

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
RAFAEL EDWARD DE SOUZA LAGES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO NO AÇO FERRAMENTA
VC131 PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM O AÇO ER308L ATRAVÉS
DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO GMAW**

Varginha
2019

RAFAEL EDWARD DE SOUZA LAGES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO NO AÇO
FERRAMENTA VC131 PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM O
AÇO ER308L ATRAVÉS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO GMAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira.

**Varginha
2019**

RAFAEL EDWARD DE SOUZA LAGES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO PRÉ-AQUECIMENTO NO AÇO
FERRAMENTA VC131 PARA APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO COM O
AÇO ER308L ATRAVÉS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO GMAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas/Unis-MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Fabiano Farias de Oliveira

Prof.^a Esp. Luciene de Oliveira Prospéri

Prof.^a Dra. Deborah Alvarenga

OBS.:

Dedico a minha querida família pelo apoio constante, e a todos que contribuíram para o alcance de mais uma etapa na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, professores, amigos, colegas e principalmente a minha namorada e melhor amiga por terem contribuído na concretização deste trabalho.

“O futuro pertence àqueles que acreditam
na beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

Este trabalho aborda a utilização de solda de revestimento aplicado em aço com alto teor de carbono e ligas. Tal abordagem se justifica pela necessidade de peças cujo suas superfícies demandam de características superiores ao restante do componente, de modo a resistir ao ambiente de trabalho designado. O objetivo deste trabalho é analisar a influência do pré-aquecimento no aço ferramenta VC131 para aplicação de revestimento através do processo GMAW. Esta tarefa será realizada através deposição de camadas de revestimento do aço ER306L sobre o aço ferramenta VC131 através do processo de soldagem GMAW, onde se variou os valores de tensão e pré-aquecimento e foi realizado a comparação das amostras obtidas. A análise demonstrou pouca variação nas amostras onde não foi realizado o pré-aquecimento, o que leva a conclusão de que o pré-aquecimento é imprescindível para a soldagem do aço VC131. Outro ponto foi que a configuração onde se utilizou a menor faixa de tensão, tiveram menores percentuais de diluição, o que as torna ideais para a aplicação de revestimento já que se busca grandes larguras do cordão, altos reforços, baixas penetrações e baixos percentuais de diluição. Diferente das aplicações convencionais, onde o ideal é alta penetração para garantir a resistência da junta soldada.

Palavras-chave: Aço ER306L. Aço Ferramenta VC 131. Revestimento por soldagem MIG. Pré-aquecimento.

ABSTRACT

This work discusses the use of weld coating applied to high carbon steel and alloys. This approach justifies the need for parts whose surface requires more resources than the rest of the component to resist the designated work environment. The objective of this work is to analyze the influence of preheating on tool steel VC131 for coating application through the GMAW process. This task will be performed by compositing the ER306L steel cladding layers on the VC131 tool steel, through the GMAW welding process, where various stress and preheat values were performed in the comparison of uses. An analysis has shown little variation in quantities where it was not performed or preheated, or leads to the conclusion that preheating is essential for VC131 steel welding. Another point was the configuration where the lowest voltage range, the lowest dilution percentages or those ideal for coating application already in search of large cable widths, high reform, low penetration and low dilution percentages were used. Unlike conventional applications where high penetration is ideal to ensure weld joint strength.

Keywords: *ER306L steel. Tool Steel VC 131. MIG Welding Coating. Preheating.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo MIG/MAG.....	18
Figura 2 - Distância entre o bico de contato e a peça.....	21
Figura 3 - Demonstração do processo de soldagem de revestimento através da sobreposição de cordões.....	26
Figura 4 - Comparação da geometria de cordões de solda convencional e solda de revestimento.....	26
Figura 5 - Máquina Fresadora Diplomat 3001.....	30
Figura 6 - Amostra após o processo de usinagem.....	30
Figura 7 - Máquina MIG/MAG Bambozzi TMC 370 E.....	33
Figura 8 - Forno mufla com temperatura controlada.....	34
Figura 9 – Amostra após o corte.....	35
Figura 10 – Máquina de corte de amostras Mesotom (Cut-off).....	35
Figura 11- Amostra A1.....	37
Figura 12 - Réplica A1.....	37
Figura 13 - Amostra A2.....	38
Figura 14 - Réplica A2.....	38
Figura 15 - Amostra A3.....	38
Figura 16 - Réplica A3.....	38
Figura 17 - Amostra A4.....	39
Figura 18 - Réplica A4.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação e seleção do processo de soldagem para aplicação de revestimento.	23
Tabela 2 – Temperatura de pré-aquecimento recomendada x C_{eq}	28
Tabela 3 – Composição química do aço ferramenta VC-131.....	29
Tabela 4 – Composição química do arame AWS ER 308 L	33
Tabela 5 – Relação número de cordões x massa adicionada.....	36
Tabela 6 – Valores de diluição e ZTA.....	37
Tabela 7 – Valores específicos de massa encontrado por amostra.....	45
Tabela 8 – Valores de específicos profundidade reforço e ZTA.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros utilizados para realização da soldagem.	32
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AISI - *American Iron and Steel Institute.*

Ar – Argônio.

ASTM – *American Society for Testing and Materials.*

AWS – *American Welding Society.*

°C – Graus celsius.

C – Carbono.

C_{eq} – Carbono equivalente.

Cm/min – Centímetros por minutos.

CO_2 – Dióxido de carbono.

Cr – Cromo.

Cu – Cobre.

E – Aporte de calor.

FCAW – *Flux Cored Arc Welding.*

Fe – Ferro.

GMAW – *Gas Metal Arc Welding.*

I – Corrente.

IIW - *International Institute of Welding*

l/min – Litros por minuto.

MAG - *Metal Active Gas*

MIG - *Metal Inert Gas*

m/min – metros por minuto.

mm/min – milímetros por minuto.

Mn – Manganês.

Mo – Molibdênio.

η – Eficiência do processo.

Ni – Níquel.

PTAP – *Plasma Transferred Arc Powder.*

Si – Silício.

SMAW – *Shielded Metal Arc Welding.*

TIG - *Tungsten Inert Gas.*

V – Vanádio.

V – Tensão.

W – Tungstênio.

ZTA – Zona Termicamente Afetada.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Desgaste	16
2.2	Processo de soldagem	17
2.3	Processo MIG/MAG	17
2.3.1	Zona termicamente afetada	18
2.3.2	Aporte de calor	19
2.4	Parâmetros	19
2.4.1	Tensão de soldagem	20
2.4.2	Corrente de soldagem	20
2.4.3	Extensão do eletrodo	20
2.4.4	Velocidade de soldagem	21
2.5	Soldagem de revestimento/recobrimento	21
2.5.1	Processos de soldagem para aplicação do revestimento	23
2.5.2	Material de revestimento	24
2.5.3	Revestimento com aços inoxidáveis	24
2.5.4	Método de aplicação	25
2.5.5	Características e cuidados	26
2.6	Pré-aquecimento	27
2.6.1	Carbono equivalente	27
2.7	Metalografia	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	Preparação das amostras	29
3.2	Processo de soldagem	30
3.2.1	Definição dos parâmetros de soldagem	31
3.3	Soldagem das amostras	32
3.4	Metalografia	34
3.4.1	Preparação das amostras para micrografia	34
3.4.2	Macrografia	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	Análise de número de passes e massa adicionada	36
4.2	Análise de diluição	36
4.2.1	Efeito do pré-aquecimento e tensão na diluição	37
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – Valores de massa obtida pré e pós soldagem	45
	APÊNDICE B – Valores de Area Obtidos através do software autocad	45

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho analisa a utilização de solda de revestimento aplicado em aço com alto teor de carbono e ligas.

Tal abordagem justifica pela necessidade de peças cujo suas superfícies demandam de características superiores ao restante do componente, de modo a resistir ao ambiente de trabalho designado.

É importante ressaltar que nos setores industriais e agrícolas e diversos outros ramos de atividade o desgaste representa uma grande fonte de despesas com manutenção e reposição de componentes mecânicos, além de ser um dos principais fatores de depreciação de capital (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

Além disso o desgaste influencia diretamente os custos de produção, devido a reposição de peças desgastadas, que exige indiretamente o superdimensionamento de componentes que por sua vez limita a produção devido ao alto custo dos equipamentos, ou pior, o desgaste pode causar a interrupção da produção. O que impacta significativamente sobre as perdas indiretas do rendimento de produção (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

Para minimizar as ações do desgaste em componentes que são propensos a sofrer alguma forma de desgaste ao longo de sua aplicação, seja submetido a condições extremas de tensões, temperaturas e atmosferas, muitas vezes são fabricados de materiais resistentes, porém esses materiais muitas vezes caros que os materiais convencionais, o que pode inviabilizar sua aplicação.

Desta forma o processo de revestimento torna-se cada vez mais atrativo, já que é possível obter por exemplo, superfícies resistentes a ambientes corrosivos produzidas a partir de menor custo se comparado a utilização de componentes inteiramente de aços inoxidáveis por exemplo, que apresentam custos elevados. Dessa forma as aplicações de peças de aço carbono com revestimento se estendem entre os mais diversos tipos de indústrias, como as petrolíferas, nucleares, químicas, alimentícias, navais, ferroviária, agrícolas, construção civil, entre várias outras (GOMES, 2010).

