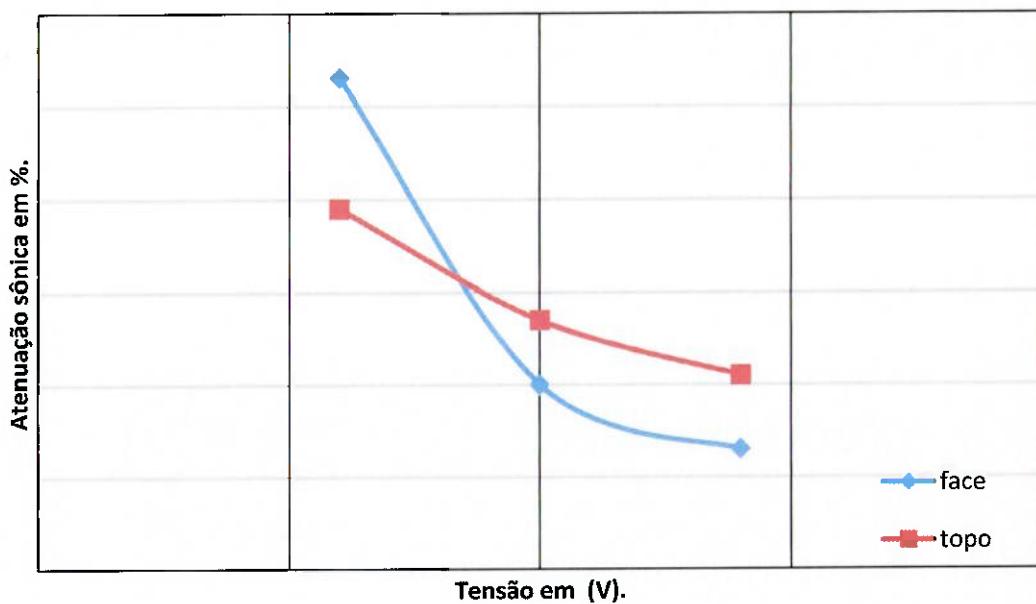


Figura 5.13 Atenuação sônica na zona de ligação em diferentes tensões.

Pode ser observado que o aumento da tensão causa aumento da atenuação do pulso ultrassônico, ou seja, para percorrer uma mesma distância a perda de energia do pulso é maior nas juntas soldadas com tensões mais elevadas. Observa-se também que em todos os casos a maior atenuação ocorre na região da zona de ligação e na região da ZAC próxima a zona de ligação. No lado da zona fundida a atenuação é baixa e praticamente constante. Esta explicação está relacionada ao tamanho de grão das regiões e a transição entre a chapa e a região que foi fundida. Além disso, uma maior orientação dos grãos na zona fundida também diminui a atenuação sônica.

Da mesma maneira nota-se que a atenuação sônica é tanto menor quanto maior for a tensão de soldagem. Este resultado está relacionado ao tamanho da zona fundida e ao tamanho da ZAC.

### **5.3 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO.**

A seguir será descrito os valores encontrados no ensaio de tração realizados seguindo exigência da SEÇÃO IX do CÓDIGO ASME EDIÇÃO 2010 ADENDA 2011. [10]

Teste de tração(QW-150)

Corpo de prova de tração (QW-151): transversal (QW-462.1(a))

Procedimento para os testes de tração (QW-152)

Critério de Aceitação (QW-153):

Corpos de prova soldado com 32 volts:

Tabela 5.7 Resultado corpos de ensaio de tração junta soldada com 32 volts.

C.P.N. <sup>o</sup> 08 (32 V)	W (mm)	T (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fe (KN)	Fmax. (KN)	Sy* (MPa)	Su	L.F.	Ap
T-1-1	19,12	42,83	818-91	190,94	344,61	233	421	ZAC	D
T-1-2	18,70	42,68	798,12	183,18	338,89	230	425	WD	D
T-2-1	19,40	42,53	825,08	214,00	355,01	259	425	ZAC	D
T-2-2	18,83	43,41	817,41	192,26	351,34	235	430	WD	D

Corpos de prova soldado com 40 volts:

Tabela 5.8 Resultado corpos de ensaio de tração junta soldada com 40 volts.

C.P.N. <sup>o</sup> 09 (40 V)	W (mm)	T (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fe (KN)	Fmax. (KN)	Sy* (MPa)	Su	L.F.	Ap
T-1-1	19,15	40,64	778,26	192,67	336,96	248	433	ZAC	D
T-1-2	19,15	40,63	778,06	200,13	338,35	257	435	ZAC	D
T-2-1	19,45	39,06	759,72	183,24	326,56	241	430	ZAC	D
T-2-2	19,22	42,58	818,39	194,05	353,84	237	432	ZAC	D

### Corpos de prova soldado com 48 volts:

Tabela 5.9 Resultado corpos de ensaio de tração junta soldada com 48 volts.

C.P.N.º 10 (48 V)	W (mm)	T (mm)	So (mm <sup>2</sup> )	Fe (KN)	Fmax. (KN)	Sy* (MPa)	Su (MPa)	L.F.	Ap
T-1-1	19,04	40,00	761,60	180,26	322,52	237	423	ZAC	D
T-1-2	18,97	40,14	761,46	177,03	317,74	232	417	ZAC	D
T-2-1	18,67	40,02	747,17	176,28	316,00	236	423	WD	D
T-2-2	18,59	40,00	743,60	179,45	315,25	241	424	ZAC	D

Observação:

T = Espessura do corpo de prova

W = Largura do comprimento paralelo calibrado

Fmáx = Força máxima

Fe = Força de escoamento

So = Área da secção transversal original do comprimento padrão

Su = Resistência à tração

Sy \* = Resistência ao Escoamento Informativo

WD = Solda

MB = Metal de base

L.F. = Local da fratura

ZAC = Zona afetada pelo calor

Ap = Aparência da fratura

D = Ductil

Pode ser observado que a variação da tensão não causou influência significativa sobre os resultados de tração realizados a temperatura de 20° Celsius o que demonstra que a variação da tensão não é o principal fator de alterações na resistência a tração da junta soldada.



Figura 5.14 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 32 volts).



Figura 5.15 Local da fratura corpo de prova (tensão 32 volts).



Figura 5.16 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 32 volts).



Figura 5.17 Local da fratura corpo de prova (tensão 32 volts).

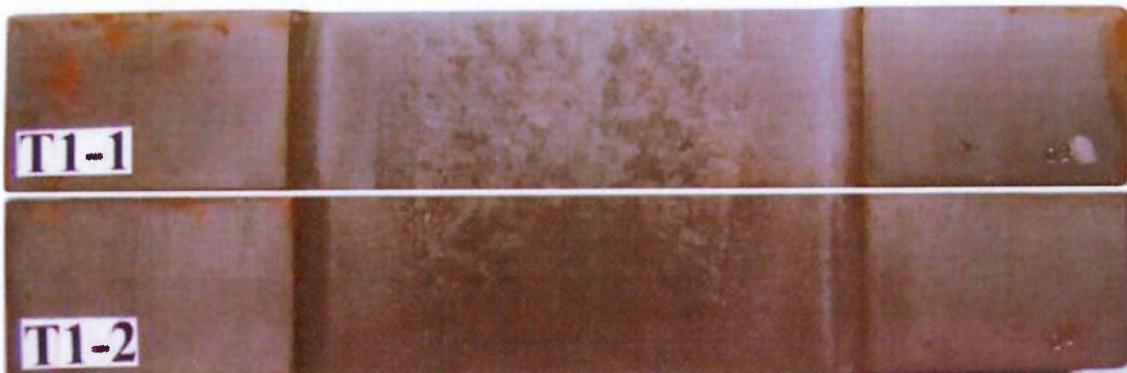


Figura 5.18 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 40 volts).

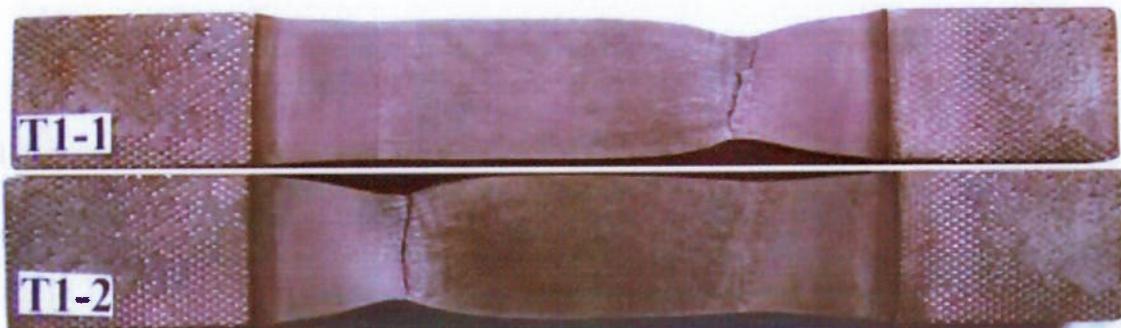


Figura 5.19 Local da fratura corpo de prova (tensão 40 volts).



Figura 5.20 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 40 volts).

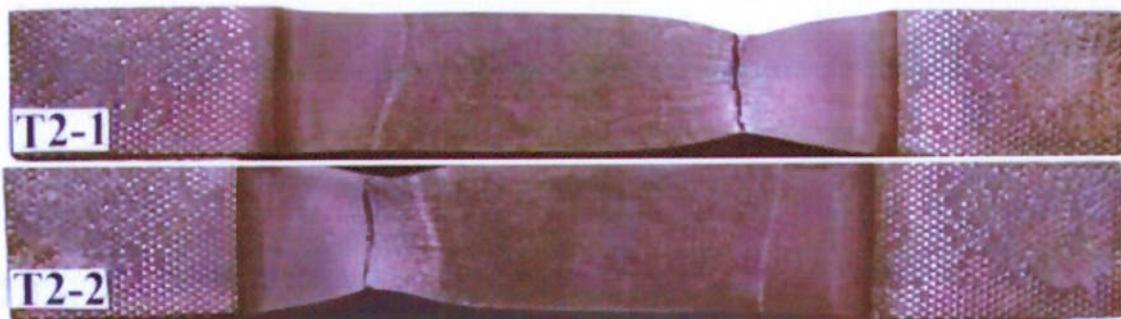


Figura 5.21 Local da fratura corpo de prova (tensão 40 volts).



Figura 5.22 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 48 volts).

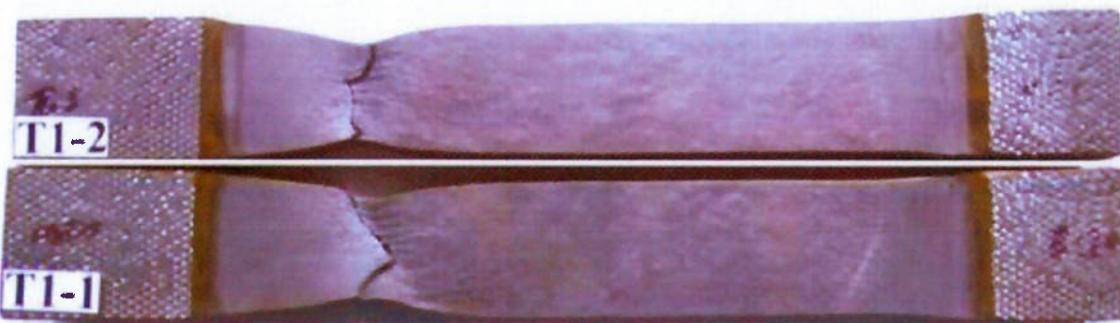


Figura 5.23 Local da fratura corpo de prova (tensão 48 volts).



Figura 5.24 Corpo de prova para ensaio de tração (tensão 48 volts).

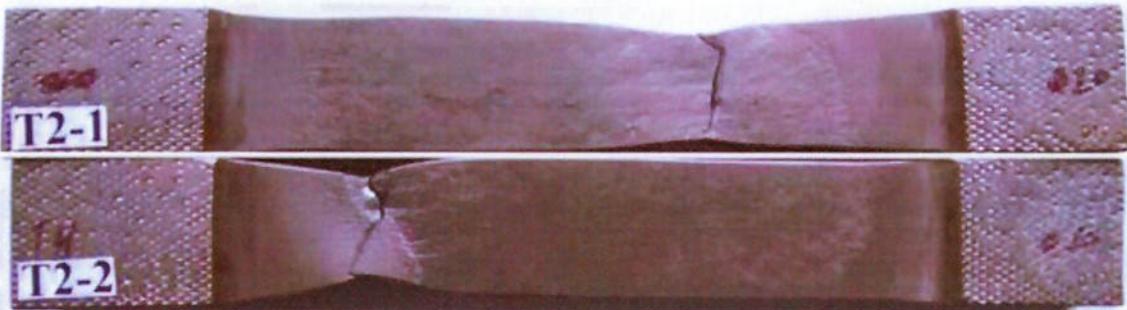


Figura 5.25 Local da fratura corpo de prova (tensão 48 volts).

## **5.4 ENSAIO DE DOBRAMENTO GUIADO.**

Corpo de prova de dobramento (QW-161): Transversal lateral (QW-462.2)

Procedimento para os testes de dobramento guiado (QW-162) [10]

A seguir são exibidos os resultados dos ensaios de dobramento guiado e pode ser observado que a variação da tensão não trouxe mudanças significativas aos resultados, portanto a variação da tensão não compromete severamente a ductibilidade da junta soldada.

