

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

MARCOS VINÍCIUS TAVARES DA SILVA

**SOLDAGEM DE REVESTIMENTO COM ARAME TUBULAR E
MONITORAMENTO COM ACELERÔMETRO**

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016

MARCOS VINÍCIUS TAVARES DA SILVA

**SOLDAGEM DE REVESTIMENTO COM ARAME TUBULAR E
MONITORAMENTO COM ACELERÔMETRO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel

Orientadora: Prof. Me(a) Émillyn Ferreira Trevisani Olivio

Coorientador: Prof. Me Celso Alves Correa

CORNÉLIO PROCÓPIO

2016



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcos Vinícius Tavares da Silva

Soldagem de revestimento com arame tubular e monitoramento com acelerômetro

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 15:00hs do dia 23/11/2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Me(a). Émillyn Ferreira Trevisani Olivio - Presidente (Orientador)

Prof(a). Me(a). Celso Alves Correa - (Coorientador)

Prof(a). Dr(a). Joao Roberto Sartori Moreno - (Membro)

Prof(a). Dr(a). Paulo Cézar Moselli - (Membro)

Dedico este trabalho à minha família e a todos os meus amigos que me apoiaram até o fim do curso, aos meus professores que deram a base para chegar até o final.

AGRADECIMENTO

Agradeço a minha orientadora Prof. Me Émillyn Ferreira Trevisani Olivio e ao meu Coorientador Prof. Me Celso Alves Correa pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus amigos, Rafael, Thiago, Leandro, Willian, Dário, Diego, Angelo, Gabriel, Vinícius, Diego, Ana, Patrícia, Bruna, Wanderley e a Mônica.

Aos meus amigos de sala e aos meus amigos da SmartMec Jr.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, minha mãe Lilian e minha irmã Gabrielly, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

"Se você não está disposto a arriscar, esteja disposto a uma vida comum" – Jim Rohn

RESUMO

SILVA, M.V.T. **Soldagem de revestimento com arame tubular e monitoramento com acelerômetro**, Cornélio Procópio, Faculdade de engenharia mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016, 47p.

A soldagem de revestimento foi aplicada pelo processo de arame tubular com proteção gasosa na posição plana com corrente convencional. O metal base utilizado foi o aço SAE 1020 e o metal de adição utilizado foi o ao inoxidável martensítico 410 (CA6MN). Foram feitos ensaios variando os parâmetros de solda como a corrente média, a distância do bico de contato peça e a velocidade de soldagem. Coletados os dados de corrente, tensão e aceleração com o auxílio de um acelerômetro, esses dados foram analisados utilizando o software MatLab. No maior nível de corrente obtive-se a melhor morfologia do cordão de solda. Por meio dos gráficos gerados de corrente, tensão e aceleração foi possível determinar a estabilidade do arco elétrico durante a soldagem.

Palavras chave: soldagem de revestimento, vibração, aceleração.

Abstract

SILVA, M.V.T. Coating Welding with cored wire and monitoring with accelerometer, Cornélio Procópio, Faculty of Mechanical Engineering, Federal Technological University of Paraná, 2016, 47p.

The welding coating was applied by the tubular wire process shielding gas in the flat position with a conventional current. The base metal used SAE 1020 and the addition of metal used was stainless steel martensitic 410 (CA6MN). Were made assay by varying the welding parameters such as average current, the distance part contact tip and welding speed. Collected data of current, voltage and acceleration with the aid of an accelerometer, these data were analyzed using MatLab software. In the most current level we obtained the best morphology of the weld bead. Through the current graphics, voltage and acceleration was possible to determine the stability of the electric arc during welding.

Keywords: coating welding, vibration, acceleration.

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Soldagem por arame tubular.....	17
Figura 2: Transferência globular.....	18
Figura 3: Transferência Curto-circuito.....	18
Figura 4: Transferência Spray.....	19
Figura 5: Parâmetros do cordão de solda.....	28
Figura 6: Gráfico de corrente para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm.....	30
Figura 7: Gráfico de tensão para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm.....	31
Figura 8: Gráfico de aceleração para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm.....	31
Figura 9: Gráfico de corrente para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	32
Figura 10: Gráfico de tensão para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	32
Figura 11: Gráfico de aceleração para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	32
Figura 12: Gráfico de corrente para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.....	33
Figura 13: Gráfico de tensão para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.....	34
Figura 14: Gráfico de aceleração para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.....	34
Figura 15: Gráfico de corrente para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	35
Figura 16: Gráfico de tensão para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	35
Figura 17: Gráfico de aceleração para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.....	35
Figura 18: Gráfico de barra para valores de aceleração em RMS.....	37
Figura 19: Gráfico de corrente para frequência de 8000 Hz com velocidade de soldagem de 300 mm/min.....	38

Figura 20: Gráfico de corrente para frequência de 8000 Hz com velocidade de soldagem de 350 mm/min.	38
Figura 21: Gráfico de corrente no domínio da frequência de 200 Hz com velocidade de soldagem de 300 mm/min.	39
Figura 22: Gráfico de corrente no domínio da frequência de 200 Hz com velocidade de soldagem de 350 mm/min.	39
Figura 23: Gráfico de corrente no domínio da frequência para 230 A com velocidade de soldagem de 300 mm/mn.	40
Figura 24: Gráfico de corrente no domínio da frequência para 230 A com velocidade de soldagem de 350 mm/min.	40
Figura 25: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 200 A e velocidade de soldagem de 300 mm/min.....	41
Figura 26: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 200 A e velocidade de soldagem de 300 mm/min.....	41
Figura 27: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 230 A e velocidade de soldagem 350 mm/min.....	42
Figura 28: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 230 A e velocidade de soldagem de 350 mm/min.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: composição química aço SAE 1020	25
Tabela 2: composição química EC410NiMo.....	25
Tabela 3: Parâmetros de soldagem	26
Tabela 4: Variação dos parâmetros utilizados na soldagem.	27
Tabela 5: Sinais de processamento	27
Tabela 6: Tabela da morfologia do cordão de solda para 200 A e 300 A.....	29
Tabela 7: Parâmetros do cordão de solda	29
Tabela 8: Dados de corrente (RMS), tensão (RMS) e aceleração (RMS) para os gráficos gerados no tempo de 20s a 30s.	37

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA	14
2. DESENVOLVIMENTO TEORICO	16
2.1 SOLDAGEM	16
2.2 SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR	16
2.2.1 Transferência Globular	17
2.2.2 Transferência Curto-circuito	18
2.2.3 Transferência Spray	19
2.3 PARAMETROS DE SOLDA	19
2.3.1 Tensão	20
2.3.2 Corrente	20
2.3.3 Velocidade de Soldagem.....	20
2.3.4 Distância Bico de Contato Peça	20
2.3.5 Vazão do gás de proteção.....	21
2.4 REVESTIMENTO POR SOLDAGEM	21
2.5 VIBRAÇÃO.....	22
2.6 ACELERÔMETRO	23
3. MATERIAS E METODOS	25
3.1 MATERIAS UTILIZADOS	25
3.2 EQUIPAMENTOS	25
3.3 CORPO DE PROVA.....	26
3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	26
3.5 ENSAIOS DE SOLDAGEM	26
3.6 AQUISIÇÃO DE SINAL	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 MORFOLOGIA DOS CORDÕES	28
4.2 RESULTADOS DA AQUISIÇÃO DE SINAIS.....	30
5. CONCLUSÕES	44
5.1 TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Descobertas arqueológicas indicam que o processo de soldagem começou em 2000 a.C. quando o homem começou a fabricar utensílios de duas ou mais partes unidas, esse processo era feito por aquecimento até que as partes se soldassem. Desde então, a soldagem tem se desenvolvido e os conceitos tem melhorado ano após ano (SENAI, 1997).

Hoje em dia o processo de soldagem pode ser dividido em dois grandes grupos, soldagem por pressão e soldagem por fusão. No grupo de soldagem por fusão existem vários métodos utilizados e um método bastante empregado na engenharia é o arame tubular (FCAW – Fluxed Cored Arc Welding), que pode ser utilizado com proteção gasosa ou não (SENAI, 1997).

A soldagem com arame tubular pode ser semi-automática, nesse caso o soldador controla a tocha, ou pode ser automática, quando uma máquina já tem definido a posição e o deslocamento que deve ser feito. Com o desenvolvimento de arames com menor diâmetro, possibilitou a utilização do FCAW para soldagem em qualquer posição e para qualquer tipo de junta (SENAI, 1997).

Todas as vantagens encontradas nos processos com proteção gasosa e nos processos com eletrodo revestido são encontradas na soldagem por arame tubular, como por exemplo: alta taxa de deposição, alta versatilidade, possibilidade de mudar a composição química do cordão e operação em campo. Por essa gama de benefícios que o processo de soldagem por arame tubular é bastante usado nas indústrias nuclear, naval, na construção de plataformas de petróleo e varias e outras aplicações (SENAI, 1997).

Falhas prematuras em peças e/ou equipamentos por fenômenos de desgaste têm causado um prejuízo de centenas de bilhões de dólares anualmente para as indústrias, seja por investimento em novas peças ou por recuperação da peça desgastada. Com o avanço da tecnologia, foi possível evitar esses gastos usando um método de revestimento (SENAI, 1997).