O aço ferramenta VC-131, objeto deste estudo, possui alta estabilidade dimensional e excelente resistência ao desgaste, especialmente em condições abrasivas. O aço em questão possui diversas aplicações industriais e é muito utilizado para confecção de ferramentas para o processamento a frio de outros aços, ferros fundidos, metais não ferrosos, e em operações diversas como corte, dobramento, estampagem,

extrusão, trefilação, prensagem de pós-metálicos e materiais cerâmicos, entre outras aplicações (VILLARES METALS, 2009). Porém devido ao de alto teor de carbono e de ligas presente em sua composição, faz-se necessário a realização de pré-aquecimento para a aplicação do revestimento através do processo de soldagem GMAW.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do pré-aquecimento no aço ferramenta VC131 para aplicação de revestimento através do processo GMAW.

Esta tarefa será realizada através deposição de camadas de revestimento do aço ER306L sobre o aço ferramenta VC131 através do processo de soldagem GMAW, onde se variou os valores de tensão e pré-aquecimento e foi realizado a comparação das amostras obtidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado assuntos relacionados ao processo de revestimento através do processo MIG/MAG, características e procedimentos de avaliação.

2.1 Desgaste

Desgaste é definido como a perda progressiva de material devida ao movimento relativo entre a superfície e a substância com a qual entra em contato (TOTTEN, 1992). O desgaste pode ocorrer de diversas formas, são elas: desgaste por abrasão, por erosão, por cavitação, por adesão ou fricção, corrosivo e por impacto. A maior parte dos problemas relacionados a desgastes estão associados ao desgaste por corrosão e por abrasão (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

Corrosão por sua vez, é definida como o ataque destrutivo e não intencional de um metal, resultado de reações químicas e eletroquímicas no material, além das ações de desgaste mecânico, normalmente, tem o início na superfície do material. O problema principal da corrosão metálica são as proporções significativas em termos econômicos, estima-se que aproximadamente 5% da receita de uma nação industrializada são gastos na prevenção da corrosão e na manutenção ou substituição de produtos perdidos ou contaminados como resultado de reações de corrosão (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009; CALLISTER, 2002).

Abrasão por sua vez é definido pela ASTM G40-15 como o deslocamento de material causado por partículas duras quando se movem ao longo de uma superfície sólida (ASTM, 2015).

Dessa forma quando uma superfície se desloca sobre outra com propriedades diferentes a superfície mais dura corta ou risca a superfície de menor dureza. Isso resulta na perda de material da superfície de menor dureza, o que faz com a camada superficial fique coberta de sulcos e riscos. Ao considerar os casos de desgaste presente nas indústrias o desgaste abrasivo corresponde a mais da metade dos casos, desta forma o desgaste abrasivo é considerado como o mais severo e o mais comum (PEROTTI, 2012).

2.2 Processo de soldagem

A soldagem, operação que consiste na união de duas ou mais peças e mantém na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias para seu desempenho, está presente na humanidade a mais de 4000 anos. A soldagem também encontra grande aplicação em serviços de reparo e manutenção, como o enchimento de falhas em fundidos, reparos de trilho, depósitos superficiais de alta dureza na recuperação de ferramentas e outras aplicações similares. (OKUMURA, 1982; NERIS, 2012)

Durante esses milênios a tecnologia evoluiu rapidamente, impulsionada a partir da descoberta da energia elétrica e também a sintetização do gás acetileno, que por sua vez permitiu sua utilização em processos de fabricação de peças.

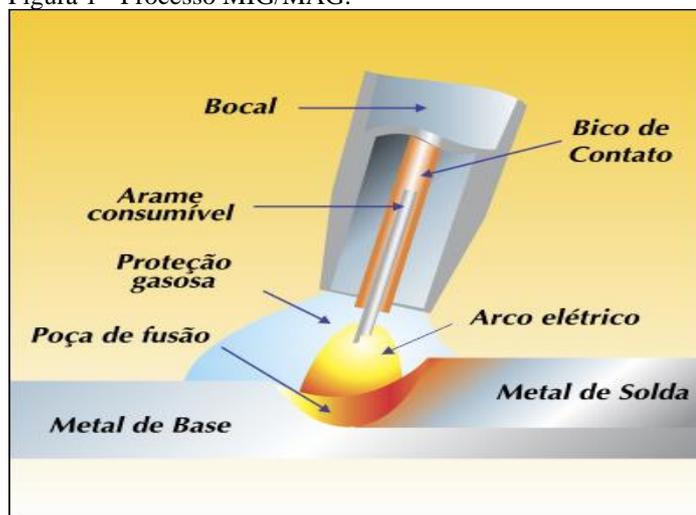
2.3 Processo MIG/MAG

Com a demanda pelo aumento da produtividade em um mercado cada vez mais competitivo, introduziu-se novos processos como a soldagem MIG/MAG que se caracteriza principalmente pela proteção gasosa, esse processo também é conhecido como GMAW – *Gas Metal Arc Welding* (SILVA, 2013).

O gás de proteção na soldagem a arco tem por finalidade básica a proteção da poça de fusão contra os efeitos nocivos do oxigênio. Sua natureza e composição tem influência predominante nas características do arco e na forma em que ocorre a transferência metálica, na velocidade de soldagem, na respingos quantidade de respingo (perda por projeção), na penetração e no formato do cordão. (TATAGIBA, GONÇALVES e PARANHOS, 2012).

Como descrito por Fortes (2005) no momento em que o arame consumível entra em contato com o metal de base, fecha-se o circuito e a circulação de corrente elétrica entre os polos (positivo e negativo), devido ao contato os metais se aquecem até a temperatura de fusão, o que resulta na "poça de fusão" que é responsável pela coalescência dos metais a serem soldados. Pode-se dizer que parte desta poça de fusão é composta pelo arame consumível ou metal de adição, e parte é composta pelo resultado da fusão entre o arame e o metal de base, chamado de diluição. A Figura 1 demonstra o processo MIG/MAG.

Figura 1 - Processo MIG/MAG.



Fonte:(EUTECTIC CASTOLIN, 2018).

Segundo SILVA (2013) o processo de soldagem MIG/MAG pode ser aplicado em matérias de várias espessuras, ferrosos ou não ferrosos, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas, aços de alta resistência e aços inoxidáveis. Também são indicados para aplicações na indústria automobilística, na fabricação e manutenção de equipamentos e peças metálicas, pode-se ser utilizada para recuperação de peças desgastadas e no recobrimento de superfícies metálicas.

2.3.1 Zona termicamente afetada

O processo de soldagem, afeta a região do metal base próxima a poça de fusão, essa região é submetida ao aquecimento devido ao calor adicionado para se obter a fusão dos materiais e em seguida é resfriado. Tal processo cria um ciclo térmico de aquecimento

e resfriamento que pode vir a alterar a microestrutura da região, e obter propriedades mecânicas diferentes da zona fundida e do metal base que não foi alterado (PINTO, 2006)

Pinto (2006) afirma extensão da ZTA depende da espessura da peça, geometria, propriedades de condutibilidade térmicas do material, temperatura de pré-aquecimento e principalmente do aporte térmico e respectivos parâmetros de soldagem. Araújo (2006), por sua vez, destaca que a ZTA está diretamente relacionada com o aporte térmico o que faz com que este o parâmetro como mais representativo em seu aumento.

2.3.2 Aporte de calor

Na soldagem por arco elétrico, a energia produzida pelo arco é utilizada como fonte de calor para realizar a fusão do metal base e do metal de adição. O aporte de calor (E), desenvolvido pelo arco elétrico é determinado pela Tensão (V), por sua corrente (I) pela eficiência do processo empregado (η) e pela velocidade de soldagem (V_s). Tais parâmetros são aplicados através da equação (1) (PINTO, 2006).

$$E = \frac{V \cdot I \cdot \eta}{V_s} \quad (1)$$

2.4 Parâmetros

Para obter os resultados esperados, além do ajuste da corrente é também necessário escolher outros parâmetros da soldagem para controle do processo, são eles, a velocidade de alimentação do eletrodo, tensão, o comprimento do arco, comprimento livre do eletrodo (*Stick-out*), inclinação da tocha, o tipo de gás e sua vazão. Do mesmo modo a velocidade de soldagem, a posição de soldagem e o diâmetro do eletrodo também influenciam consideravelmente na geometria do cordão de solda (MOREIRA, 2008).

Conforme Fortes (2005) pode se destacar como parâmetros mais importante, a extensão do eletrodo, a corrente de soldagem, a velocidade de soldagem e a tensão de soldagem. Pois esses parâmetros afetam as características da solda de forma significativa. Desta forma é importante registrar seus valores para que possa permitir reprodutibilidade futura.

2.4.1 Tensão de soldagem

De acordo com Fortes (2005) na realização da soldagem destaca-se o ajuste da tensão, onde ela deve ser controlada pois afeta diretamente o comprimento do arco. Além disso, para manter a estabilidade do arco em qualquer nível de corrente é necessária uma certa faixa de tensão.