Tabela 5.10 Resultados ensaio de dobramento guiado junta soldada com 32 volts

C.P. N.º 008 (32 VOLTS)	Tipo e dimensões de defeitos observados (mm)	Aparência da fratura
D-1-1	Isento	Sem fratura
D-1-2	Isento	Sem fratura
D-2-1	Isento	Sem fratura
D-2-2	Isento	Sem fratura
D-3-1	Isento	Sem fratura
D-3-2	Isento	Sem fratura
D-4-1	Isento	Sem fratura
D-4-2	Isento	Sem fratura

Tabela 5.11 Resultados ensaio de dobramento guiado junta soldada com 40 volts

C.P. N. <sup>o</sup> 009 (40 VOLTS)	Tipo e dimensões de defeitos observados (mm)	Aparência da fratura
D-1-1	Isento	Sem fratura
D-1-2	Isento	Sem fratura
D-2-1	Isento	Sem fratura
D-2-2	Isento	Sem fratura
D-3-1	Isento	Sem fratura
D-3-2	Isento	Sem fratura
D-4-1	Isento	Sem fratura
D-4-2	Isento	Sem fratura

Tabela 5.12 Resultados ensaio de dobramento guiado junta soldada com 40 volts

C.P. N. <sup>o</sup> 010 (48 VOLTS)	Tipo e dimensões de defeitos observados (mm)	Aparência da fratura
D-1-1	Isento	Sem fratura
D-1-2	Isento	Sem fratura
D-2-1	Isento	Sem fratura
D-2-2	Isento	Sem fratura
D-3-1	2,2-1,3-1,4-1,2-1,6-0,6-1,0	Sem fratura
D-3-2	1,3-0,6-0,5-0,4-1,0-0,3	Sem fratura
D-4-1	Isento	Sem fratura
D-4-2	Isento	Sem fratura

Critério de Aceitação (QW-163):

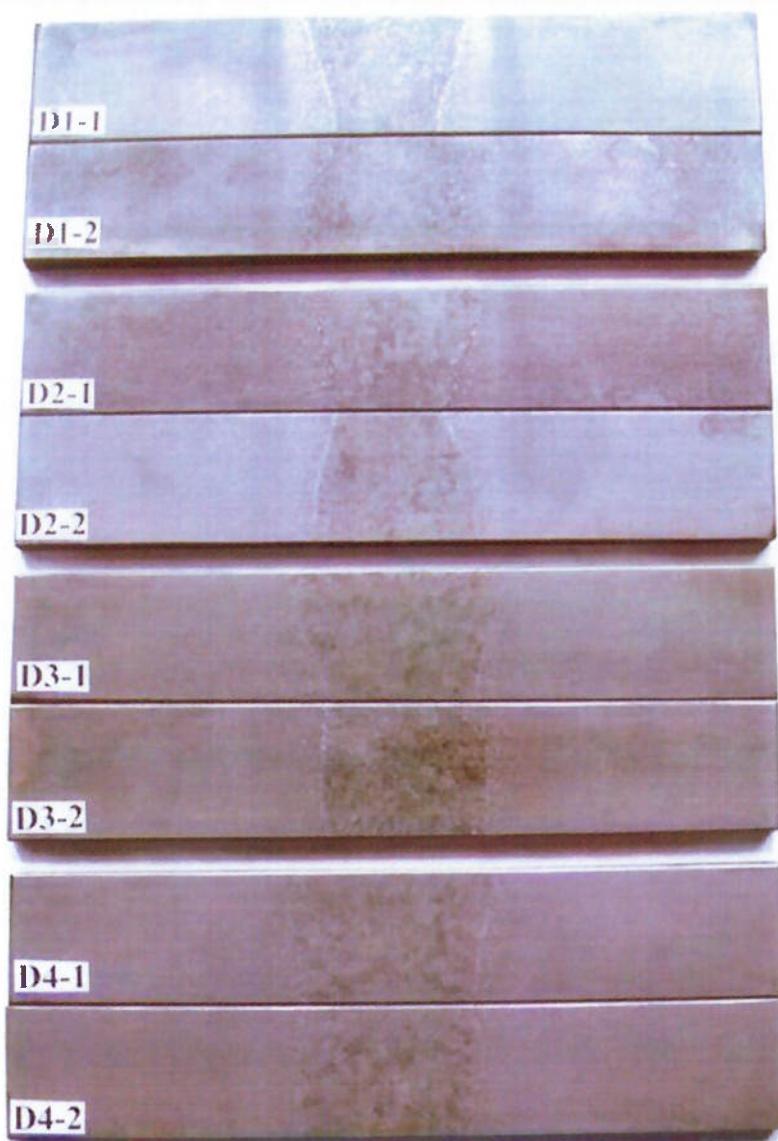


Figura 5.26 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 32 volts).

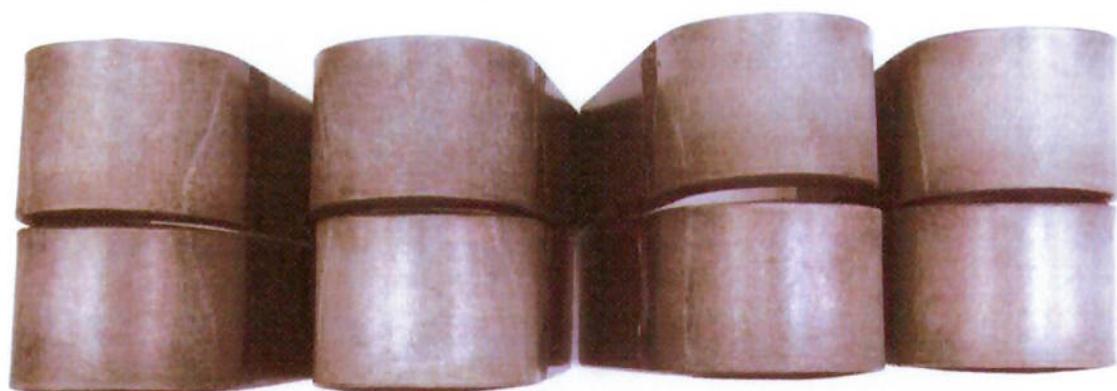


Figura 5.27 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 32 volts).

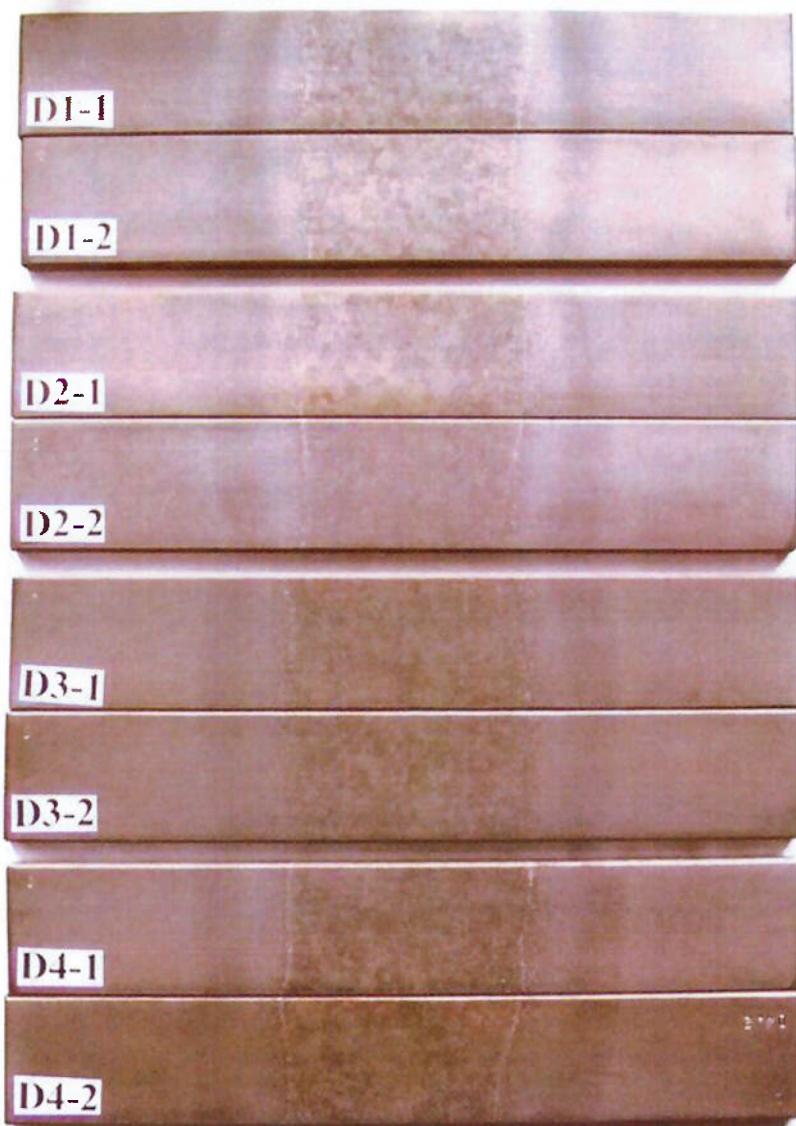


Figura 5.28 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 40 volts).



Figura 5.29 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 40 volts).

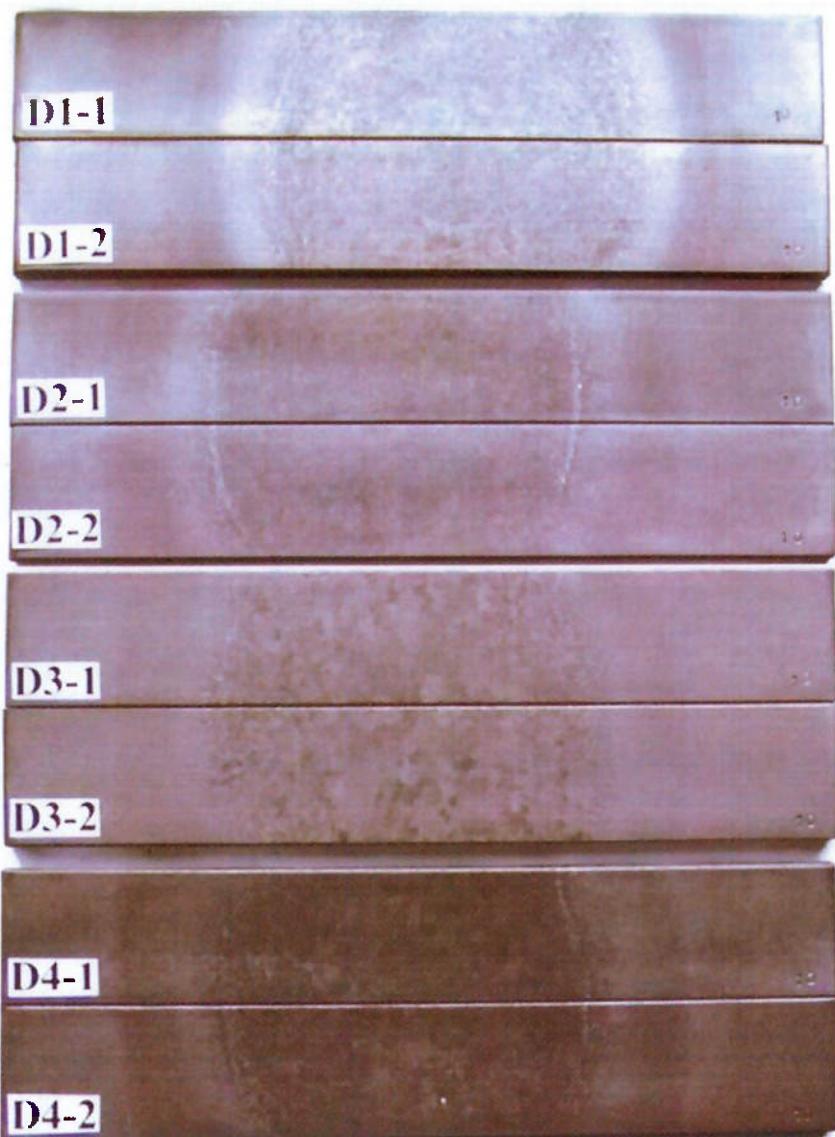


Figura 5.30 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 48 volts).

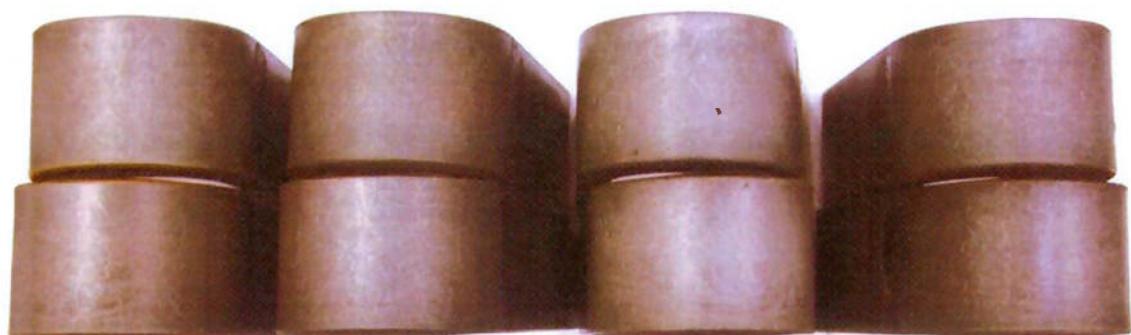


Figura 5.31 Corpos de prova ensaio de dobramento guiado (tensão 48 volts).

## **5.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE IMPACTO.**

Teste de Impacto realizado conforme:(QW-170) [10]

Corpo de prova de impacto: Seção VIII – Divisão 1, Figura UG-84

Procedimento para os testes de impacto: Seção II-Parte A-SA-370

Localização e orientação dos corpos de prova: UG-84 (h) (3)

Referência de exigência do metal base conforme DIN-EM-10025-2 (Ed.2005)

Temperatura de ensaio: 20°C

Localização do entalhe: Solda

Amostra da solda a 1,6 mm abaixo da superfície do metal de base.

