

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GEOVANE LAPORTI FELIPPE
ÍTALO SCARPATTI PEDRINI
MATHEUS MOTA SANTI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE NO CORDÃO DE
SOLDA DE REVESTIMENTO INCONEL 625 PRODUZIDO PELO PROCESSO DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO (SMAW)**

Aracruz
2017

GEOVANE LAPORTI FELIPPE
ÍTALO SCARPATTI PEDRINI
MATHEUS MOTA SANTI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE NO CORDÃO DE
SOLDA DE REVESTIMENTO INCONEL 625 PRODUZIDO PELO PROCESSO DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO (SMAW)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica das Faculdades Integradas de Aracruz como requisito parcial para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Anderson Fanchiotti Silva

**Aracruz
2017**

GEOVANE LAPORTI FELIPPE
ÍTALO SCARPATTI PEDRINI
MATHEUS MOTA SANTI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA CORRENTE NO CORDÃO DE
SOLDA DE REVESTIMENTO INCONEL 625 PRODUZIDO PELO PROCESSO DE
SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO (SMAW)**

Prof. Esp. Anderson Fanchiotti Silva
Faculdade de Aracruz
Orientador

Prof. Me. Josimar Antônio Grippa Cusini

Prof. Me. Artur Maioli

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho de conclusão de curso, aos nossos pais, familiares que são a base das nossas vidas, sinônimos de amor, compreensão e dedicação, aos amigos, colegas de trabalho, professores e a todas as pessoas que colaboraram, e nos apoiaram durante esta jornada rumo ao crescimento pessoal e profissional, do qual adquirimos conhecimentos que iremos levar por toda a nossa vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos em primeiro lugar a Deus, pela oportunidade e sabedoria para concluir mais essa importante etapa de nossas vidas, mesmo quando sem forças.

Aos nossos pais que formaram os fundamentos do nosso caráter, e pelo constante apoio e incentivo.

Aos professores que nos agregaram conhecimentos e nos inspiraram para sermos bons profissionais.

Ao nosso Professor orientador Anderson Fanchiotti Silva por ter nos direcionado com extrema maestria, seriedade e companheirismo, para que este trabalho fosse bem sucedido.

Aos amigos que fizeram parte dessa trajetória.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REFERENCIAL	16
3.1	REVESTIMENTOS DE LIGAS A BASE DE NÍQUEL.....	16
3.1.1	Revestimentos	16
3.1.2	Revestimentos em Ligas de Níquel	17
3.1.3	Propriedades Físicas	18
3.1.4	Propriedades Mecânicas	19
3.1.5	Técnicas de Revestimentos	19
3.1.6	As ligas INCONEL 625	21
3.1.7	Energia de soldagem e Diluição	22
3.2	ESTUDOS DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM EM REVESTIMENTOS.....	25
4	METODOLOGIA	30
4.1	SOLDAGEM.....	31
4.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	33
4.3	ENSAIOS.....	36
4.3.1	Ensaio de Microdureza Vickers	37
4.3.2	Influência da energia de soldagem sobre a geometria do cordão de solda	38
4.3.3	Análise Microestrutural	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	ANÁLISE VISUAL	41
5.2	ANÁLISE DA MICRODUREZA	42

5.3	INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM SOBRE A GEOMETRIA DO CORDÃO DE SOLDA	45
5.4	ANÁLISE MICROESTRUTURAL	49
6	CONCLUSÃO	52
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
8	REFERÊNCIAS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Região do arco na soldagem com eletrodo revestido.	20
Figura 2 Equipamento para soldagem SMAW	20
Figura 3- Representação geométrica das dimensões do cordão de solda.....	24
Figura 4 Diagrama de Schaeffler apresentado as previsões das microestruturas em função da composição química (Creq e Nieq).....	25
Figura 5 Diluição observada em soldas depositadas com Inconel 625 sobre aço API 5L X-60.....	26
Figura 6 Perfis de Microdureza. (a) Amostra T2 - energia baixa; (b) Amostra T5 - energia Média; (c) Amostra T8 - energia alta.	28
Figura 7 Fluxograma das etapas para realização do trabalho.....	31
Figura 8 Retificadora ESAB Origo Tig 150 LiftArc.....	32
Figura 9 Desenho esquemático do cordão de solda no corpo de prova para único cordão de solda.....	33
Figura 10 Desenho esquemático de sobreposição de camadas de 1/3.	33
Figura 11 Desenho esquemático de extração das amostras.	34
Figura 12 Esquemático do corte das amostras com 50 mm de largura e 10mm de comprimento.....	34
Figura 13 Policorte manual.....	35
Figura 14 Ataque com reagente eletroquímico.....	35
Figura 15 Microdurômetro digital Modelo Mitutoyo HM101.	37
Figura 16 Desenho ilustrando a posição onde foram realizados as impressões de microdureza.....	37
Figura 17 Contorno manual da área total da seção.	38
Figura 18 Contorno manual da área total da seção.	38
Figura 19 Medidas de largura, reforço e penetração do cordão de solda na amostra soldada com corrente de 95A.....	39
Figura 20 Microscópio óptico para análise das amostras.....	40
Figura 21 Corpo de Prova soldado com corrente com 115A.....	41
Figura 22 Corpo de Prova soldado com corrente 75A e 95A, respectivamente.	42
Figura 23 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) com Hmédio de 5,36 kJ/cm.....	43

Figura 24 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) com Hmédio de 6,65 kJ/cm.....	43
Figura 25 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) com Hmédio de 7,98 kJ/cm.....	44
Figura 26 Variação da taxa de diluição em relação a corrente utilizada na soldagem.	46
Figura 27 Largura do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.	46
Figura 28 Penetração do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.	47
Figura 29 Reforço do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.	47
Figura 30 Efeito da variação da corrente sobre a razão reforço/largura (R/L).	48
Figura 31 Efeito da variação da corrente sob produto da diluição pela razão entre reforço e largura - Diluição*(R/L).....	49
Figura 32 Diagrama de Schaeffler.....	49
Figura 33 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 75A.	50
Figura 34 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 95A.	50
Figura 35 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 115A.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Falhas mais comuns nos componentes da caldeira.....	17
Tabela 2 Resultados da taxa de diluição nas macrografias das amostras de revestimento inox utilizando eletrodo revestido.....	29
Tabela 3 Resultados da taxa de diluição nas macrografias das amostras de revestimento inox utilizando TIG.	29
Tabela 4 Composição química do metal de adição fornecida pela fabricante.....	31
Tabela 5 Composição química do metal base fornecida pela fabricante.	31
Tabela 6 Distribuição das amostras.	36

LISTA DE SIGLAS

Bi - Bismuto

BEN - Balanço Energético Nacional

Bo - Boro

C - Carbono

Cr - Cromo

ER - Eletrodo Revestido

Fe - Ferro

H - Hidrogênio

MB - Metal de Base

MIG - Metal Inert Gas

Mn - Manganês

mm - milímetros

Mo - Molibidênio

MS - Metal de Solda

Mtep – Mega Tonelada equivalente de petróleo

Nb - Nióbio

Ni - Níquel

P - Fósforo

S - Enxofre

SMAW - Shielded Metal Arc Welding

TIG - Tungstein Inert gás

Ti - Titânio

ZTA - Zona Termicamente Afetada

Zr - Zircônio

RESUMO

Paradas de manutenção programadas são realizadas todos os anos para evitar falhas de todos os tipos em caldeiras. A manutenção deve ser de tal natureza que proporcione as paredes das caldeiras melhores condições de resistir às elevadas taxas de corrosão e erosão. Esta melhoria de longevidade é obtida com a aplicação de revestimento de ligas de níquel dos tubos das caldeiras. As características geométricas, microdureza e microestrutura destes revestimentos pode ser afetado pela alteração da corrente utilizada durante a soldagem. Neste trabalho foi estudado o efeito da variação da corrente na soldagem de revestimento pelo processo SMAW, utilizando como metal de adição eletrodos revestidos de liga de níquel Inconel 625 (ENiCrMo-3) e metal de base ASTM A-36 de 12,7 mm de espessura. Foi observado que a microdureza aumenta na medida em que é reduzida a corrente de soldagem, sendo que para todos os níveis de corrente utilizado apresentaram valores abaixo de 250 HV. Foi observado aumento na taxa de diluição, largura e penetração e diminuição no comprimento do reforço de acordo com o aumento da corrente utilizada na soldagem. Houve uma diminuição na Razão reforço/largura de acordo com o aumento da corrente utilizada na soldagem. A corrente de soldagem de 95A apresentou o menor produto entre a taxa de diluição pela razão entre reforço e largura - Diluição*(R/L). Todas as amostras apresentaram microestrutura Austenítica, com modo de solidificação ferrita secundária com morfologia em espinha e laminar.

Palavras-chave: Revestimentos. Características geométricas. Microdureza. Microestrutura.

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2016, a oferta interna de energia produzida no Brasil no ano de 2015 correspondeu a 299,2 Mtep, sendo a indústria o setor brasileiro mais energo-intensivo, consumindo 97,24 Mtep, ou seja, 32,5% de toda energia gerada. As exigências e a severidade dos processos de geração de energia necessitam de materiais que tenham alta resistência à oxidação, a temperaturas elevadas, a fluência e outros processos de degradação (SILVA TELLES, 2003).

As caldeiras, são equipamentos que têm como característica operarem em altas pressões e temperaturas, sendo projetados para uma vida finita (SINGER, 1991 apud PAOLIELLO, 2004). Nestes equipamentos são utilizados em larga escala os aços inoxidáveis, por apresentarem as características necessárias ao processo à um baixo custo, quando comparadas as ligas de níquel, que possuem melhores características, porém, com maior custo, o que inviabiliza a fabricação destes tubos utilizando o níquel (MIRANDA, 2009). Assim, começou-se a revestir metais menos nobres, como aços baixo carbono, com ligas a base de níquel, apresentando assim uma combinação de excelentes propriedades mecânicas com alta resistência a corrosão (MIRANDA, 2009).

Dentre os consumíveis a base de níquel utilizados na soldagem de revestimento, um dos mais utilizados é o Inconel 625 (ENiCrMo-3). Este consumível possui uma boa resistência geral a corrosão, principalmente a corrosão sob tensão e corrosão pontual, aumentando assim a vida útil do equipamento (SILVA FILHO, 2007). A aplicação do revestimento é feita normalmente utilizando os processos de eletrodo revestido (SMAW), devido ao baixo custo do equipamento, a versatilidade e a operacionalidade. Por isso, este processo vem sendo cada vez mais utilizado em reparos a danos ocorridos por processos acentuados de corrosão pontual ou corrosão sob tensão (KEJELIN, 2012).

Partindo da premissa que a energia de soldagem exerce importante papel no comportamento microestrutural e das propriedades mecânicas, o presente estudo busca analisar o efeito da variação da corrente nestas características e na geometria do cordão de solda do Inconel 625 (ENiCrMo-3), utilizando o processo de soldagem SMAW para deposição dos cordões de solda.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o efeito da variação da corrente na soldagem de revestimento pelo processo SMAW, utilizando como metal de adição eletrodos revestidos de liga de níquel Inconel 625 (ENiCrMo-3).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Utilizar processo de soldagem SMAW para a produção de cordões de solda de revestimento aplicando três níveis de corrente;
- ✓ Avaliar o perfil da microdureza de cada cordão de solda utilizando ensaio de microdureza Vickers;
- ✓ Analisar a influência da variação da corrente de soldagem sobre a geometria do cordão de solda;
- ✓ Analisar a microestrutura resultante nos cordões de soldas produzidos;

3 REFERENCIAL

3.1 REVESTIMENTOS DE LIGAS A BASE DE NÍQUEL

3.1.1 Revestimentos

Revestimentos tornaram-se uma excelente maneira de se obter características importantes, como resistência mecânica e à corrosão em alta temperatura com baixo custo, já que fabricar esses materiais de forma maciça eleva significativamente seu custo de fabricação (MIRANDA, 2009).

Geralmente os componentes que recebem este revestimento incluem as superfícies de aço carbono e baixa liga utilizados nas caldeiras (ASM, 1994). As caldeiras a vapor são equipamentos destinados a “produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refeedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo” (NR, 13, p. 01).

Estes equipamentos tendem a sofrer degradações conforme estão em operação. A duração de uma caldeira ainda é um assunto bem discutido entre especialistas, alguns consideram de 25-30 anos uma estimativa bem razoável (FRENCH, s.d. 1991 apud PAOLIELLO, 2004), no entanto, experiências práticas informam que esse número pode ser bem maior na verdade. Isso é possível graças ao grande avanço no desenvolvimento de novos materiais, melhores práticas de operação e manutenção.

Paradas de manutenção programadas são realizadas todos os anos para evitar falhas de todos os tipos em caldeiras, porém, as paradas não programadas são prejudiciais às empresas, pois existe uma quebra inesperada da produção, gerando uma perda substancial de origem financeira (YASAKI, 2011). A Tabela 1 apresenta as falhas mais comuns nos componentes da caldeira.

Tabela 1 - Falhas mais comuns nos componentes da caldeira.

