

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Willian Brandão de Souza

**Estudo exploratório da influência dos picos de corrente de soldagem na
estabilidade do processo de soldagem GMAW curto-circuito**

Juiz de Fora
2020

Willian Brandão de Souza

Estudo exploratório da influência dos picos de corrente de soldagem na estabilidade do processo de soldagem GMAW curto-circuito

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof . Dr. Moisés Luiz Lagares Júnior

Juiz de Fora

2020

WILLIAN BRANDÃO DE SOUZA

Estudo exploratório da influência dos picos de corrente de soldagem na estabilidade do processo de soldagem GMAW curto-circuito

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 06 de Novembro de 2020

BANCA EXAMINADORA

Dr. Moisés Luiz Lagares Júnior - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Raphael Fortes Marcomini
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Carlos Renato Pagotto
Universidade Federal de Juiz de Fora

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Willian Brandão de.

Estudo exploratório da influência dos picos de corrente de soldagem na estabilidade do processo de soldagem GMAW curto-circuito. / Willian Brandão de Souza. -- 2020.

64 p. : il.

Orientador: Moisés Luiz Lagares Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2020.

1. Estabilidade. 2. Soldagem. 3. GMAW-CC. I. Júnior, Moisés Luiz Lagares, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me guiar pelo caminho certo e ter me dado saúde e tranquilidade para superar os desafios.

Agradeço aos meus familiares e amigos por estarem presentes ao longo da minha trajetória acadêmica, me fornecendo suporte em todos os momentos.

Agradeço à Universidade e aos meus professores pelos ensinamentos ao longo do curso, e, em especial, ao meu orientador por ter aceitado me auxiliar na realização deste trabalho.

RESUMO

A estabilidade do arco de soldagem tem sido estudada de diferentes formas, visando compreender melhor a influência dos parâmetros na qualidade final do processo. Desse modo, existem pesquisas as quais buscam, através de análises estatísticas dos sinais de corrente e tensão de reignição do arco de soldagem, avaliar tal estabilidade. Histogramas e cálculos de estatísticas dos parâmetros tempo de arco aberto e tempo de curto circuito são importantes meios de avaliação da estabilidade dos processos de soldagem. Todavia, no estudo estatístico da estabilidade, ainda são pouco explorados os temas relacionados com a distribuição dos picos de corrente durante o processo de soldagem a arco elétrico. Dessa forma, este trabalho se propôs a efetuar um estudo exploratório da distribuição dos picos de corrente durante o arco elétrico no processo GMAW-CC, por meio da variação da velocidade de alimentação. Tais estudos foram realizados através do uso de métodos estatísticos, como o qui-quadrado e o desvio padrão, buscando definir um valor de velocidade o qual pudesse garantir a semelhança estatística entre os cordões de solda. Os sinais de corrente utilizados no trabalho foram avaliados com o uso de um algoritmo desenvolvido em Matlab©. Com isso, foi possível identificar, no decorrer do trabalho, a velocidade de 3,5 m/min como valor que pode ser considerado ótimo. Além disso, se observou-se que para velocidades entre 3,3 e 3,8 m/min os valores de desvio padrão da corrente foram semelhantes.

Palavras-chave: Estabilidade. Soldagem. GMAW-CC.

ABSTRACT

The stability of the welding arc has been studied in different ways, to better understand the influence of the parameters on the final quality of the process. Thus, there are researches that seek, through statistical analysis of the current and voltage signals of reignition of the welding arc, evaluate such stability. Histograms and statistical calculations of open arc time parameters and short circuit time are important means of assessing the stability of the welding processes. However, in the statistical study of stability, the issues related to the distribution of current peaks during the electric arc welding process have not been fully explored. Thus, this work proposed to perform an exploratory study of the distribution of current peaks during the electric arc in the GMAW-CC process, by varying the wire feed rate. Such studies were carried out using statistical methods, such as chi-square and standard deviation, seeking to define a speed value that could guarantee the statistical similarity between the weld beads. The current signals used in the work were evaluated using an algorithm developed in Matlab©. Thereby, it was possible to identify, during the work, the speed of 3.5 m/min as a value that can be considered optimal. Moreover, it was observed that for speeds between 3.3 and 3.8 m/min the standard deviation values of the current were similar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquemática da soldagem MIG-MAG	15
Figura 2 - Forças governantes da transferência metálica no processo de soldagem MIG/MAG.....	17
Figura 3 - Ilustração do Fenômeno de instabilidade da coluna de metal líquido conforme a Teoria de Instabilidade Pinch	18
Figura 4 - Oscilogramas típicos de corrente de soldagem (I_w) e tensão do arco (U_a) durante a soldagem GMAW com transferência por curto circuito em função do comportamento da gota em crescimento e destacamento.....	19
Figura 5 - Sistema de Aquisição de dados.....	24
Figura 6 - Oscilograma para WFS de 3,5 m/min.....	25
Figura 7 - Fluxograma com o algoritmo utilizado nesse trabalho.....	27
Figura 8 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 6 A.	28
Figura 9 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 5 A.	29
Figura 10 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 4 A.	29
Figura 11 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 3 A.	30
Figura 12 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 6 A.	30
Figura 13 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 5 A.	31
Figura 14 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 4 A.	31
Figura 15 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 3 A.	32
Figura 16 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 6 A.....	33
Figura 17 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 5 A.....	33
Figura 18 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 4 A.....	34
Figura 19 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 3 A.....	34