Tabela 5.13 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 32 volts (amostra 1,6mm abaixo da superfície)

C.P. N.º 008 (32 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
SS-1	82	
SS-2	113	105
SS-3	119	

Tabela 5.14 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 40 volts (amostra 1,6mm abaixo da superfície)

C.P. N.º 009 (40 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
SS-1	20	
SS-2	103	68
SS-3	81	

Tabela 5.15 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 48 volts (amostra 1,6mm abaixo da superfície)

C.P. N.º 010 (48 volts)	Valor individual (J)	Média (J)	
Metal Base	27	27	
SS-1	75	95	
SS-2	114		
SS-3	96		

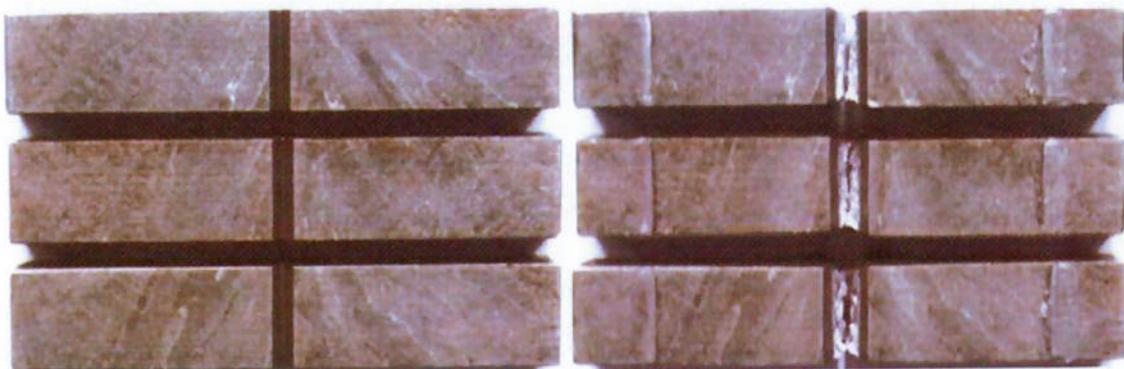


Figura 5.32 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts).

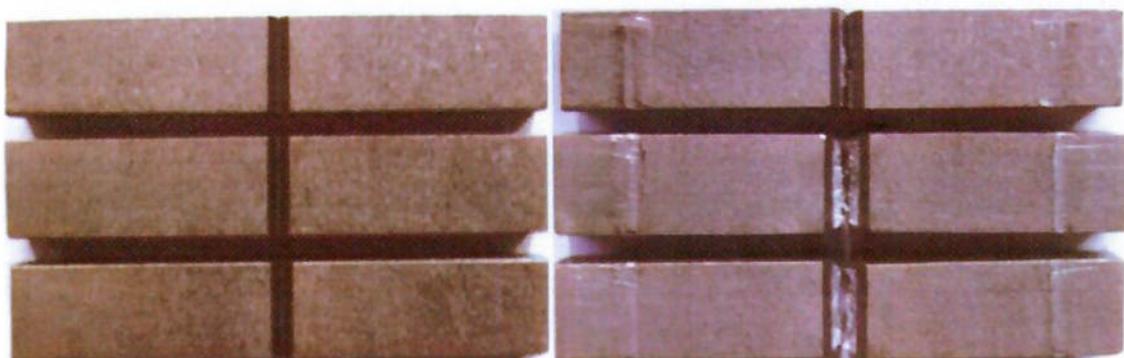


Figura 5.33 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts).

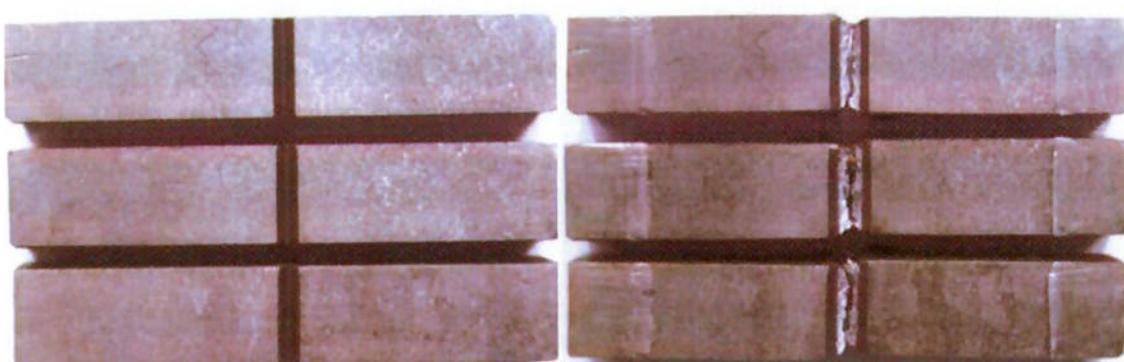


Figura 5.34 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts).

Localização do entalhe: Solda

Amostra da solda a meio caminho entre a superfície do metal de base e a raiz.

Tabela 5.16 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 32 volts (amostra centro da junta).

C.P. N.º 008 (32 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
SM-1	132	
SM-2	127	123
SM-3	109	

Tabela 5.17 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 40 volts (amostra centro da junta).

C.P. N.º 009 (40 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
SM-1	103	
SM-2	118	104
SM-3	91	

Tabela 5.18 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 48 volts (amostra centro da junta).

C.P. N.º 010 (48 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
SM-1	131	
SM-2	96	104
SM-3	85	

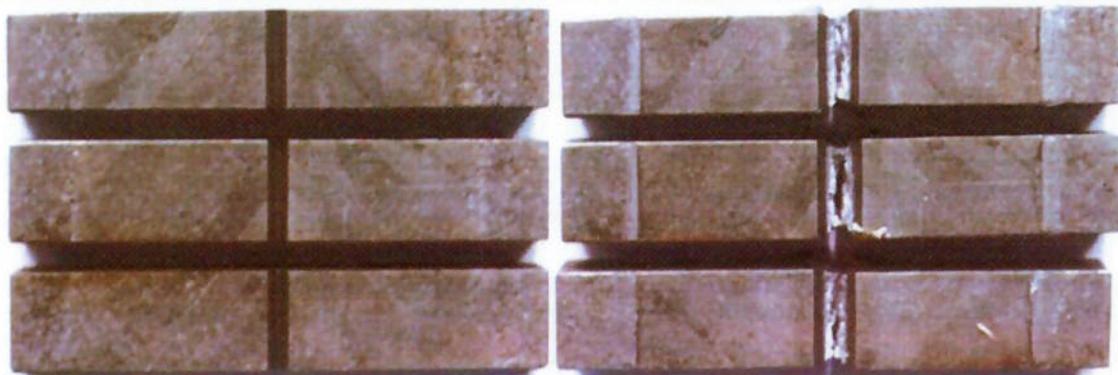


Figura 5.35 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts).

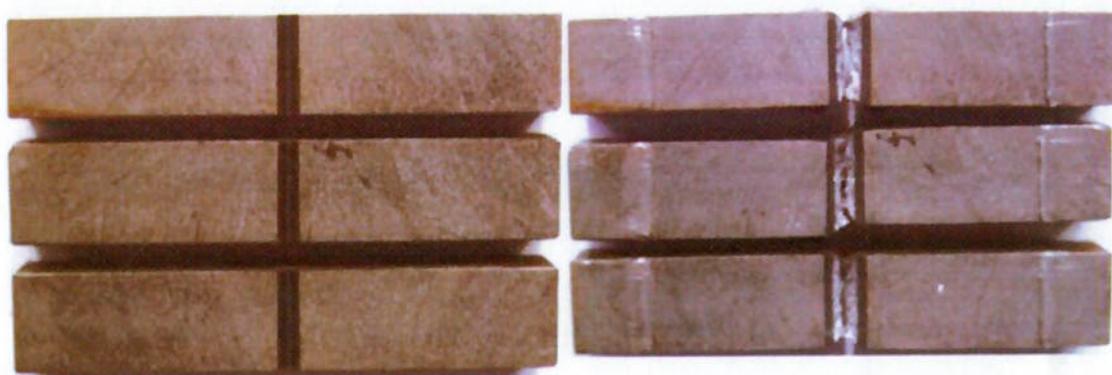


Figura 5.36 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts).

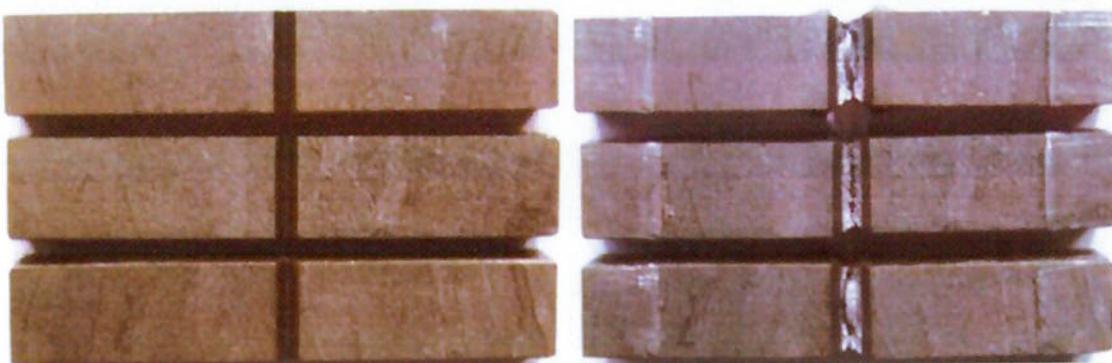


Figura 5.37 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts).

Localização do entalhe: ZAC (Zona Afetada pelo Calor)  
Amostra da ZAC a 1,6 mm abaixo da superfície do metal de base.

Tabela 5.19 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 32 volts (amostra ZAC 1,6 mm abaixo da superfície).

C.P. N.º 008 (32 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
Z-1	153	
Z-2	130	
Z-3	161	148

Tabela 5.20 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 40 volts (amostra ZAC 1,6 mm abaixo da superfície).

C.P. N.º 009 (40 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
Z-1	90	
Z-2	91	91
Z-3	93	

Tabela 5.21 Resultados do ensaio de impacto da junta soldada com 48 volts (amostra ZAC 1,6 mm abaixo da superfície).

C.P. N.º 010 (48 volts)	Valor individual (J)	Média (J)
Metal Base	27	27
Z-1	118	
Z-2	138	128
Z-3	127	



Figura 5.38 Corpo de prova impacto (tensão 32 volts).

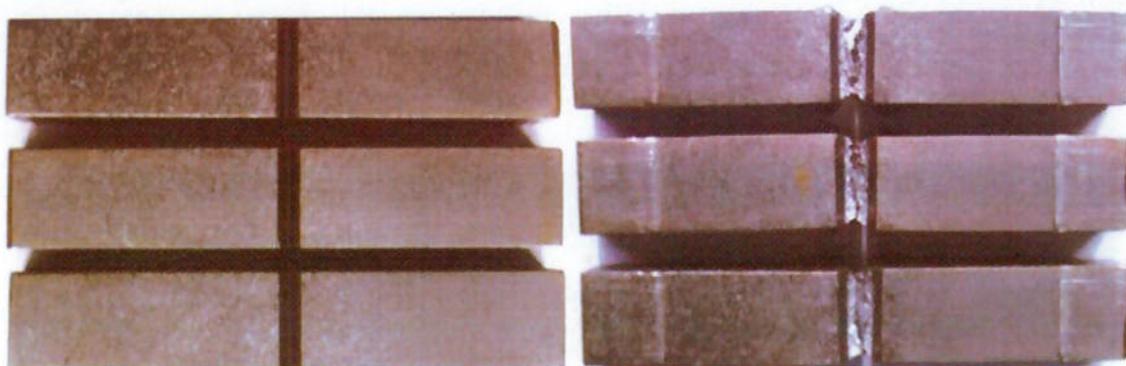


Figura 5.39 Corpo de prova impacto (tensão 40 volts).



Figura 5.40 Corpo de prova impacto (tensão 48 volts).

Pode ser observado através dos resultados que a variação da tensão para tem influência sobre a resistência mecânica ao impacto da junta em estudo especialmente nos resultados do ensaio realizados na ZAC, onde nota-se ser preferível trabalhar com tensões mais baixas a fim de se obter resultados de impacto mais alto, entretanto pode ser observado que os resultados dos corpos de prova retirados da ZAC a 1,6mm abaixo da superfície têm os valores mais

altos de impacto na junta soldada com 32 volts seguidos dos corpos de prova da junta soldada com 48 volts, contrariando assim uma tendência de relação a acréscimo de tensão e redução dos valores de impacto visto que os corpos de prova soldados com tensão igual a 40 volts apresentaram os piores resultados nos valores do ensaio de impacto, com relação aos corpos de prova retirados da solda a 1,6mm abaixo da superfície e retirados do centro da junta a variação dos resultados obtidos no ensaio de impacto com exceção de um corpo de prova da junta soldada com 40 volts retirado a 1,6mm abaixo da superfície que apresentou resultado muito baixo (vinte joules) apresentam valores próximos como os ensaios foram executados a temperatura de vinte graus Celsius, provavelmente a execução deste ensaio a temperaturas baixas levem a resultados similares aos obtidos na ZAC.

Pode ser concluído que a variação da tensão na soldagem causa forte influência aos resultados de impacto especialmente na região da ZAC e que é preferível adotar tensões menores a fim de se obter melhores resultados na resistência ao impacto da junta soldada.

## **5.6 ANÁLISES COMPOSIÇÃO QUÍMICA E METALÓGRAFICA.**

Foram executados exames de análise química e metalográfica do metal de solda depositado, pode ser observado na tabela 5.22 as diferenças entre os corpos de prova analisados.

Tabela 5.22 Analise química do metal de solda depositado.