Segundo Fortes (2005), as tensões elevadas do arco provocam excesso de respingos de solda e mordeduras, já as baixas implicam em falta de fusão e cordões muito convexos. A variação na tensão do arco não afeta somente as características geométricas do cordão de solda, mas também a sua microestrutura e conseqüentemente o sucesso ou fracasso da operação devido a quantidade de metal transferido (MODENESI, 2012).

Se todas as variáveis se manterem constantes, o aumento de tensão do arco gera aumento na largura e diminui a altura do cordão, provoca melhor molhagem, distribuição do metal depositado e reduz a penetração, porém vale ressaltar que tensões excessivas do arco provocam porosidade e cordões muito convexos (SILVA, 2013).

2.4.2 Corrente de soldagem

A corrente de soldagem é a mesma da saída da fonte quando a solda é realizada, ao manter os demais parâmetros de soldagem e elevar a corrente, irá ocorrer o aumento na taxa de deposição e conseqüentemente aumento na profundidade e largura do cordão de solda (MODENESI, 2012).

O autor ainda ressalta que a corrente de soldagem está relacionada diretamente com a velocidade de alimentação do arame, desde que a extensão do arame do eletrodo seja constante, desta forma, o aumento na velocidade de alimentação do arame aumenta a corrente de soldagem ou vice-versa.

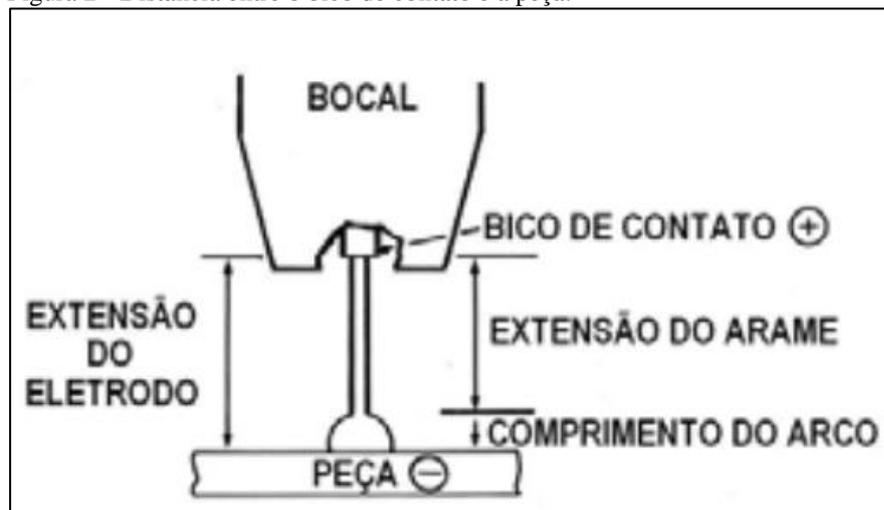
2.4.3 Extensão do eletrodo

A extensão do eletrodo (*stick-out*) pode ser definida como a distância entre o último ponto de contato elétrico, que normalmente é a extremidade do bico de contato e a o metal base. O *stick-out* afeta a corrente de soldagem, que é responsável por realizar a fusão do arame a uma determinada velocidade de alimentação de arame pois, quando *stick-out* aumenta, o aquecimento aumenta e a corrente de soldagem necessária para

fundir o arame diminui e vice-versa. Conforme a Figura 2, está exposta imagem demonstrativa sobre a extensão do eletrodo.

A importância do controle de *stick-out*, segundo Fortes (2005), o aumento do *stick-out* faz com que o metal de solda seja depositado com baixo calor do arco e de forma excessiva, isso pode resultar na geometria desfavorável e baixa penetração do cordão. Na ocasião em que se encontra, o bico de contato distante da peça, o arco torna-se menos estável.

Figura 2 - Distância entre o bico de contato e a peça.



Fonte: (FORTES, 2005).

2.4.4 Velocidade de soldagem

De acordo com Fortes (2005) a velocidade de soldagem é a relação entre o deslocamento percorrido pelo arco ao longo da peça e o tempo gasto para percorrê-lo. Esse parâmetro é normalmente expresso em cm/min ou mm/min.

2.5 Soldagem de revestimento

A soldagem de revestimento, também encontrada na literatura como soldagem de recobrimento, é geralmente empregada em peças que não possuem propriedades necessárias para determinada aplicação, desta forma é possível prolongar sua vida útil. Consiste na deposição de um metal de adição com características superiores ao metal base, a maioria das vezes tem por objetivo aplicações específicas como a obtenção de maiores durezas superficiais, maior resistência ao desgaste e/ou à corrosão, as quais o

metal base não seria tão vantajoso quanto o material do recobrimento, também é utilizada para recuperação de elementos afetados pelo desgaste ou corrosão (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009; GOMES, 2010).

O recobrimento é muito usado em ferramentas para mineração, válvulas de motores e equipamentos para a indústria química e petroquímica em ferramentas de perfuração de poços de petróleo, equipamentos para a agricultura e também para terraplenagem. O processo também é usado para prolongar a vida útil de componentes que recebem lubrificação, tais como matrizes de conformação mecânica e áreas localizadas de componentes mecânicos extremamente sujeitas a desgaste (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

Na literatura, pode-se observar que o uso de aços inoxidáveis e outros materiais como revestimento são comumente aplicados em componentes mecânicos seja para recuperar o componente ou melhorar suas propriedades.

Souza e Ferraresi (2017) realiza a aplicação do revestimento duro em através do processo FCAW duplo arame para diversos tipos de consumíveis utilizados na indústria sucroalcooleira. Tal aplicação se justifica, pois, os componentes mecânicos sofrem desgaste devido o deslizamento de materiais na superfície da peça, como bagaço da cana, areia, terra e outros materiais e também pela corrosão devido à acidez do caldo da cana.

Marques (2016) encontrou aplicação no setor de mineração, onde analisa o desgaste do revestimento duro a base de carbonetos de cromo depositado através do processo SMAW no chassi de um equipamento hidráulico denominado Minerador Contínuo, que durante a operação fica sujeito a abrasão severa.

Correa (2018) contribui para o processo por meio de um estudo para a recuperação de rotores de turbinas hidráulicas danificadas por cavitação, através da aplicação de soldagem de revestimento com arame tubular pulsado.

Já Santos (2018) realiza a deposição de uma superliga que tem com elementos de base o níquel, o cobalto e o ferro denominado Inconel 625, sobre chapas de aço AISI 1045 através do processo PTAP. Devido ao seu elevado custo, o Inconel 625 é comumente depositado em substratos através de diversas técnicas. O autor realiza a caracterização dos revestimentos obtidos com diferentes parâmetros e os avalia através de ensaios de micro abrasão, corrosão e micro abrasão-corrosão.

2.5.1 Processos de soldagem para aplicação do revestimento

O processo de soldagem de revestimento pode ser aplicado através de arco elétrico ou gás combustível. E também podem ser aplicados por técnicas manuais, semiautomáticas e automáticas. Existe uma grande variedade de materiais de adição compostos na forma de eletrodos revestidos, pastas, bobinas de arames, de eletrodos nus e pós, uma vez que, a adesão com o material base depende da fusão ou união metalúrgica (Gomes et al., 2011).

Baptista e Nascimento (2009) afirma que para determinar o processo mais adequado para o revestimento por soldagem deve-se considerar diversos fatores. A Tabela 1 compara alguns processos com os fatores mais importantes.

Tabela 1 – Comparação e seleção do processo de soldagem para aplicação de revestimento.

Características	Eletrodo revestido	TIG	MIG	Arame tubular	Arco submerso	Oxiacetilênica	Plasma
Versatilidade	4	2	2	3	1	4	2
Custo	1	4	3	2	3	1	4
Fator operacional (tempo soldagem/tempo total) (%)	30	25	45	45	50	25	25
Habilidade do operador	3	4	3	3	1	4	1
Energia de soldagem	2	2	3	3	4	3	1
Diluição (%)	10-30	2-20	10-50	20-40	30-80	2-20	20
Taxa de deposição(kg/h)	1-5	0,2-1,3	1-15	1-15	6-20	0,2-1,0	2-6
Tamanho da peça	Q	L	Q	Q	Q	L	Q
Posição de soldagem	Todas	Todas	Todas (*)	P, V, H	P, H (*)	Todas	H, V
Frequência de revestimento	NF	NF	F	F	F	NF	F

Fonte: Adaptado de Wainer *et al.* (1992). Legenda: 1=menor, 4=maior; Q=qualquer, L=limitado; F=frequente, NF= não frequente.

Assim como qualquer outro processo de soldagem alguns cuidados devem ser tomados quanto a geometria da peça, custos do processo de soldagem, surgimento de trincas ou distorções a partir das tensões térmicas e a qualidade desejada do revestimento.

Tais fatores variam amplamente de acordo da aplicação, com material utilizado e também de acordo com a habilidade do soldador (GOMES et al., 2011).