Mecanismos de danos	Corrosão	Fadiga	Erosão	Oxidação a altas temperaturas	Fluência	Degradação microestrutural
Fornalha	✓	✓	✓	-	-	-
Tubulação	✓	✓	-	-	-	-
Economizador	✓	✓	✓	-	-	-
Superaquecedor	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Partes não refrigeradas expostas ao fluxo de gás	✓	✓	✓	✓	-	✓
Linha principal de vapor	-	✓	-	-	✓	✓
Estruturas	✓	✓	-	-	-	-
Tanque de dissolução	✓	✓	✓	-	-	-

Fonte: Adaptado YASAKI, 2011 apud PAOLIELLO, 2005.

A fim de eliminar tais problemas, a manutenção deve ser de tal natureza que proporcione aos componentes da caldeira melhores condições de resistir às elevadas taxas de corrosão e erosão. Esta melhoria de longevidade é obtida com o revestimento dos tubos das caldeiras com materiais mais resistente (COSTENARO, 2010). Grande parte desses revestimentos é realizado com aços inoxidáveis ou ligas de níquel (MIRANDA, 2009).

3.1.2 Revestimentos em Ligas de Níquel

As ligas de níquel são altamente resistentes à corrosão e, em muitas condições ambientais podem ser superiores aos aços inoxidáveis. Uma das razões é que diversos elementos químicos possuem maior solubilidade no níquel que no ferro. Por isso, várias ligas são desenvolvidas com as mais diversas características. O limite de solubilidade do cromo no níquel é de 35 a 40 %, e por volta de 20% para o molibdênio. A adição desses elementos, como cobre, cromo, molibdênio, ferro e cobalto não têm efeitos adversos a soldabilidade e, em muitos casos podem ser benéficos (AWS v3, 1996).

A utilização das ligas de níquel em equipamentos que trabalham em alta pressão e temperatura se deve a uma característica encontrada nessas ligas, que é a capacidade de se manter ou até mesmo melhorar suas propriedades mecânicas em altas temperaturas (SIMS, 1972).

O fator limitante, que impede o uso dessas ligas em larga escala é o custo, de forma que são aplicadas somente quando outros metais não fornecem as propriedades desejadas. No entanto, quando critérios de custos referentes à vida útil dos materiais são levados em consideração, a utilização das ligas de níquel de forma apropriada pode permitir uma melhor relação custo-benefício (PLANT, 2000).

O Ni e suas ligas são utilizados como revestimentos soldados sobre aços carbono, aços ligas e outros materiais base. Todo óxido e materiais estranhos devem ser removidos da superfície antes de soldar o revestimento, para evitar reações eutéticas com elementos como S, P, Zr, Bo e Bi que levam a formação de trincas (MIRANDA, 2009).

3.1.3 Propriedades Físicas

A expansão térmica nas ligas de níquel é menor do que nas ligas ferrosas austeníticas e isso é importante para várias aplicações, especialmente em turbinas de jatos, já que esses componentes são projetados com estreitas tolerâncias dimensionais para operar bem em serviço. Além disso, um baixo coeficiente de expansão térmica contribui para minimizar as tensões térmicas, minimizando assim a ocorrência de empenamento e fadiga térmica (ASM, 1993a).

Entretanto, para aplicações industriais na forma de revestimento sobre aços, esta condição é crítica, porque pode causar um gradiente de expansão térmica, gerando elevados níveis de tensões, podendo ocasionar problemas de fadigas térmicas (SILVA, 2009).

3.1.4 Propriedades Mecânicas

Devido a sua diversidade de composições químicas, as ligas de Níquel conseguem atingir alto nível de resistência mecânica, podendo atingir altas temperaturas conservando essas propriedades.

O níquel puro apresenta estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC) estável até seu ponto de fusão, sem transformações alotrópicas de fase. Possui solubilidade total ao cobre e ampla faixa de solubilidade para elementos como cromo e ferro. Sob alguns aspectos, apresenta uma marcante similaridade com o ferro, sendo um pouco mais denso, apresentando propriedades mecânicas e magnéticas bastante similares (CARVALHO SILVA, 2010).

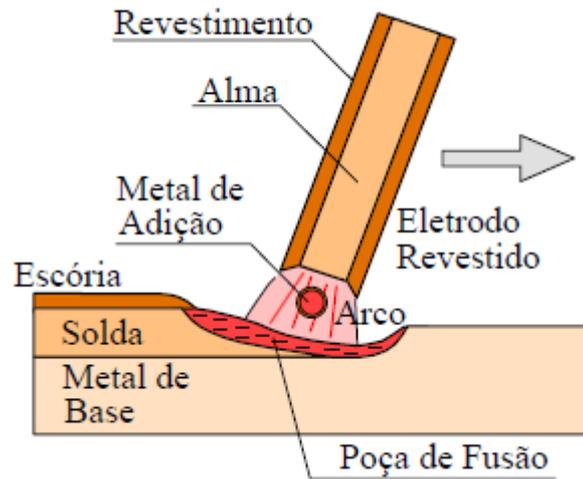
O uso inicial das ligas de níquel para aplicações críticas de sistemas que operam em alta temperatura, se deve principalmente à sua alta resistência à corrosão e oxidação, à qual é baseada na adição de cromo a liga, e a sua alta resistência mecânica à elevada temperatura conferida pela presença de outros elementos químicos (BROOKS, 1984).

Entretanto, não apenas a resistência mecânica e dureza são importantes nesse tipo de aplicação. A ductilidade nas condições de serviço também é importante, e a maioria das superligas apresenta boa ductilidade. As ligas em geral apresentam também boa resistência ao impacto, à fadiga de alto e de baixo ciclo e à fadiga térmica (SIMS, 1972).

3.1.5 Soldagem e Técnicas de Revestimentos

A Soldagem a Arco com Eletrodo Revestido (SMAW), é um processo de união dos metais obtido pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo especial e a peça. O eletrodo é formado por um núcleo metálico (“alma”) e revestido com uma camada de minerais. A alma do eletrodo conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória, e gases protegem da atmosfera a região sendo soldada e estabilizam o arco. A figura 1 ilustra o processo.

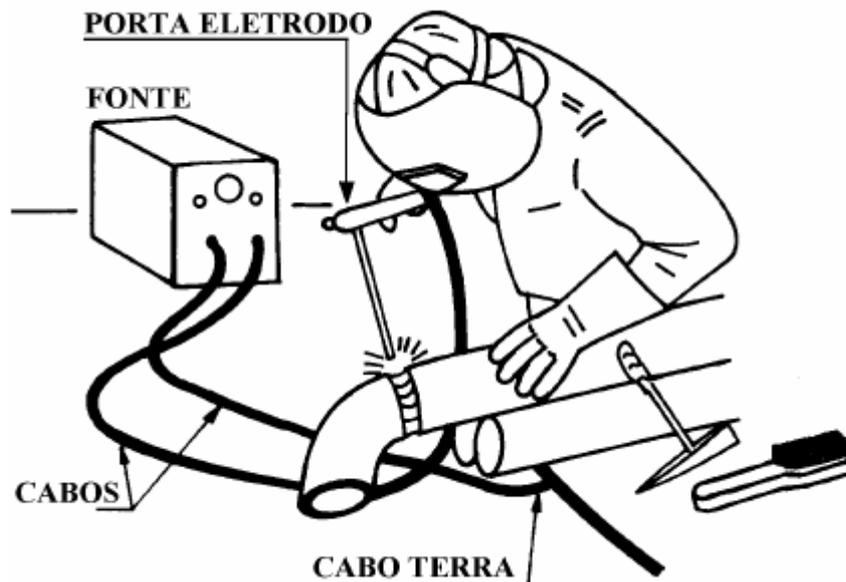
Figura 1 Região do arco na soldagem com eletrodo revestido.



Fonte: Modenesi, 2006.

O equipamento de soldagem consiste de uma fonte de energia, porta-eletrodos e cabos, além de equipamentos de segurança para o soldador e para limpeza do cordão e remoção da escória. A figura 2 ilustra o equipamento e o processo de soldagem (MODENESI, 2006).

Figura 2 Equipamento para soldagem SMAW



Fonte: Modenesi, 2006.

As técnicas de revestimentos mais utilizadas para proteção de aços são: Cladding, Lining e Overlay.

O termo cladding normalmente refere-se à aplicação de uma fina camada, normalmente maior ou igual a 3mm, de metal de adição com o objetivo de aumentar sua resistência a corrosão. (ASM, 1994).

O revestimento por “lining” é utilizado apenas para reparos onde a corrosão já avançou de forma a comprometer o equipamento, efetuando assim o reparo naquele local com uma camada de material com melhor resistência a corrosão (MIRANDA, 2009).

O revestimento por “overlay” é realizado através da deposição de uma camada de material com características desejáveis (resistência a corrosão ou ao desgaste, etc.) sobre um substrato. Durante a deposição da camada de ligas de níquel, deve-se verificar a quantidade de ferro na diluição do revestimento, pois se a quantidade for significativa pode diminuir sua resistência a corrosão ou ainda causar trincas na solda (MELO, 2012).

3.1.6 As ligas INCONEL 625

O desenvolvimento do Inconel 625 (ENiCrMo-3) foi iniciado em 1950 com a finalidade de suprir a demanda de materiais de alta resistência para uso em plantas de energia supercrítica e concluído com a venda comercial da liga em 1962 (EILSENTEIN et al, 1991).

O Inconel 625 é uma liga a base de Níquel que possui boas propriedades mecânicas, boa soldabilidade, além de possuir resistência à fluência, ao escoamento e à corrosão. Esses tipos de ligas são amplamente utilizados nos setores de petróleo e gás, plantas químicas, usinas termelétricas, dentre outros setores onde o ambiente é bastante corrosivo.

As principais limitações na soldagem das ligas de Ni estão relacionadas ao uso do elevado aporte térmico, pois podem produzir uma excessiva precipitação de carbonetos ou outros fenômenos metalúrgicos danosos que, algumas vezes, podem levar a formação de trincas ou perda de resistência à corrosão (MIRANDA, 2009).

Na soldagem do Inconel 625 podem ser utilizados praticamente todos os principais processos de soldagem a arco elétrico (TIG, eletrodo revestido, arco submerso, MIG/MAG, etc.) (MIRANDA, 2009).

Essas ligas geralmente não apresentam corrosão pelo CO₂ (sweet corrosion) e sua seleção é limitada aos níveis de concentração de H₂S e de temperatura. A presença de enxofre livre na composição do produto que possa vir a circular no tubo pode levar a um mecanismo severo de corrosão por pite e/ou fragilização do material sob certas condições de operação (SIMÕES, 2014).

Depósitos de solda contendo altas razões Ni-Cr são mais susceptíveis à corrosão por compostos sulfurados quando submetidos a temperaturas acima de 370°C. O risco de corrosão tem sido diminuído pela seleção de metais de adição que contêm maior fração de Cr e algum Mo, como os eletrodos ENiCrMo-3 usados na união das ligas 625 (22% Cr e 9% Mo) (EBERT, 2004).

3.1.7 Energia de soldagem e Diluição

Na maioria dos processos de soldagem, a junta precisa ser aquecida até uma temperatura adequada. Na soldagem por fusão, particularmente, trabalha-se com fontes de calor de elevada temperatura concentradas e, portanto, de elevada intensidade, as quais, ao serem deslocadas ao longo da junta, resultam na formação da solda pela fusão e solidificação localizadas da junta.

Em condições práticas, a intensidade de uma fonte de calor em soldagem não pode ser facilmente medida. Um parâmetro alternativo, de uso mais comum, é a Energia de Soldagem, que é a quantidade de energia gerada pela fonte de calor por unidade de comprimento da junta.

A energia de soldagem é um parâmetro cuja medida é simples, sendo utilizado em normas e trabalhos técnicos para especificar as condições de soldagem. Contudo, sua utilização deve ser feita com alguma cautela. Nem sempre existe uma relação direta entre a energia de soldagem e seus efeitos na peça, pois os parâmetros de soldagem (corrente, tensão e velocidade de deslocamento) afetam de modo diferente a intensidade do arco e o rendimento térmico do processo. Assim, embora utilizando o mesmo processo e energia de soldagem, é possível obter soldas de formatos completamente diferentes pela variação individual dos parâmetros de soldagem (MODENESI, 2012).

Na soldagem por fusão chama-se diluição a parcela de metal de base que entra na composição da zona fundida (metal de solda). Para a maioria das aplicações (em aços de baixo carbono) a diluição apresenta pequena importância no que diz respeito ao comportamento da junta em serviço, porém, em algumas aplicações "especiais" como a soldagem de revestimentos, esta característica pode ser determinante na performance do componente, podendo inclusive favorecer falhas durante a operação do equipamento quando se tem elevada diluição.

O controle da diluição é importante na soldagem de metais dissimilares, ou seja, na soldagem de diferentes ligas metálicas e na deposição de revestimentos especiais sobre uma superfície metálica. Valores baixos de diluição são desejáveis para manter a composição química do metal de adição e, conseqüentemente sua resistência a corrosão (DUPONT et. al., 1995).

A diluição medida corresponde a contribuição do metal base sobre a composição final da zona fundida e foi obtida pela Equação 1. A Figura 3 apresenta as características geométricas medidas (Largura – L; Reforço – R e Penetração – P), bem como a área adicionada pela deposição do metal de adição (A_{MA}) e a área fundida do metal de base (A_{MB}).