Além da finalidade do revestimento por solda em recuperar peças desgastadas, podemos citar a criação de novos produtos com características que atendem as necessidades exigidas pelo meio onde serão empregas e com

custo menor. As características adquiridas pelos metais revestidos podem ser: resistência a corrosão, resistência a efeitos causados por atrito e por impacto e resistência a deformação promovida por partículas abrasivas (SENAI, 1997).

A seleção de uma liga para revestimento é definida primeiramente pelo tipo de desgaste e pelos custos. Em seguida devem ser considerados o metal base, o processo de deposição, a resistência necessária ao impacto e a resistência necessária a corrosão e a temperatura. As ligas são disponíveis na forma de vareta nua, eletrodo revestido, arame sólido, arame tubular ou pó (SENAI, 1997).

É possível identificar vários parâmetros que compõe a soldagem feita por arame tubular, sendo que cada parâmetro pode interferir diretamente ou indiretamente na qualidade da solda. Existem várias formas de analisar como cada parâmetro interfere no cordão de solda, uma dessas formas é por meio da análise de vibração (SENAI, 1997).

Toda vez que as gotículas de solda se chocam com o metal base ou com a poça de fusão será gerado uma amplitude na forma de onda que pode ser detectada utilizando um acelerômetro (ARATA, 1981).

Segundo ARATA (1981) amplitudes similares aparecem ciclicamente na forma de onda, correspondentes ao período de separação das gotas de metal.

Sabendo das amplitudes causadas ciclicamente e considerando a vibração causada por respingos na solda, os gráficos gerados mostraram exatamente o momento onde ocorre cada fenômeno, assim será possível determinar como os parâmetros estão afetando a qualidade da solda

1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O uso de um acelerômetro permitiu no momento do processo de soldagem estudado mensurar parâmetros que poderiam interferir positivamente ou negativamente na qualidade da solda aplicada no metal base. Esses parâmetros permitiram mostrar diferentes características da instabilidade do processo, possibilitando melhoria na qualidade da solda de revestimento por arame tubular.

O trabalho foi dividido em duas etapas, a primeira consiste em coleta dos dados e, a segunda etapa consiste em analisar esses dados para determinar os parâmetros que contribuem para a qualidade da solda, após essa análise é possível determinar a intensidade de corrente que pode influenciar no cordão formado.

Após definida essas etapas o objetivo do trabalho pode ser identificado como:

- Contribuir com o estudo da soldagem de revestimento por arame tubular;
- Contribuir com o estudo de vibrações na soldagem;
- Propor parâmetros para melhorar a qualidade do cordão de solda.

2. DESENVOLVIMENTO TEORICO

2.1 SOLDAGEM

Denomina-se soldagem o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem aplicação de pressão (WAINER, 2008).

Segundo Marques (2007) um grande número de diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas utilizam o termo "SOLDAGEM". Na atualidade o termo pode ser utilizado para deposição de material sobre uma superfície. Existem outros diferentes processos relacionados com a soldagem que são usados para corte de peças metálicas, esses processos possuem várias semelhanças com a soldagem.

2.2 SOLDAGEM POR ARAME TUBULAR

A soldagem a arco com arame tubular é um processo que produz a união de metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre o eletrodo e a peça de trabalho. A proteção acontece por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo. Além da proteção o fluxo tem função de desoxidar e refinar o metal de solda ou adicionar elementos de liga (MARQUES, 2007).

Segundo MARQUES (2007) o processo de soldagem com arame tubular é muito semelhante ao processo MIG/MAG, no que diz respeito ao equipamento e princípios de funcionamento e tem suas semelhanças com a soldagem com eletrodo revestido, partindo do ponto de vista metalúrgico.

Os materiais soldados por este processo são os aços ao carbono, baixa liga, inoxidáveis e ligados, entre outros, de maneira semi automática ou automática (MACHADO, 1996).

Na soldagem por arame tubular é possível identificar alguns modos de transferência do metal do eletrodo para a peça de fusão, esses modos podem ser definidos como transferência globular, por curto-circuito ou por "spray" (MACHADO, 1996).

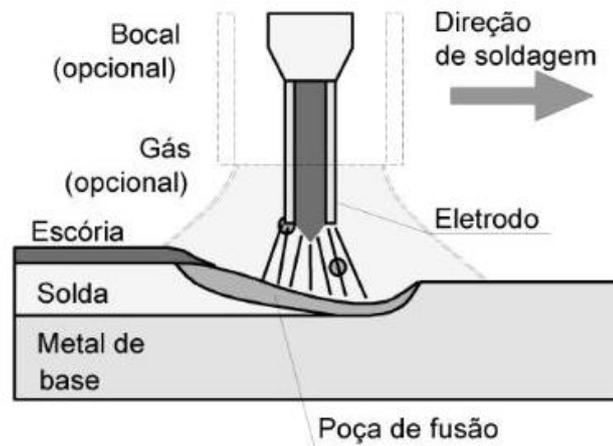


Figura 1: Soldagem por arame tubular
Fonte: SANCHES, 2010

2.2.1 Transferência Globular

Para se trabalhar com transferência globular é preciso é preciso obter valores de correntes relativamente baixos, pouco acima do valor de corrente utilizado no curto-circuito. As gotas transferidas possuem um diâmetro maior que o diâmetro do eletrodo (SENAI, 1997).

As gotas ficam presas no eletrodo até atingirem um tamanho suficiente para se desprenderem e cair na poça de fusão, quando isso acontece cria-se uma pequena instabilidade no arco e a força do arco provoca respingos no metal base. Uma forma de diminuir os respingos é diminuir o tamanho do arco (SENAI, 1997).

Segundo MARQUES (2007) a transferência globular gera um nível de respingos relativamente elevado no metal base e, como as gotas caem por gravidade, sua utilização é limitada à posição plana.

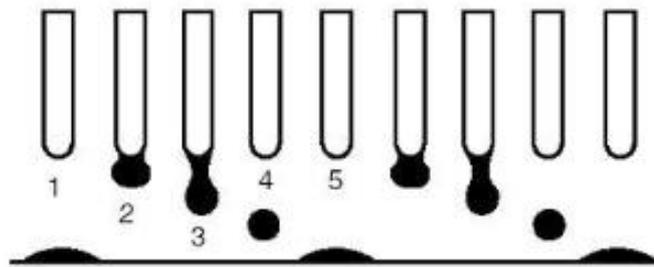


Figura 2: Transferência globular
Fonte: ESAB, 2016

2.2.2 Transferência Curto-circuito

Na transferência por curto-circuito os valores de tensão e corrente são baixos. Nesse modo após a gota ser formada no eletrodo, encosta no metal base provocando um alto valor de corrente que é suficiente para a transferência do metal, esse ciclo se repete em toda a transferência. A formação de respingos nesse modo é muito comum, porém é possível evitá-los pelo ajuste da fonte e adequação dos parâmetros de soldagem (SENAI, 1997).

A grande formação de respingos é citada por MARQUES (2007), devido à instabilidade que surge no arco no momento da transferência da gota para a poça de fusão. Entretanto os respingos podem ser evitados ajustando os parâmetros de soldagem.

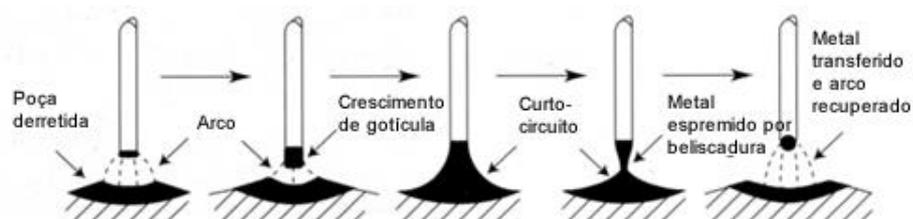


Figura 3: Transferência Curto-circuito
Fonte: KOLBECO, 2016

2.2.3 Transferência Spray

A transferência por “spray” ocorre quando existe altos valores de corrente, e com gás inerte ou com misturas de gases inertes contendo 15 a 18% de CO₂ (SENAI, 1997).

Nesse modo, as gotas de metal são pequenas, com diâmetro menor que a do eletrodo. Na transferência por “Spray” o arco é bastante estável, praticamente não há respingos e o cordão de solda é obtido é suave e regular (MARQUES, 2007).

Segundo MACHADO (1996) devido aos altos níveis da corrente e tensão nesse modo de transferência, há uma maior penetração, com alta taxa de deposição. Devido a esse efeito fica inviável a aplicação desse modo de transferência para chapas finas.