2.5.2 Material de revestimento

Em geral o revestimento pode ser aplicado à maioria dos metais seja eles ferrosos ou não ferrosos, entretanto os aços (Fe-C) podem ser recobertos facilmente, se possuírem teor de carbono abaixo de 0,35%. A deposição direta do metal de revestimento no metal base só é possível caso os dois metais se diluam mutuamente. Como é o caso, por exemplo, quando se realiza deposição de qualquer aço inoxidável sobre aços carbonos ou aços liga (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

O processo se torna mais difícil de acordo com o aumento do teor de carbono presente no material base. Os aços ligados e de alto carbono devem ser pré-aquecidos e após revestimento devem ser recozidos. Os aços inoxidáveis, os ferros fundidos e os aços rápidos também podem ser revestidos, através de técnicas adequadas na soldagem. Quando os dois metais não se diluem mutuamente, com a deposição de uma camada intermediária de um terceiro metal compatível com ambos é possível contornar o problema (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2009).

2.5.3 Revestimento com aços inoxidáveis

Grande parte dos revestimentos empregados na indústria é feita com aços inoxidáveis, isso devido às boas propriedades mecânicas e metalúrgicas que os mesmos proporcionam, pois em sua composição está presente ligas de ferro (Fe), carbono (C) e cromo (Cr), onde o Cr é o elemento predominante, presente em uma concentração mínima de 10,5%. Outros elementos metálicos também integram estas ligas, mas o Cr é considerado o elemento mais importante pois é o principal responsável pela elevada resistência à corrosão. A resistência a corrosão também pode ser melhorada através da adição de níquel (Ni) e molibdênio (Mo) (CALLISTER, 2002; CARBÓ, 2008; Antunes, 2008).

A princípio o cromo é menos resistente à corrosão do que o ferro. Entretanto, em contato com o ar atmosférico ou outro ambiente oxidante, existe a tendência de se formar rapidamente uma camada de óxido de cromo na superfície. Essa camada é responsável pela elevada resistência a corrosão, além de ser impermeável e aderente, à qual pode ser

auto regenerativa em vários ambientes e condições, que impede a ação de agentes agressivos (PESSOA, 2008; MODENESI, 2001).

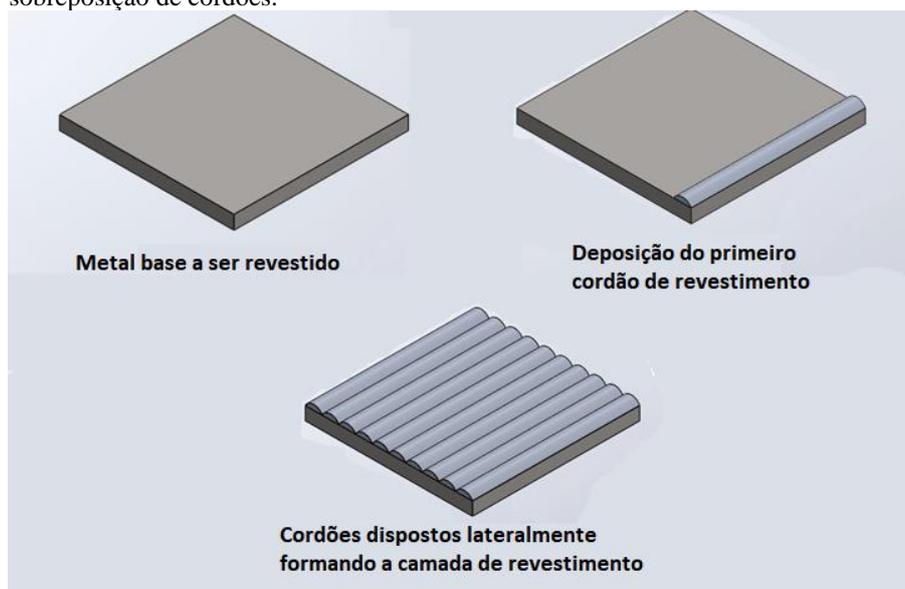
Como a microestrutura desse aço tem efeito dominante sobre as propriedades, eles são classificados com base na microestrutura a temperatura ambiente. Dessa forma os aços inoxidáveis são normalmente agrupados em cinco categorias. São elas: aços inoxidáveis ferríticos, austeníticos, martensíticos, ferrítico-austenítico (dúplex) e endurecidos por precipitação (COLPAERT, 1974).

O aço inoxidável 308L objeto deste estudo assim como os aços da série: AISI 301, 302, 304, 304L, 308, 310, 316, 316L, 317, 321, 347. Que em geral, possui teor de carbono, inferior a 0,08% são considerados aços inoxidáveis austeníticos que constituem a maior família dos aços inoxidáveis em termos de número de ligas e utilização. Estes não podem ser endurecidos por tratamento térmico. A base dos aços inoxidáveis austeníticos é constituída pelo sistema Fe-Cr-Ni, com baixo teor de C, de modo a se obter uma matriz predominantemente austenítica. As ligas austeníticas são não-magnéticas e sua estrutura é cúbica de face centrada (PINTO, 2006; SOUZA, 2006; COLPAERT, 1974).

2.5.4 Método de aplicação

Para aplicar o processo de revestimento deve-se depositar os cordões lateralmente e com uma certa sobreposição até que toda a superfície seja coberta (Figura 3). O nível de sobreposição depende diretamente do processo de soldagem e da aplicação do revestimento (GOMES et al., 2011).

Figura 3 - Demonstração do processo de soldagem de revestimento através da sobreposição de cordões.



Fonte: O autor.

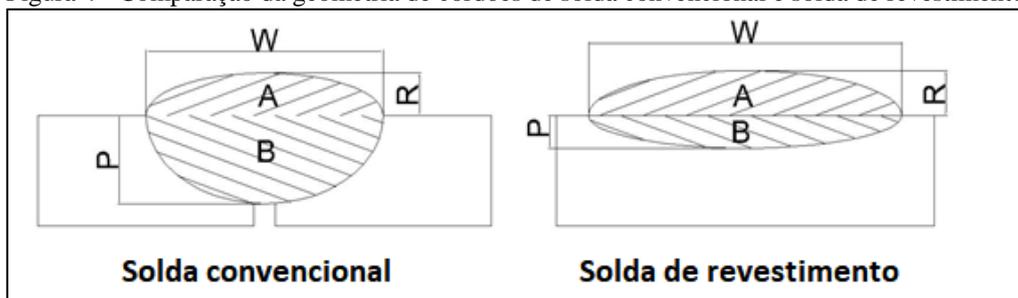
2.5.5 Características e cuidados

A soldagem de revestimento procura obter baixos percentuais de diluição, desta forma, de acordo com Gomes (2010) deve-se buscar maiores larguras de cordão (W), altos níveis de reforços (R) e baixas penetrações (P). Assim é possível obter maior economia de material.

A principal diferença entre a soldagem de revestimento e a solda convencional diz respeito a penetração e a largura do cordão, enquanto a solda convencional busca altas penetrações para garantir a resistência da junta.

Com grandes larguras de cordão é possível cobrir uma determinada área com menor número de passes. A Figura 4 apresenta a comparação entre os dois processos (GOMES et al., 2011).

Figura 4 - Comparação da geometria de cordões de solda convencional e solda de revestimento.



Fonte: O autor.

Para Gomes (2010) o controle da diluição é fundamental para assegurar a qualidade final dos revestimentos. Pois a composição e as propriedades dos componentes revestidos são fortemente influenciadas pela diluição. Já altas taxas de diluição geram maior difusão entre os elementos químicos presentes na composição do metal base e do metal de adição, essa difusão pode resultar na formação de novos compostos. A Equação (2) descreve como obter os percentuais de diluição de uma amostra.

$$D = \frac{B}{B + A} \times 100 [\%] \quad (2)$$

2.6 Pré-aquecimento

Os metais em sua maioria são bons condutores de calor. Dito isso o calor na região de soldagem é rapidamente escoado por toda a geometria da peça, que gera um rápido resfriamento. O resfriamento acelerado da peça pode causar a formação de microestruturas prejudiciais.

Dessa forma para se contornar o problema citado deve-se realizar o pré-aquecimento em alguns metais de modo reduzir a taxa de resfriamento do metal. A temperatura de pré-aquecimento pode variar de 50 °C a 540 °C, comumente aplicada na faixa de 150 °C a 200 °C (FORTES, 2005).

Tal processo é eficaz pois durante a soldagem de aços de alto teor de carbono ou de alta liga, o depósito de solda e a zona termicamente afetada pode conter altos percentuais de martensita, que é um constituinte duro do aço, que por sua vez prejudica a qualidade final do componente. Essa estrutura possui alta dureza e baixa ductilidade e podem mesmo vir a trincar durante o resfriamento. Assim o pré-aquecimento e também do pós-aquecimento, que tem por objetivo manter o teor de martensita da solda a um nível mínimo. Ambos os tratamentos resultam maior ductilidade, baixa dureza e menor probabilidade de fissuração durante o resfriamento (FORTES, 2005).

2.6.1 Carbono equivalente

Para identificar se os tratamentos térmicos devem ou não ser aplicados leva-se em consideração o teor de carbono e de outros elementos de liga no metal de base. Para

corpos de prova que apresentarem baixa ductilidade ou dureza muito alta indica-se a necessidade de pré-aquecimento ou pós-aquecimento (FORTES, 2005).