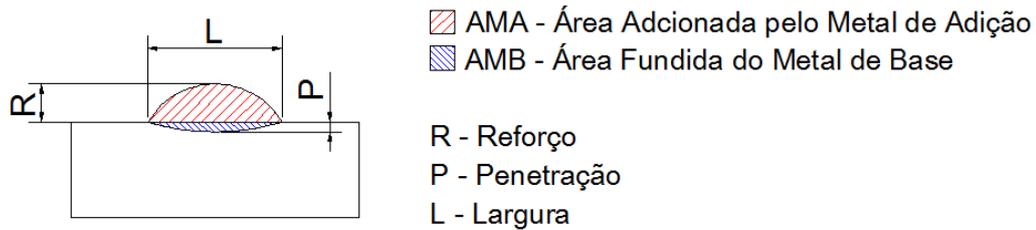
$$A = \frac{A_{MB}}{A_{MB} + A_{MA}} \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

AMA é área adicionado pela deposição do metal de adição.

AMB é a área fundida do metal de base.

Figura 3 Representação geométrica das dimensões do cordão de solda.



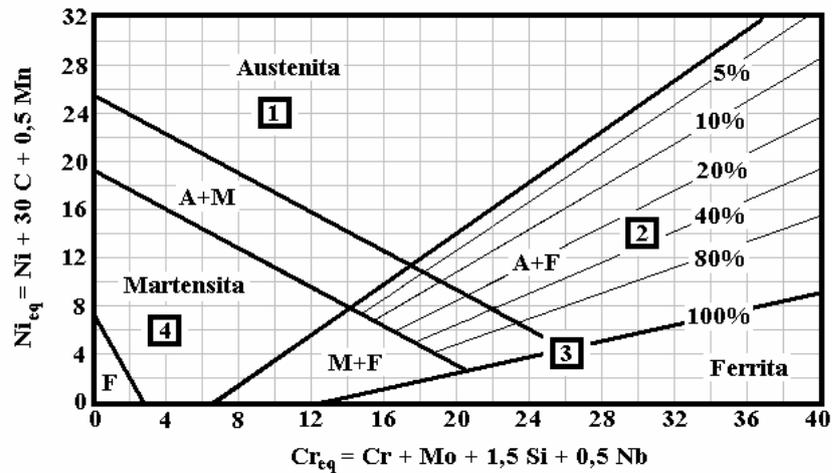
Fonte: Acervo pessoal.

Desta forma, se pode estimar a composição química de um elemento específico (X) na solda a partir da composição química dos metais de base e de adição através da equação 1.

A habilidade em determinar a composição aproximada do metal de solda é importante para que se possam estimar algumas propriedades da junta fabricada, como: resistência à corrosão, tendência à formação de microestruturas vulneráveis à fragilização, inclusive as propriedades mecânicas.

De acordo com o WELDING HANDBOOK, 8th edition, uma importante ferramenta na soldagem de aços inoxidáveis, para se prever tanto a microestrutura resultante da solda, quanto possíveis problemas de soldabilidade, em função da composição química analisada são os diagramas constitucionais. Neste caso é apresentado o diagrama de Schaeffler (Figura 4).

Figura 4 Diagrama de Schaeffler apresentado as previsões das microestruturas em função da composição química (Cr_{eq} e Ni_{eq}).



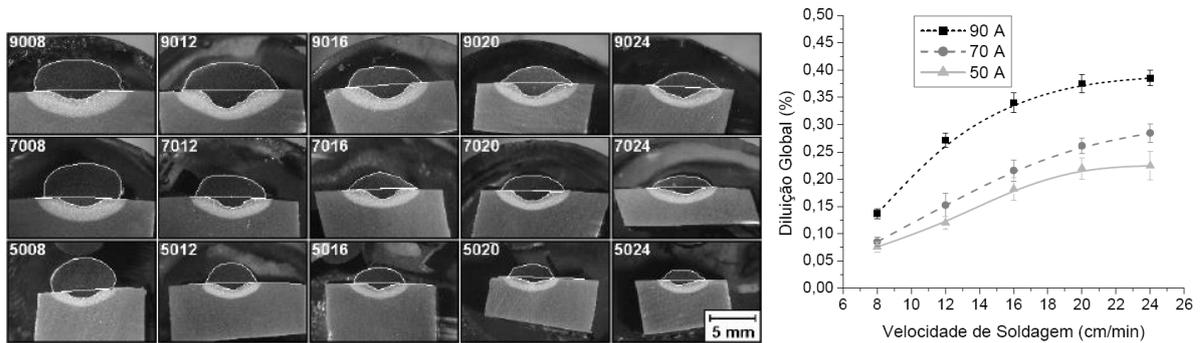
Fonte: ASTM Welding Handbook 8th edition.

A soldagem dissimilar envolvendo metais de base em aço baixo carbono com uso de eletrodos em ligas de níquel (Inconel 625) tem como resultado um metal de solda austenítico, inclusive para diluições altas (até 70%). Uma microestrutura mista de austenita e martensita para diluições entre 70 e 80% e uma microestrutura exclusivamente martensítica para diluições superiores a 80%, de acordo com o diagrama de Schaeffler.

3.2 ESTUDOS DA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM EM REVESTIMENTOS

Kejelin (2006), observou em seu estudo, que os níveis de diluição para soldas com eletrodos revestidos satisfatórias sob o ponto de vista de fabricação situam-se numa faixa entre 15 e 40 %, dependendo do material e dos parâmetros de soldagem utilizados, conforme pode ser observado na Figura 5 para soldas depositadas com eletrodos revestidos de Inconel 625 sobre chapa de aço API 5L X-60 de 20 mm de espessura.

Figura 5 Diluição observada em soldas depositadas com Inconel 625 sobre aço API 5L X-60.



Fonte: Kejelin, 2006

Miranda em 2009, realizou um estudo sistemático de parâmetros de soldagem TIG com alimentação de arame frio para aplicação de revestimento de ligas de níquel (UNS N06625, UNS N06686 e UNS N10276) em substratos de aço C-Mn considerando a análise das características geométricas, econômicas e operacionais dos depósitos, de forma a adequar estes revestimentos para as indústrias do Setor de Petróleo e Gás Natural. O estudo constatou aumento na largura, na penetração e na diluição com o aumento da energia.

Lima em 2009 avaliou a resistência ao desgaste abrasivo e a microestrutura de revestimentos duros depositados em camada única, utilizando quatro tipos de consumíveis utilizados na indústria sucroalcooleira: um eletrodo revestido da liga FeCrC de 4,0 mm de diâmetro e três arames tubulares auto protegidos de 1,6 mm de diâmetro, de ligas FeCrC, FeCrCNb, FeCrCTiMo. O metal de base utilizado foi um aço SAE 1020. As soldagens com os arames tubulares foram efetuadas no modo de transferência por curto-circuito, com mesmos valores de corrente e tensão de soldagem. O resultado dos ensaios com a roda de borracha apresentou que a liga FeCrCNb apresenta maior resistência ao desgaste, seguida do eletrodo revestido e com pior desempenho a liga FeCrCMoTi e a liga FeCrC. A liga FeCrC (tanto para o eletrodo revestido como para o arame tubular) apresentou microestrutura formada por carbonetos primários M₇C₃ distribuídos em uma matriz de menor dureza; a liga contendo Nb apresentou microestrutura similar além da presença de carbonetos NbC; por sua vez, a liga com adição de Ti e Mo apresentou a presença de grandes carbonetos primários de titânio.

Melo et. al (2012) avaliou a influência dos parâmetros de soldagem sobre a composição química, a microestrutura e a microdureza de revestimentos de aço inoxidável aplicados pelo processo FCAW e SAW, sobre um aço C-Mn utilizando o arame AWS E 308 L T1 como metal de adição. A caracterização da composição química foi realizada por EDX (Energy Dispersive X-ray Analysis), a microestrutura avaliada por microscopia ótica e ensaios de microdureza pelo método Vickers. Os teores de Cr, Ni, Mn, Mo, Nb e Si variaram em função dos parâmetros de soldagem, a microestrutura e microdureza variaram em função da energia de soldagem e composição química. A microestrutura resultante apresentou uma matriz austenítica com ferrita rendilhada e ferrita FA, com redução na dureza média de acordo com o aumento de energia, conforme apresentado na Tabela 2 e 3.

Tabela 2 Durezas médias no MS dos revestimentos aplicados pelo processo SAW.

	SAW-1 (H=12,25 kJ/cm)		SAW-3 (H=13,62 kJ/cm)		SAW-9 (H=13,13 kJ/cm)	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
Microdureza Vickers (HV).	230,3	24,6	200,3	7,7	202,9	8,7

Fonte: Melo et al, 2012 – adaptado.

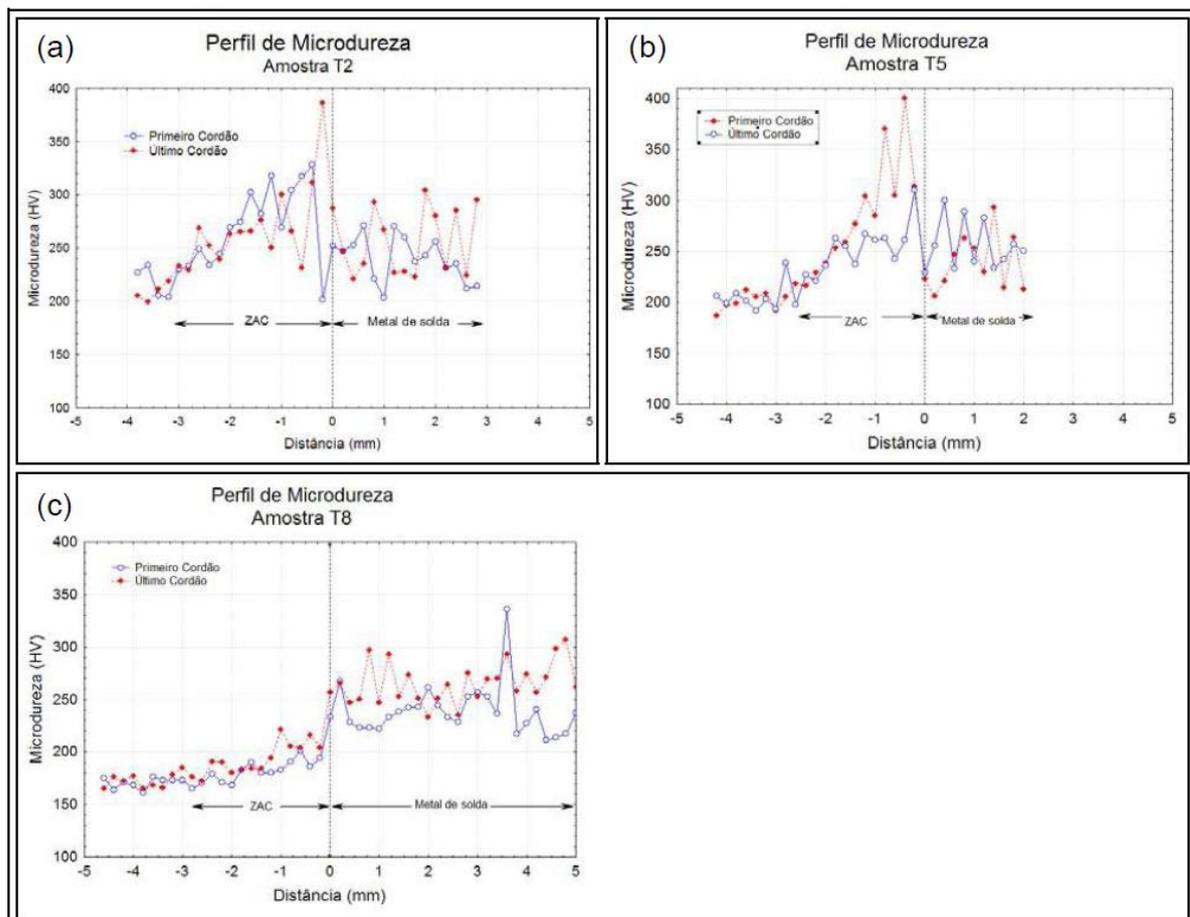
Tabela 3 Durezas médias no MS dos revestimentos aplicados pelo processo FCAW.

	FCAW-4 (H=28,19 kJ/cm)		FCAW-8 (H=15,99 kJ/cm)		FCAW-10 (H=17,52 kJ/cm)	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
Microdureza Vickers (HV).	183,8	14,9	191,2	24,5	199,9	12,2

Fonte: Melo et al, 2012 – adaptado.

CARVALHO SILVA em 2010, realizou um estudo para avaliar e otimizar os principais parâmetros de soldagem, bem como avaliar o comportamento metalúrgico de revestimentos de ligas de níquel depositados pelo processo TIG com alimentação de arame frio sobre chapas de aço C-Mn. Dentre os resultados obtidos, os ensaios de microdureza realizados ao longo do metal de solda, desde a superfície até o metal de base atravessando toda a extensão da ZTA apresentam que em termos de dureza média, os revestimentos não foram afetados pelas condições operacionais, nem houve qualquer diferenciação entre as ligas estudadas. O comportamento do perfil de dureza ao longa da ZTA somente apresentou diferença quando aplicado um elevado aporte térmico, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 Perfis de Microdureza. (a) Amostra T2 - energia baixa; (b) Amostra T5 - energia Média; (c) Amostra T8 - energia alta.