CP Tensão	Local	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mo (%)	V (%)	Ti (%)	Al (%)	Nb (%)
32 V	Solda	0,13	0,20	0,83	0,012	0,018	0,04	0,03	0,07	0,00	0,001	0,003	0,003	0,002
40 V	Solda	0,14	0,20	0,88	0,010	0,016	0,04	0,02	0,04	0,00	0,001	0,003	0,008	0,002
48 V	Solda	0,14	0,20	0,85	0,010	0,016	0,04	0,02	0,04	0,00	0,001	0,003	0,005	0,002

Pode ser observado através da tabela 5.22 que a variação da tensão não causou influência sobre a composição química do metal de solda o que evidencia que a variação da tensão na soldagem de aços com baixo teor de carbono não interfere na formulação química do material que compõe a zona fundida, entretanto verifica-se que a participação do metal de base aumenta à medida que ocorre o acréscimo da tensão e que por esse motivo na soldagem de materiais ligados ou dissimilares a variação da tensão provavelmente contribuirá para alterações na formulação química do material da zona fundida. A análise metalográfica foi executada com aumento de 100 vezes e superfície atacada com Nital a 3% solução aquosa e foi evidenciado nos três corpos de prova Microestrutura consiste em matriz ferrítica com perlita lamelar, e textura acircular, o que demonstra que a variação da tensão não afetou a formação

microestrutural da solda como pode ser observado nas figuras: 5.41,5. 42 e 5.43.

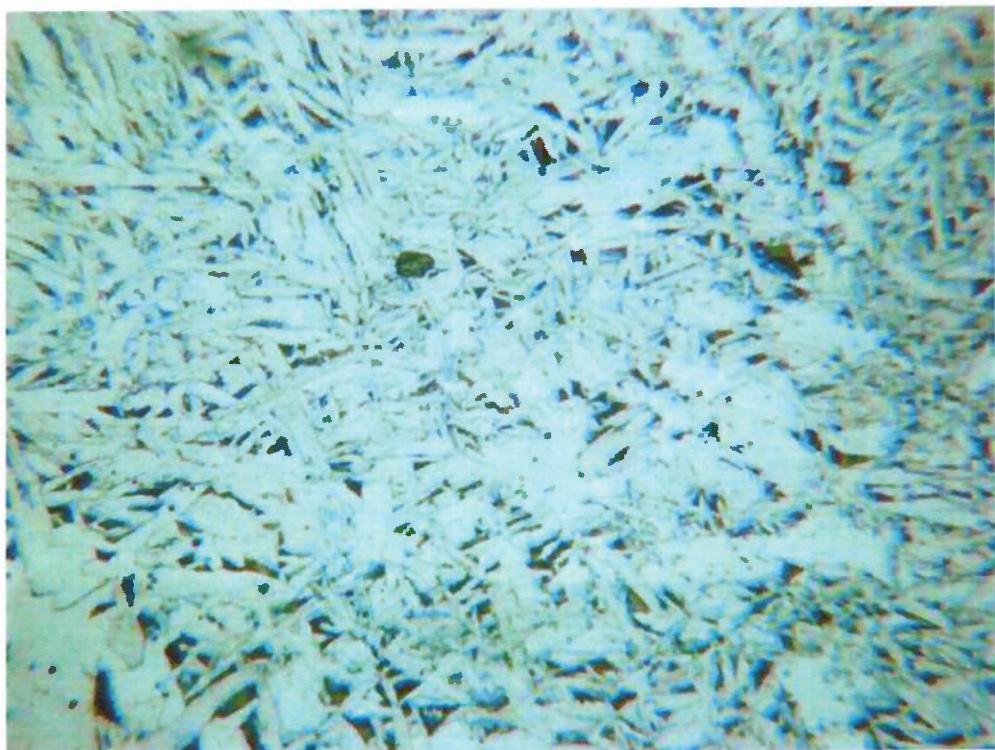


Figura 5.41 Corpo de prova (tensão 32 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes.

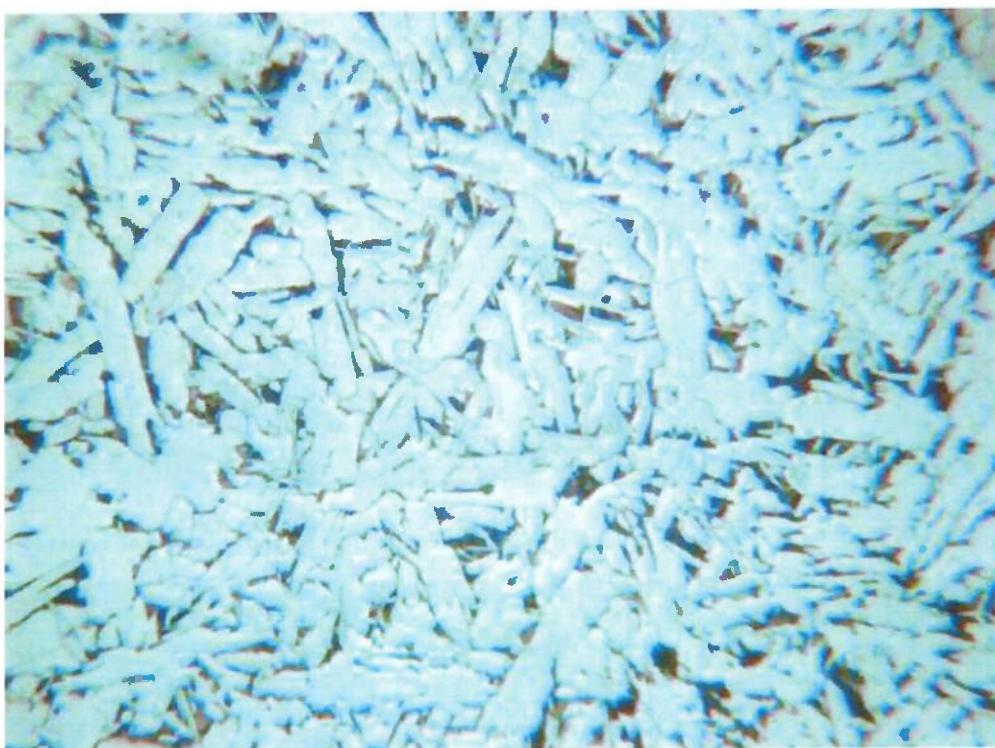


Figura 5.42 Corpo de prova (tensão 40 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes.

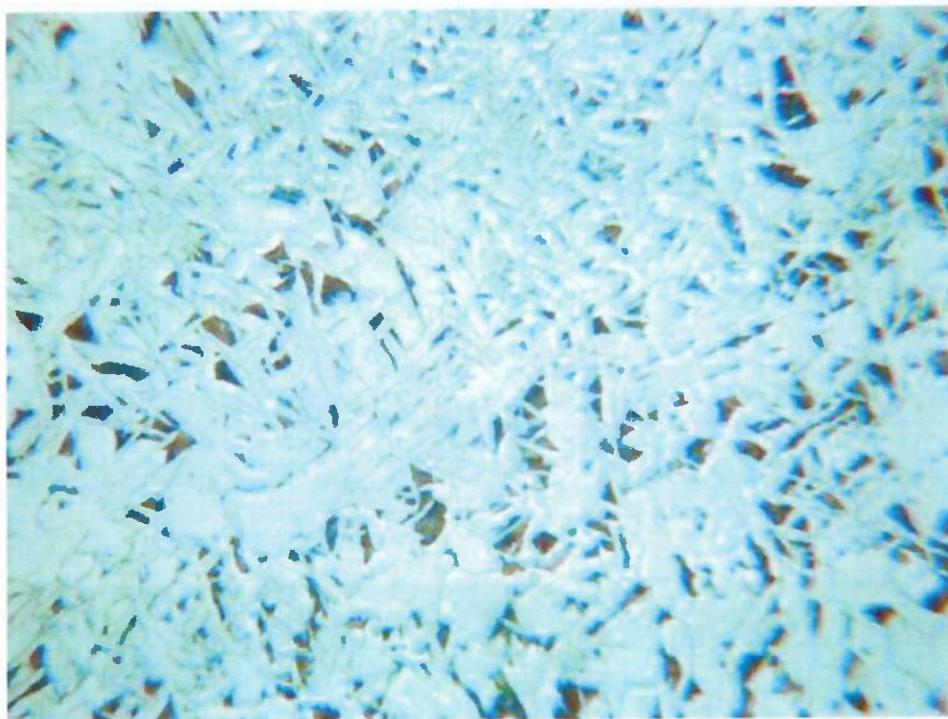


Figura 5.43 Corpo de prova (tensão 48 Volts) ataque Nital 3% aumento 100 vezes.

### **5.7 FATOR DE FORMA E TAMANHO DE GRÃOS.**

Fator de forma é considerado uma variável importante e a obtenção de fatores maiores que 1 é desejada para se comprovar que a junta soldada apresenta boa qualidade, pois segundo estudos valores de fator de forma maior que 1 reduz a chance de nucleação de trincas de solidificação e aumentam a resistência da junta a ruptura por impacto. [8]

Fator de forma é a razão entre a largura da poça de fusão (w) e a penetração da mesma (h) sendo dada da seguinte forma: [8]

$$w/h$$

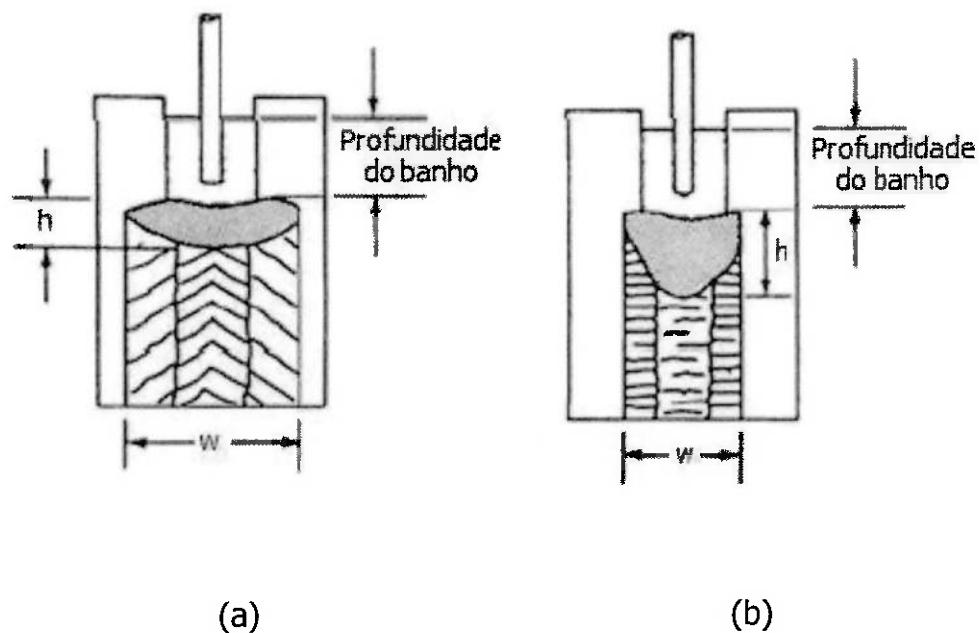


Figura 5.44 Fator de forma menor que 1 (a) e fator de forma maior que 1 (b). (Fonte: AWS)

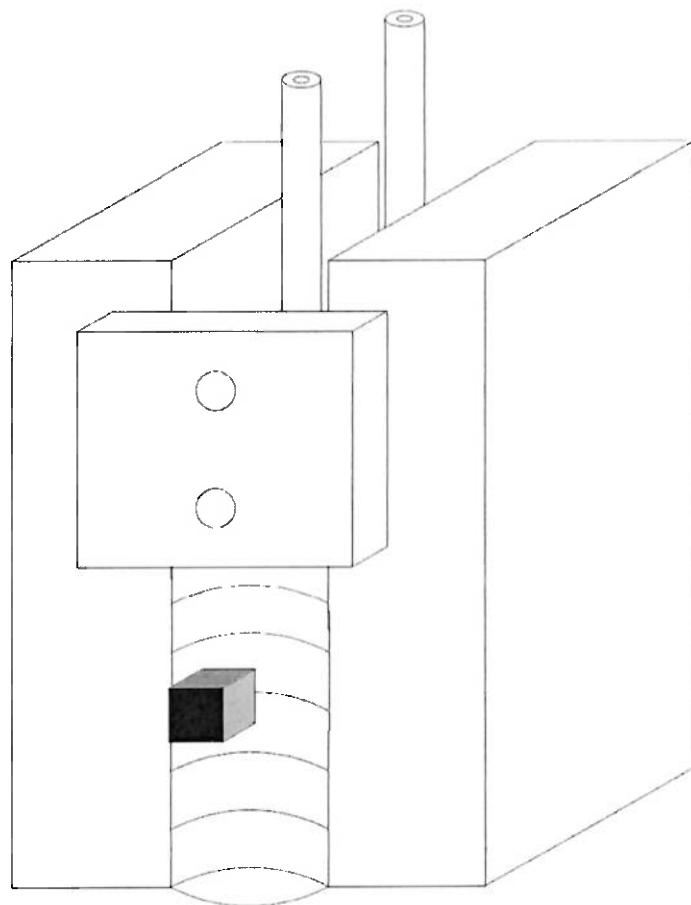


Figura 5.45 Esquema da retirada do cubo de macrografias

A seguir serão exibidas figuras de cubos retirados das juntas soldadas como exemplificado na figura 5.45 o objetivo dos cubos é facilitar a visualização da solda e de qual plano foi executada a mensuração do fator de forma e avaliação do tamanho de grãos.

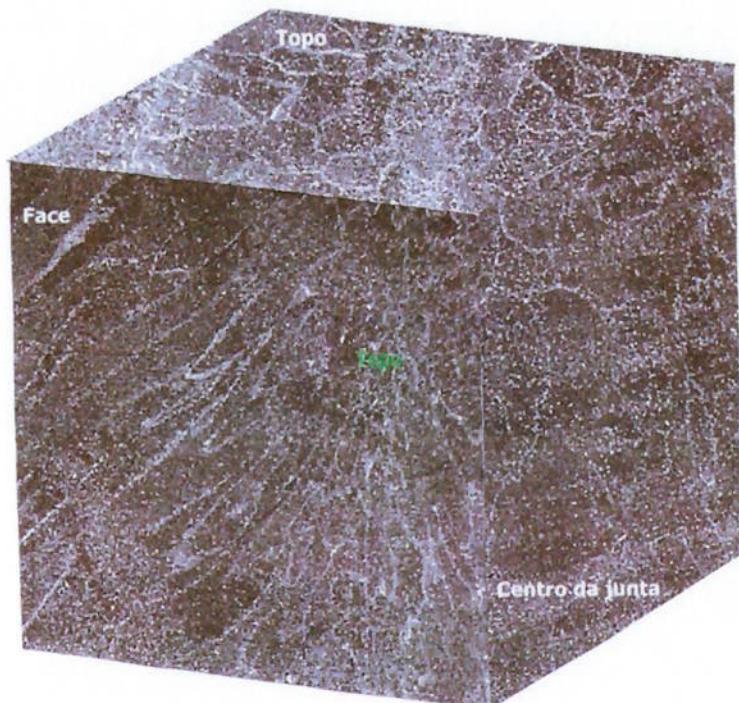


Figura 5.46 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 32 volts.