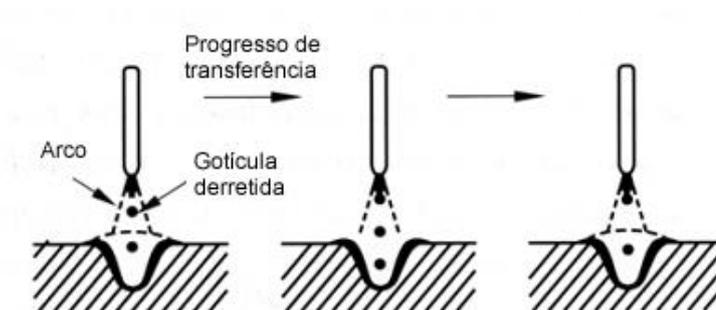


Figura 4: Transferência Spray
Fonte: KOLBECO, 2016

2.3 PARAMETROS DE SOLDA

Para executar a soldagem com arame tubular deve ser considerado alguns parâmetros, como: tensão, corrente, velocidade de soldagem, “stick-out” e a vazão do gás de proteção.

2.3.1 Tensão

A tensão do arco elétrico está relacionada com o comprimento do arco, de modo que tensões mais elevadas condicionam arcos com maior comprimento. (SENAI, 1997).

Com uma tensão alta, pode ocorrer aumento do salpico e cordão irregular. Tensões muito baixas podem provocar cordões convexos com pouca penetração (MARQUES, 1996).

2.3.2 Corrente

A intensidade da corrente é proporcional a velocidade de alimentação do arame tubular. Considerando que todos os parâmetros permaneçam constante, o aumento da corrente pode implicar no aumento da taxa de deposição, o aumento da penetração e cordão convexo. Por outro lado, valores baixos de corrente provocam grande formação de gotas e alto nível de salpicos (MARQUES, 1996).

2.3.3 Velocidade de Soldagem

É responsável pela geometria do cordão. Em velocidades consideradas altas, o cordão de solda será convexo e terá pouca penetração. Em velocidades baixas, há aparecimento de escória e o cordão será irregular. (MARQUES, 1996).

2.3.4 Distância Bico de Contato Peça

“Stick out” é a distância estabelecida entre o bico de contato e a peça. Quanto maior o “stick out” maior será o calor desenvolvido por efeito Joule. Assim uma distância muito grande pode causar alto nível de salpicos, falta de

penetração e cordão convexo. Já uma extensão pequena pode causar porosidade, alto nível de salpicos e oxidação da poça de fusão (SENAI, 1997).

2.3.5 Vazão do gás de proteção

A vazão adequada para proteção do arame tubular será determinada dependendo da distância existente entre a tocha e a poça de fusão, do tipo de gás e do tipo de gás que circula o local de trabalho. Uma vazão mínima ou em excesso pode causar porosidade e problemas de oxidação (SENAI, 1997).

2.4 REVESTIMENTO POR SOLDAGEM

A soldagem por revestimento tem como objetivo reduzir o desgaste de matérias, redução do custo de máquinas e novas instalações, recuperação de peças desgastadas sem necessidade de substituir, aumento da vida útil de equipamentos, diminuição do tempo de parada de equipamentos e possibilidade de utilização de matérias de baixo custo com ótimas características, consequentemente diminuindo alguns custos (SENAI, 1997).

Durante a deposição pelo processo de soldagem, devido as características necessárias no material, o processo busca obter largura e reforço do cordão de solda os maiores possíveis, sabendo que a penetração deve ser relativamente pequena (LIMA,2010).

A importância e a variedade no campo de revestimento têm resultado em grande quantidade de ligas utilizadas para o revestimento. A classificação e a seleção dessas ligas para ser utilizada em revestimento é baseada em fatores incluindo dureza, composição química, condições de serviço e o tipo de aplicação do material a ser revestido (LIMA,2010).

As ligas de aço martensíticos utilizados para revestimento são relativamente tenazes, aumentando a capacidade de resistir a trincas. O preço moderado, o bom comportamento em soldagem e larga faixa de propriedades destes tipos de revestimento fazem ter grande uso em revestimentos com grandes volumes (SENAI, 1997).

Os parâmetros utilizados no processo de revestimento por arame tubular são os mesmos citados anteriormente ao explicar o processo de soldagem com arame tubular.

Alguns trabalhos de revestimento com arame tubular foram realizados por outros pesquisadores, como por exemplo na análise do desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar, onde LIMA e FERRARESI (2010) utilizaram 4 eletrodos para fazer revestimentos com arame tubular em facas picadoras de cana-de-açúcar para determinar o desgaste causado nas mesmas em campo.

2.5 VIBRAÇÃO

Segundo Rao (2009) qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação. As vibrações podem ser classificadas em: vibração livre ou forçada, vibração amortecida e não amortecida, vibração linear e não linear, e vibração determinística e aleatória.

As vibrações em máquinas são causadas pela presença de forças de dinâmica interna e externa ao sistema. A ação das forças é o primeiro evento que ocorre no tempo e dão origem à resposta do sistema, que pode ser medido em deslocamento, que é a distância do afastamento da massa de sua posição natural em metros (m), velocidade é a derivada que a massa se movimenta em metros por segundo (m/s) e aceleração é a taxa de mudança de velocidade da massa, em metros por segundo quadrado (m/s²) (RAO, 2009).

Alguns movimentos podem repetir regularmente durante um intervalo de tempo iguais, esses movimentos são denominados movimento periódico. O tipo mais simples desse movimento é o movimento harmônico. A equação para o movimento é definida como: (RAO,2009)

$$x(t) = A \times \text{sen}(\omega * t)$$

A velocidade no tempo t é definida como a derivado do deslocamento no tempo, assim temos:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \omega * A * \cos(\omega * t)$$

E a aceleração no tempo t é definida como a derivada segunda do deslocamento no tempo, assim temos:

$$a(t) = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 * x$$

Os métodos e técnicas utilizados para analisar os dados causados vibrações em equipamentos são divididos em: técnicas no domínio do tempo, técnicas no domínio da frequência e técnicas no domínio da frequência-tempo. Nos métodos de domínio de tempo: média absoluta (X_{med}), nível global (X_{rms}) e fator de crista (Fcr) são os mais simples, sendo este último a razão dos dois primeiros (RAO,2009).

O valor X_{rms} dá uma estimativa do conteúdo do sinal vibratório, ele é usado para estimar a severidade de vibração proveniente da estrutura de uma máquina. Em outras palavras, esse valor representa a estimativa da energia contida na vibração (RAO,2009).

2.6 ACELERÔMETRO

O princípio de funcionamento do acelerômetro baseia-se nos cristais piezoelétricos, que depois de sujeitos à compressão, geram um pequeno sinal elétrico proporcional a aceleração (SEQUEIRA, 2013).

O tamanho do acelerômetro influencia na gama de frequência utilizada e na sensibilidade a força que está sendo aplicada. A faixa de frequência pode variar de 0 a 10000 Hz dependendo do modelo, assim como também existem acelerômetros que conseguem trabalhar a uma faixa de 0,02 Hz (SEQUEIRA,2013).

Arata (1981) utilizou um acelerômetro piezoelétrico com sensibilidade de 100 mV/G para coletar dados da soldagem GMAW. ARATA (1981) avaliou a vibração causada pela transferência do metal para a poça de fusão. O objetivo do trabalho foi relacionar o tipo de transferência com o som do arco elétrico da soldagem.

Daniel Suyama (2014) utilizou acelerômetro para analisar a vibração causada no torneamento interno de furos de aço AISI 4340 endurecido, em condições de acabamento. O objetivo do trabalho foi identificar a rugosidade provocada pela vibração em diferentes condições de usinagem.

WANG (1995) estudou o sinal elétrico na transferência de metal no processo de soldagem FCAW, sendo que o sinal de voltagem foi processado utilizando a transformada rápida de Fourier (FFT). Foi observado que algumas características espectrais de frequência correspondiam a diferentes modos de transferência.

Em 2010 CHUVAS et al analisaram a vibrações em tensões residuais geradas na soldagem a laser de aços ARBL e IF. O objetivo do trabalho foi aplicar o tratamento de vibrações mecânicas em juntas soldadas a laser. Em algumas amostras tratadas houve significativa redução de tensão.

Em 2011 RAMOS fez estudo da metodologia oscilação da poça de solda para obter a frequência da poça de solda por meio de tensão e imagens. A geometria da poça foi obtido por meio de espectros de frequência por transformada rápida de Fourier (FFT), sendo que o processo utilizado de solda foi o GMAW com transferência por curto-circuito.

3. MATERIAS E METODOS

3.1 MATERIAS UTILIZADOS

Na execução do projeto será utilizado como metal base o aço SAE 1020 com as seguintes dimensões 185,00mm de comprimento, 63,50mm de largura e 12,70 de espessura. As especificações químicas se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: composição química aço SAE 1020

Elementos	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn	N (ppm)
Teor em %	0,18/ 0,23	0,30/ 0,60	0,10/ 0,30	0,030 máx.	0,035 máx.	0,200 máx.	0,150 máx.	0,150 máx.	0,060 máx.	80
Resistência à tração (kgf/mm ²)				45	Limite de Escoamento (kgf/mm ²)				25	

Fonte: (Gerdau, 2016)

O metal de adição utilizado será um arame tubular inoxidável martensítico com 1,2mm de diâmetro, especificado como AWS EC410NiMo MC. A especificações químicas se encontram na Tabela 2.