Fonte: Carvalho Silva, 2010.

ELIAS (2014), realizou uma avaliação metalúrgica da soldagem de revestimento inox austenítico sobre a área de selagem de tubos de Riser fabricados em aço SAE 4130. O estudo identificou o metal de adição 312 para a primeira camada, o 309 e 308 para a segunda. Todos usando o nível máximo de energia de soldagem e o processo de soldagem ER, com benefícios à produtividade. Os resultados dos ensaios mecânicos e da microestrutura foram considerados satisfatórios, atendendo os critérios de qualidade adotados. Foi observada uma microestrutura austenítica-ferrítica com teor de ferrita delta entre 10 a 15 % nas duas camadas do revestimento, conforme observados nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 Resultados da taxa de diluição nas macrografias das amostras de revestimento inox utilizando eletrodo revestido.

<u>(Eletrodo Revestido - Nível de Energia Máximo)</u>		
<u>1º Cordão de solda</u>		
ER1	30,0%	Média
ER2	33,0%	31,5%
<u>(Eletrodo Revestido - Nível de Energia Mínimo)</u>		
<u>1º Cordão de solda</u>		
ER3	17,0%	Média
ER4	15,0%	16,0%

Fonte: Adaptado de Elias, 2014.

Tabela 5 Resultados da taxa de diluição nas macrografias das amostras de revestimento inox utilizando TIG.

<u>(TIG - Nível de Energia Máximo)</u>		
<u>1º Cordão de solda</u>		
TIG1	36,0%	Média
TIG2	35,0%	35,5%
<u>(TIG - Nível de Energia Mínimo)</u>		
<u>1º Cordão de solda</u>		
TIG3	15,0%	Média
TIG4	14,0%	14,5%

Fonte: Adaptado de Elias, 2014.

Observação: Média das médias para nível de energia máxima, ER e TIG: 33,5 %; Média das médias para nível de energia mínima, ER e TIG: 15,2 %.

4 METODOLOGIA

O presente estudo utilizou o processo de soldagem por eletrodo revestido para deposição de camadas de revestimentos. A metodologia empregada ocorreu em quatro etapas, conforme fluxograma apresentado na Figura 7.

Inicialmente, foi realizada análise visual dos corpos de prova de acordo com a corrente utilizada. Em seguida, foram avaliados os efeitos da variação da corrente e, conseqüentemente, o aporte térmico, em relação a microdureza das soldas resultantes, sendo verificado se a microdureza resultante atende ao limite exigido pela norma NACE MR0175, que estabelece os padrões para seleção de materiais metálicos utilizados em ambientes onde a presença de H₂S pode corromper a integridade dos equipamentos.

Foi analisado o efeito da energia de soldagem sobre a geometria dos cordões de solda, buscando verificar a corrente de soldagem que apresentou o menor valor de diluição (D) pela razão entre o reforço e largura (R/L), pois baixos níveis de diluição (D) com baixo índice de convexidade (R/L) combinam as melhores características geométricas.

Em seguida, foram avaliados os efeitos da energia de soldagem em relação as microestruturas resultantes da solda, visto que estruturas austeníticas são ideais para este tipo de aplicação.

Figura 7 Fluxograma das etapas para realização do trabalho.



Fonte: Acervo pessoal.

4.1 SOLDAGEM

O processo de soldagem de revestimento foi realizado utilizando como metal de adição o eletrodo revestido de Inconel 625 (ENiCrMo-3) com diâmetro 2,5 mm, sua composição química é apresentada na Tabela 6 e Anexo A.

Tabela 6 Composição química do Inconel 625 (ENiCrMo-3).

Item	Composição, peso %							
	Ni	C	Cr	Mo	Fe	Cu	Al	Ti
INCONEL 625 (ENiCrMo-3)	61	0,05	21,5	9	2,5	-	0,2	0,2
	Nb	Mn	Si					
	3,6	0,2	0,2					

Fonte: Acervo pessoal.

O material de adição foi depositado em chapas de aço ASTM A36 com dimensões de 100 x 50 x 12,5 mm, conforme composição química apresentada na Tabela 7 e Anexo B.

Tabela 7 Composição química do metal base fornecida pela fabricante.

Item	Composição, peso %							
	Ni	C	Cr	Mo	Fe	Al	Mn	Si
ASTM A36	0,02	0,23	0,02	-	Bal.	0,03	0,67	0,09

Fonte: Acervo pessoal.

Os cordões de solda foram realizados utilizando-se a máquina de soldagem tipo SMAW, modelo Retificadora ESAB Origo Tig 150 LiftArc, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 Retificadora ESAB Origo Tig 150 LiftArc.



Fonte: Acervo pessoal.

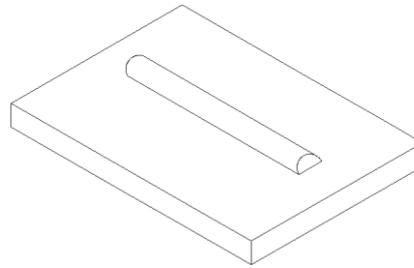
A soldagem foi realizada incrementando-se a corrente, pois o objetivo do estudo é avaliar os efeitos desta variável sobre a microdureza, geometria e microestrutura do cordão de solda resultante.

- ✓ Preparação da superfície
 - Os discos abrasivos e de corte utilizados na preparação do metal de base, foram de aço inoxidável;
 - A limpeza final foi realizada com aplicação gel decapante tipo passivante.

- ✓ Para deposição do metal de adição foram utilizadas como base a EPS apresentada no Anexo C e as seguintes condições:
 - Velocidades de soldagem: aproximadamente 160 mm/min;
 - Tensão: 25V;
 - Correntes selecionadas: 75A, 95A e 115^a.

Com base no de estudo de Miranda (2009), foi executado a soldagem de um único cordão de solda, com comprimento total de 100 mm, conforme apresentado na Figura 9, para que assim fosse realizado a análise geométrica e microestrutural do cordão.

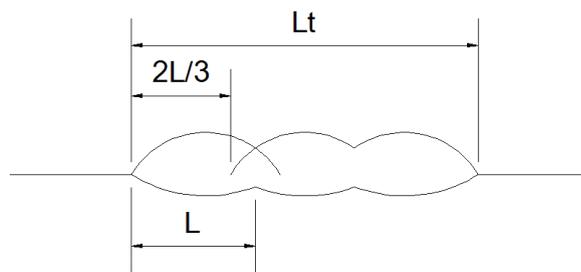
Figura 9 Desenho esquemático do cordão de solda no corpo de prova para único cordão de solda.



Fonte: Acervo pessoal.

Para realização do ensaio de microdureza Vickers, os passes de solda foram de $1/3$ da largura do primeiro cordão, conforme Figura 10, com comprimento de 100 mm, conforme utilizado no estudo de Melo et.al (2012).

Figura 10 Desenho esquemático de sobreposição de camadas de $1/3$.



Fonte: Acervo pessoal.

Onde:

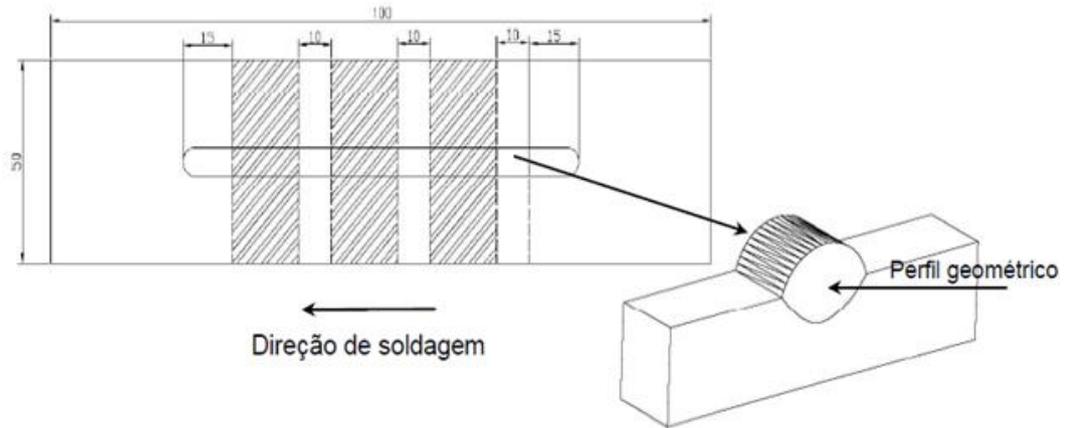
L é a largura do cordão de solda (mm)

Lt é a largura total do revestimento (mm)

4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a análise da microestrutura e da geometria do cordão de solda foram retiradas três seções do corpo de prova, de 10 mm cada, no início, meio e fim, descartando 15 mm em cada borda do cordão, conforme apresentado na Figura 11. O corte foi realizado utilizando-se a policorte manual.

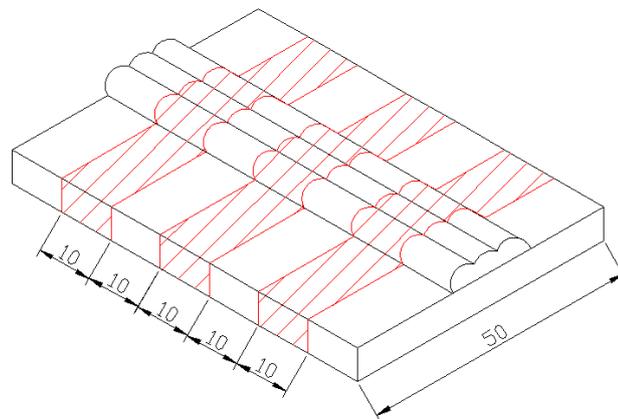
Figura 11 Desenho esquemático de extração das amostras.



Fonte: Carvalho Silva, 2010.

Para realização do ensaio de microdureza Vickers, os corpos de prova foram marcados e cortados perpendicularmente aos cordões de solda, conforme Figura 12.

Figura 12 Esquemático do corte das amostras com 50 mm de largura e 10mm de comprimento.



Fonte: Acervo pessoal.

As amostras foram retiradas utilizando-se o equipamento de policorte manual, conforme modelo informado na Figura 13.

Figura 13 Policorte manual.



Fonte: Acervo pessoal.

Para preparação das amostras foram utilizadas lixas 80, 120, 320, 400, 600, 1200, respectivamente, seguido do polimento com alumina ($1\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ e $5\mu\text{m}$). Posteriormente as amostras foram atacadas com o reagente eletroquímico sendo imersas por 30 segundos em Ácido Oxálico 1,0%, corrente aproximada 2,0 A e 31,5 Volts, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 Ataque com reagente eletroquímico.



Fonte: Acervo pessoal.

Após a preparação das amostras para análises e ensaios, as mesmas foram divididas de acordo com a corrente utilizada durante a soldagem, conforme Tabela 8.

Tabela 8 Distribuição das amostras.

Descrição	Divisão das Amostras (peças)		
	75A	95A	115A
Ensaio de microdureza Vickers	3	3	3
Análise Microestrutural	3	3	3
Análise Taxa de diluição	3	3	3

Fonte: Acervo pessoal.

4.3 ENSAIOS

Partindo da premissa que a energia envolvida no processo de soldagem tem forte influência nas características da solda, será calculada a energia líquida resultante nas soldagens realizadas com as correntes de 75A, 95A e 115A, para tal será utilizada a Equação 2.

$$E_n = \frac{U \times I}{v_s} \quad (2)$$

Onde:

E_n é a energia nominal de soldagem (kJ/cm)

U é a tensão do arco (V)

I é a corrente de soldagem (A)

v_s é a velocidade de soldagem (cm/s)

Assim, pode-se calcular a energia líquida, ou seja, a energia absorvida efetivamente pelo corpo de prova, sendo necessário utilizar a seguinte relação dada pela Equação 3.

$$E = E_n \times r \quad (3)$$

Onde:

E é a energia de soldagem (kJ/cm)

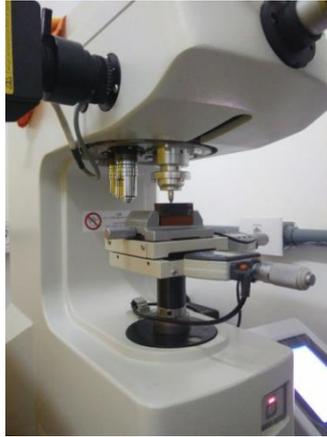
r é o rendimento térmico do processo de soldagem

E_n é a energia nominal de soldagem

4.3.1 Ensaio de Microdureza Vickers

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado no laboratório do IFES, localizado no município de Aracruz - Espírito Santo, sendo utilizado microdurômetro digital Mitutoyo HM101, apresentado na Figura 15.