A figura a seguir demonstra a medição realizada no corpo de prova soldado com 32 volts medição executada pela face:



Figura 5.47 Fator de forma junta soldada com tensão 32 volts.

Calculo do fator de forma para junta soldada com 32 volts:

Largura da poça de fusão: 52 mm

Altura da penetração: 14 mm

Portanto:  $52/14=3.71$  mm

A figura a seguir mostra o dimensionamento do tamanho de grãos:

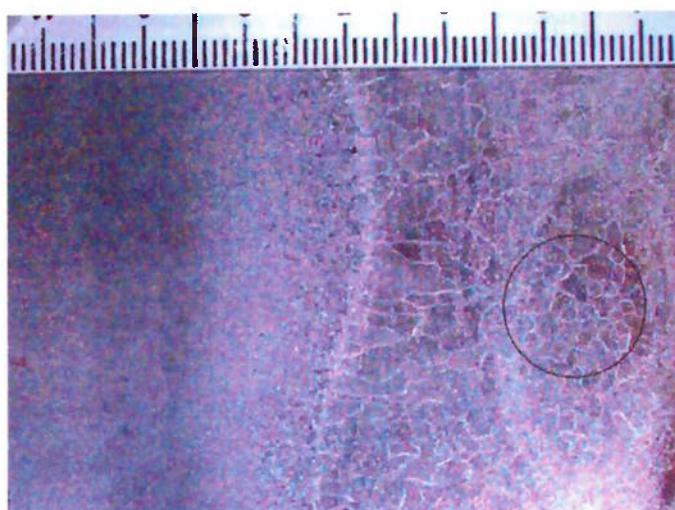


Figura 5.48 Tamanho de graos junta soldada com tensao 32 volts.

Utilizando a técnica de contagem por interceptos que cruzam um círculo de 20mm de diâmetro (foram contados 34 interceptos) observamos que o tamanho de grãos na junta soldada com 32 volts é de em média 1,84 mm.

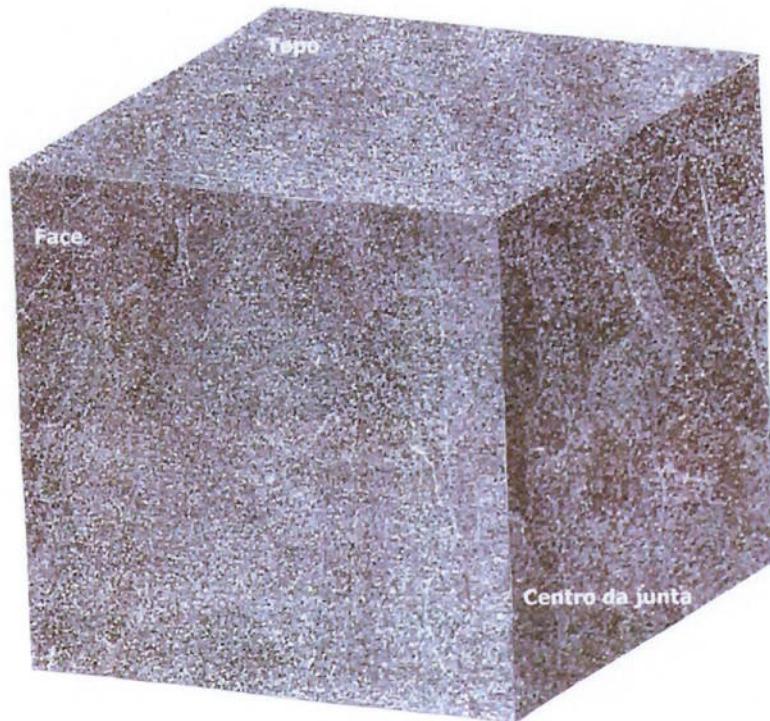


Figura 5.49 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 40 volts.

A figura a seguir demonstra a medição realizada no corpo de prova soldado com 40 volts medição executada pela face:

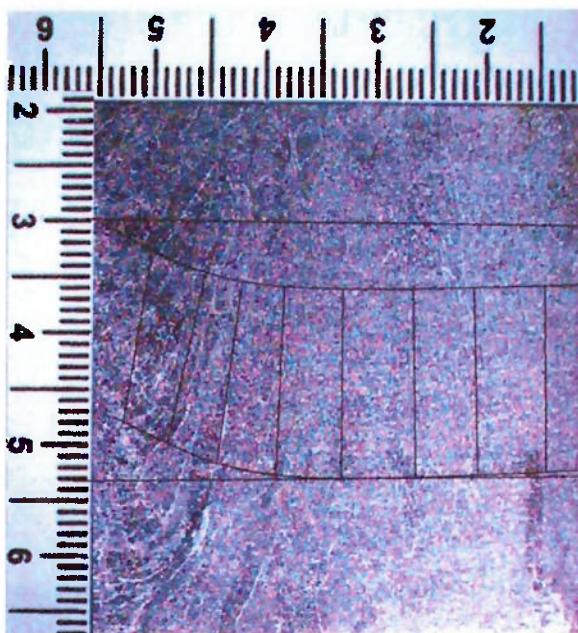


Figura 5.50 Fator de forma junta soldada com tensão 40 volts.

Calculo do fator de forma para junta soldada com 40 volts:

Largura da poça de fusão: 84 mm

Altura da penetração: 23 mm

Portanto:  $84/23=3,65$  mm

A figura a seguir mostra o dimensionamento do tamanho de grãos:

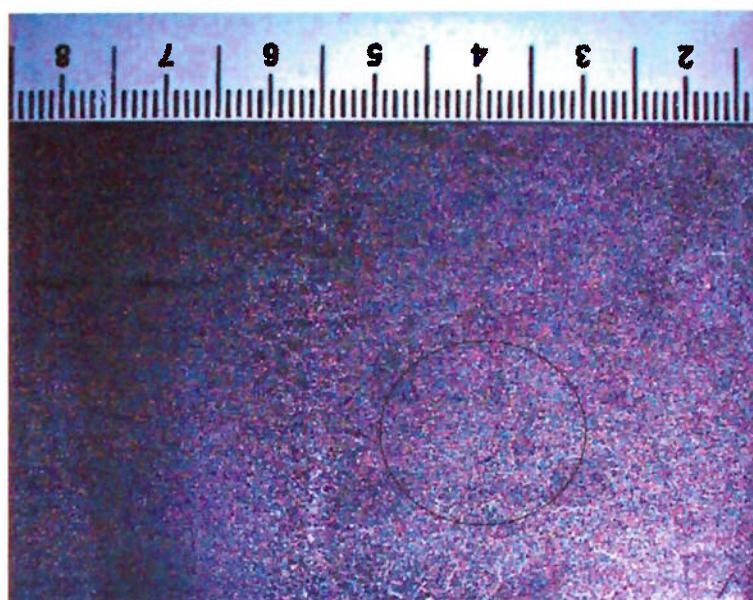


Figura 5.51 Tamanho de grãos junta soldada com tensão 40 volts.

Utilizando a técnica de contagem por interceptos que cruzam um círculo de 20 mm de diâmetro (foram contados 20 interceptos) observamos que o tamanho de grãos na junta soldada com 40 volts é de em média 3,14 mm.

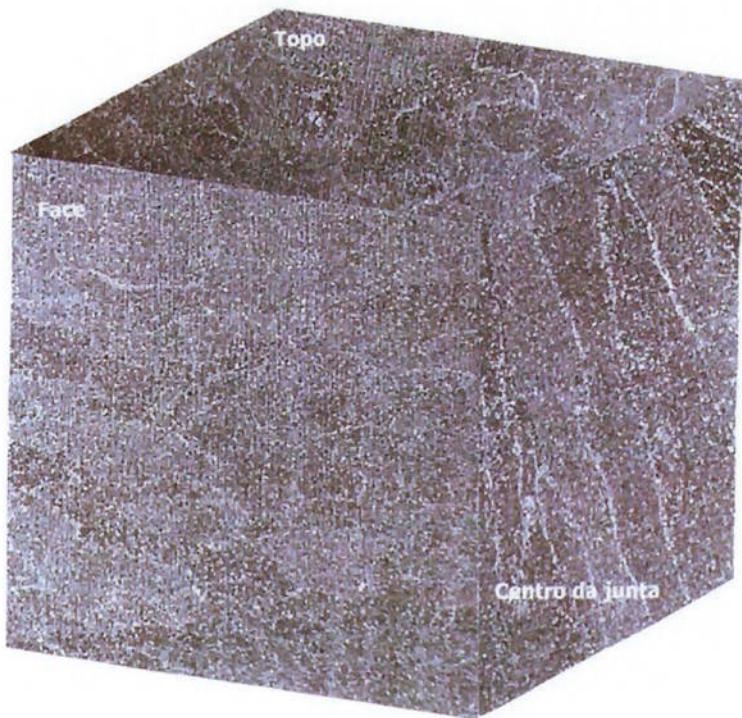


Figura 5.52 Cubo de macrografias junta soldada com tensão 48 volts.

A figura a seguir demonstra a medição realizada no corpo de prova soldado com 48 volts medição executada pela face:

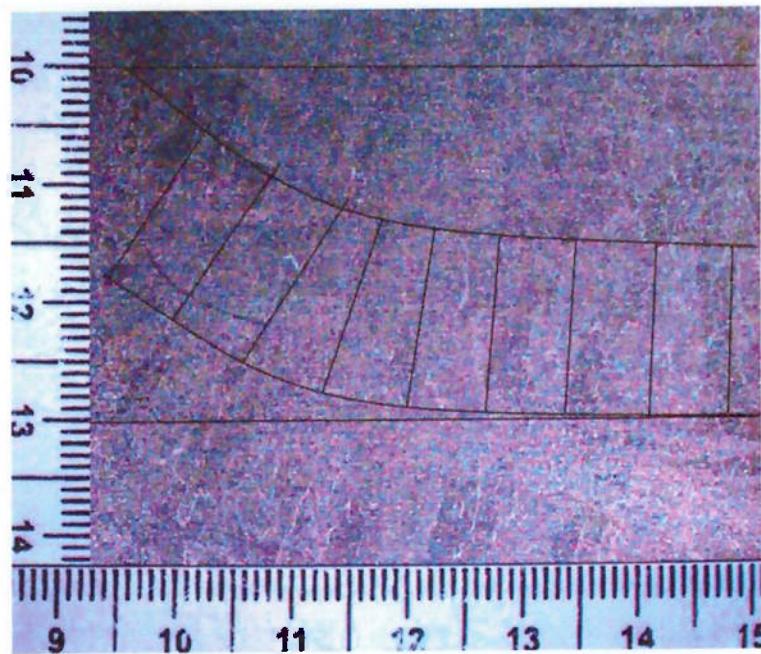


Figura 5.53 Fator de forma junta soldada com tensão 48 volts.

Calculo do fator de forma para junta soldada com 48 volts:

Largura da poça de fusão: 110 mm

Altura da penetração: 30 mm

Portanto:  $110/30=3,66$  mm

A figura a seguir mostra o dimensionamento do tamanho de grãos:

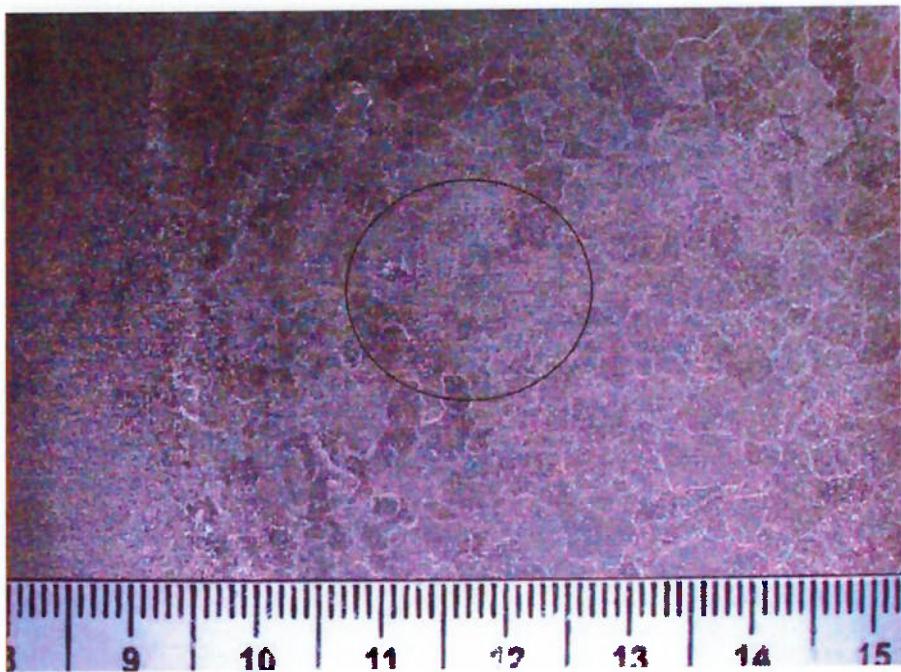


Figura 5.54 Tamanho de grãos junta soldada com tensão 48 volts.