Tabela 2: composição química EC410NiMo

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Teor em %	0,027	0,440	0,590	0,024	0,006	12,500	4,860	0,430
Resistência à tração (MPa)			910	Limite de Escoamento (MPa)			830	

Fonte: (ESAB, 2016)

3.2 EQUIPAMENTOS

Para a realização do projeto foi utilizado uma bancada de teste, constituída por uma tartaruga de soldagem, um sistema de aquisição de dados com acelerômetro, uma fonte de soldagem e uma bancada para a fixação do metal.

3.3 CORPO DE PROVA

Antes de iniciar o processo de revestimento com arame tubular, foi realizado alguns procedimentos com o corpo de prova para obter uma superfície isenta de graxa, óleo e contaminantes. Para remover as impurezas foi utilizado jateamento abrasivo com granalha de aço angular G-25 S-280 com grau de dureza D.

3.4 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS

Os parâmetros de solda que foram mantidos constantes no experimento estão listados na Tabela 3. Esses parâmetros foram definidos de acordo com a bibliografia e em seguida foram feitos experimentos para ter a confirmação dos mesmos.

Tabela 3: Parâmetros de soldagem

Parâmetro	Nível
Polaridade do Eletrodo	CCEP
Gás de proteção	Argônio + 2% Oxigênio
Vazão do gás	18 litros/min
Ângulo da tocha	90º
Posição de soldagem	Plana
Temperatura de interpasse	150ºC
Velocidade de alimentação do arame	8,5 m/min
Quantidade de cordões	1
Corrente de pico (Ip)	350 amperes
Tempo de pico (tp)	10 milisegundos

Fonte: Autoria própria

3.5 ENSAIOS DE SOLDAGEM

Para os experimentos alguns parâmetros de soldagem foram adotados como variáveis, esses parâmetros variáveis são: corrente média, velocidade de soldagem, distância do bico de contato da peça e frequência de

pulsção. Após determinação desses parâmetros, foram feitos alguns experimentos para garantir a escolha dos mesmos. Na tabela 4 é possível ver como cada parâmetro adotado está relacionado com os demais.

Tabela 4: Variação dos parâmetros utilizados na soldagem.

Condições dos experimentos				
Amperes (A)	Velocidade de soldagem (mm/min)	Distancia bico da peça	Hz	Ensaio
200	300	36	-	336a
200	350	30	-	344
230	300	36	-	268
230	350	30	-	337

Fonte: Autoria própria.

Conforme descrito anteriormente na Tabela 4 as variáveis de influenciam e seus respectivos valores foram a corrente média de soldagem 200 e 230 A; a distância bico de contato com a peça foi 30,33 e 36 mm; a velocidade de soldagem 300, 350 e 400 mm/min; e ao utilizar níveis de correntes pulsada, a frequência foi de 18.18 e 20.00.

3.6 AQUISIÇÃO DE SINAL

Os dados foram coletados com o auxílio do software LabVIEW da National Instruments, já os tratamento dos sinais adquiridos foi realizado com o software MATLAB.

A Tabela 5 mostra os sinais adquiridos durante o processamento para ser analisados em MATLAB.

Tabela 5: Sinais de processamento

Sinal do Processo	Analógico ou Digital	Faixa de Variação	Faixa Condicionada
Acelerômetro	Analógico	0,13 – 22000 Hz	+/- 5 V
Tensão do Arco	Analógico	0 – 100 V	0 – 10 V
Corrente de Soldagem	Analógico	0 – 600 A	0 – 10 V

Fonte: Autoria própria

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será apresentado os resultados do experimento realizado. Na primeira parte serão mostrados a morfologia dos cordões de solda e na segunda parte serão mostrados os resultados dos dados coletados. Os dados foram trabalhados no MatLab e os resultados serão mostrados na forma de gráficos.

4.1 MORFOLOGIA DOS CORDÕES

No revestimento por soldagem é importante que o cordão de solda seja o mais largo possível, para que possa cobrir boa parte do metal de base com poucas passadas e que a penetração da solda não seja tão grande, para não interferir na estrutura do substrato.

Para análise deste estudo foram analisados os seguintes parâmetros: largura (L), reforço (R), penetração (P), a Figura 5 mostra esses parâmetros do cordão de solda. Por meio desses parâmetros definidos vamos conseguir analisar bem a diferença apresentada nos cordões de solda ao mudar os parâmetros de soldagem definidos anteriormente no trabalho.

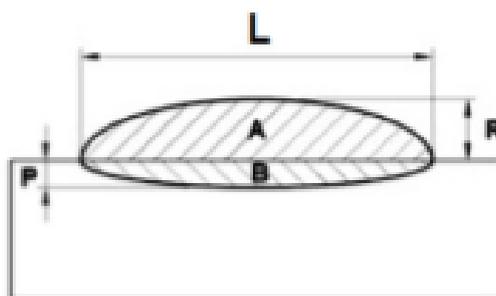
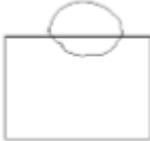
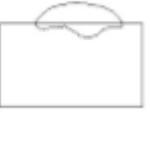


Figura 5: Parâmetros do cordão de solda
Fonte: autoria própria

Assim os resultados encontrados para corrente de 200 A com velocidade de soldagem de 300 mm/min e 350 mm/min, e os resultados para corrente de 230 A com velocidade de soldagem de 300 mm/min e 350 mm/min estão sendo mostrados na Tabela 6 a seguir na forma visual do cordão gerado.

Tabela 6: Tabela da morfologia do cordão de solda para 200 A e 300 A

Corrente	Velocidade de soldagem de 300 mm/min	Velocidade de soldagem de 350 mm/min
200 A	 DBCP - 36 mm	 DBCP - 30 mm
230 A	 DBCP - 36 mm	 DBCP - 30 mm

Fonte: autoria própria

Pela Tabela 6 apresentada podemos notar que nas duas correntes utilizadas, de 200 e 230 A, ao se aumentar a velocidade de soldagem o cordão de solda a largura (L) do cordão de solda diminui sendo que a variação do reforço foi mínima. Ao analisar a penetração do cordão de solda, podemos notar que o diferença também foi mínima.

Uma diferença que ficam bem visível ao analisar a morfologia dos cordões de solda é que ao fazer o revestimento com uma corrente maior, 230 A, obtivemos uma largura muito melhor.

A Tabela 7 mostra os resultados da morfologia do cordão de solda.

Tabela 7: Parâmetros do cordão de solda

Corrente (A)	Velocidade de soldagem (mm/min)	DBCP (mm)	Largura (mm)	Reforço (mm)	Penetração (mm)
200	300	36	9,00	4,20	2,49
200	350	30	8,48	3,98	1,86
230	300	36	13,51	3,29	2,00
230	350	30	10,54	3,19	1,94

Fonte: autoria própria

4.2 RESULTADOS DA AQUISIÇÃO DE SINAIS

Os dados coletados de corrente, tensão e aceleração foram trabalhados no software Matlab e plotados em gráficos para facilitar a análise dos mesmos. Os gráficos foram divididos de acordo com os parâmetros analisados. Primeiramente os dados foram analisados em um intervalo de tempo de 20s a 30s.

Na Figura 6, 7 e 8 estão representados os gráficos de corrente, tensão e aceleração respectivamente. Para esses gráficos os parâmetros utilizados foram: corrente de 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min, distância do bico peça de 36 mm.

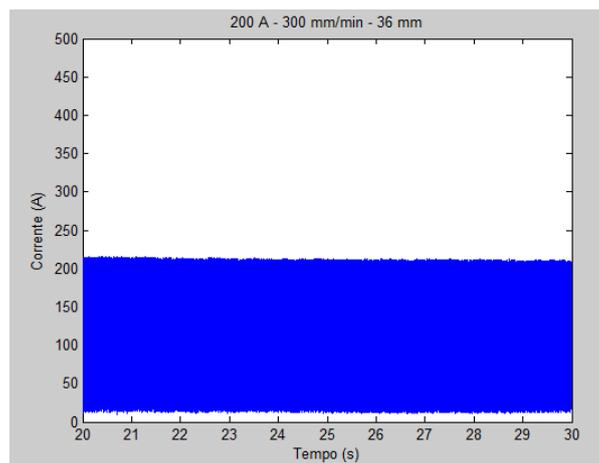


Figura 6: Gráfico de corrente para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm
Fonte: Autoria própria

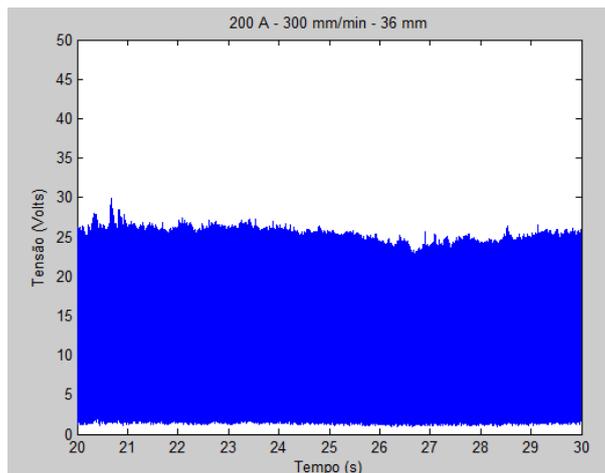


Figura 7: Gráfico de tensão para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm.
Fonte: Autoria própria