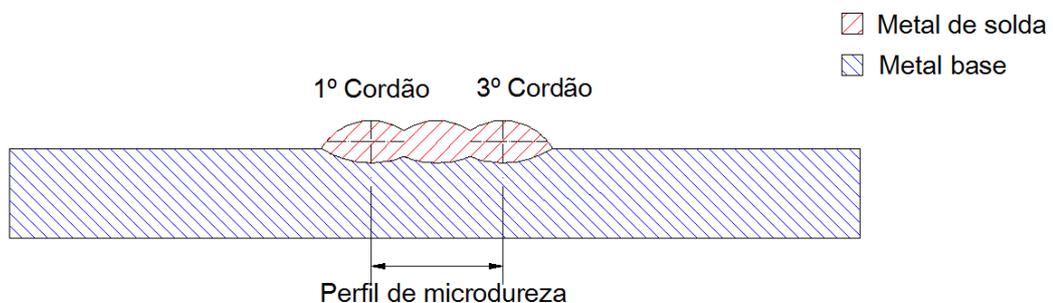
Figura 15 Microdurômetro digital Modelo Mitutoyo HM101.



Fonte: Acervo pessoal.

O teste foi realizado utilizando carga de 1N por um tempo de impressão de 15 segundos, conforme recomendado pela norma ASTM E 384 -99 (ASTM, 199). As impressões foram realizadas ao longo da camada do metal de adição e de base, visando verificar qualquer variação de microdureza ao longo da camada causada pelo efeito de múltiplos ciclos térmicos de soldagem, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 Desenho ilustrando a posição onde foram realizadas as impressões de microdureza.

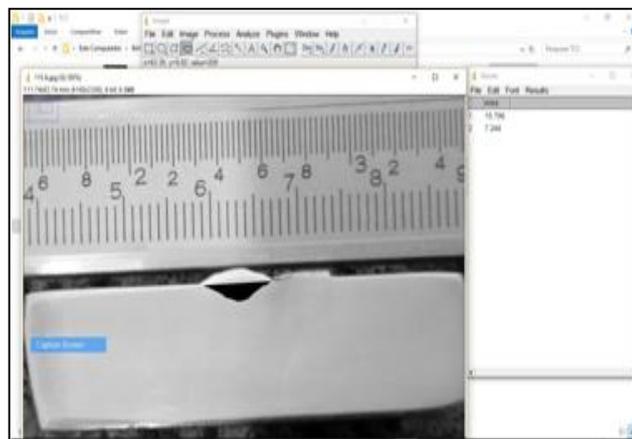


Fonte: Acervo pessoal.

4.3.2 Influência da energia de soldagem sobre a geometria do cordão de solda

Foi utilizado o software de processamento e análise de imagens digitais *ImageJ* como ferramenta para medição da área da seção transversal do cordão de solda (AMA), da área fundida do metal de base (AMB), incluindo medidas como largura (L), reforço (R) e penetração do cordão de solda (P). Na Figura 17 verifica-se a peça marcada da zona diluída.

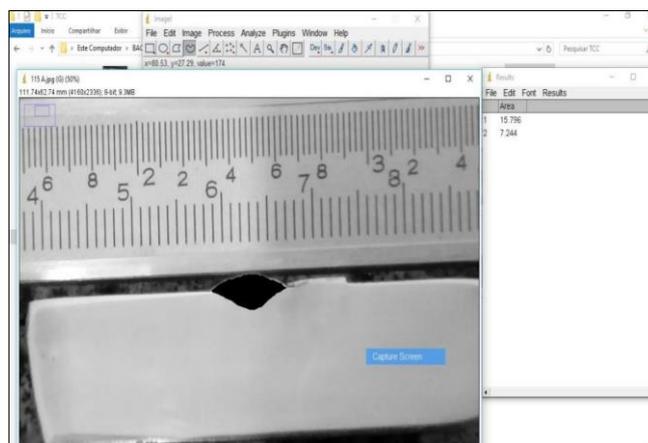
Figura 17 Contorno manual da área total da seção.



Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 18, verifica-se a peça marcada da área correspondendo ao cordão de solda.

Figura 18 Contorno manual da área total da seção.



Fonte: Acervo pessoal.

Com os resultados obtidos foi utilizada a Equação 1 para cálculo da área diluída.

$$A = \frac{A_{MB}}{A_{MB} + A_{MA}} \times 100\% \quad (1)$$

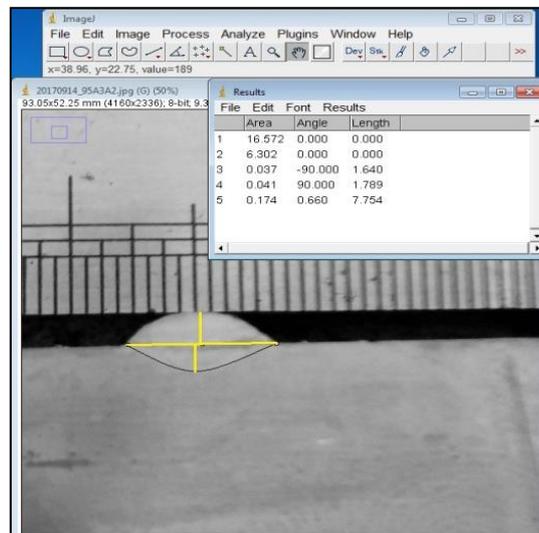
Onde:

A_{MA} é área adicionado pela deposição do metal de adição.

A_{MB} é a área fundida do metal de base.

Na Figura 19 Verifica-se a peça marcada com medidas de largura, reforço e penetração do cordão de solda.

Figura 19 Medidas de largura, reforço e penetração do cordão de solda na amostra soldada com corrente de 95A.



Fonte: Acervo pessoal.

4.3.3 Análise Microestrutural

A caracterização inicial da microestrutura foi realizada utilizando-se o diagrama Schaeffler, apresentado na Figura 20. A sequência da análise foi realizada no laboratório da FAACZ, sendo utilizado o microscópio óptico, apresentado na Figura 18, com aumento de 450X. A técnica da microscopia ótica foi empregada para auxiliar a caracterização do efeito dos parâmetros de soldagem sobre a microestrutura resultante do metal de solda, sendo este resultado analisado de forma qualitativa.

Figura 20 Microscópio óptico para análise das amostras.



Fonte: Acervo pessoal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta a discussão dos resultados obtidos na soldagem do aço ASTM A36 utilizando como metal de adição o Inconel 625 (ENiCrMo-3).

5.1 ANÁLISE VISUAL

Durante a análise visual dos corpos prova, foi observado que visualmente não houve a formação de trincas e outros defeitos, tornando o resultado da soldagem satisfatório. Porém na amostra soldada com corrente de 115A há presença de respingos, conforme indicado na Figura 21, os quais foram originados pelo uso de uma alta corrente de soldagem, ou seja, aumentando-se a corrente, e conseqüentemente o arco, aumenta-se a quantidade de respingos e dessa forma o rendimento de soldagem é reduzido. A utilização de um comprimento de arco menor reduz o espaço eletrodo-peça, reduzindo também a formação de respingos (BRANDI E TANIGUCHI, 1989).

Figura 21 Corpo de Prova soldado com corrente com 115A.



Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 22, são apresentadas as amostras soldadas com corrente de 75A e 95A, onde a superfície do metal de base manteve-se inalterada, sendo acrescentado somente o metal de adição.

Figura 22 Corpo de Prova soldado com corrente 75A e 95A, respectivamente.



Fonte: Acervo pessoal.

5.2 ANÁLISE DA MICRODUREZA

Para caracterização da microdureza de acordo com a corrente utilizada no processo de soldagem, foram utilizadas as Equações 2 e 3 para cálculo da energia líquida (H). Este resultado pode ser observado na Tabela 9.

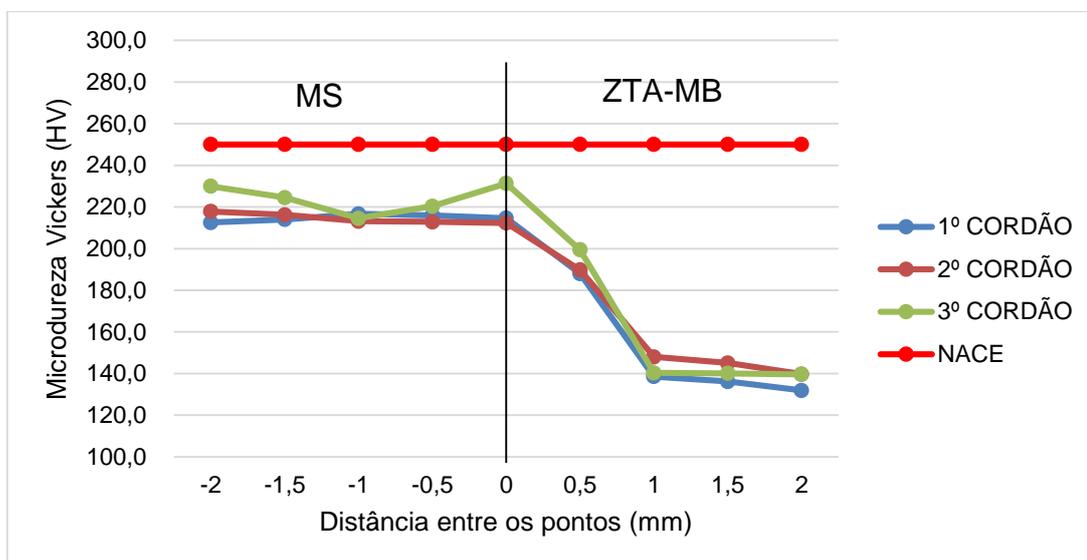
Tabela 9 Tabela com o resultado de energia líquida (H).

CP	Tensão (V)	V (cm/s)	Hmédio ($\eta = 75\%$) (kJ/cm)
75A	25,0	262,3	5,36
95A	25,0	267,8	6,65
115A	25,0	270,3	7,98

Fonte: Acervo pessoal.

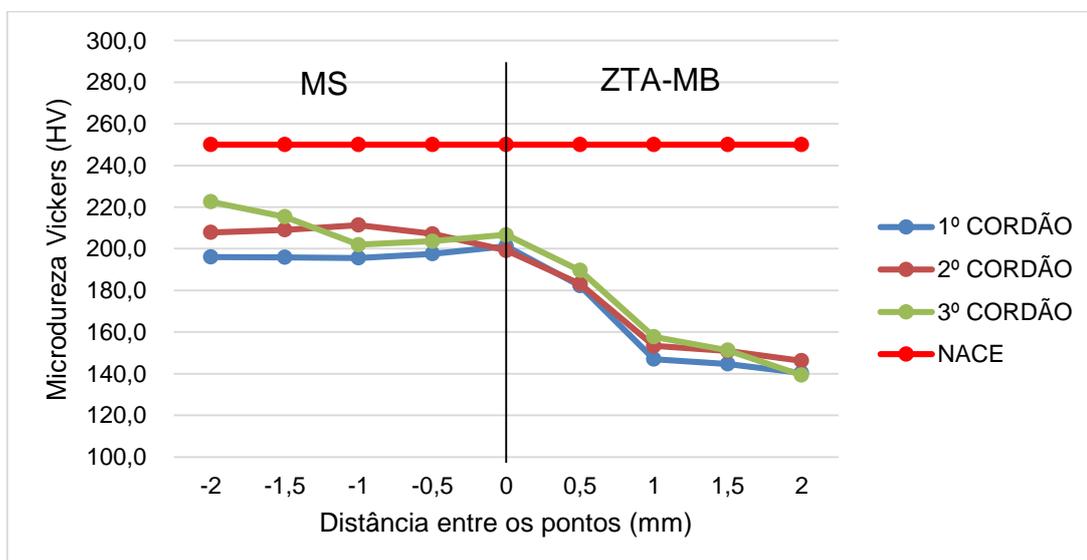
Os gráficos das Figuras 23, 24 e 25 apresentam os perfis de dureza nos três cordões de solda realizados ao longo da junta soldada e na interface ZTA-MB, com tensão de 25V e a dureza máximo, de 250 HV, exigida pela NACE MR0175 para evitar riscos de corrosão.

Figura 23 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) soldada com corrente de 75A (Hmédio de 5,36 kJ/cm).



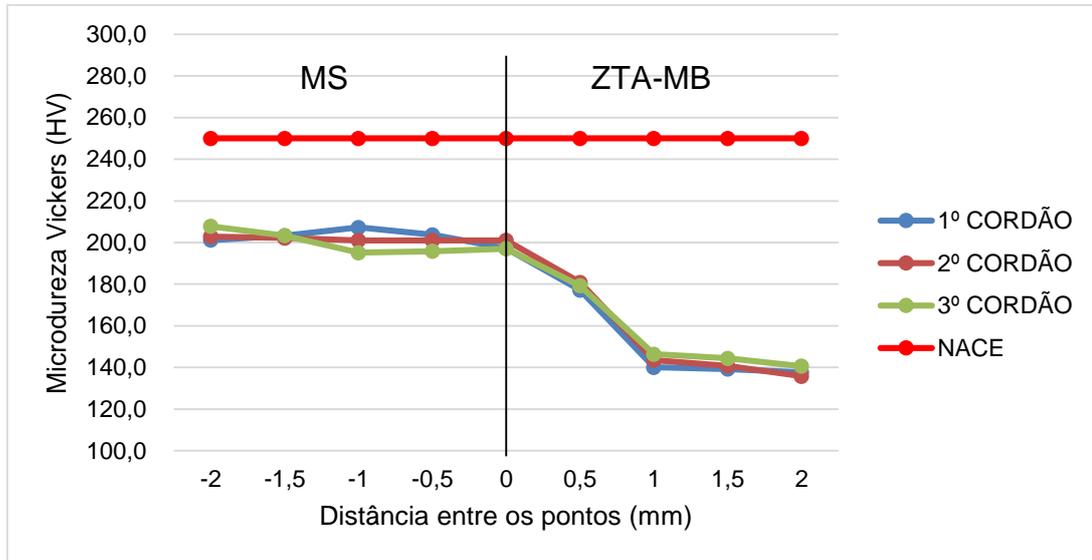
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 24 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) soldada com corrente de 95A (Hmédio de 6,65 kJ/cm).