Figura 20 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 1,5 m/min.	35
Figura 21 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 2,0 m/min.	35
Figura 22 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 2,5 m/min.	36
Figura 23 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,0 m/min.	36
Figura 24 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,3 m/min.	37
Figura 25 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,5 m/min.	37
Figura 26 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,8 m/min.	38
Figura 27 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 4,0 m/min.	38
Figura 28 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 4,5 m/min.	39
Figura 29 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 5,0 m/min.	39
Figura 30 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 5,5 m/min.	40
Figura 31 - Desvio Padrão para intervalo de 6 A.	41
Figura 32 - Desvio Padrão para intervalo de 5 A	42
Figura 33 - Desvio Padrão para intervalo de 4 A	42
Figura 34 - Desvio Padrão para intervalo de 3 A	43
Figura 35 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 6 A.	44
Figura 36 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 5 A.	45
Figura 37 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 4 A.	46
Figura 38 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 3 A.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns valores de qui-quadrado crítico, onde α é o grau de significância e φ é o grau de liberdade.	22
Tabela 2- Parâmetro de soldagem usados nos experimentos.	24
Tabela 3 - Distribuição Qui-Quadrado	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
GMAW-CC	Gas Metal Arc Welding – Curto Circuito
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
TIG	Tungsten Inert Gas
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1.	OBJETIVOS.	13
1.1.1.	OBJETIVO GERAL.	13
1.1.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO.	13
1.2.	JUSTIFICATIVA.	13
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	15
2.1.	SOLDAGEM GMAW-CC.....	15
2.1.1.	FORMAÇÃO DA GOTA.....	16
2.1.1.1.	MODELO DE EQUILÍBRIO DE FORÇAS ESTÁTICAS.....	16
2.1.1.2.	INSTABILIDADE PINCH.....	17
2.1.2.	MODOS DE TRANSFERÊNCIA.....	18
2.1.3.	MIG-CC.....	18
2.2.	ESTABILIDADE DO PROCESSO MIG CURTO CIRCUITO.....	19
2.3.	TESTE DE QUI-QUADRADO.....	20
3.	METODOLOGIA.....	23
3.2.	CONJUNTO DE DADOS.....	25
3.3.	ELABORAÇÃO DO ALGORITMO.....	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1.	INFLUÊNCIA NOS GRAUS DE LIBERDADE.....	28
4.2.	VALORES DE P_VALUE.....	32
4.3.	DESVIO PADRÃO.....	41

		12
4.4.	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO.	43
5.	CONCLUSÕES.	48
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.	48
6.	REFERÊNCIAS.	49
	APÊNDICE A – ALGORITMO PRINCIPAL.	51
	APÊNDICE B – ALGORITMO DE AJUSTE DOS DADOS.	54
	APÊNDICE C – FUNÇÃO PARA CÁLCULO DE CORRENTE EFICAZ E MÉDIA.	55
	APÊNDICE D – FUNÇÃO PARA SEPARAR EM 2 VETORES.	56
	APÊNDICE E – FUNÇÃO PARA VERIFICAR O MAIOR VALOR DE PICO.	57
	APÊNDICE F – FUNÇÃO PARA VERIFICAR O MENOR VALOR DO PICO.	58
	APÊNDICE G – FUNÇÃO PARA CONTAGEM DOS PICOS.	59
	APÊNDICE H – FUNÇÃO PARA CÁLCULO DE OCORRÊNCIAS ESPERADAS.	60
	APÊNDICE I – FUNÇÃO PARA O CÁLCULO DE QUI-QUADRADO.	61
	ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO.	62
	ANEXO B – TERMO DE AUTENTICIDADE.	64

1. Introdução.

O processo de soldagem é um fenômeno físico-químico muito importante em grande parte das indústrias. No entanto, ainda há muito a se explorar no que diz respeito à estabilidade desse método. Nesse sentido, existem diversos estudos os quais buscam identificar o que influencia na estabilidade do processo.

O conhecimento sobre a estabilidade dessa atividade é importante, para que se possa garantir que, independente do operador do equipamento, o cordão de solda irá apresentar as mesmas características em qualquer lugar, desde que mantidos os mesmos parâmetros. Dessa forma, será possível garantir a qualidade do processo.