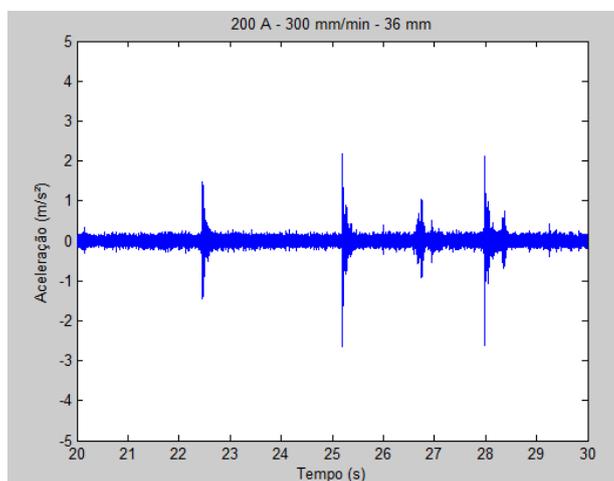


Figura 8: Gráfico de aceleração para 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distancia de pico peça de 36 mm.
Fonte: Autoria própria

Podemos notar que no gráfico da Figura 6, o valor de corrente se manteve constante em aproximadamente 210 A e o valor de corrente RMS é de 166.0988 A. O gráfico da Figura 7 mostra um pouco de instabilidade na tensão, contudo o valor RMS da tensão é de 20,1648 V. No gráfico da Figura 8, podemos notar a instabilidade da aceleração causada durante o momento de soldagem no tempo estipulado.

Na Figura 9, 10 e 11 estão representados os gráficos de corrente, tensão e aceleração respectivamente. Para esses gráficos os parâmetros utilizados foram: corrente de 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min, distância do bico peça de 30 mm.

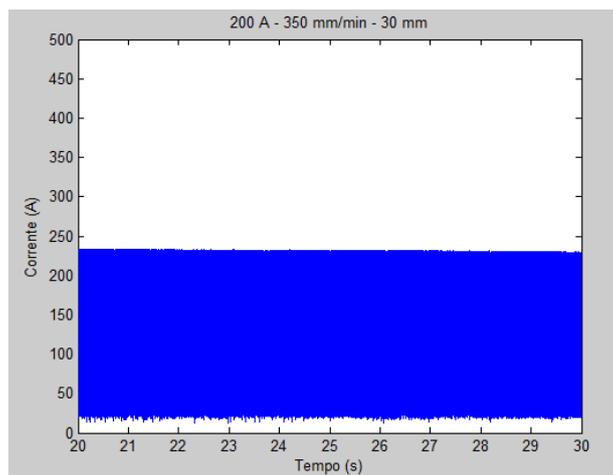


Figura 9: Gráfico de corrente para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

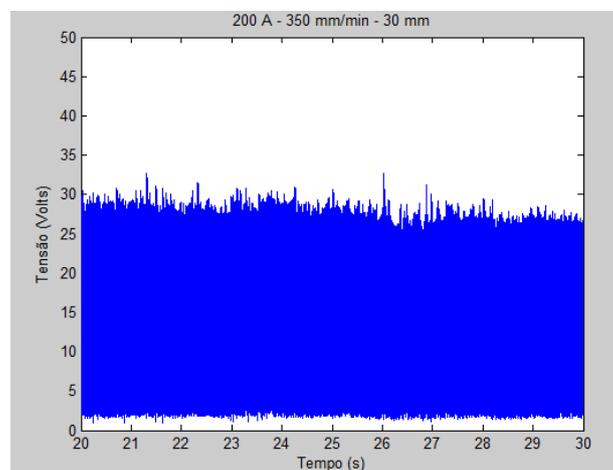


Figura 10: Gráfico de tensão para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

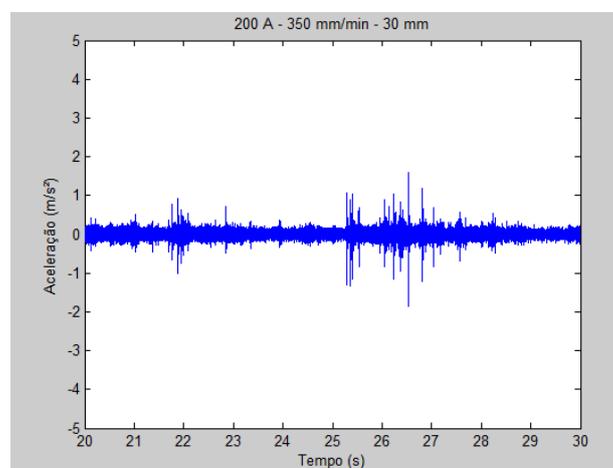
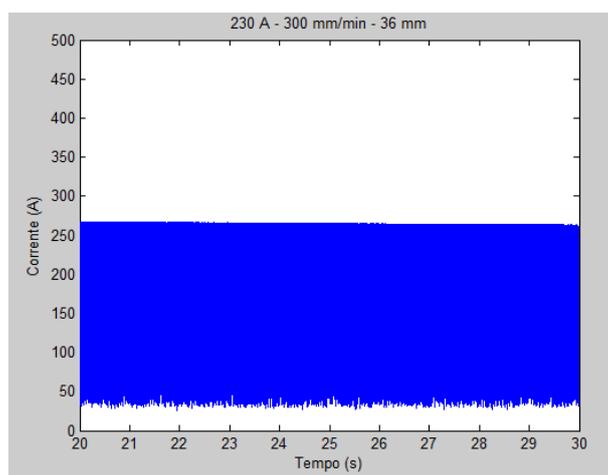


Figura 11: Gráfico de aceleração para 200 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

No gráfico da Figura 9 o valor da corrente manteve constante em aproximadamente 230 A, ao calcular o valor de corrente RMS, obtivemos uma corrente de 182,5528 A. Com o aumento da velocidade de soldagem e diminuição de soldagem, os valores de tensão e aceleração dos gráficos das Figuras 10 e 11 respectivamente estão mais instáveis que os valores de tensão e corrente dos gráficos das Figuras 7 e 8 respectivamente. Contudo, a variação dos valores de aceleração mostrados no gráfico da Figura 11 são menores que os valores de aceleração mostrados no gráfico da Figura 8.

Na Figura 12, 13 e 14 estão representados os gráficos de corrente, tensão e aceleração respectivamente. Para esses gráficos os parâmetros utilizados foram: corrente de 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min, distância do bico peça de 36 mm.



**Figura 12: Gráfico de corrente para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.
Fonte: Autoria própria**

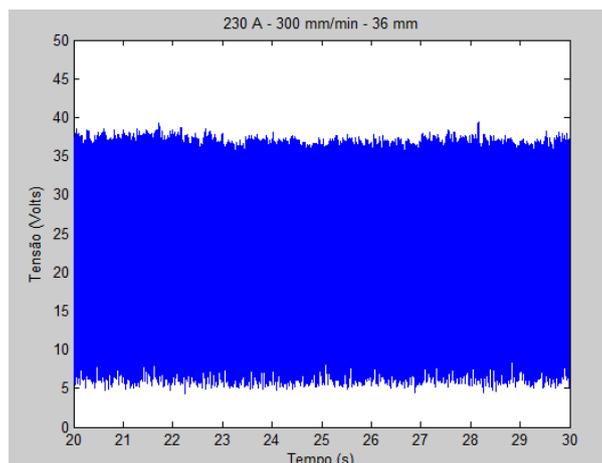


Figura 13: Gráfico de tensão para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.

Fonte: Autoria própria

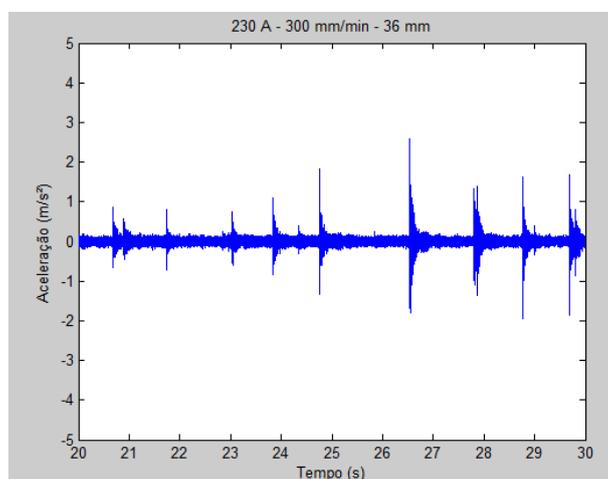


Figura 14: Gráfico de aceleração para 230 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm.

Fonte: Autoria própria

No gráfico da Figura 12 o valor de corrente se manteve constante em 260 A, enquanto para a o gráfico de tensão mostrado na Figura 13 os valores variavam em torno de 37 V. No gráfico de aceleração mostrado na Figura 14 podemos notar alguns picos em tempos bem determinados, no tempo de aproximadamente 27s, o pico atingi um valor de 3 m/s².