Para determinar a temperatura de pré-aquecimento deve-se conhecer a composição do material de base. Pois a temperatura é controlada pelo o teor de carbono do material de base e o seu teor de ligas (FORTES, 2005).

Uma das formas de se determinar a necessidade de pré-aquecimento para se realizar o processo de soldagem, é através do carbono equivalente (C_{eq}). Pois, a temperabilidade do aço está relacionada ao seu teor de carbono somado aos teores de certos elementos de liga. Dessa forma, quanto maior for o teor de carbono presente material de base e seus teores de ligas, maior será a temperatura de pré-aquecimento requerida. O C_{eq} pode ser calculado através da Equação (3):

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (3)$$

É possível determinar o carbono equivalente de diversas formas, a Equação (3) refere-se a forma utilizada de acordo com o IIW (*International Institute of Welding*).

Após encontrar o valor do C_{eq} , pode-se fazer uso da Tabela 2 para obter o valor de pré-aquecimento sugerido.

Tabela 2 – Temperatura de pré-aquecimento recomendada x C_{eq}

Carbono equivalente C_{eq} (%)	Temperatura de pré-aquecimento recomendada
< 0,30	opcional
0,31 – 0,45	100 °C – 200 °C
0,45 – 0,60	°C – 250 °C
> 0,60	250 °C – 300 °C
Aços ferramenta, aços mola, aços de composição desconhecida	~ 300 °C

Fonte: (FORTES, 2005).

2.7 Metalografia

Rohde (2010) afirma que a partir da metalográfica é possível relacionar a estrutura íntima do material com o processo de fabricação empregado, com suas propriedades

físicas, com o desempenho de suas funções e outros. Rohde (2010) destaca também que a metalografia pode ser do tipo Macrográfico ou Micrográfico.

Segundo Colpaert (1974) a macrografia consiste em analisar uma amostra, após ter uma de suas seções planas e devidamente polida e em geral atacada por um reativo apropriado. A avaliação pode ser realizada a olho nu ou com o auxílio de uma lupa.

Assim tem-se uma ideia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, impureza e ao processo de fabricação, qualidade de solda profundidade de tratamentos térmicos entre outras características (ROHDE, 2010).

A micrografia, como o nome sugere, é utilizada para avaliar a amostra em uma escala micro. Onde é possível observar as fases presentes na amostra e visualizar o tamanho de grão, o teor aproximado de carbono no aço, a natureza, a forma, a quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões (ROHDE, 2010).

3 METODOLOGIA

No presente trabalho, realizou-se a deposição por soldagem MIG com o arame AWS E 308L sob o aço VC-131 (metal base). Nesta etapa serão descritos os procedimentos experimentais, materiais e maquinário utilizado para efetuar os processos realizados.

3.1 Preparação das amostras

O objetivo da preparação é produzir e adequar as amostras para a soldagem. O material utilizado como metal base foi o aço ferramenta VC-131, similar ao AISI D6, fabricado pela Villares sua composição química está representada na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição química do aço ferramenta VC-131

C (%)	Cr (%)	W (%)	V (%)
2,10	11,5	0,70	0,15

Fonte: Adaptada VILLARES (2009)

As amostras foram extraídas de uma barra circular de 1” (25,4 mm) de diâmetro. A barra foi medida e cortada em 8 pedaços, através de uma serra mecânica alternativa, a cada 100mm de comprimento.

Em seguida as amostras passaram por um processo de usinagem na fresadora Diplomat 3001 (Figura 5), onde foram desbastadas de modo que se obteve uma superfície plana para realizar a deposição dos cordões de solda.

Figura 5 - Máquina Fresadora Diplomat 3001.



Fonte: O autor.

A profundidade desbastada foi de 2,5 mm, assim obteve-se uma área plana de 15,3x100 mm conforme a Figura 6.

Figura 6 - Amostra após o processo de usinagem.



Fonte: O autor

Após o desbaste, as amostras foram catalogadas e pesadas em uma balança de precisão, em seguida foram encaminhadas para a etapa de soldagem.

3.2 Processo de soldagem

Nesta etapa será descrito os materiais e métodos utilizados para realizar a soldagem das amostras

3.2.1 Definição dos parâmetros de soldagem

Os parâmetros escolhidos como fatores de variação foram a tensão de soldagem e o pré-aquecimento da metal base. A escolha da tensão como parâmetro de variação se baseia no fato de que a soldagem foi realizada de forma manual, assim, ela permanece constante durante todo o processo enquanto a corrente de soldagem sofre variações devido ao fenômeno do *stick-out*. O pré-aquecimento, foi considerado devido a dureza da metal base e sua composição química.

Para este estudo experimental foi utilizada a técnica de planejamento fatorial com dois níveis. Planejamentos fatoriais são utilizados para mensurar as influências de uma ou mais variáveis na resposta de um processo.

A representação de um planejamento fatorial em dois níveis é 2^k , onde 2 significa o número de níveis e k o número de fatores (CALADO e MONTEGOMERY, 2003). Com este método experimental é possível obter resultados com 95% de confiabilidade, que apresentam as melhores combinações dos parâmetros para se obter uma solda com melhores propriedades geométricas.

Com a utilização da ferramenta de planejamento fatorial foi considerado dois fatores estudados em dois níveis 2^2 , assim obteve-se 4 amostras para análise. Definiu-se a utilização de uma réplica para cada amostra para o cálculo das médias e desvios padrões das medições quantitativas de massa de material depositado, dureza e diluição.

Para determinar a tensão de soldagem, utilizou-se o manual da máquina de solda MIG/MAG Bambozzi TMC 370 E. Dessa forma foi possível obter a informação sobre a faixa de tensão de soldagem que a máquina opera, como a máquina possui 10 estágios de regulagem de tensão, dividiu-se a faixa de valores limites das tensões de soldagem (20 – 55 [V]), pelo número de estágios possíveis. Após testes preliminares foram utilizados os estágios número 1 e 2, cujo os valores encontrados foram 20 V e 23,9 V.

Para determinar a temperatura de pré-aquecimento, aferiu-se o carbono equivalente do metal base através de sua a composição química pela Equação (2). Como o valor encontrado foi maior que 0,60 utilizou-se a temperatura de pré-aquecimento indicada para aços ferramenta, aços mola, aços de composição desconhecida conforme a Tabela 2.

Os outros parâmetros fixos, como vazão do gás de proteção e velocidade de alimentação do arame foram definidos através de ensaios preliminares, onde, os parâmetros que apresentaram melhores resultados foram escolhidos.

A vazão do gás foi aferida através de um bibímetro posicionado na ponta da tocha soldagem. Para determinar a velocidade de alimentação do arame de solda, fez-se a medição do comprimento de arame utilizado, através da liberação de material em um período tempo cronometrado, assim, dividiu-se as distâncias obtidas pelo tempo. Foram realizados três testes e então estabeleceu-se a média dos valores obtidos.

O Quadro 1, estabelece os parâmetros fixos encontrados bem como as variações de parâmetros entre os ensaios de soldagem.

Quadro 1 – Parâmetros utilizados para realização da soldagem.

PARÂMETROS FIXO	VALOR/TIPO ADOTADO			
Metal base	Aço ferramenta VC131			
Metal de adição	AWS E306L			
Diâmetro do eletrodo	0,8 mm			
Tipo de gás de proteção	85% Ar + 15% CO ₂ (mix)			
Vazão do gás de proteção	16 l/min			
Velocidade de alimentação do arame	6,00 m/min			
PARÂMETROS VARIÁVEIS	Sem aquecimento		Com aquecimento (300 °C)	
Tensão	20 V	23,9V	20V	23,9V

Fonte: O autor

3.3 Soldagem das amostras

Antes da realização da soldagem, com uma escova de aço a superfície de cada amostra foi preparada, elas foram escovadas de forma a remover impurezas presentes nas regiões a serem soldadas.

O revestimento foi depositado nas amostras através do processo MIG. Para a soldagem foi utilizado uma máquina de solda marca MIG/MAG Bambozzi TMC 370 E (Figura 7).

Figura 7 - Máquina MIG/MAG Bambozzi TMC 370 E.



Fonte: O autor

Utilizou-se um carretel de arame de solda de AWS ER 308L com diâmetro de 0,8mm, com as seguintes especificações representadas pela Tabela 4.