Utilizando a técnica de contagem por interceptos que cruzam um círculo de 20mm de diâmetro (foram contados 17 interceptos) observamos que o tamanho de grãos na junta soldada com 48 volts é de em média 3,69 mm. [11] Pode ser observado que a variação da tensão na soldagem das juntas provoca grande aumento na largura da poça de fusão, portanto a participação (diluição) do metal base na zona fundida aumenta acompanhando o aumento da tensão, outro fator que depois de mensurado demonstrou crescer a medida em ocorreu acréscimo de tensão foi à penetração, ou seja, a profundidade da poça de fusão aumentou com o aumento da tensão, entretanto a variação do fator de forma se mostrou muito pequena como observado na figuras 5.47, 5.50 e 5.53 pois ficou após mensurar cada fator de forma em particular foi evidenciado que como a influência da tensão causa aumento tanto da largura da poça de fusão como na altura da penetração gera um efeito compensador entre a relação largura e altura da poça de fusão ou seja como as duas variáveis aumentam

juntamente com o acréscimo da tensão o valor do fator de forma se mantém praticamente inalterado.

A contagem de interceptos para determinação do tamanho de grãos evidenciou que a variação da tensão na soldagem das juntas teve efeitos muito significativos na soldagem das juntas, e que houve um aumento do tamanho de grãos a medida que houve acréscimo na tensão de soldagem, sendo portanto desta maneira na maior parte das aplicações a utilização de menores tensões de soldagem evitando desta forma o crescimento exagerado do tamanho dos grãos e formação de estruturas colunares dendriticas, salvo a situações especiais onde é desejável a formação de estruturas colunares dendriticas com grãos maiores como exemplo pode ser citado alguns componentes de fornos que trabalham em temperaturas elevadas.

### **5.8 RELAÇÃO ENTRE OS CICLOS TÉRMICOS E EXTENSÃO DA ZAC.**

Com base nos resultados obtidos da leitura dos termopares executada de um lado da junta foram construídos gráficos que demonstram os diferentes ciclos térmicos impostos a soldagem das juntas em função da variação da tensão em cada junta e relaciona estes ciclos térmicos obtidos com o aumento da extensão da ZAC como segue:

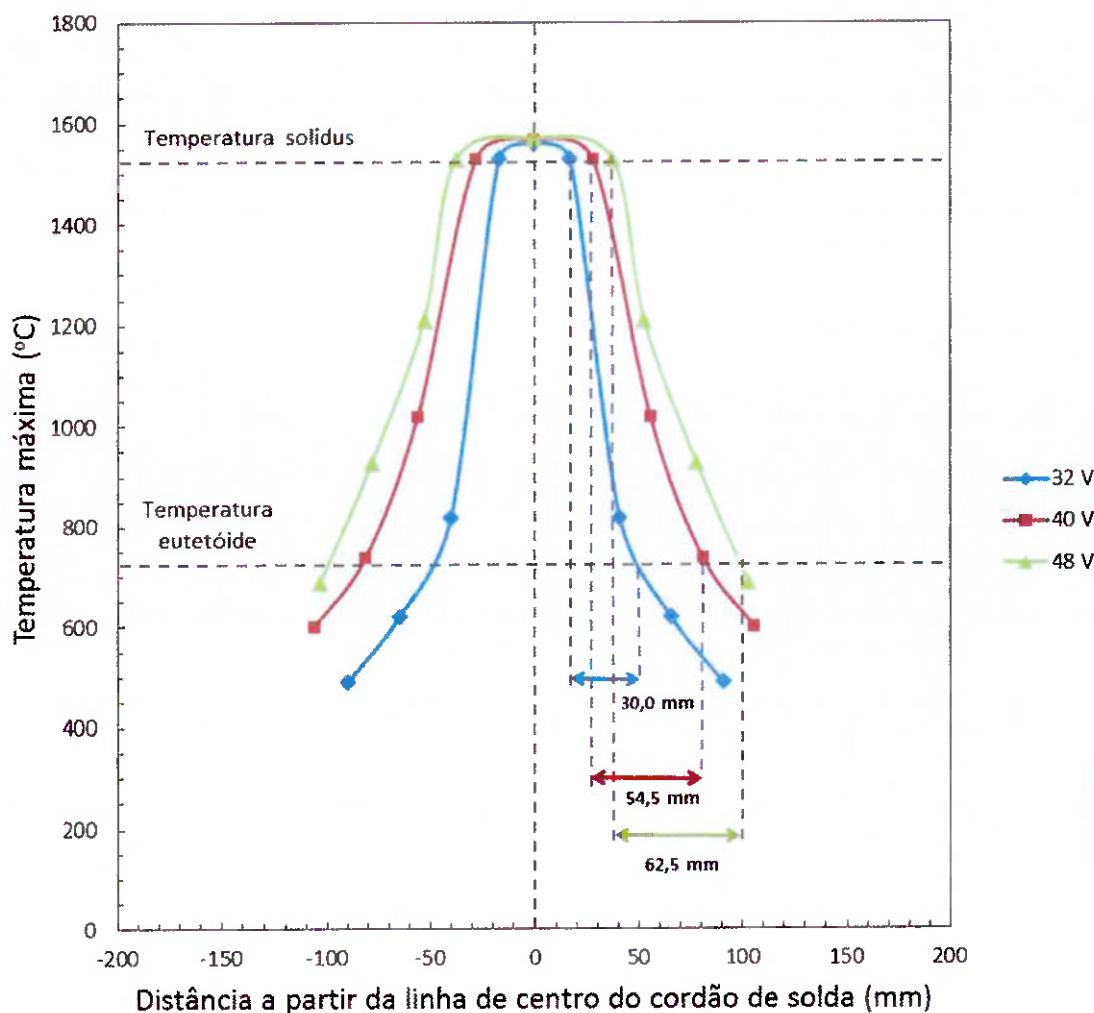


Figura 5.55 Ciclo termico das juntas.

A figura 5.55 mostra os diferentes ciclos térmicos lidos através de termopares instalados de um lado da junta com as seguintes distâncias; determinadas sempre a partir do centro da junta:

- Primeiro termopar instalado a 40 mm;
- Segundo termopar instalado a 65 mm;
- Terceiro termopar instalado a 90 mm.

Após a execução da soldagem foram colhidos dados de temperatura que geraram o gráfico da figura 5.55, considerando a temperatura máxima 1540°C (temperatura critica sólidos/líquidos para aços carbono de baixa liga) e

respectivamente 723°C para temperatura eutetóide do referido aço (O ponto E (eutetóide) é a menor temperatura de equilíbrio entre as formações ferrita e a austenita, correspondendo a cerca de 0,77% de carbono a 727°C. E os aços podem ser eutetóides, hipoeutetóides ou hipereutetóides. O termo eutético se refere ao equilíbrio entre fases líquida e sólida. Nesse caso, usamos o sufixo oide (= semelhante a) para indicar que o equilíbrio ocorre entre fases sólidas. Esse ponto é o lugar do diagrama em que temos a convivência simultânea das três fases citadas acima, isto é, quando resfriamos o aço, teremos a transformação da austenita em ferrita e cementita. Especificamente para essa composição, a temperatura permanece constante enquanto a transformação não se completar totalmente.

O aço eutetóide é um aço que tem um teor de carbono de 0,77%, que tem como produto final as fases ferrita e cementita em contorno de grão (perlita). A essa reação é dado o nome de reação eutetóide, que é uma reação na qual temos a transformação de uma fase sólida (austenita) em duas fases sólidas (ferrita e cementita). A reação eutetóide se processa lentamente, pois é um processo em que temos que ter migração dos átomos de carbono para que as novas fases sejam formadas.

Como ocorre

Quando um aço de composição eutetóide é resfriado desde o campo austenítico e chega à temperatura eutetóide de 727 °C, a estrutura CFC da austenita torna-se instável e é necessário que haja uma transformação de estrutura (no caso a ferrita -CCC). Ocorre, porém, que a ferrita é uma fase em que a solubilidade do carbono é muito menor do que na austenita e nesse caso

haverá uma quantidade de carbono excedente que irá formar outra fase, que é a cementita.

A formação da ferrita se dá a partir de pontos de maior energia, como por exemplo, os contornos de grão, e vai crescendo em direção ao centro do grão. À medida que a ferrita cresce o carbono em excesso vai sendo expulso para as regiões adjacentes, dando origem à cementita. Como existe a formação quase simultânea de vários núcleos de ferrita, a estrutura resultante passará a ser composta de regiões alternadas de ferrita e de cementita. Como consequência, ao final da transformação, toda a estrutura do aço será formada por lamelas de ferrita e cementita. Observada ao microscópio, essa estrutura lembra uma impressão digital e recebe o nome de perlita.) [5]

Através de medições realizadas em macrografias e apenas de um dos lados das juntas soldadas foram obtidos os seguintes valores como se segue:

Tabela 5.23 Extensão da ZAC medida nos corpos de prova e através da curva de repartição térmica.

ZF CP	ZAC CP	ZAC RT	ZAC CP/ ZAC RT	Distância dos termopares da ZDL		
				1°	2°	3°
17 mm	32,5 mm	30 mm	8,3%	23	13	04
28 mm	49mm	54,5 mm	11,2%	48	38	29
37 mm	57 mm	62,5 mm	9,6%	73	63	54

Na tabela 5.23 tem-se as seguintes abreviaturas: ZF CP: Zona fundida medida no Corpo de prova; ZAC CP: Zona afetada pelo calor medido no corpo de prova; ZAC RT: Zona afetada pelo calor medida pelas repartições térmicas; ZAC CP/ZAC RT: Diferença observada entre as medições executadas nos corpos de

prova e registradas pelos termopares na curva da repartição térmica expresso em porcentagem; Distância dos termopares da ZDL: Distância dos termopares a partir da zona de ligação medida nos corpos de prova.

Através da tabela 5.23 é possível afirmar que a extensão da ZAC aumentou com o aumento da tensão assim como a área da zona fundida e, portanto a participação do material de base, com base nestas informações é evidenciada que a influencia da tensão têm ação direta sobre a extensão da ZAC e que em geral é desejável a menor extensão possível da ZAC é preferível que a soldagem seja executada com a menor tensão possível propiciando assim a redução da extensão da ZAC e a conseqüente melhora do resultado de impacto como evidenciado no sub-capítulo 5.5 e redução do crescimento de grãos como evidenciado no sub-capítulo 5.6.

Da mesma forma através da figura 5.55 é possível afirmar que com o acréscimo da tensão ocorreu também o aumento da região afetada pelo calor e conseqüentemente o aumento do volume de material base sujeito a transformações indesejáveis entre a temperatura líquidos e a temperatura eutetóide.

## **6. CONCLUSÕES.**

Com base nos estudos e resultados apresentados neste trabalho pode ser verificado que a variação da tensão na soldagem de juntas em aço carbono com espessura igual a 89,00mm pelo processo de eletroescórias evidenciou que a variação da tensão causa forte influência sobre os valores de resistência ao impacto da junta especialmente na ZAC, entretanto na região fundida a influência não é significativa quando os ensaios são realizados a temperatura de vinte graus Celsius; porém é preferível a utilização de tensões mais baixas a fim de melhorar a resistência ao impacto da junta, vale salientar que todos os corpos de prova atendem requisitos mínimos de impacto, foi também evidenciado que o acréscimo da tensão está diretamente ligada ao crescimento de grãos ou seja a medida em que são empregadas tensões mais elevadas para a mesma junta ocorrerá a formação de grãos maiores e que o uso de tensões mais elevadas induz a formação de estruturas colunares dendriticas em geral não desejadas, pois reduzem significativamente as propriedades mecânicas da junta especialmente a de resistência ao impacto notou-se também que a variação da tensão está diretamente ligada a energia de soldagem imposta e que o acréscimo de tensão aumenta o tempo de passagem da poça da temperatura liquidus até o a temperatura eutetóide e aumenta também a extensão da ZAC propiciando por mais tempo e em maior extensão a formação de estruturas não desejadas como supra citado, ainda neste trabalho foi verificado que a variação da tensão de valores baixos para valores mais elevados faz com que em função provavelmente do exagerado crescimento de

grãos ocorra maiores atenuações sônicas dificultando deste modo a inspeção da junta pela técnica de ultrassom, também foi evidenciado que a atenuação do som aumenta com acréscimo da tensão especialmente na zona de ligação e adjacências e tende a diminuir a medida em que se aproxima do centro da junta, evidenciando que a dispersão e absorção do pulso ultrassônico ocorre com maior severidade na região de crescimento de grãos também foi evidenciado que a medição por ultrassom no plano topo é mais significativa pois por este plano é possível determinar de forma mais precisa as diferentes regiões da junta, entretanto na prática esta verificação é impossibilitada em função da geometria que este tipo de junta em geral apresenta, também foi observado que a variação da tensão não causou alterações significativas na composição química do metal fundido nem em sua formação microestrutural, outro importante fator observado foi que o acréscimo de tensão na soldagem da junta gera forte influência sobre a largura da poça de fusão e a altura da penetração, entretanto como ficou evidenciado durante a medição do fator de forma a alteração da altura da penetração da poça e a largura da poça aumentaram de forma equivalente com o acréscimo da tensão mantendo desta forma praticamente inalterado o valor do fator de forma, porém sempre com valores considerados bons.

Também ficou evidenciado que em função da variação da tensão ocorreu a variação da velocidade de soldagem sendo que para esta variável à medida que se empregou maiores valores de tensão a velocidade de soldagem também aumentou, porém não na mesma razão.

Finalizando é possível afirmar que o uso de tensões mais baixas neste estudo com valor igual a trinta e dois volts é preferível, pois trazem benefícios significativos as propriedades mecânicas da junta especialmente a resistência ao impacto na ZAC, propicia também redução do crescimento de grãos e diminuição da atenuação sônica facilitando desta forma a inspeção e detecção de possíveis descontinuidades neste tipo de junta e a diminuição do tempo em que a junta permanece em temperaturas críticas bem como também reduz a extensão da ZAC, também é possível afirmar que o uso da técnica de ultrassom para verificação da atenuação sônica consegue determinar ainda que de forma pouco precisa a tendência de crescimento exagerado de grãos pois como ficou evidenciado a atenuação do pulso ultra-sônico esta de diretamente ligada ao crescimento de grãos se tornando portanto uma excelente ferramenta adicional a avaliação da qualidade da junta soldada por este processo.