Na Figura 15, 16 e 17 estão representados os gráficos de corrente, tensão e aceleração respectivamente. Para esses gráficos os parâmetros utilizados foram: corrente de 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min, distância do bico peça de 30 mm.

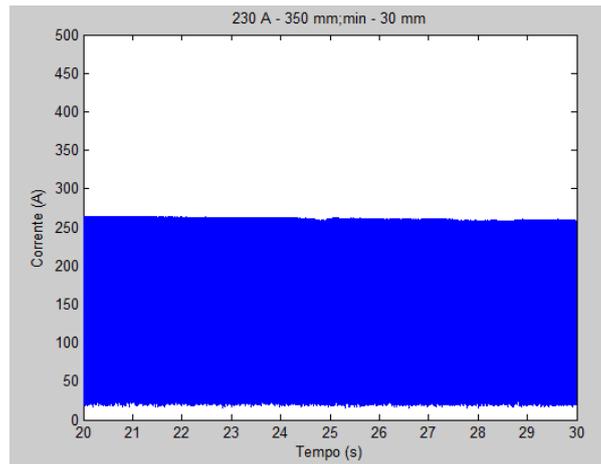


Figura 15: Gráfico de corrente para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

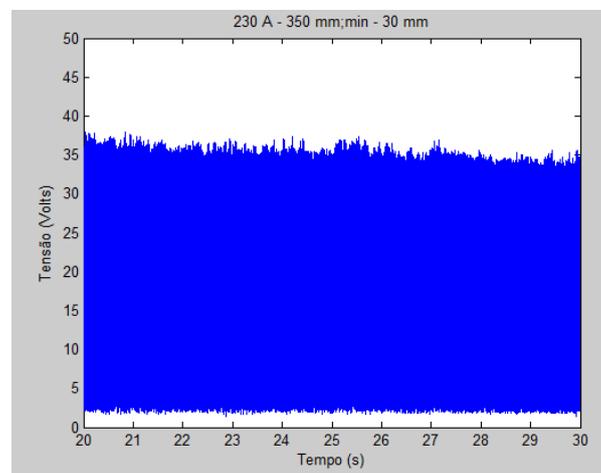


Figura 16: Gráfico de tensão para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

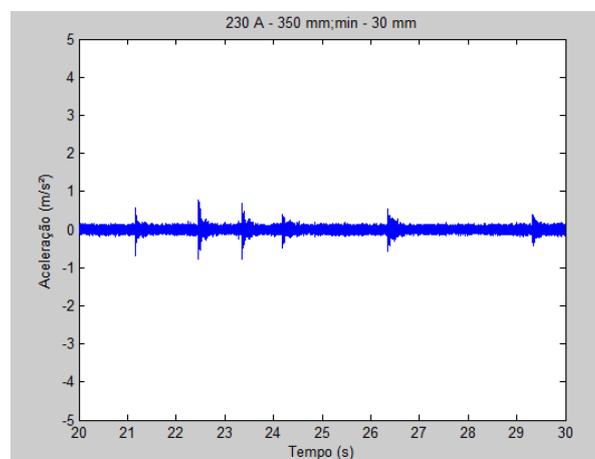


Figura 17: Gráfico de aceleração para 230 A, velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.
Fonte: Autoria própria

No gráfico de corrente da Figura 15 temos uma corrente de 260 A, já no gráfico de tensão da Figura 16 os valores de tensão são variáveis em aproximadamente 37 V, os mesmos valores obtidos no gráfico de tensão da figura 13. Podemos notar que no gráfico de aceleração da Figura 17 os picos de aceleração são bem menores, atingindo um valor máximo de aproximadamente que 1 m/s^2 no tempo de 21s e 23s.

Todos gráficos apresentados anteriormente foram gerados pelos dados coletados dos experimentos com corrente convencional. A seguir serão discutidos os valores de RMS obtidos em todos os gráficos.

Na Tabela 8 estão mostrados todos os dados que foram analisados dos gráficos gerados. Analisando os dados para corrente convencional com valor de corrente de 200 A, velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do bico peça de 36 mm, obteve-se um valor de corrente RMS de 166,0988 A, uma tensão RMS de 20,1648 V e aceleração RMS de $0,1150 \text{ m/s}^2$. Mantendo o valor da corrente em 200 A, foi aumentado a velocidade de soldagem para 350 mm/min e a distância do bico peça foi diminuída para 30 mm, observa-se que os valores de corrente RMS e de tensão RMS aumentaram para 188,5528 A e 22,1727 V respectivamente enquanto que o valor de aceleração RMS diminuiu para $0,0813 \text{ m/s}^2$.

Porém, ao fazer a mesma análise utilizando a corrente de 230 A, no primeiro experimento com velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do pico peça de 36 mm e no segundo experimento com velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do pico peça de 30 mm, podemos notar que os valores de corrente RMS, tensão RMS e aceleração RMS diminuíram de 213,2463 A, 30,3707 V e $0,0975 \text{ m/s}^2$ para 204,2958 A, 27,8079 V e $0,0582 \text{ m/s}^2$ respectivamente.

Ao analisar os dados de aceleração RMS e comparar com os gráficos de aceleração apresentados anteriormente, podemos notar que o gráfico que apresentou menor valor de aceleração RMS possuía a melhor estabilidade na aceleração. Com isso podemos concluir que ao aumentar a corrente de soldagem, a velocidade de soldagem e diminuir a distância do bico peça, a estabilidade no gráfico de aceleração foi melhor.

A Figura 18 mostra os valores de aceleração RMS para as 4 possibilidades de parâmetros trabalhados no projeto em forma de gráfico de

barra. Sendo A para corrente de 200 A com velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do bico peça de 30 mm, B para corrente de 200 A com velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 36 mm, C para corrente de 230 A com velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do bico peça de 30 mm, D para corrente de 230 A com velocidade de soldagem de 340 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.

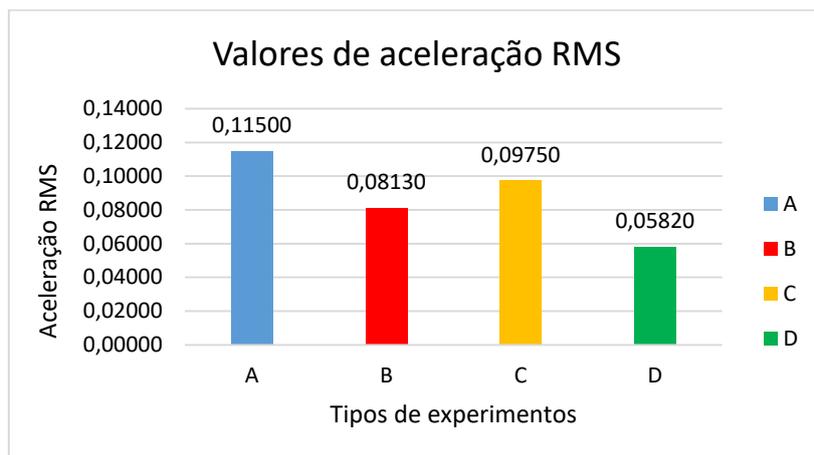


Figura 18: Gráfico de barra para valores de aceleração em RMS
Fonte: Autoria própria.

Tabela 8: Dados de corrente (RMS), tensão (RMS) e aceleração (RMS) para os gráficos gerados no tempo de 20s a 30s.

Condições dos experimentos						
Ampere s (A)	Velocidade de soldagem (mm/min)	Distancia bico da peça (mm)	Hz	Corrente RMS (A)	Tensão RMS (V)	Aceleração RMS (m/s²)
200	300	36	-	166.0988	20.1648	0.1150
200	350	30	-	182.5528	22.1727	0.0813
230	300	36	-	213.2463	30.3707	0.0975
230	350	30	-	204.2958	27.8079	0.0582

Fonte: Autoria própria

A análise dos dados também foi feita no domínio da frequência para que se possa ter um detalhamento melhor dos dados obtidos. Para analisar os dados nesse domínio, foi necessário a utilização da Transformada Rápida de Fourier por meio de programação utilizando o software MATLAB.

Inicialmente os dados foram trabalhados a uma frequência de 8000 Hz, contudo o resultado encontrado não foi satisfatório. A Figura 19 e 20 demonstra os resultados para correntes aplicadas de 200 A. Sendo que a figura

19 mostra o resultado para velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância do bico peça de 36 mm, a figura 20 mostra o resultado para velocidade de soldagem de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.