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 25 Perfil de microdureza na interface MS e ZTA-MB do Inconel 625 (ENiCrMo-3) soldada com corrente de 115A (Hmédio de 7,98 kJ/cm).



Fonte: Acervo pessoal.

Observa-se que entre os pontos 0,0 mm (Linha de fusão) e 1,0mm (ZTA) da linha de fusão houve o aumento da dureza para os três níveis de corrente utilizados na soldagem. Entretanto houve redução nos valores médios de dureza conforme o aumento da energia de soldagem, isso ocorre devido o acréscimo da energia de soldagem aumentar a extensão da ZTA, tornando a curva de repartição térmica mais aberta. O tempo de permanência acima da temperatura de austenitização também aumenta a região de granulação grosseira tornando-a mais extensa, que tende a apresentar um maior tamanho de grão, resultando na diminuição da dureza nesta região (MODENESI, 2012).

É possível observar na Tabela 10 que o valor de microdureza ao longo dos três cordões de solda apresentaram redução nos valores conforme o aumento da energia de soldagem, ou seja, com maior aporte de calor, ocasiona menor taxa de resfriamento o que proporciona a formação de microconstituintes de menor dureza na junta soldada (BRACARENSE, 2011). Araújo et.al de 2010 obtiverem resultados próximos ao apresentado neste trabalho, com valores dureza média na ZTA e MS (Inconel 625) abaixo de 250 HV. Este comportamento pode ser observado nos estudos de R. H. F. de Melo e demais em 2007.

Tabela 10 Valores médios de dureza em (HV) no MS (Inconel 625) e MB-ZTA da junta soldada dos corpos de prova soldados.

CP's	75A	95A	115A
MSInconel 625 (HV)	217,79	204,75	201,33
ZTA-MB (HV)	157,15	153,05	150,50
Hmédio (kJ/cm)	5,36	6,65	7,98

Fonte: Acervo pessoal.

5.3 INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM SOBRE A GEOMETRIA DO CORDÃO DE SOLDA

Foi utilizado o software *ImageJ* para verificação da influência da energia sobre a geometria do cordão de solda, onde foram obtidos os dados correspondentes a Área adicionada pela deposição do metal de adição (AMA), Área fundida do metal de base (AMB), comprimento, reforço, largura e penetração dos respectivos cordões de solda.

Inicialmente foi utilizado a Equação 1 para cálculo da área diluída, estes valores são apresentados na Tabela 11. Verifica-se que para as correntes de soldagem de 75A e 95A os valores da área diluída considerados satisfatórios sob o ponto de vista de fabricação, pois situam-se numa faixa entre 15 e 40% (Kejelin, 2006).

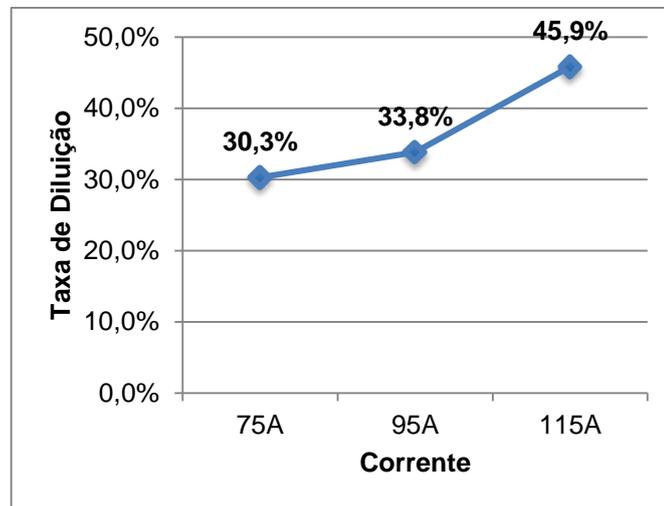
Tabela 11 Dados da corresponde as áreas do revestimento.

AMA (mm²)	AMB (mm²)	Área Diluída	Corrente (A)
6.180	2.684	30,3%	75A
7.507	3.839	33,8%	95A
8.552	7.244	45,9%	115A

Fonte: Acervo pessoal.

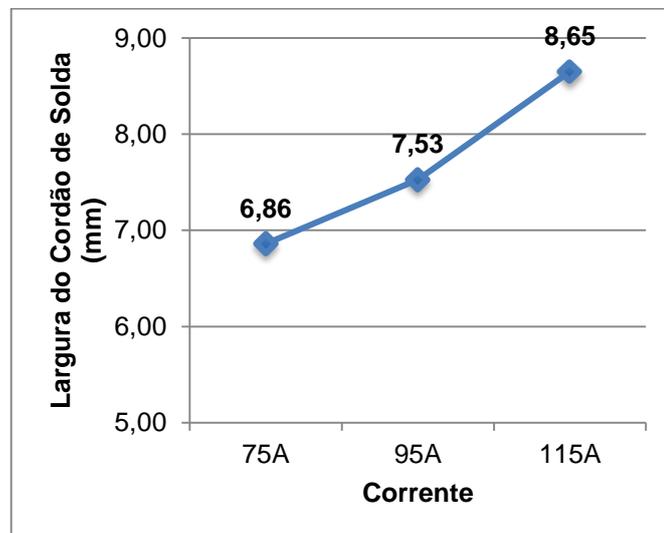
Os gráficos da Figura 26, 27 e 28 apresentam a variação na área diluída, penetração e largura do cordão de solda para os três níveis de corrente adotados na soldagem. Observa-se um aumento na taxa de diluição de acordo com o aumento da corrente utilizada na soldagem, isso ocorre pois energia tem influência direta na diluição, ou seja, os níveis de diluição diminuem com a redução do nível de energia no arco (DUPONT, 2001). Este comportamento pode ser explicado pelo fato do aumento da energia acarretar um aumento na quantidade de calor imposto a peça e conseqüentemente em uma maior poça de fusão, aumentando a largura, a penetração do cordão de solda e por conseqüência o aumento da diluição (MIRANDA, 2009).

Figura 26 Variação da taxa de diluição em relação a corrente utilizada na soldagem.



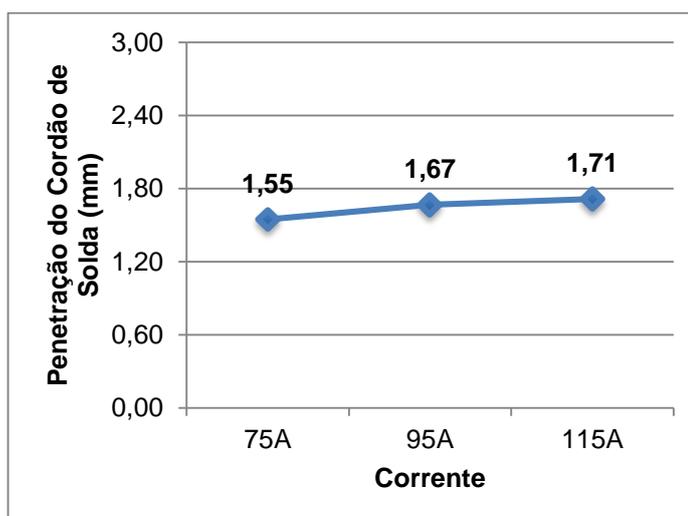
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 27 Largura do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.



Fonte: Acervo pessoal.

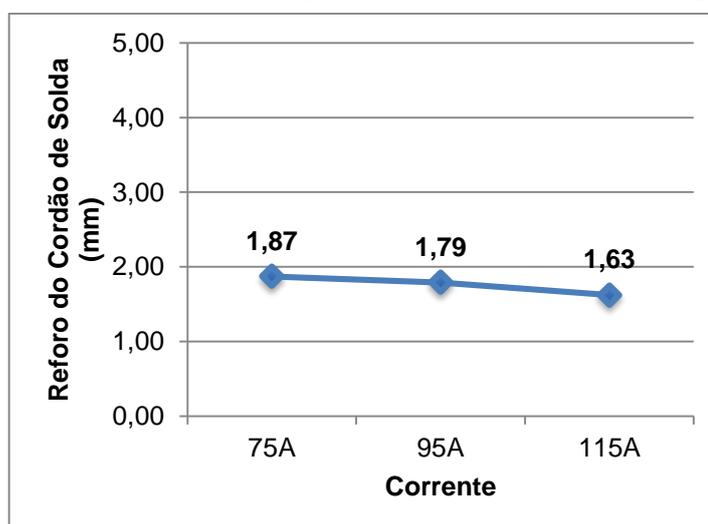
Figura 28 Penetração do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.



Fonte: Acervo pessoal.

Na Figura 29 pode-se observar uma diminuição no reforço do cordão de solda de acordo com o aumento no nível de energia empregado durante a soldagem dos corpos de prova. Isso ocorre, pois, soldas com comprimentos de arco maiores tem a coluna de plasma mais ampla na sua extensão, e são, portanto, mais largas (Gomes, 2006).

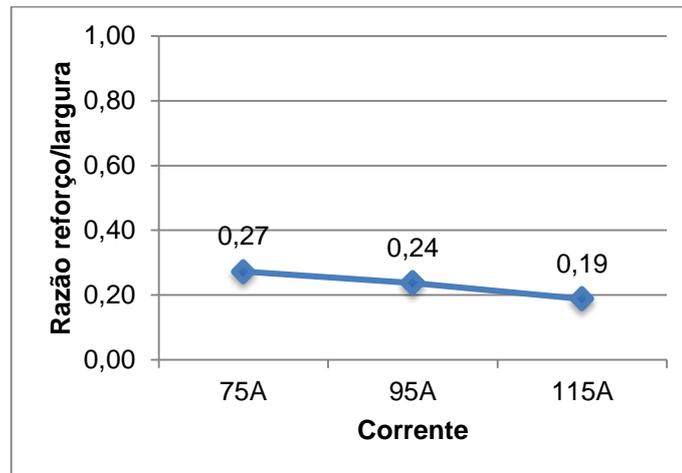
Figura 29 Reforço do cordão de solda em relação a corrente utilizada na soldagem.



Fonte: Acervo pessoal.

O efeito da variação da energia de soldagem sobre a razão reforço/largura (R/L) é apresentada na Figura 30. Pode-se observar que o aumento na corrente de soldagem utilizada gerou uma menor razão entre o reforço e a largura do cordão de solda, fato este que é benéfico para soldagem de vários passes, como a aplicação de revestimentos, evitando assim possíveis vazios que podem surgir entre os passes (MIRANDA, 2009).

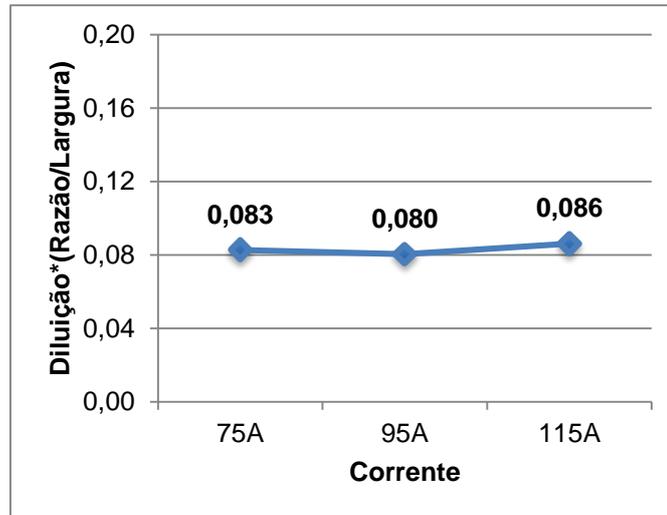
Figura 30 Efeito da variação da corrente sobre a razão reforço/largura (R/L).



Fonte: Acervo pessoal.

O efeito da variação da energia de soldagem no produto da diluição pela razão entre reforço e largura - Diluição*(R/L) é apresentada na Figura 31. Para este parâmetro, quanto menor, melhor as características para obtenção de um bom revestimento, haja vista, que combina a baixa diluição com as melhores características geométricas (MIRANDA, 2009). O revestimento soldado com corrente de 95A apresentou o menor parâmetro.

Figura 31 Efeito da variação da corrente sob produto da diluição pela razão entre reforço e largura - Diluição*(R/L).