Sendo assim, este trabalho visa identificar a influência dos picos de corrente no processo Gas Metal Arc Welding por curto-circuito (GMAW-CC).

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral.

O objetivo geral desse trabalho consiste em analisar a estabilidade do arco elétrico no processo GMAW-CC por meio de métodos estatísticos utilizando a ferramenta Matlab©.

1.1.2. Objetivo Específico.

- Definir um valor de velocidade de alimentação que apresente cordões de solda com semelhança estatística dos sinais de picos de corrente.
- Avaliar o comportamento dos picos de corrente com a variação da velocidade de alimentação.
- Comparar os resultados com outros estudos já realizados.

1.2. Justificativa.

Devido à necessidade de se garantir que a soldadura seja semelhante ao longo de todo o procedimento, faz-se necessário o estudo das influências de diversos parâmetros,

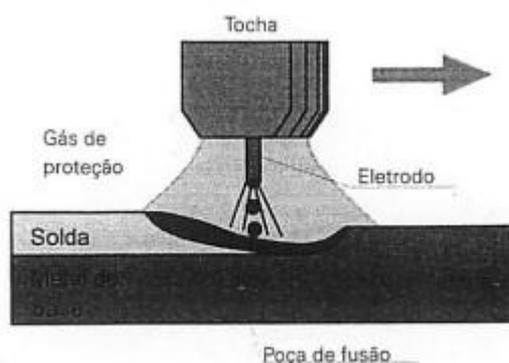
com a finalidade de se assegurar a uniformidade do cordão de solda ao longo de toda a atividade. Dessa maneira, esse trabalho se justifica pelo melhoramento da qualidade do processo, identificando o parâmetro “ótimo” do valor de corrente.

2. Fundamentação Teórica.

2.1. Soldagem GMAW-CC.

A soldagem GMAW é um processo que utiliza um gás de proteção, que pode ser inerte ou ativo, para união de peças metálicas através do aquecimento pelo arco elétrico. Diferentemente da soldagem TIG, essa técnica usa um eletrodo consumível para a criação do arco elétrico (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). O processo MIG foi criado com o intuito de remover as limitações existentes na soldagem TIG e, a princípio, estaria voltado para a soldagem de metais de grande espessura, isto é, com mais de 6 mm. Com o passar do tempo, surgiram melhorias e o MIG se tornou um procedimento de grande versatilidade para a soldagem de metais em geral. (GEARY; MILLER, 2013).

Figura 1 - Esquemática da soldagem MIG-MAG



Fonte: Adaptado MARQUES; MODENESI; BRACARENSE (2009, p. 234)

Atualmente, devido aos avanços tecnológicos, há a necessidade de automatizar os processos, a fim de torná-los mais produtivos. Nesse sentido, a soldagem GMAW-CC é largamente utilizada na indústria, uma vez que oferece uma maior automatização, podendo ser utilizada por robôs, como ocorre na automobilística. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

A soldagem GMAW-CC ocorre com a transferência da gota de metal arame-eletrodo fundido para a poça de fusão, a qual se forma através do arco elétrico no metal a ser soldado. Diferentes fatores influenciam a formação da gota, como a velocidade de

alimentação do arame, a tensão elétrica e, até mesmo, as forças, a exemplo da gravidade. (SCOTTI; PONOMAREV, 2014). Desse modo, para entender melhor o processo, é importante conhecer os fatores que podem influenciá-lo.

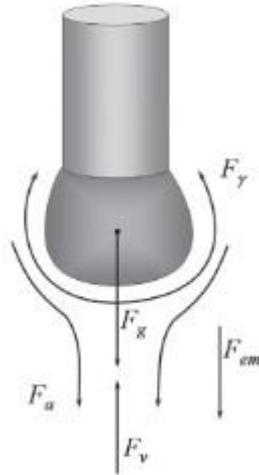
2.1.1. Formação da Gota.

Um ponto importante a se destacar é a formação da gota de transferência metálica, já que a principal característica que diferencia os tipos de soldagem MIG/MAG é a transferência de metal líquido. Nesse caso, existem duas teorias que podem ajudar a explicar a formação da gota de transferência: o Modelo de Equilíbrio das Forças Estáticas e o Efeito Pinch. Em contrapartida, nenhum desses modelos consegue ser comprovado na prática. (SCOTTI; PONOMAREV, 2014).

2.1.1.1. Modelo de Equilíbrio de Forças Estáticas.

Tal modelo se baseia no equilíbrio das forças, o qual regula a formação da gota. Nesse contexto, as principais forças que agem nesse equilíbrio são a força gravitacional (F_g); a força eletromagnética (F_{em}); a força devido a tensão superficial do metal fundido (F_γ); a força de arraste dos gases (F_a) e a força de vaporização (F_v) (SCOTTI, PONOMAREV, 2014).