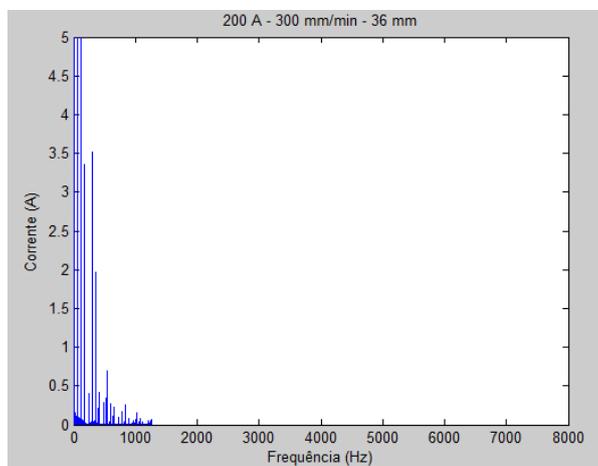


Figura 19: Gráfico de corrente para frequência de 8000 Hz com velocidade de soldagem de 300 mm/min.
Fonte: Autoria própria

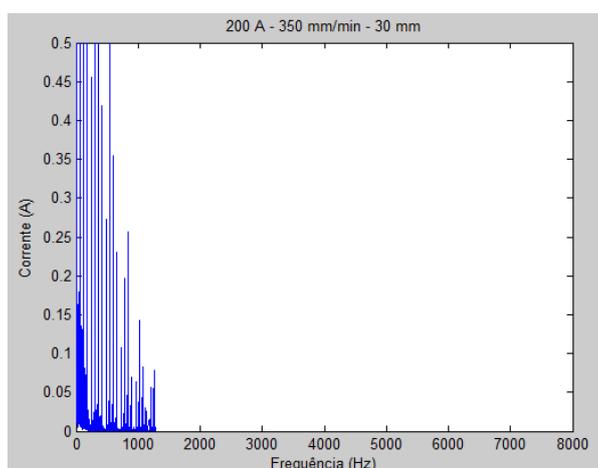


Figura 20: Gráfico de corrente para frequência de 8000 Hz com velocidade de soldagem de 350 mm/min.
Fonte: Autoria própria

Devido à dificuldade de analisar os dados a 8000 Hz, a frequência foi reduzida para 200 Hz. Esse novo valor foi definido com base no valor da frequência da rede elétrica, definido em 60 Hz. As Figuras 21 e 22 demonstram os resultados encontrados para a mesma base de dados das figuras 19 e 20 respectivamente.

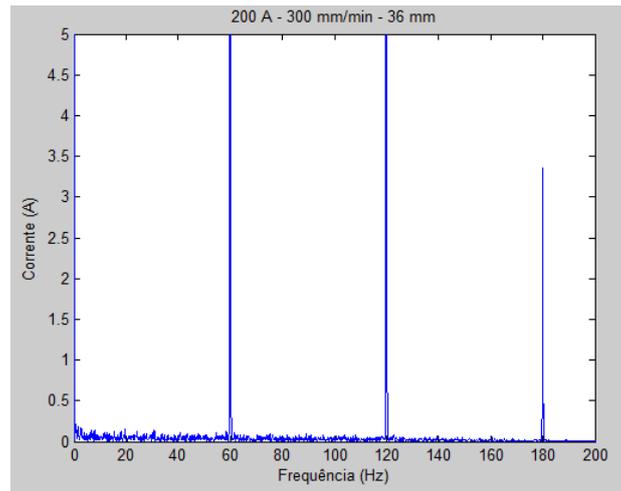


Figura 21: Gráfico de corrente no domínio da frequência de 200 Hz com velocidade de soldagem de 300 mm/min.
Fonte: Autoria própria

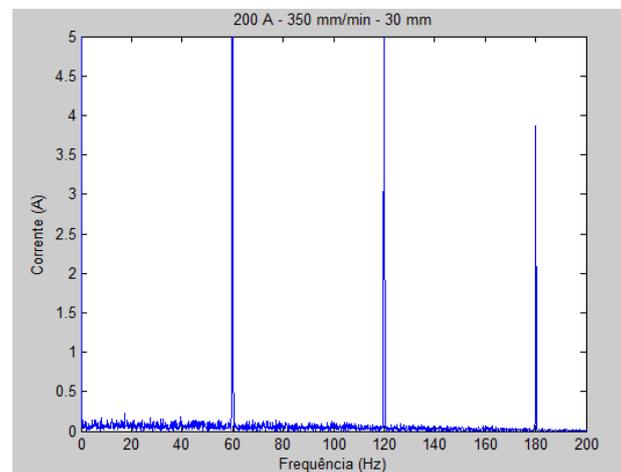


Figura 22: Gráfico de corrente no domínio da frequência de 200 Hz com velocidade de soldagem de 350 mm/min.
Fonte: Autoria própria

Os gráficos de corrente no domínio da frequência também foram gerados para valores de corrente de 230 A. A Figura 23 mostra o gráfico para velocidade de solda de 300 mm/min e distância do bico peça de 36 mm, a Figura 24 mostra o gráfico para velocidade de solda de 350 mm/min e distância do bico peça de 30 mm.

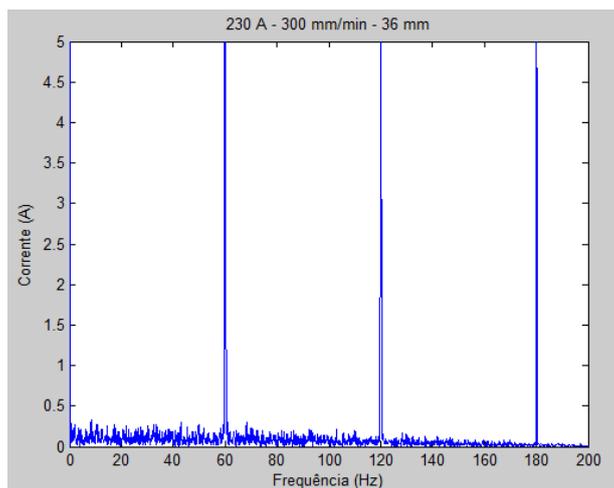


Figura 23: Gráfico de corrente no domínio da frequência para 230 A com velocidade de soldagem de 300 mm/mn.

Fonte: Autoria própria

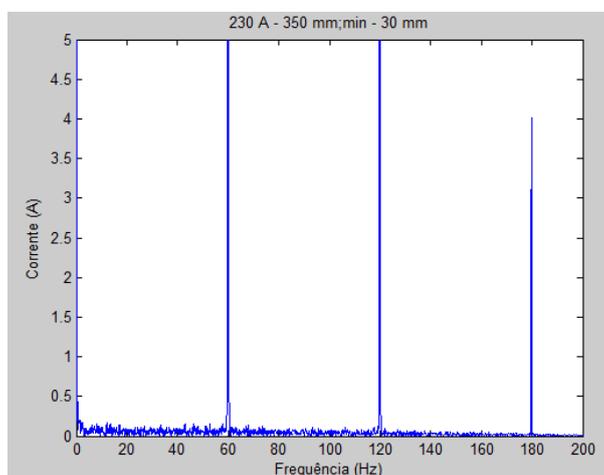


Figura 24: Gráfico de corrente no domínio da frequência para 230 A com velocidade de soldagem de 350 mm/min.

Fonte: Autoria própria

Ao analisar os gráficos gerados de corrente no domínio da frequência, podemos notar que ocorre um elevado valor em 60 Hz, 120 Hz, 180 Hz, o que mostra o momento que a corrente sofre um alto valor para realizar a transferência do eletrodo para o metal base. É possível definir que esse ciclo é constante e sempre se repete de 60 em 60 Hz. O que mostra que a gota está sendo transferida na mesma frequência da rede elétrica 60 Hz.

Assim como para análise do gráfico de corrente no domínio da frequência foi necessário baixar a frequência de 8000 Hz para 200 Hz, ao analisar os gráficos de aceleração no domínio da frequência o valor máximo foi diminuído para 500 Hz. Esse valor foi definido levando em consideração o valor

de frequência da rede elétrica, 60 Hz, contudo o valor foi maior para ter maior entendimento na análise dos gráficos de frequência por aceleração.

Para fazer a análise dos dados foi utilizado a Transformada Rápida de Fourier por meio de programação utilizando o software MATLAB.

As Figuras 25 e 26 demonstram os gráficos de aceleração no domínio da frequência para valor de corrente de 200 A e as Figuras 27 e 28 demonstram os gráficos de aceleração no domínio da frequência para valor de corrente de 230 A.