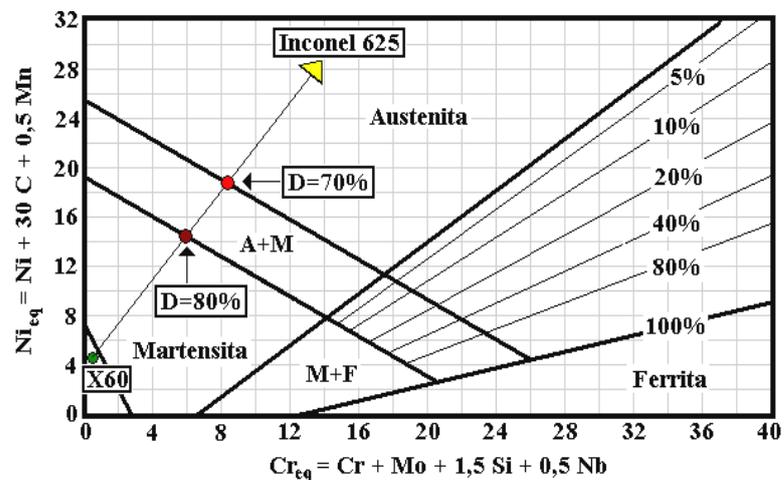


Fonte: Acervo pessoal.

5.4 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Para caracterização microestrutural das amostras estudadas, foi utilizado o diagrama Schaeffler, Figura 32, adotado por KEJELIN, 2006, onde seu estudo constatou que a soldagem dissimilar envolvendo metais de base em aço baixo carbono com uso de eletrodos em ligas de níquel Inconel 625 (ENiCrMo-3) tem como resultado um metal de solda Austenítico para diluições com até 70%.

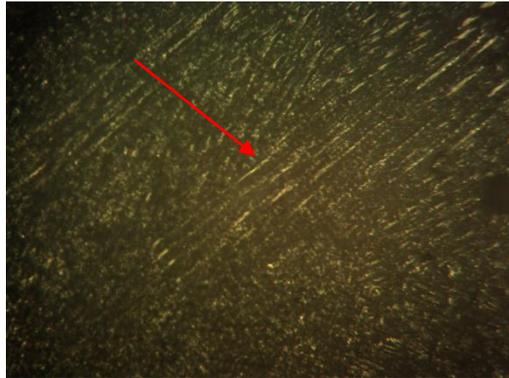
Figura 32 Diagrama de Schaeffler.



Fonte: Adaptado por Kejelin, 2006.

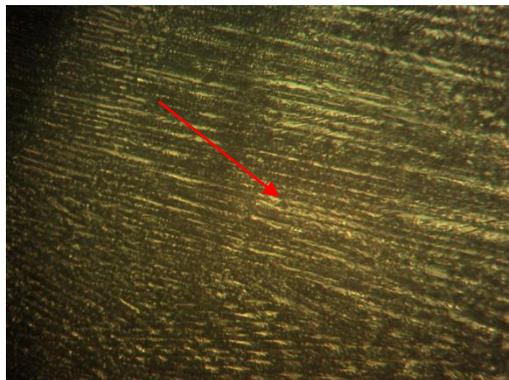
Como observado neste estudo, para as três faixas de corrente utilizadas, obteve-se valores abaixo de 70%, caracterizando todas as estruturas como Austeníticas. Este dado pode ser observado nas amostras soldadas utilizando corrente de soldagem 75A, 95A e 115 A, respectivamente, conforme apresentado na Figura 33, Figura 34 e Figura 35.

Figura 33 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 75A.



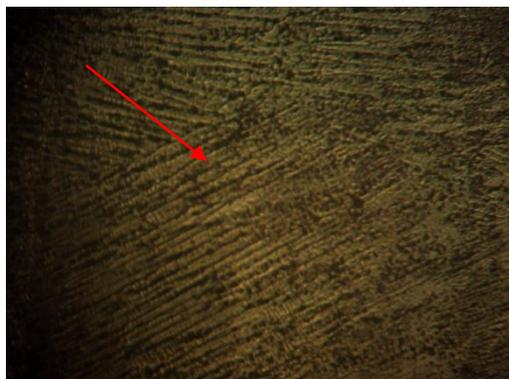
Fonte: Acervo pessoal.

Figura 34 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 95A.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 35 Microestrutura resultante da soldagem com corrente de 115A.



Fonte: Acervo pessoal.

As micrografias das Figuras 33, 34 e 35 apresentaram uma microestrutura basicamente Austenítica, onde pode-se observar a formação de uma microestrutura com modo de solidificação ferrita secundária com morfologia em espinha e laminar (MELO et.al, 2007). Este tipo de estrutura é dúctil, possui alta resistência a fratura à quente em altas temperaturas, além de sua alta resistência a corrosão (OLSON, 1985).

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- ✓ Houve diminuição nos valores médios de microdureza em função da corrente de soldagem, sendo que todas apresentaram valores abaixo do limite da norma NACE MR - 0175 de 250 HV.
- ✓ Foi observado aumento na taxa de diluição, largura e penetração de acordo com o aumento da corrente utilizada na soldagem. Para o reforço e a Razão reforço/largura houve uma diminuição de acordo com o aumento da corrente utilizada na soldagem. A corrente de soldagem de 95A apresentou o menor produto entre a taxa de diluição pela razão entre reforço e largura - Diluição*(R/L);
- ✓ Todas as amostras apresentaram microestrutura Austenítica, com modo de solidificação ferrita secundária com morfologia em espinha e laminar.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho propiciou novas ideias sobre os fenômenos envolvidos na soldagem de materiais dissimilares através do processo de soldagem por eletrodos revestidos. Porém, há ainda muitos tópicos que necessitam ser aprofundados nesta linha de pesquisa, dentre os quais podem ser citados:

- ✓ Estudo da variação da corrente de soldagem, utilizando intervalos dentro dos analisados neste estudo;
- ✓ Estudo variação da velocidade de soldagem;
- ✓ Realização dos ensaios utilizando processos de soldagem TIG e MIG/MAG.

8 REFERÊNCIAS

ASM HANDBOOK – Casting, “**Nickel and Nickel Alloys**”, Vol. 15, 10th Edition, ASM Metals Park, Ohio, p. 815 -823, 1993b.

ASM SPECIALTY HANDBOOK **Stainless Steel Cladding and Weld Overlays**, 1994.

AWS WELDING HANDBOOK. **Materials and Applications. 8ed. USA: American Welding Society (AWS)**. 1991. V2.

BANOVIC, S. W., DUPONT, J.N. MARDER, A. R., **Dilution Control in Gas - Tungsten-Arc Welds Involving Superaustenitic Stainless Steels and Nickel - Based Alloys**”. **Metallurgical and Material Transaction A**. pp 1171 -1176. 2001.

BRACARENS, A. Q. et. al, **Avaliação da Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Metais de Solda Obtidos por Processos de Soldagem Manual e Automatizado utilizado na Soldagem de Aço API 5L X80**, São Paulo, 2011.

BROOKS, C. R., "Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys", ASM, Metals Park, Ohio, USA, 1982, p. 139 - 227.

CARVALHO SILVA, C. **Revestimentos de Ligas de Níquel depositados pelo processo TIG com alimentação de arame frio - Aspectos Operacionais e metalúrgicas**, Fortaleza, 2010.

COSTENARO SILVA, F. et. al, **Técnica de Tecimento Aplicado na Soldagem Automatizada de Revestimento das Paredes Tubulares das Caldeiras de Termoelétricas**, Recife, 2010.

DOODY, Thomas. **Intermediate Mixed Zones in Dissimilar Metal Welds for Sour Service**. *Welding Journal*, March 1992.

DUPONT, J.N. MARDER, A. R., **Dilution in Single Pass Arc Welds. Metallurgical and Material Transaction A**. pp 481-489. 1996.

EISELSTEIN, H.L., Tillack D.J. Ed. **Loria Superalloy 718, 625, and Various Derivates**, TMS Warrendale PA pag 1,1991.

EBERT, H. W. **Nickel Alloy Filler Metal Review**. Welding Journal 83. pp. 60 -61. 2004.

ELIAS, M.S. **Avaliação Metalúrgica da Soldagem de Revestimento Inox Austenítico Sobre Aço SAE 4130**, Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, A.C., **Análise da Microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira**, Goiânia, 2009.

MODENESI, P.J. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**, Belo Horizonte, 2012.

MODENESI, P.J., MARQUES, P. V., SANTOS, D.B. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**, Belo Horizonte, 2006

MELO, R.H.F., **Efeito do Processo de Soldagem na Microestrutura, Microdureza e composição química de revestimentos de aço inoxidável aplicados por soldagem**, Paraíba, 2012.

MIRANDA, E. C. **Estudo Exploratório dos Parâmetros de Soldagem de Revestimentos com Ligas de Níquel Empregando o Processo TIG com alimentação de Arame Frio**, Fortaleza, 2009.

Norma Regulamentadora NR-13: Caldeiras e Vasos de Pressão. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR13.pdf>. Acesso em 23/11/2017.

PAOLIELLO, F. A. **Guidelines for integrity evaluation and remaining life assessment of recovery boilers**, 2004 apud FRENCH, D.N. **Microstructural Degradation**, 1991.

PAOLIELLO, F. A. **Guidelines for integrity evaluation and remaining life assessment of recovery boilers**, 2004 apud SINGER, J.G. **Combustion, fossil power**. Windsor, Connecticut, [s.n.], 1991.

PLANT, W. H. D. **The Cost -Effective Use Of Nickel Alloys And Stainless Steels For Chimneys (Stacks) In Air Pollution Control Systems**. **Corrosion 2000**. NACE International. Paper 00577. 2000.

SILVA, M.M. et. al. **Efeito da energia de soldagem sobre a microestrutura de revestimentos AISI 317L depositados em aços ASTM A516 Gr 60 para aplicação no setor de petróleo e gás**, Fortaleza, 2010.

SILVA FILHO, I.G. **Estudo da influência dos parâmetros de soldagem de revestimentos resistente a corrosão pelo processo TIG modalidade quente na diluição**, Curitiba, 2007.

SILVA TELLES, P.C. **Materiais para equipamentos de processo**. 6ª ed. Rio de Janeiro, Interciência, 2003.

SIMÕES, T.M, **Curvas S-N da camada de Inconel 625 depositado por soldagem em tubos cadeados**, Rio de Janeiro, 2014.

SIMS, C.T.; HAGEL, W.C.; **“The Superalloys”**, John Wiley & Sons, New York, 1972, p. 1 - 565.

TREVISAN, R. E. **Análise da porosidade em juntas soldadas pelo processo MIG/MAG Robotizado**, Campinas - SP.

WELDING HANDBOOK MATERIALS AND APLICATIONS PART 2. v.4 8th edition. American Welding Society. Miami, Fl. 1998. 621 p.

WOODS, R.A. Porosity and Hydrogen Absorption in Aluminum Welds. **Welding Journal**, v. 53, n. 3, p. 97s -108s, Mar. 1974.

YAZAKI, V. N. **Estudo de Falhas por Fadiga em Caldeiras**, Guaratinguetá, 2011.

ANEXO A

Classe: ENICrMo-3

AWS: A5.11

Conforme a Certificação: AWS A5.11 ASME SFA A5.11

Processo de soldagem: processo de solda de arco metálico blindado (SMAW)

Requisitos de composição química da AWS

C = 0,10 máx. Cu = 0,50 máx
 Mn = 1,0 máx. Ni = 55,0 min
 Fe = 7,0 máx. Co = 0,12 máx.
 P = 0,03 máx. Cr = 20,0 - 23,0
 S = 0,02Cb / Ta = 3.15 - 4.15
 Si = 0,75 máx. Mo = 8,00 - 10,0
 Outro = 0,50 máx.



A aplicação

ENICrMo-3 (Liga 112) é um eletrodo que é usado para soldar as ligas de níquel-cromo-molibdênio. As suas aplicações incluem juntas diferentes entre ligas de níquel-cromo-molibdênio para aços inoxidáveis, aços carbono ou aços de baixa liga.

Estes eletrodos são utilizados em aplicações onde a temperatura varia até 1800°F.