Tabela 4 – Composição química do arame AWS ER 308 L

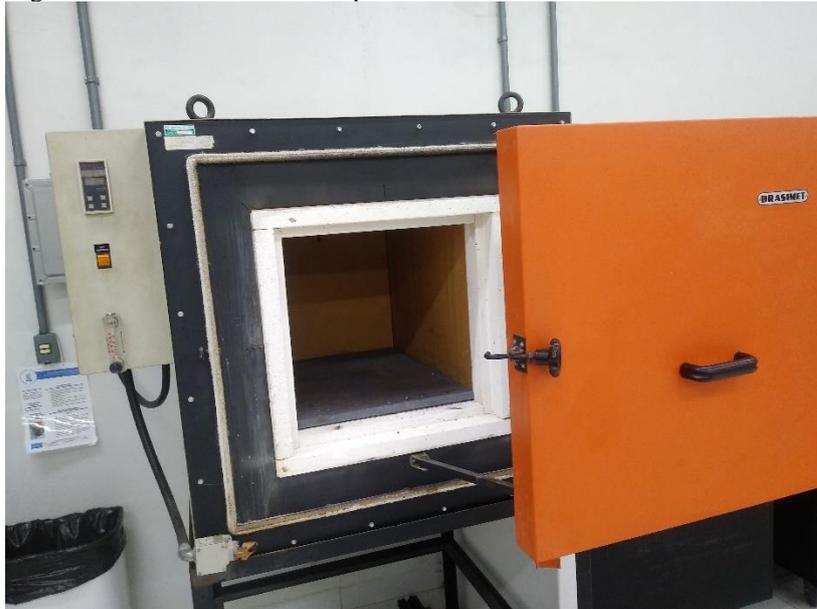
Si (%)	C (%)	Ni (%)	Mn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Mo (%)
0,65 – 1,00	< 0,03	9,00 – 11,00	1,00 – 2,50	<0,75	19,50 – 22,00	<0,75

Fonte: Adaptada SUMIG (2019)

A princípio foi realizado a soldagem das amostras sem o pré-aquecimento, juntamente com suas réplicas. Em seguida soldou-se as amostras com pré-aquecimento e suas réplicas.

O aquecimento das amostras foi feito por meio de forno do tipo mufla com temperatura controlada (Figura 8). O forno foi pré-aquecido a uma temperatura de 350 °C. Após atingir a temperatura determinada, inseriu-se cada amostra até a homogeneização. Decorrido o tempo necessário, realizou-se a etapa de soldagem dessas amostras.

Figura 8 - Forno mufla com temperatura controlada



Fonte: O autor

Utilizou-se uma temperatura acima da de pré-aquecimento, pois foi necessário considerar o tempo em que a peça ficou exposta ao ambiente desde a retirada do forno, até o transporte e preparação para a deposição dos cordões de solda.

Para conferência da temperatura superficial da amostra, foi utilizada uma câmera termográfica para identificação da temperatura pontual da amostra.

Após a soldagem, as amostras foram pesadas novamente, dessa forma é possível verificar a massa adicionada a amostra após o processo de soldagem.

3.4 Metalografia

Para avaliar as amostras e os resultados obtidos, realizou-se o ensaio metalográficos na escala macro, isto é, foi realizada a macrografia.

3.4.1 Preparação das amostras para micrografia

A amostra foi cortada em 25 mm de seu comprimento (Figura 9), na máquina *Mesotom (Cut-off)* destinada a corte de amostras para metalografia (Figura 10), com o disco de 235 x 1,5 x 22mm, de modo que a se possa realizar o ataque químico a seção transversal da peça.

Figura 9 – Amostra após o corte



Fonte: O autor

Figura 10 – Máquina de corte de amostras Mesotom (Cut-off)



Fonte: O autor

Para a realização dos ensaios é necessário a preparação dos corpos de prova, pois as peças são barras cilíndricas com superfícies irregulares e deformadas. Para isso a superfície das amostras foi lixada sucessivamente, de forma manual, com lixas d'água 220, 320, 400, 600 mesh adaptadas a um suporte com fluxo constante de água. Em seguida foram polidas em uma máquina politriz lixadeira metalográfica do modelo PLO2E com adição de grãos abrasivos de alumina.

Após a preparação as amostras foram lavadas com água corrente e secadas com álcool absoluto, dessa forma evita-se imperfeições na operação do ataque.

O ataque foi realizado com o reagente Nital 3% com tempo de ataque de 5 a 10 segundos.

3.4.2 Macrografia

O ataque utilizado torna possível a diferenciação do metal base, o metal de adição e as zonas termicamente afetadas e como citado anteriormente a macrografia pode ser realizada a olho nu ou com uma lupa. Para melhor resolução utilizou-se uma lupa como aumento de 10x para se obter as imagens.

As superfícies foram fotografadas, dessa forma, é possível medir a área de reforço e a área de penetração através de observação em escala realizada através do Software AutoCAD. Com as áreas identificadas, determinou-se a diluição obtida no revestimento, conforme a equação (2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise de número de passes e massa adicionada

Os valores específicos encontrados para cada amostra encontram-se na Tabela 7, no Apêndice A. Os resultados das médias dos parâmetros de processo encontrados para cada amostra podem ser conferidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação número de cordões x massa adicionada

Configuração	Tensão [V]	Pré-aquecimento	Nº cordões	Massa adicionada [g]
A1	20,0	Não	4,0	50,56 ± 3,85
A2	23,9	Não	4,5	53,93 ± 3,46
A3	20,0	Sim (300°C)	2,0	46,33 ± 4,16
A4	23,9	Sim (300°C)	2,5	48,44 ± 4,12

Fonte: O autor

Em relação ao pré-aquecimento de 300 °C utilizado nas configurações A3 e A4, constatou-se que demandaram de uma menor quantidade de passes em comparação às amostras sem o pré-aquecimento.

Outro destaque é em relação a massa adicionada nas amostras, percebe-se que nas configurações em que houve pré-aquecimento (A3 e A4) a massa adicionada é em média aproximadamente 10% menor que nas sem o pré-aquecimento.

4.2 Análise de diluição

Os valores específicos de profundidade, reforço e zona termicamente afetada encontrados para cada amostra encontram-se na Tabela 8, no Apêndice B. Os resultados das diluições obtidas por amostra, média e desvio padrão da configuração e área de ZTA encontrados para cada amostra podem ser conferidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de diluição e ZTA

Configuração	Média e desvio padrão	Amostra/Replica	Diluição	Zona termicamente afetada
A1	9,5% ± 1,2%	1.1	8,7%	8,51 mm ²
		1.2	10,3%	9,21 mm ²
A2	9,1% ± 0,1%	2.1	9,2%	13,33 mm ²
		2.2	9,1%	12,09 mm ²
A3	8,2% ± 3,5%	3.1	5,7%	10,29 mm ²
		3.2	10,7%	17,50 mm ²
A4	18,9% ± 1,3%	4.1	18,0%	41,44 mm ²
		4.2	19,9%	37,32 mm ²

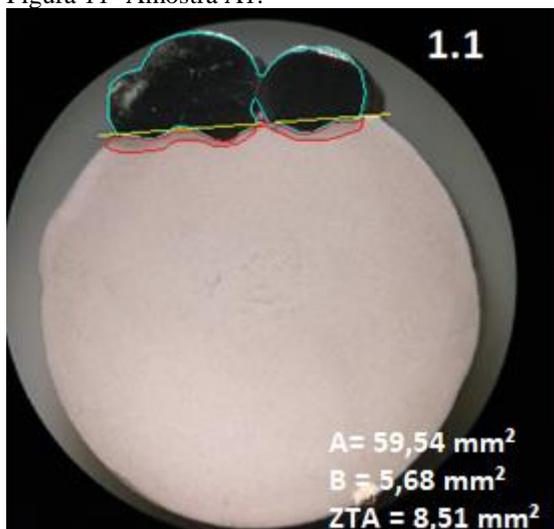
Fonte: O autor.

Dentre as amostras produzidas, a que obteve a maior diluição foi a amostra 4.2 onde utilizou-se a tensão de 23,9V cujo a diluição foi de 19,9%. A menor diluição se apresentou na amostra 3.1 onde foi utilizado uma tensão de 20,0 V com pré-aquecimento. Porém, ao observar a réplica percebe-se uma variação considerável e consequentemente a configuração A3 obteve o maior valor de desvio padrão.

4.2.1 Efeito do pré-aquecimento e tensão na diluição

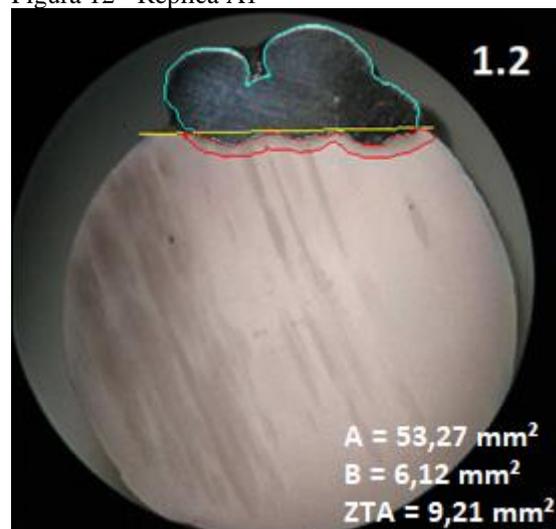
As imagens a seguir (Figura 11, 12, 13 e 14) faz a comparação entre as configurações A1 e A2, ambas foram realizadas sem o pré-aquecimento, porém na configuração A1 foi utilizada a tensão inferior de 20 V e na A2 a tensão de 23,9V.

Figura 11- Amostra A1.