### **SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.**

A utilização de fontes com controle de formato de onda e pulso pode trazer algum benefício no controle da extensão da ZAC e do crescimento de grãos, a utilização de elementos nucleadores no fluxo pode trazer benefícios na redução do crescimento de grãos e formação de estruturas colunares dendriticas.

Em função das novas gerações de equipamentos para soldagem e de novos materiais e consumíveis a aplicação do processo de soldagem por eletroescórias pode ser uma alternativa viável a indústria moderna o estudo desta viabilidade considerando os atuais avanços ainda não foi realizado.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

1. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo: Edgar Blücher, 1995. 494 páginas.
2. PATON,B., "Eletroslag Welding" American Welding Society; trade distributor: Reinhold Pub. Corp., 1962 - 468 páginas.
3. AWS-WELDING HAND BOOK, AMERICAN WELDING SOCIETY,ANNETTE,OB.,2001 918 paginas.
4. AWS-Current Welding Processes; ad. Philips, A.L..., 1964
5. ASM- Metals Handbook, Welding and Brazing, vol. 6, 8<sup>a</sup> Ed. 1971.
6. CAMPBELL, H.C."Electroslag, electrogas, and relaed welding processes".Bulletin Nº154, New York: Welding Research Council,1970.
7. SINDO KOU – Welding Metallurgy 2<sup>a</sup> Edição; Ed. Wiley Interscience /2002.
8. RICCI, W.S. and EAGAR,T.W. "A parametric study of the Electroslag welding process".Welding Research Suplement 68(2):397-400; Dezembro/1982.
9. GUERRA MACHADO,IVAN – Soldagem &Técnicas conexas: Processos. Laboratório de soldagem técnicas & conexas centro de tecnologia da universidade federal do Rio Grande do Sul 2007 .
10. An international code 2007 ASME Boiler & Pressure Vessel Code Vol. IX Welding and Brazing. (Copyright 2007 by The American Society of Mechanical Engineers).

11. FROST,R.H.,EDWARDS, G.R. and RHEINLANDER,M.D."A constitutive equation for the critical energy input during electroslag welding". Welding Journal 60(1):1-6;Janeiro/ 1981.
12. HANNAHS,J.R. and DANIEL,L."Where to consider electroslag welding".Metal Progress 98(5):62-64;Maio/ 1970.
13. Dorschu, K. E;,, "Production of Especial-Steel Billets by Continuous Electroslag Powder Meltings". in Proc. Conf. on Electroslag Refining, The Iron and Steel Institutes Sheffield England, Janeiro/ 1973.
14. Levaux, J. and Sunnen, J., "Continuous Electroslag Powder Helling for the Production of Large ingots," Iron and Steel Englneer, Março/ 1972.
15. Avramenko, Y. I., Lebedev, B. F. and Bozhko, V. I., "Some Ways of Increasing the Productivity of Electroslag Welding," Svar. Proizvod, 10, 16 (1973).
16. Watanabe, K., Sejima, I., Kokura, S., Taki, G. and Miyake, H., "Problems and Improvement of Large Heat input Electroslag Welding," J. Jpn. Weld. Soc., 519 (1975).
17. Campbell, H. C., and Johnson, W. C., "Granular Metal Filler Metals for Arc weldings" Weld. Journal 46(3), 200-206, Março/ 1967.
18. Reynolds, G. H. and Kachelmeier, E. J., "Adding Powdered Metal Filler Speeds Deposition Rate," Abet. Constr., 426 (1978).
19. Thomas Jr., R. D., "Corrosion Resistant Weld Overlays by the Dual Strip Process, Brett Weld. J., Maio/1966.

20. Smirnov, S. A. and Efimenko, L. A., "Special Structural Features and Mechanical Properties of Electroslag Welded Joints Made using Powdered Filler Metal." Svt. Svarka, 9- 46 (1973).
21. Eichhorn, F. and Remmel, J., "Situation of Research in Electroslag welding —A Tendency of Further Development," Ind. Welding Journal, 4- 37 (1983).
22. Eichhorn, F. Remmel J. and Wubbels,B., "High speed Electroslag Welding!" Welding Journal,62 (1),37 (1984).
23. Eichhorn, F. Remmel J. "Efficient Fillet Welding in the vertical welding position with Electrogas and Electroslag welding methods." IIW Doc. XII-908-85, 1985.
24. Malim, T.H., "Electroslag 'Instant' Steelmaking." Iron Age, 31,Agosto/1967.
25. Reynolds, G. H., "Property and Productivity Improvements in Electroslag and Electrogas welding," Final Rpt.: Material Sciences Northwest, Inc.,Janeiro/1980..
26. Yakushin, B. F., Basheve, L. F., Tikhonov, V. P. and Zaletov. "Improving the Capacity of Electroslag Welded Joints for Resisting Hot Cracking."Welding Research Abroad, Junho/Julho 1984 (Translation from Russian by Automatic Welding, Outubro1982).
27. Murakami, Y., Namura, T. and Watanabe, J., "Heavy Section 2-1/4" Cromo Steel: for Hydrogenation Reactors." ASTM STP 755,383-417 (1982).
28. Dorschu, K. E., Norcross, J. E. and Gage, C. C., "Unusual Electroslag . Welding Applications," welding Journal 52(11), 710-716 (1973).

29. Eager, T., "Applications and Trends of Electroslag Technology in Japan," in Conf. Proc. on Electroslag welding for Marine Applications, UN Navy Academy, pp. 4-29 to 4-33, Março/1985..
30. Thomas, Jr., R. D., "Welding Technology in Japan-Part I Processes and Materials." Welding Research Council Bulletin, Janeiro/1982.
31. Dorsch, K. E., Norcross, J. E. and Gage, C. C., "Unusual Electroslag . Welding Applications," welding Journal 52(11), 710-716 (1973).
32. Eager, T., "Applications and Trends of Electroslag Technology in Japan," in Conf. Proc. on Electroslag welding for Marine Applications, UN Navy Academy, pp. 4-29 to 4-33, Março/1985.
33. Thomas, Jr., R. D., "Welding Technology in Japan-Part I Processes and Materials." Welding Research Council Bulletin, Janeiro/1982.
34. Forsberg, S., "Resistance Electroslag (RES) Surfacing," Welding Journal, 63(8), 41-48 (1985).
35. Narahari, T. and Graville, B. A., "Double Electroslag welding" Weld. Met. Fabr., 3S-352, Junho/1976.
36. Campbell, H.C., "Electroslag and electrogas Welding," in Symp. Proc. On welding, Bonding and Fastening, Williamsburg, VA, NASA Maio 30-Junho 1, 1972.
37. Ellis, D. J. and Gifford, A.F., "Application of Electro-slag and Consumable Guide Welding – Parts 1-6" Met. Fabr., Abril-Novembro/1973.
38. Pass, H., "The Electro-Slag of welding of a Blast Fumace Hearth Jacket." Weld. Met. Fabr., Janeiro/fevereiro/1976.

39. SMITH, W.; ROBERTS, J. High-Frequency Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 736 – 740.
40. PROCESSO de Fabricação: SAW Longitudinal – UOE. Produzido Por TenarisConfab. Disponível em:  
<http://www.tenaris.com/tenarisconfab/pt/prodser/linepipe.aspx> Acessado em: Mar/2009.
41. TENARIS-CONFAB. (Pindamonhangaba, SP). Tubos para Condução: Linepipe: Catálogo. Pindamonhangaba: 2004.
42. OGBORN, J. Submerged Arc Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 618 – 642
43. CARY, H.; HELZER, S. Modern Welding Technology. 6º Ed, Prentice-Hall, 2004. 736 p.
44. WELDING Process. The Procedure Handbook of Arc Welding. 43º Ed. Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2000. 742 p.
45. PARANHOS, R.; SOUZA, A. C. Soldagem Ao Arco Submerso. Coleção Soldagem 2000. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 2000. 77 p.
46. CAMPBELL, R. D.; WALSH, D. W. Weldability Testing. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 1484 – 1514.
47. Bott, I. S.; KOJIMA, S. S.; SAMPAIO, M. A. The Development of API 5L X80 Steel For Pipeline Productions by the TMCR Process. T&B Petroleum, Rio de Janeiro, Nº 15, p. 68 – 70, 2003.

48. JUERS, R. H. Shielded Metal Arc Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 558 – 569.
49. HOLLIDAY, D. B. Gas-Metal Arc Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 569 – 581.
50. WAVEFORM Control Technology®: Surface Tension Transfer® – Open Root. Cleveland: The Lincoln Electric Company, 2006. 6 p. (Relatório Técnico, NX3.10 – Fev/03).
51. MEYER, D. W. Flux Cored Arc Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 581 – 590.
52. RAMIREZ, J. E. Characterization of High-Strength Steel Weld Metals: Chemical Composition, Microstructure, and Nonmetallic Inclusions. Welding Journal, Vol. 87, Nº 3, p. 65 - 75, Mai/2008.
53. MODENESI, p. J. Normas e Qualificação em Soldagem. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em:  
[http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/procedimento\\_soldagem.pdf](http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/procedimento_soldagem.pdf) Acessado em: Abr./09.
54. ARMAZENAMENTO de Consumíveis. Produzido Por Lincoln Electric do Brasil. Disponível em:  
[http://www.lincolnbrasil.com.br/index.php?page=informativos\\_arm](http://www.lincolnbrasil.com.br/index.php?page=informativos_arm) Acessado em: Mai/09.
55. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. (CLEVELAND, OH). Stick Electrode Product Catalog: For Mild and Low Alloy Steels: C2.10. Catálogo. Cleveland: Jun/2004.

56. SPECIFICATION For Carbon Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding: A5.1-96. American Welding Society. Miami. 1996.
57. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. (CLEVELAND, OH). Pipeliner: Premium Pipe Welding Consumables: C1.100. Catálogo. Cleveland: Jun/2003.
58. THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. (CLEVELAND, OH). Innershield® Wires Product Catalog: Self-Shielded, Flux Cored Wires: C3.2000. Catálogo. Cleveland: Ago/2002.
59. SOLDAGEM: N-133 Rev. J, Petróleo Brasileiro S.A., Rio de Janeiro. Jul./2005.
60. STANDARD Test Methods and Definitions For Mechanical Testing of Steel Products: A370, American Society For Testing and Materials. 2003.

## ANEXO I

### Registros dos termopares e certificados dos materiais utilizados.

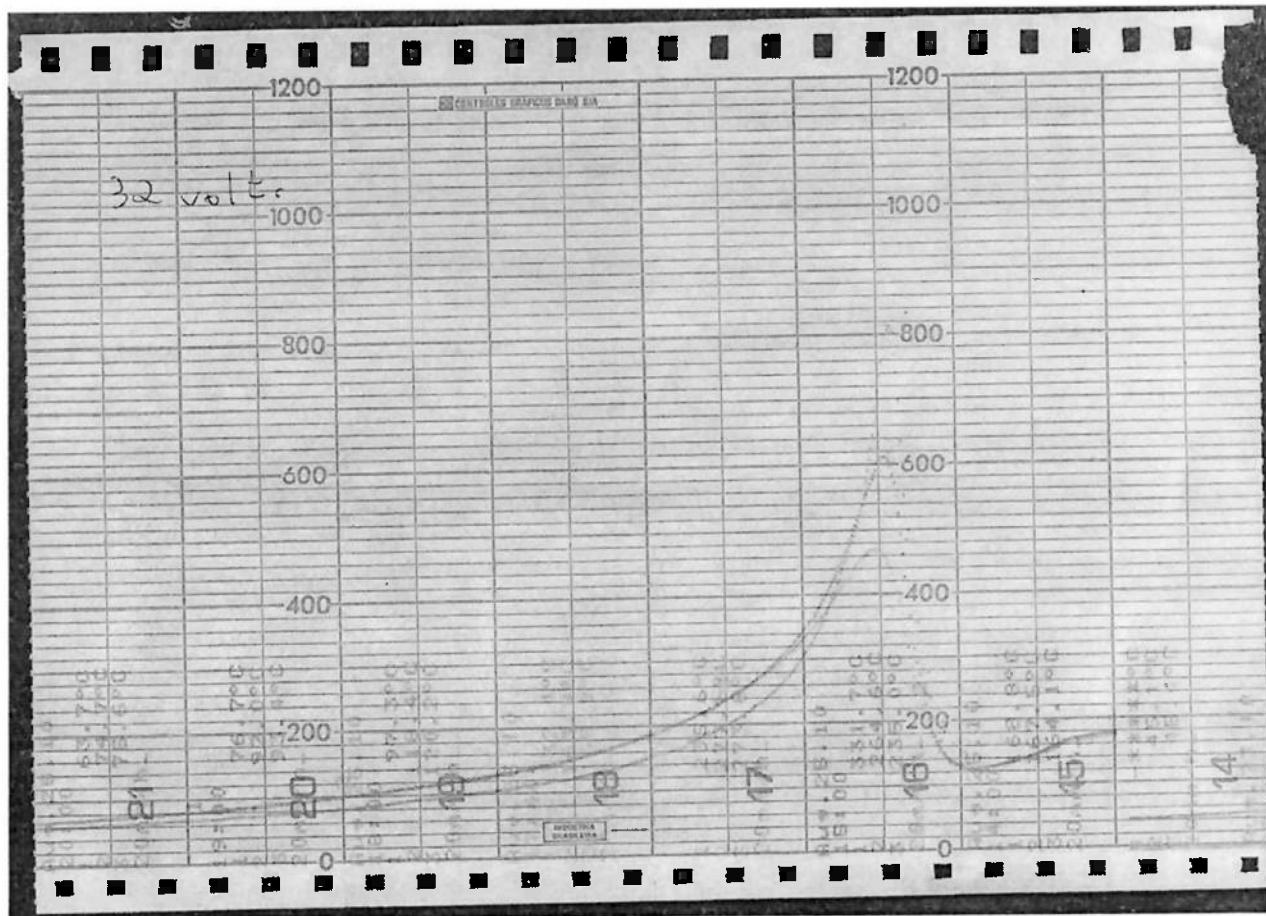


Figura 1 Anexo Registro dos termopares junta soldada com tensão de 32 volts.