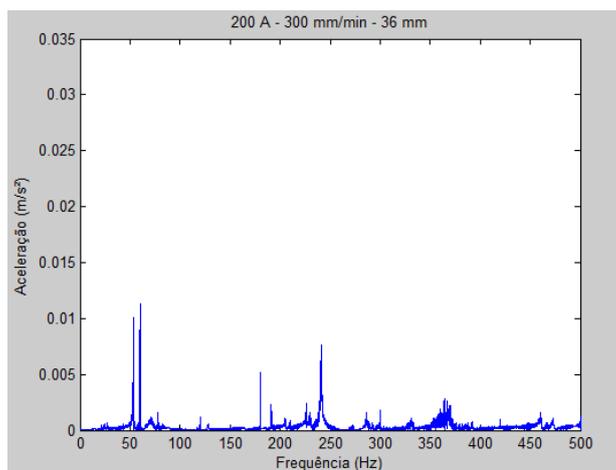


Figura 25: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 200 A e velocidade de soldagem de 300 mm/min. Fonte: Autoria própria

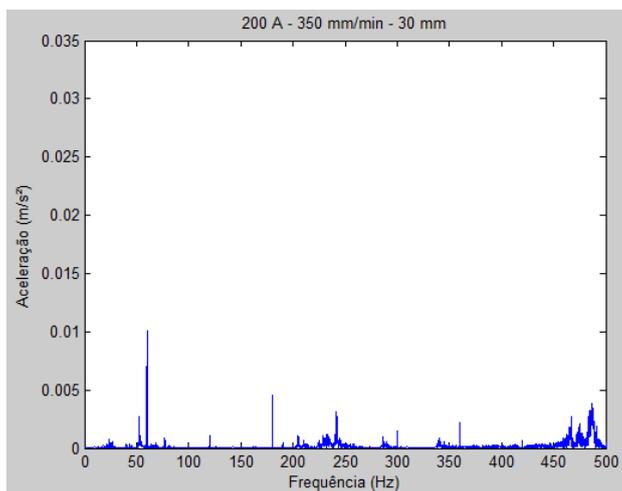


Figura 26: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 200 A e velocidade de soldagem de 300 mm/min. Fonte: Autoria própria

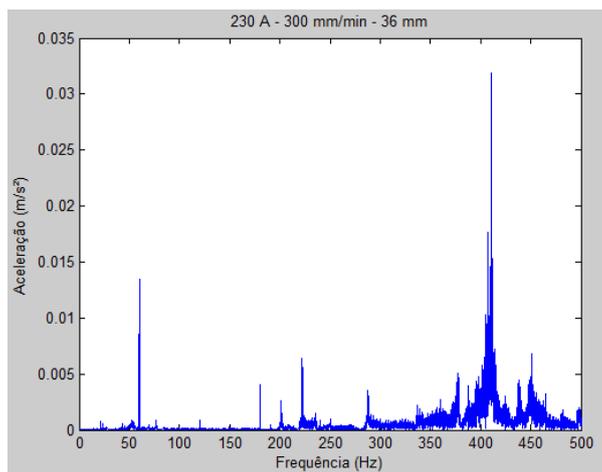


Figura 27: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 230 A e velocidade de soldagem 350 mm/min. Fonte: Autoria própria

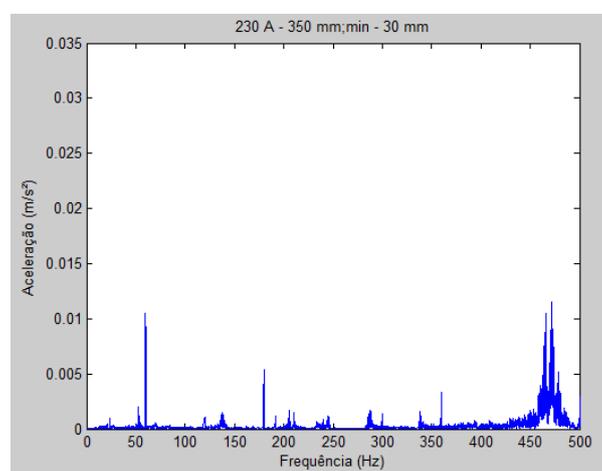


Figura 28: Gráfico de aceleração no domínio da frequência para corrente 230 A e velocidade de soldagem de 300 mm/min. Fonte: Autoria própria

Ao analisar os gráficos de aceleração podemos notar que o primeiro pico foi gerado a 60 Hz, o que prova que a transferência foi exatamente nesse ponto. Isso ocorre devido a vibração causada pela gota ao se chocar na poça de fusão, ARATA (1981) relatou esse acontecimento ao utilizar um acelerômetro na soldagem.

É possível notar que na corrente aplicada de 200 A, o gráfico da Figura 25 aparece com mais picos do que o gráfico da Figura 26. E quando aplicada uma corrente de 230 A o gráfico da Figura 27 apresenta maior concentração de picos do que o gráfico da Figura 28. Essa comparação é feita levando em consideração que nos gráficos com menos picos e menor

concentração dos mesmos, a velocidade de solda foi aumentada e distância do bico peça foi diminuída.

Ao se comparar os gráficos de corrente com os gráficos de aceleração é possível notar que os picos sempre ocorrem no mesmo instante de frequência e que esses picos ocorrem ciclicamente num intervalo de tempo. Segundo a teoria quando uma gota do metal se solta do eletrodo, processo de transferência globular, ou quando uma gota necessita encostar na poça de fusão para se soltar, transferência curto-circuito, cria-se uma pequena instabilidade no arco e gera um alto valor de corrente.

Segundo ARATA (1981) os picos vão aparecer ciclicamente no gráfico de aceleração, devido a transferência contínua do eletrodo para o metal de base. Ao analisar os gráficos podemos notar que existem picos que aparecem fora do ciclo de 60 Hz. Esses picos podem ser explicados devido a respingos que ocorrem no material durante o processo de soldagem, sabendo que esses respingos também provocam a vibração do metal de base, podemos definir que quando menor a quantidade de picos fora do ciclo menor será a quantidade de respingos.

No gráfico da Figura 25, podemos notar 2 picos próximos a frequência de 60 Hz e uma variação maior de picos na frequência de 350 Hz. No gráfico da Figura 26 a variação maior de picos ocorreu na frequência acima de 450 Hz. Nos gráficos com corrente de 230 A, podemos notar que houve uma grande variação de picos a partir de 350 Hz nos dois gráficos, porém, quando foi utilizado a menor velocidade de soldagem e maior distância do bico peça o pico atingiu uma aceleração de 0.035 m/s^2 , que pode ser caracterizado por uma grande vibração no metal base.

5. CONCLUSÕES

Na análise dos dados com o auxílio de um acelerômetro foi possível ver exatamente em quais tempos ocorreram a deposição de material na poça de fusão. Isso ocorre porque ao se chocar uma gota do metal no metal base, será gerado uma vibração que será captada pelo acelerômetro.

É possível notar que quando ocorre uma oscilação no gráfico de corrente, ocorre uma oscilação no gráfico de aceleração, exatamente no mesmo ponto.

Ao analisar a morfologia do cordão de solda, podemos notar que os cordões que apresentaram melhores valores foram os feitos ao utilizar a corrente de 230 A e conseqüentemente os melhores resultados nos gráficos de aceleração foram obtidos ao utilizar o mesmo valor de corrente, ou seja, podemos encontrar no gráfico picos que se repetem ciclicamente com valores fixos de frequência e com baixo valor de aceleração. Esses baixos valores de aceleração no gráfico de frequência por aceleração demonstram que ocorreu pouca vibração na poça de fusão.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Depois de ter feito o estudo desse trabalho, alguns trabalhos futuros podem surgir, como:

- Análise de vibração na transferência do metal para o metal de base;
- Variações de eletrodo no revestimento de solda para o metal SAE 1020;

REFERÊNCIAS

ARATA, Yoshiaki; et al. **Investigation on Welding Arc Sound: Vibration Analysis of Base Metal during Welding**. Osaka University Knowledge Archive: 1981.

ESAB. **Arames Tubulares**. Disponível em: <http://www.krahenbuhl.com.br/catalogos/pdfs_acessorios/ESAB/catalogo_tubulares.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2016.

GERDAU. **Manual de aços**. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalago_acos_gerdau.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2016.

KOLBECO, **O ABC da soldadura por arco**. Disponível em: <http://www.kobelco-welding.jp/portuguese/education-center/abc/ABC_1998-03.html>. Acesso em 28 de setembro de 2016.

KOLBECO, **O ABC da soldadura por arco**. Disponível em: <http://www.kobelco-welding.jp/portuguese/education-center/abc/ABC_1999-01.html>. Acesso em 28 de setembro de 2016.

LIMA, Adelmi Coelho. FERRARESI, Valtair Antonio. **Análise da resistência ao desgaste de revestimento duro aplicado por soldagem em facas picadoras de cana-de-açúcar**. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiânia – IFG. Goiás.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem e técnicas conexas: processos**. Porto Alegre: ed.do autor, c1996. 477p.

MMF. **Industrial Accelerometers**. Disponível em: <http://www.mmf.de/industrial_accelerometers.htm>. Acesso em 20 de maio de 2016.

MAARQUES, Paulo Villani. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007. 362p.

RAO, S., **Vibrações Mecânicas**. São Paulo: Pearson Education do Brasil. 2009

SANCHES, Ricardo Almeida. **Defeitos em solda detectáveis através de inspeção visual**. 2010. 62 f. Monografia em Engenharia Civil – Centro Universitário Luterano de Manaus, Manaus. 2010.

SENAI; ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa (Org.) **Soldagem**. São Paulo: SENAI, 1997. 553p.

SEQUEIRA, Cláudia. **Sensores para medições de Vibrações Mecânicas: Acelerômetros**. Artigo científico. 2013.

Suyama, Daniel Iwao. **Uma contribuição ao estudo do torneamento interno em aços endurecidos**. 2014. 136 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2014.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Curitiba: UTFPR, 2008.

WAINER, Emílio. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992.

WANG, W., LIU, S. and JONES, J.E. 1995 Flux Cored Arc Welding: Arc Signals, Processing and metal Transfer Characterization, *Welding Journal* 74(11): 369s-377s.