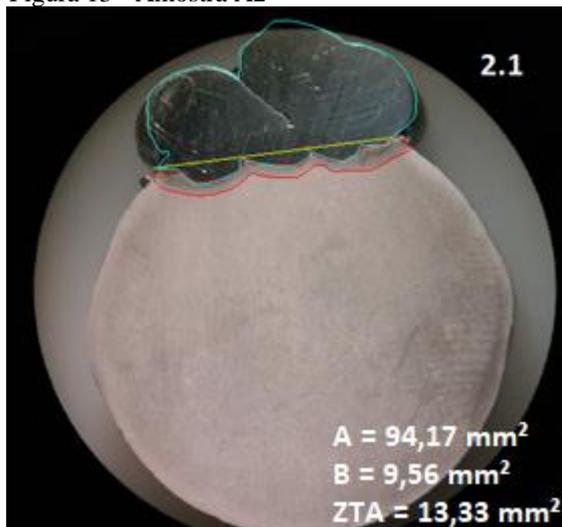
Fonte: O autor.

Figura 12 - Réplica A1



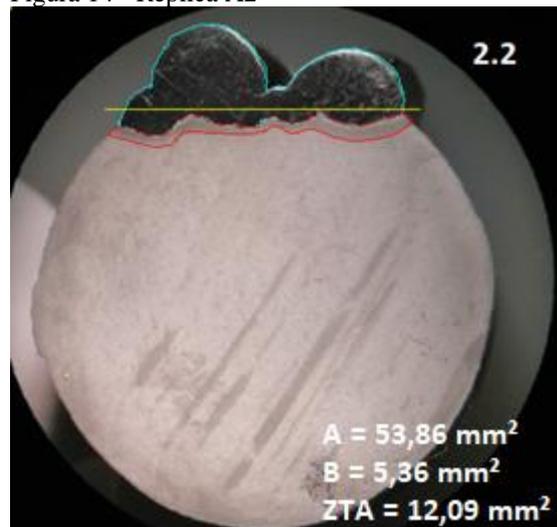
Fonte: O autor.

Figura 13 - Amostra A2



Fonte: O autor.

Figura 14 - Réplica A2

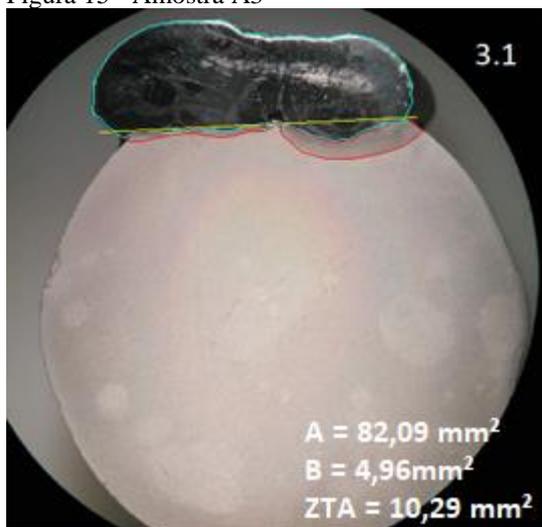


Fonte: O autor.

Ao analisar as figuras, não é possível notar variações visuais significativas. Na diluição obtida a diferença entre as médias são mínimas, porém a área da ZTA na configuração A2 é 42% maior que na configuração A1, tal resultado pode ser atribuído ao aporte térmico obtido. Pois de acordo com Pinto (2006) a ZTA está diretamente relacionada a energia aplicada ao processo de soldagem, que pode ser calculado pela Equação (1).

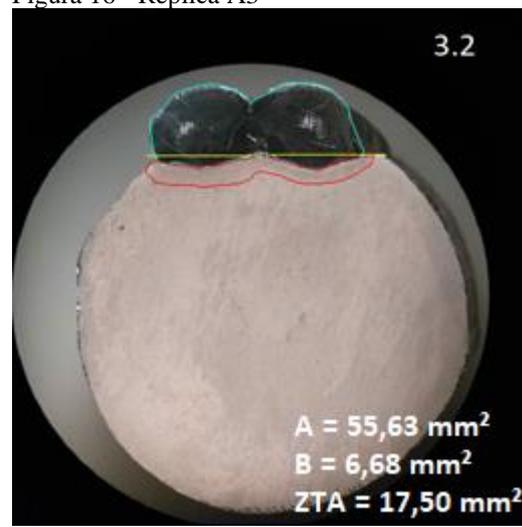
As imagens a seguir (Figura 15, 16, 17 e 18) comparam as configurações A3 e A4, as duas amostras foram realizadas com o pré-aquecimento, na configuração A3 foi utilizada a tensão inferior de 20 V e na A4 a tensão de 23,9V.

Figura 15 - Amostra A3



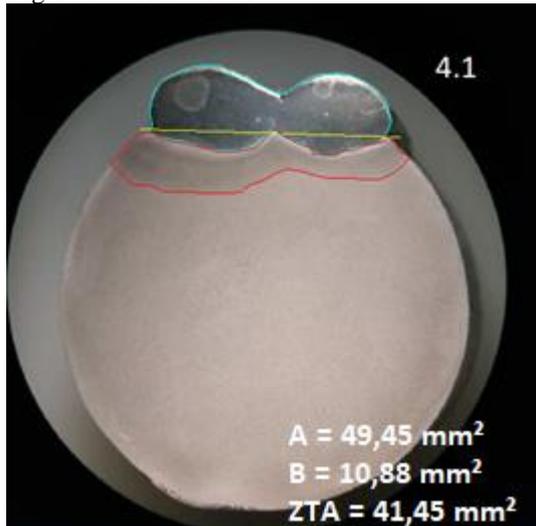
Fonte: O autor.

Figura 16 - Réplica A3



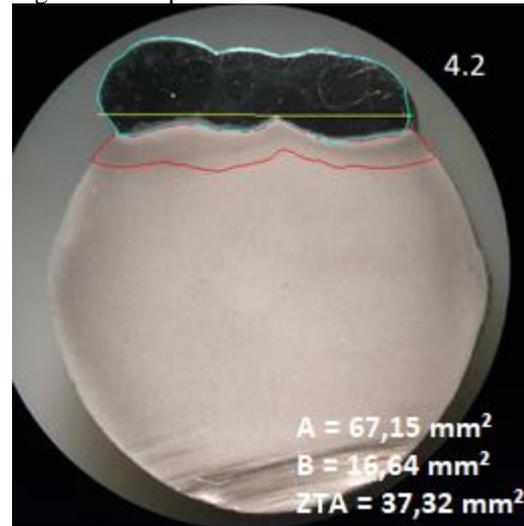
Fonte: O autor.

Figura 17 - Amostra A4



Fonte: O autor.

Figura 18 - Réplica A4



Fonte: O autor.

Ao analisar as amostras A3 e A4 percebe-se inicialmente um aumento na profundidade da ZTA, ao comparar com as amostras onde não se realizou o pré-aquecimento. Também fica visível que houve um aumento na profundidade da solda, o que explica o aumento da diluição. Porém na amostra 3.1 onde se utilizou a tensão de 20V, nota-se que não houve penetração em uma fração considerável da peça, o que por sua vez explica o baixo percentual de diluição obtido nesta amostra.

A baixa penetração obtida pode ser atribuída ao *stick-out* já que de acordo com Fortes (2005) grandes extensões de eletrodo resultam em excesso de metal de solda e faz com que seja depositado com baixo calor do arco, isso pode causar em baixa penetração além de com geometria desfavorável do cordão.

A penetração da solda é diretamente proporcional à corrente de soldagem. O aumento na corrente aumentará a penetração da solda e a diminuição resulta em baixas penetrações (FORTES, 2005).

Nas amostras A4 pode-se visualizar, entre a zona fundida e a zona termicamente afeta, uma área mais clara. Acredita-se que devido a alta taxa de diluição, nesta área houve uma maior difusão entre os elementos presentes na composição química do metal base e do metal de adição, essa difusão pode resultar na formação de novos compostos (GOMES et al., 2011), o que explica a coloração obtida.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos é possível estabelecer algumas correlações entre os parâmetros de soldagem utilizados:

No que diz respeito a produtividade, as amostras que foram realizadas com o pré-aquecimento demandaram de menores quantidades de passes para seu cobrimento. O que pode ter sido ocasionado pelo fato de o metal base estar aquecido e atingir a temperatura de fusão mais rapidamente, dessa forma necessitou menor tempo para a coalescência do metal de adição e o metal base e conseqüentemente, o que gerou cordões de maior largura. Além de que a massa adicionada às amostras com pré-aquecimento é menor se comparado as amostras sem pré-aquecimento, tal resultado pode ser atribuído a quantidade de cordões depositados.

Nas amostras sem o pré-aquecimento não se obteve variações significativas na diluição, porém fica claro um aumento na ZTA na tensão de 23,9V se comparado a amostra de 20V. Dessa forma pode-se concluir que devido ao aumento da tensão, obteve-se maior aporte de calor durante a soldagem, o que foi responsável pelo aumento da ZTA.

Na amostra 3.1 em que houve uma zona considerável onde a penetração foi inferior penetração esperada. Pode-se supor que houve uma variação no *stick-out* na seção analisada, uma vez que o processo foi realizado de forma manual e sem controles de velocidade de soldagem ou de *stick-out*.