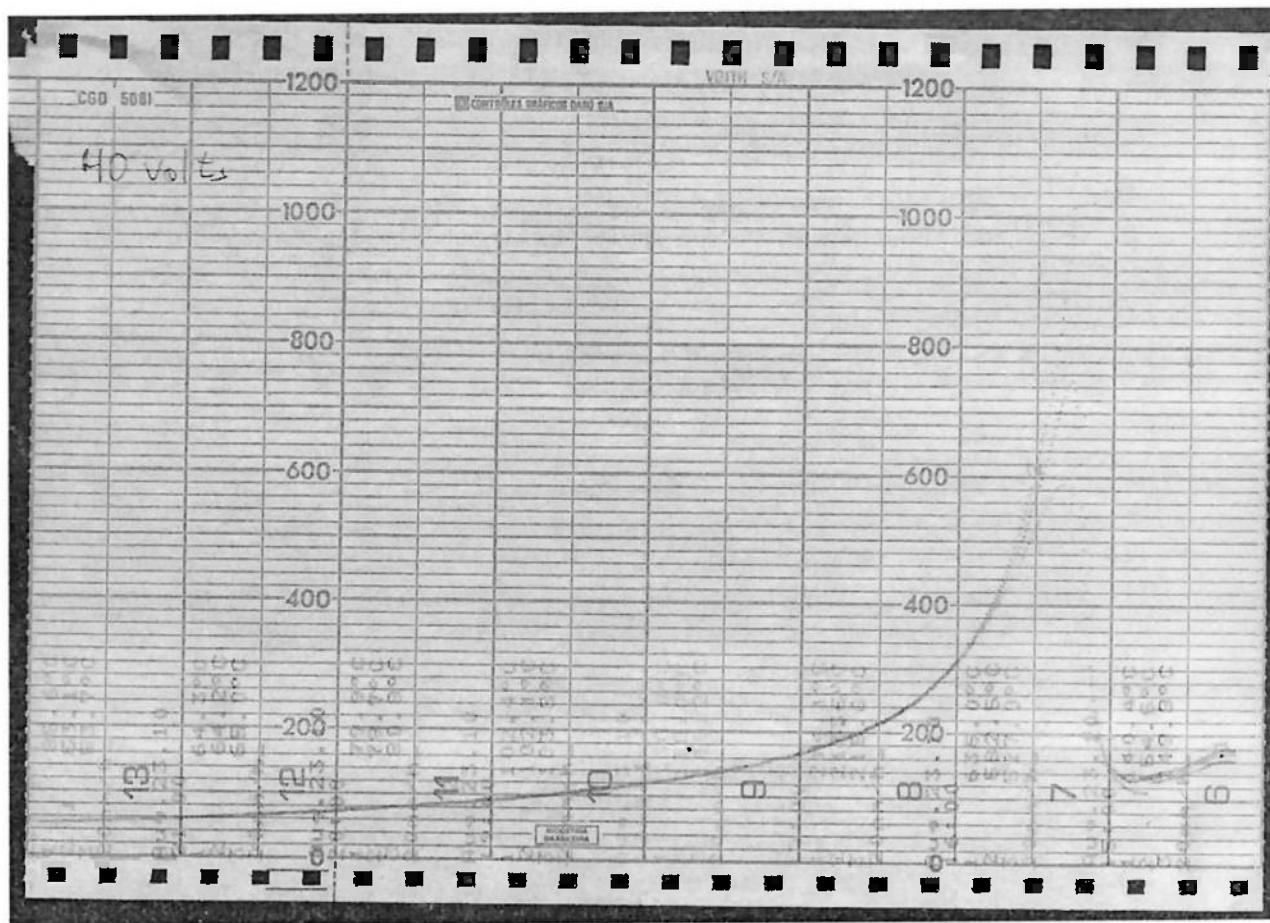


Figura 1 Anexo Registros dos termopares junta soldada com tensão 40 volts.

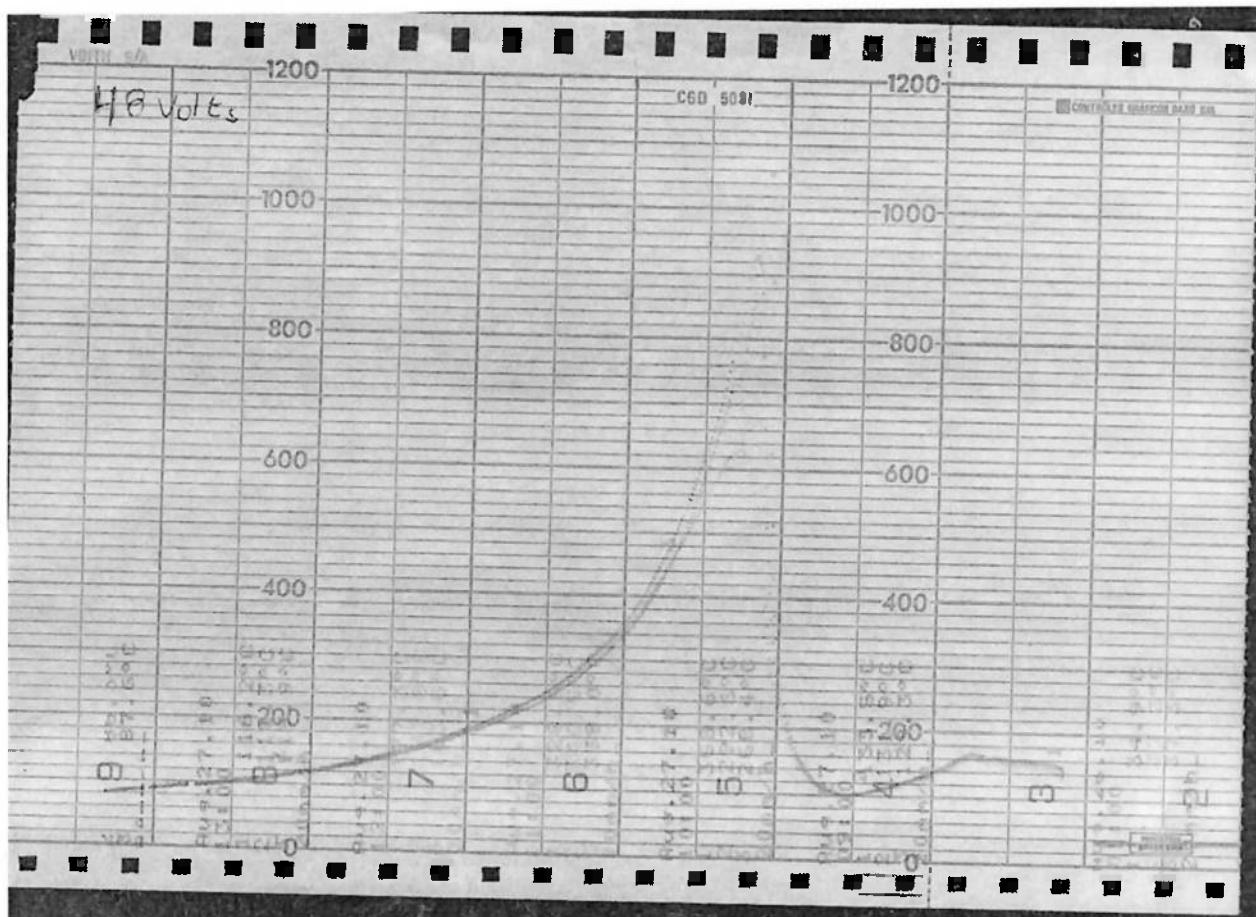


Figura 2 Anexo Registros dos termopares Junta soldada com tensão 48 volts.

CERTIFICADO DE INSPEÇÃO											
USIMINAS U JUSINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A.											
Sociedade de Pesquisa e Desenvolvimento da Indústria e Sist. - CUBATON/CPB/BRASIL R. PROF. MONSEÑOR VIEIRA DE MENDONÇA, 3011 Bairro Engenho Figueira - CP 664 - CEP: 35310-260 MG/BRASIL/CPB/BRASIL/USIMINAS/35310-260											
Data de Emissão: 07/08/2009											
Data de Emissão: 07/08/2009											
INSPECTION CERTIFICATE											
CHAPA GROSSA DO LCG											
HOT ROLLED STEEL PLATE											
Volume											
Pecas por Volume											
Peso Líquido Peso Bruto Corrida Amostra											
Piezas por Paquetes Peso Neto Peso Bruto Heat Sample											
89679101 1 11.020 11.020 931463 274236 ✓ 15 09/09											
Peso Bruto Total - Total Gross Weight = 11.020 t - Peso Líquido Total - Total Net Weight = 11.020 t - volumes - Paquetes = 1 - Piezas = 1											
Ensaios de Fretado - Tensile Test											
Amostra Pos. Dir. TS YS TS YS/TS EL											
274236 74 7 289,6 43,1 70 36,0											
SW = 5,55 SD Unidade de Tensão - Tension Unit = MPa S = CILINDRICO											
RM = 5,55 SD Unidade de Tensão - Tension Unit = MPa S = CILINDRICO											
04 = CP-Mn/b+(Cr+Mo+V)/[Si+(Ni+Cu)]/15											
Composição Química (% Peso) - Chemical Composition (% Weight)											
Corrida Amostra C Mn P S Si Al Cu Ni Mo Cr Ni Si V Ti											
95463 0,14 0,79 0,010 0,009 0,211 0,030 0,008 0,000 0,019 0,010 0,300 0,000 0,000 0,001											
Fórmula do Carbono Equivalente - Carbon Equivalent Formula											
Esfereado - Size (mm) = 10 X 10 Temp = °C											
Esfereado - Notch (mm) = 0,24 Unidade - Unit = 3											
Condição de Fornecimento - Supply Condition											
Temp. Tol. MR Cool Ht ST TT											
910 +/- 10°C AR-AR 145 20 165											
Normatizado - Normalized											
Abreviaturas - Abbreviations											
T = Topo, a um quarto da largura - Top, at a quarter - width											
B = Panta-Lade - Bend											
S = Seção Transversal - Cross Transverse											
L = Longitudinal											
Temp = Temperatura-Temperature											
MR-Cool = Temperatura-Resfriamento-Cooling -Cool-MR= Cooling-Meio Resfriamento											
Tempo Aquecimento-Heating Time - minutes-minutes											
Tempo de Encharque-Soaking Time - minutes-minutes											
Tempo total de Forno-Furnace time = minutes-minutes											
Tol. = Tolerância de Temperatura - Tolerances Temperature											
Observações - Remarks											
PSC 4500038831 / PSC4											
Sistema de Gestão											
Certificado pela norma:											
Management System Approved											
By the Following Standard											
ISO 9001											
ISO 14001											
OHSAS 18001											
Tolerâncias - Tolerances											
Largura-Width											
Espessura-Thickness											
-1,00/+2,20 mm											
-0,00/+0,00/mm											
Ordem de Venda											
Nº 000071848 1											
Nº Certificate P# 410872											
Dimensões Nominais / Nominal Dimensions											
90,00x240x6000 mm											
Borda - Edge / Cisalhamento - Oiled											
Natural											
Aparência Superfície - Surface Appearance											
NM Edge											


  
 Sistema de Gestão  
 Certificado pela norma:  
 Management System Approved  
 By the Following Standard  
 ISO 9001  
 ISO 14001  
 OHSAS 18001

15/09/2009  
 Fabr. Lages de Souza  
 Gerente de Controle  
 Qualidade do Produto  
 Aprovação: [Signature]

15/09/2009  
 Reprovado: [Signature]

**Figura 3 Anexo Certificado da chapa utilizada.**

**Figura 4 Anexo Certificado de ensaio de Ultrassom.**

**ESAB®**

**CERTIFICADO DA QUALIDADE**  
*Quality Certificate / Certificado de Calidad*  
 Conforme ASME SFA - 5.01/2007 ADENDA 2009 – Programa (Schedule) J

<b>Produto:</b> OK FLUX 10.50 <i>Product / Producto</i>	<b>Lote:</b> PV916704 <i>Heat Number / Producción</i>	<b>Data:</b> 29.04.2009 <i>Date / Fecha</i>								
<b>Classificação:</b> não aplicado <i>Classification / Clasificación</i>										
<b>Análise Química (%)</b> <i>Chemical Analysis / Análisis Químico</i> <table> <tr> <td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+MnO</td> <td>CaF<sub>2</sub></td> <td>SiO<sub>2</sub>+TiO<sub>2</sub></td> <td>CaO+MgO</td> </tr> <tr> <td>26,0</td> <td>23,7</td> <td>17,0</td> <td>31,0</td> </tr> </table>			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO+MgO	26,0	23,7	17,0	31,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +MnO	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub>	CaO+MgO							
26,0	23,7	17,0	31,0							
<b>Análise Granulométrica (% Retida Acumulada)</b> <i>Sieve Analysis (% Cumulative) / Análisis Granulométrica (%Retida Acumulada)</i> <table> <tr> <td>#10</td> <td>#12</td> <td>#32</td> <td>#60</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>72</td> <td>91</td> </tr> </table>			#10	#12	#32	#60	0	0	72	91
#10	#12	#32	#60							
0	0	72	91							
<b>Observações</b> <i>Observations / Observaciones</i>										

*[Signature]*

SONIA REGINA SILVA  
 ESAB S.A. Indústria e Comércio  
 Controle de Qualidade Cerâmicos

Figura 5 Anexo Certificado do fluxo utilizado

Figura 6 Anexo Certificado do arame consumível