Composição Química Depósito% (Típica)

C = 0,03	Cr = 21,5
Mn = 0,35	Mo = 9,10
Si = 0,34	Cb / Ta = 3,55
Fe = 1,55 = 0,005	Ni = equilíbrio
P = 0,009	

Depósito de todas as propriedades de metal soldado% (AW)

Resistência à tração: 115,000 psi

Resistência ao escoamento: 89,000 psi

Alongamento: 34,5%

Propriedades de impacto de Charpy-V-Notch depositadas%

Não aplicável

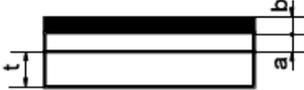
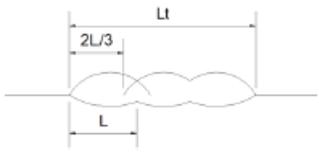
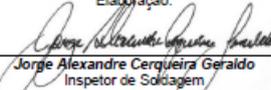
ANEXO B

 ARCELORMITTAL BRASIL S.A.		Certificado de Qualidade / Mill Sheet / Quality Certificate		Pág: 1 de 01																
Ordem de Venda / Order No: 5710860 / 000003		Nº do pedido do cliente / Buyer ref. No: 316602S - ABR/16		Nº do certificado / Certificate Customer Ref. No: 000277232501																
Consumidor / Customer: PERFILADOS RIO DOCE SA		Cliente final / End user: PERFILADOS RIO DOCE SA		Data de emissão / Issue Date: 26.04.2016																
Produto / Product: Bobina Laminada a Quente / Hot Rolled Coil		Norma de Produto / Product Standard: ASTMA36-131A-283C		Part Number: CONFORME NORMA																
Borda / Edge: Natural		Tipo de dimensão / type of dimension: Não/No		Cond. Especial / Special Cond. NORMAL																
Espessura / Thickness: (MM) 12,50		Largura / Width: (MM) 1.000		Nº Protocolo / No Protocol:																
Aplicação / Application: DISTRIBUIÇÃO E CENTROS DE SERVIÇOS - CORTE EM CHAPAS / SERVICE AND DISTRIBUTION CENTERS - CUT TO LENGTH																				
Composição Química / Chemical Composition (%) - L = Análise de Peneira / Ladle Analysis - P = Análise de Produto / Product Analysis																				
Conteúdo	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N	Sn	Ti	B	07	KD	KK	0855
1121658	0,13	0,015	0,720	0,016	0,0055	0,038	0,007	0,004	0,019	0,001	0,001	0,0148	0,0034	0,002	0,000	0,0002	0,250	0,016	0,016	0,855

Nº da amostra / Sample No	Tração / Tensile		Debramento / Bending		Direção / Hardness Test		Impacto / Charpy		Unid. Temp. / Temp. Unit:		DWT		T. Grão / Grain		Inclusões / Inclusion		Anisotropia / Anisotropy	
	Base / Base	Unidade / Unit	Pos / Dir / Position	Pos / Dir / Position	Pos / Dir / Position	Pos / Dir / Position	Temp / Temperature	Unid. Temp. / Temp. Unit	Unid. Temp. / Temp. Unit	Unid. Temp. / Temp. Unit	Temp / Temperature	Temp / Temperature	Temp / Temperature	Temp / Temperature				
T0364766T	LE / VS	77	LR / TS	64	Média / Average	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura

Número do lote / Lot ID	E4042412	Peso Eq. / Net Weight	10,150	Corrida / Heat No	1121658	Compartimento / Heat / Mill	10965768T	Amostra 1 / Sample 1	95,00	Amostra 2 / Sample 2		Amostra 3 / Sample 3	
Códigos / Codes: 07 C = 18,8 Mt - (CR-MO-VS) - (NK-CU)TS 08 NB = 31 + V 09 KK S1 + S2 P													
Descrição / Description: 01 Tipo / Heat: 02 Recuperação / TR / TYPE: 03 Tipo / Heat: 04 Substituição / Subst. / Subst.: 05 Laminado / Laminated: 06 Laminado / Laminated: 07 Laminado / Laminated: 08 Laminado / Laminated: 09 Laminado / Laminated: 10 Laminado / Laminated: 11 Laminado / Laminated: 12 Laminado / Laminated: 13 Laminado / Laminated: 14 Laminado / Laminated: 15 Laminado / Laminated: 16 Laminado / Laminated: 17 Laminado / Laminated: 18 Laminado / Laminated: 19 Laminado / Laminated: 20 Laminado / Laminated: 21 Laminado / Laminated: 22 Laminado / Laminated: 23 Laminado / Laminated: 24 Laminado / Laminated: 25 Laminado / Laminated: 26 Laminado / Laminated: 27 Laminado / Laminated: 28 Laminado / Laminated: 29 Laminado / Laminated: 30 Laminado / Laminated: 31 Laminado / Laminated: 32 Laminado / Laminated: 33 Laminado / Laminated: 34 Laminado / Laminated: 35 Laminado / Laminated: 36 Laminado / Laminated: 37 Laminado / Laminated: 38 Laminado / Laminated: 39 Laminado / Laminated: 40 Laminado / Laminated: 41 Laminado / Laminated: 42 Laminado / Laminated: 43 Laminado / Laminated: 44 Laminado / Laminated: 45 Laminado / Laminated: 46 Laminado / Laminated: 47 Laminado / Laminated: 48 Laminado / Laminated: 49 Laminado / Laminated: 50 Laminado / Laminated: 51 Laminado / Laminated: 52 Laminado / Laminated: 53 Laminado / Laminated: 54 Laminado / Laminated: 55 Laminado / Laminated: 56 Laminado / Laminated: 57 Laminado / Laminated: 58 Laminado / Laminated: 59 Laminado / Laminated: 60 Laminado / Laminated: 61 Laminado / Laminated: 62 Laminado / Laminated: 63 Laminado / Laminated: 64 Laminado / Laminated: 65 Laminado / Laminated: 66 Laminado / Laminated: 67 Laminado / Laminated: 68 Laminado / Laminated: 69 Laminado / Laminated: 70 Laminado / Laminated: 71 Laminado / Laminated: 72 Laminado / Laminated: 73 Laminado / Laminated: 74 Laminado / Laminated: 75 Laminado / Laminated: 76 Laminado / Laminated: 77 Laminado / Laminated: 78 Laminado / Laminated: 79 Laminado / Laminated: 80 Laminado / Laminated: 81 Laminado / Laminated: 82 Laminado / Laminated: 83 Laminado / Laminated: 84 Laminado / Laminated: 85 Laminado / Laminated: 86 Laminado / Laminated: 87 Laminado / Laminated: 88 Laminado / Laminated: 89 Laminado / Laminated: 90 Laminado / Laminated: 91 Laminado / Laminated: 92 Laminado / Laminated: 93 Laminado / Laminated: 94 Laminado / Laminated: 95 Laminado / Laminated: 96 Laminado / Laminated: 97 Laminado / Laminated: 98 Laminado / Laminated: 99 Laminado / Laminated: 100 Laminado / Laminated:													
DETALHES DO MATERIAL: 01 Tipo / Heat: 02 Recuperação / TR / TYPE: 03 Tipo / Heat: 04 Substituição / Subst. / Subst.: 05 Laminado / Laminated: 06 Laminado / Laminated: 07 Laminado / Laminated: 08 Laminado / Laminated: 09 Laminado / Laminated: 10 Laminado / Laminated: 11 Laminado / Laminated: 12 Laminado / Laminated: 13 Laminado / Laminated: 14 Laminado / Laminated: 15 Laminado / Laminated: 16 Laminado / Laminated: 17 Laminado / Laminated: 18 Laminado / Laminated: 19 Laminado / Laminated: 20 Laminado / Laminated: 21 Laminado / Laminated: 22 Laminado / Laminated: 23 Laminado / Laminated: 24 Laminado / Laminated: 25 Laminado / Laminated: 26 Laminado / Laminated: 27 Laminado / Laminated: 28 Laminado / Laminated: 29 Laminado / Laminated: 30 Laminado / Laminated: 31 Laminado / Laminated: 32 Laminado / Laminated: 33 Laminado / Laminated: 34 Laminado / Laminated: 35 Laminado / Laminated: 36 Laminado / Laminated: 37 Laminado / Laminated: 38 Laminado / Laminated: 39 Laminado / Laminated: 40 Laminado / Laminated: 41 Laminado / Laminated: 42 Laminado / Laminated: 43 Laminado / Laminated: 44 Laminado / Laminated: 45 Laminado / Laminated: 46 Laminado / Laminated: 47 Laminado / Laminated: 48 Laminado / Laminated: 49 Laminado / Laminated: 50 Laminado / Laminated: 51 Laminado / Laminated: 52 Laminado / Laminated: 53 Laminado / Laminated: 54 Laminado / Laminated: 55 Laminado / Laminated: 56 Laminado / Laminated: 57 Laminado / Laminated: 58 Laminado / Laminated: 59 Laminado / Laminated: 60 Laminado / Laminated: 61 Laminado / Laminated: 62 Laminado / Laminated: 63 Laminado / Laminated: 64 Laminado / Laminated: 65 Laminado / Laminated: 66 Laminado / Laminated: 67 Laminado / Laminated: 68 Laminado / Laminated: 69 Laminado / Laminated: 70 Laminado / Laminated: 71 Laminado / Laminated: 72 Laminado / Laminated: 73 Laminado / Laminated: 74 Laminado / Laminated: 75 Laminado / Laminated: 76 Laminado / Laminated: 77 Laminado / Laminated: 78 Laminado / Laminated: 79 Laminado / Laminated: 80 Laminado / Laminated: 81 Laminado / Laminated: 82 Laminado / Laminated: 83 Laminado / Laminated: 84 Laminado / Laminated: 85 Laminado / Laminated: 86 Laminado / Laminated: 87 Laminado / Laminated: 88 Laminado / Laminated: 89 Laminado / Laminated: 90 Laminado / Laminated: 91 Laminado / Laminated: 92 Laminado / Laminated: 93 Laminado / Laminated: 94 Laminado / Laminated: 95 Laminado / Laminated: 96 Laminado / Laminated: 97 Laminado / Laminated: 98 Laminado / Laminated: 99 Laminado / Laminated: 100 Laminado / Laminated:													
Gerência de Assistência Técnica a Cliente / Customer Technical Support Manager: André Carvalho Prado													

ANEXO C

LOGOMARCA		ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (PRELIMINAR)				EPS: J. A. - 001R		
		Tipo: Manual		RQPS de cobertura: A QUALIFICAR		Data: 10 / 07 / 2017		
						Folha: 1 / 1		
						Revisão: 1		
Processo: SMAW (ER)		Tipo: Manual		RQPS de cobertura: A QUALIFICAR				
Detalhe da Junta: 		Sequência de Passes: 						
ESPESSURA "t": $\geq 12,5$ mm CAMADA "a": Aproximadamente 1,50 mm. CAMADA "a" + "b": Mínimo 3,0 mm		METAIS DE BASE (QW-403) Especificação do material: ASTM A-38 Tipo ou Grau: 1 P-Nº.: 1 Com P-Nº.: N/A Grupo: N/A Grupo: N/A Faixa de espessura, mm: $\geq 12,5$ mm Diâmetro do tubo, mm: limitada		GÁS (QW-408) Gás de proteção: N/A Vazão, l/min.: N/A Gás de purga: N/A Vazão, l/min.: N/A Outros: N/A				
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) Especificação SFA: 5.11 Classificação AWS: E NiCrMo-3 F-Nº.: 43 A-Nº.: - Marca comercial: Oxford Alloys 625 Espessura do metal de solda: $\leq 3,0$ mm		CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409) Tipo de corrente: Continua Polaridade: Inversa Eletrodo de W: N/A ϕ do eletrodo de W: N/A Modo de transferência: Globular Energia de soldagem, J/cm: - Outros: N/A						
POSIÇÃO (QW-405) Posição de soldagem: Plana / 1G Progressão: N/A		TÉCNICA (QW-410) Passe retilíneo ou oscilado: Retilíneo e Oscilado Diâmetro do bocal, mm: N/A Limpeza inicial: Esmerilhamento Limpeza entre passes: Escovamento Método de goivagem: N/A Passe simples ou múltiplo: Múltiplo Eletrodo simples ou múltiplo: Simple Espaçamento entre eletrodos: N/A Distância bico-peça, mm: N/A Martelamento: N/A Largura máxima do cordão, mm: $\leq 3 \times \phi$ da vareta						
PRÉ-AQUECIMENTO (QW-406) Temperatura de pré-aquecimento, °C: ≥ 20 Temperatura de interpasse, °C: ≤ 150 Manutenção do pré-aquecimento, °C: 20 a 25		TRATAMENTO TÉRMICO (QW-407) Taxa de Aquecimento, °C/h: N/A Temperatura de Patamar, °C: N/A Tempo de Patamar, hs: N/A Taxa de Resfriamento, °C/h: N/A						
Camada	Processo	Consumíveis		Corrente		Tensão (V)	Velocidade (mm/min)	Energia de Soldagem (KJ/mm)
Raiz	SMAW	E NiCrMo-3	2,40 ou 3,20	CCEN	75 - 95 - 115	23 - 29	145 - 165	N/A
Acabamento	SMAW	E NiCrMo-3	2,40 ou 3,20	CCEP	75 - 95 - 115	23 - 29	145 - 165	N/A
OBSERVAÇÕES:								
1) As superfícies adjacentes à área de deposição em cerca de 50,0 mm de ambos os lados do depósito devem estar livres de óleo, graxa e óxidos, ou quaisquer outros elementos prejudiciais a soldagem. 2) Os discos abrasivos e corte usados na preparação das juntas a soldar, deverão ser de aço inoxidável, ou possuir alma de nylon ou fibra. 3) A limpeza inicial e final devem ser realizadas com aplicação de Álcool Isopropílico, Acetona, ou produto similar. 4) Procedimento de Soldagem a ser qualificado exclusivamente para aplicação de revestimento com requisitos de Resistência à Corrosão, conforme sequência e testes para qualificação descritos no ASME IX / Tabela QW-463 e Figuras QW-462-6 (a), (d) e (e). 5) Antes da soldagem, poderá ser aplicado Pré Aquecimento ao mínimo de 20°C, caso a temperatura ambiente seja \leq a 15°C.								
EPS elaborada de acordo com ASME IX/Edição 2015 e ASME B31.3/Edição 2016								
Elaboração:		Aprovação			Cliente:			
 Jorge Alexandre Cerqueira Geraldo Inspetor de Soldagem SNQC: IS 1538-N2								