Quanto a diluição, nas amostras com o pré-aquecimento fica claro que o aumento da tensão influenciou diretamente sobre a profundidade obtida na solda, o que atua diretamente sobre a diluição e aumenta o seu percentual. As amostras sem o pré-aquecimento não apresentaram diferenças significativas entre a diluição obtida. Este fato pode ser atribuído as características do metal base.

Os aspectos visuais, principalmente a coloração obtida nas amostras A4 sugere que houve a formação de novos compostos resultante da composição química presente no metal base e no metal de adição. Tal hipótese pode ser provada através da micrografia da região. E para descobrir o composto resultante é ou não benéfico para determinada aplicação, deve-se realizar ensaios sobre o mesmo conforme o ambiente a qual o componente será submetido.

A partir dos pontos levantado pode-se concluir que o pré-aquecimento é imprescindível para a soldagem do aço VC131 e para estudos aprofundados deve-se

considerar a realização do pré-aquecimento para que se possa visualizar com maior clareza a influência dos outros parâmetros de soldagem.

Como já citado a soldagem de revestimento, tem como objetivo a obtenção de menores taxas de diluição. Dos parâmetros utilizados o que se destacou foi da configuração A3, pois foi necessários apenas dois passes para o preenchimento e obteve-se uma menor taxa de diluição, além de que a área da ZTA foi consideravelmente menor se comparada a configuração A4. Porém vale ressaltar que se deve tomar cuidado com as variações bruscas durante o processo de soldagem, pois, como foi observado na amostra 3.1 houve uma distorção significativa.

Como sugestão para trabalhos futuros pretende-se realizar ensaios de dureza, resistência à corrosão e resistência à abrasão com a intenção avaliar qual dos processos empregados apresentou maior eficiência nesse quesito.

Reduzir as variações do processo manual de soldagem dos revestimentos através da realização do mesmo processo com utilização de um mecanismo automatizado de soldagem.

Analisar o efeito da adição de outros revestimentos sobre o aço VC-131 e a influência da variação de parâmetros.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Márcio Ribeiro. **Avaliação da resistência a corrosão fadiga do aço API5IX65 revestido com AISI 308L SL**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais/PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- ARAÚJO, Márcia Regina Vieira de. **Caracterização microestrutural do metal de solda depositado por arco submerso em chapas de aço-carbono estrutural**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.
- ASTM: American Society for Testing and Materials. **Standard Terminology Relating to Wear and Erosion**. ASTM G40-15, 2015.
- BAPTISTA, André Luís de Brito; NASCIMENTO, Ivaldo de Assis do. **Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas**. Spectru Instrumental Científico, 2009.
- CALADO, V.; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de Experimentos Usando o Statistica**, Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003, 260p.
- CALLISTER W D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 5.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002. 589p.
- CARBÓ, Héctor Mario. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. 2008. Disponível em: <<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apostec.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2019.
- COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 3a Ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1974.
- CORRÊA, Celso Alves. **Uma contribuição ao Processo de Soldagem de Revestimento com Arame Tubular Pulsado de um aço CA6NM aplicando o método de Taguchi**. 2018. 120 f. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.
- EUTECTIC CASTOLIN. **Processo de Soldagem MIG/MAG: Processo de soldagem por arco elétrico com gás de proteção de alta produtividade**. 2017. Disponível em: <<http://www.eutectic.com.br/equipamentos-soldagem-mig-mag.html>>. Acesso em: 9 de set. 2019.
- FORTES, Cleber. **Apostila de metalurgia da soldagem - ESAB**. 2005. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostilametalurgiasoldagem.pdf>>. Acesso em: 6 de set. 2019.
- FORTES, Cleber. **Apostila de soldagem MIG/MAG - ESAB**. 2005. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev0_apostilasoldagemmigmag_low.pdf>. Acesso em: 9 de set. 2019.

GOMES, J. H. F. et al. **Otimização de múltiplos objetivos na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono ABNT 1020 utilizando arame tubular inoxidável austenítico.** Soldagem & Inspeção, v. 16, n. 3, p. 232-242, 2011.

GOMES, José Henrique de Freitas. **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço abnt 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

MARQUES, Fernando Michelon et al. **Análise de desgaste abrasivo do revestimento duro a base de carbonetos de cromo depositado por SMAW.** Revista *Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, v. 20, n. 2, p. 13, 2016.

MODENESI, Paulo J. **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis.** São Paulo. Centro Nacional de Tecnologia em Metalurgia. Osasco, 2001.

MODENESI, Paulo J. **Introdução à Física do Arco Elétrico - Soldagem I.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. 44 p. Disponível em: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/fundamentosfisicos1.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2017.

MOREIRA, Hamilton Soares. **Estudo da influência dos parâmetros de soldagem MIG e da morfologia do cordão no comportamento à fadiga de juntas soldadas de um eixo traseiro veicular.** 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalurgia e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NERIS, M.M. **Soldagem.** Apostila (Eixo Tecnológico: Controle e Processos Industriais) São Paulo-SP, 2012.

OKUMURA, T. T. **Engenharia de Soldagem e Aplicações.** Rio de Janeiro: LTC, 1982.

PEROTTI, Ana Paula. **Desenvolvimento de eletrodos revestidos para depósitos resistentes ao desgaste abrasivo.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

PESSOA, Raylander Rocha. **Estudo da resistência à corrosão em juntas soldadas de aço inoxidável ferrítico UNS S43932.** 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PINTO, D. F. **Comportamento em corrosão sob tensão de um aço inoxidável ferrítico AISI 444 soldado com aço inoxidável austenítico AISI 316LSi, em meios contendo cloretos.** 2006. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

PINTO, P. M. A. S. **Soldagem Circunferencial de Tubo API 5L X80 Empregando Processos Manual / Semi-Automático**. 2006. 113 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ROHDE, Regis Almir. **Metalografia preparação de amostras**. Laboratório de ensaios mecânicos. Universidade Regional Integrada do alto Uruguai e Missões, 3ª Edição, Rio Grande do Sul, 2010.

SANTOS, R.P.G. **Microabrasão Corrosão de Revestimentos de Inconel 625 depositados por Plasma Pó (PTAP)**. Uberlândia. 2018. 178 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2018.

SILVA, Augusto José da. **Influência da aplicação do processo de soldagem MIG/MAG na estrutura da carroceria monobloco automotiva**. 2013. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Automação e Inspeção em Soldagem, Faculdade Senai de Tecnologia em Processos Metalúrgicos, Osasco, 2013.

SOUZA, Daniel Dominices Baía Gomes de; FERRARESI, Valtair Antonio. **Aplicação de revestimento duro utilizando o processo FCAW duplo arame para diferentes tipos de consumíveis utilizados na indústria sucroalcooleira**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, n. 1, 2017.

SOUZA, Juliana de Fátima Prestes. **Propriedades Mecânicas de Aços Inoxidáveis Austeníticos Nitretados Submetidos à Hidrogenação Catódica**. 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TATAGIBA, Luiz Claudio Soares; GONÇALVES, Renata Barbosa; PARANHOS, Ronaldo. **Tendências no desenvolvimento de gases de proteção utilizados na soldagem MIG/MAG**. Soldagem e Inspeção, v. 17, n. 3, p. 218-228, 2012.

TOTTEN, George E. **ASM Handbook, Volume 18: Friction, Lubrication, and Wear Technology**. ASM international, 1992.

VILLARES METALS. **Ficha técnica aço ferramenta VC 131**. 2009. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>>. Acesso em: 10 out. 2019.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 1992. 494 p.

APÊNDICE A – Valores de massa obtida pré e pós soldagem

Tabela 7 – Valores específicos de massa encontrado por amostra.

Configuração	Tensão [V]	Pré-aquecimento	Amostra/Réplica	Peso Inicial	Nº cordões	Peso Final	Massa Adicionada
A1	20	Não	1.1	379,38	4	427,24	47,86
			1.2	368,76	4	422,06	53,3
A2	23,9	Não	2.1	373,49	5	429,87	56,38
			2.2	374,78	4	426,26	51,48
A3	20	Sim (300°C)	3.1	377,3	2	426,57	49,27
			3.2	379,9	2	423,29	43,39
A4	23,9	Sim (300°C)	4.1	376,92	2	422,44	45,52
			4.2	377,06	3	428,41	51,35

Fonte: O autor.

APÊNDICE B – Valores de área obtidos através do software AUTOCAD

Tabela 8 – Valores de específicos profundidade reforço e ZTA.

Configuração	Tensão [V]	Pré-aquecimento	Amostra/Réplica	Metal adicionado	Reforço	Profundidade	ZTA
A1	20	Não	1.1	65,2204	59,5444	5,676	8,5139
			1.2	59,4024	53,266	6,1364	9,2143
A2	23,9	Não	2.1	103,7309	94,1744	9,5565	13,3329
			2.2	59,2215	53,8578	5,3637	12,0934
A3	20	Sim (300°C)	3.1	87,0452	82,0868	4,9584	10,2922
			3.2	62,3059	55,6306	6,6753	17,5001
A4	23,9	Sim (300°C)	4.1	60,3341	49,4496	10,8845	41,446
			4.2	83,7926	67,1521	16,6405	37,3197

Fonte: O autor.