Figura 2 - Forças governantes da transferência metálica no processo de soldagem MIG/MAG.



Fonte: Adaptado SCOTTI; PONOMAREV (2014, p. 122)

2.1.1.2. Instabilidade Pinch

O efeito Pinch refere-se ao estrangulamento da gota de metal líquido na ponta do eletrodo pelas forças de Lorentz e ocorre quando a corrente de soldagem é superior à corrente de transição. O estudo de (SIMPSON; ZHU PEIYUAN, 1995) apresenta cálculos que ilustram essa teoria.

Figura 3 - Ilustração do Fenômeno de instabilidade da coluna de metal líquido conforme a Teoria de Instabilidade Pinch



Fonte: Adaptado SCOTTI; PONOMAREV (2014, p. 131)

2.1.2. Modos de transferência.

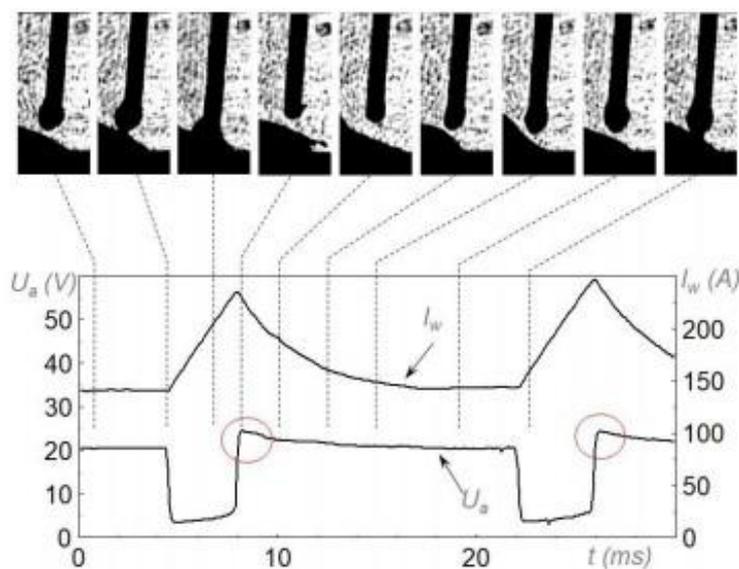
A soldagem GMAW-CC é dividida em duas grandes classes de acordo com o modo de transferência metálica, sendo elas por contato ou por voo livre. Na primeira, antes do destacamento da gota, há o contato desta com a poça de fusão. Já na segunda, o contato com a poça de fusão ocorre após a formação da gota (SCOTTI; PONOMAREV, 2014).

2.1.3. MIG-CC

A soldagem MIG-CC consiste na soldagem através do arco elétrico, geralmente com baixos valores de corrente e tensão. Nesse procedimento, o crescimento da gota em contato com a poça de fusão formada pelo arco gera um curto circuito momentâneo. Com isso, ocorre o depósito da gota do metal na poça de fusão antes de seu destacamento. Essa situação ocorre, visto que a força eletromagnética presente no

processo é baixa. A Figura 4 representa um modelo do comportamento de tensão e corrente durante esse processo.

Figura 4 - Oscilogramas típicos de corrente de soldagem de soldagem (I_w) e tensão do arco (U_a) durante a soldagem GMAW com transferência por curto circuito em função do comportamento da gota em crescimento e destacamento.



Fonte: Adaptado SCOTTI; PONOMAREV(2014, p. 135)

Pela Figura 4, pode-se observar que, quando a gota toca a poça de fusão, a corrente começa a aumentar até o ponto em que ocorre o seu destacamento. Nesse mesmo momento, o valor da tensão cai para valores mínimos, sendo o instante no qual ocorre o curto circuito.

Para que se possa garantir um cordão de solda com a melhor qualidade e a maior estabilidade possíveis, além de assegurar que o processo sempre obedeça a esse comportamento, é preciso definir muito bem os parâmetros de soldagem, como a regulagem da tensão e a velocidade de alimentação do arame.

Nesse sentido, existem alguns estudos que visam identificar como os parâmetros interferem na estabilidade do processo, bem como estabelecer os parâmetros ótimos.

2.2. Estabilidade do processo MIG curto circuito

Considerando a relevância da soldagem GMAW, é importante estudar sobre a qualidade e a estabilidade do processo. Desse modo, existem alguns estudos os quais abordam as formas de avaliar a estabilidade, bem como buscam identificar os parâmetros (ótimos) para tal.

No estudo de (SÁNCHEZ ROCA et al., 2007) avalia-se um novo índice que analisa a estabilidade do processo através da emissão acústica. Assim, por meio das ondas sonoras geradas pelo arco, seria possível determinar a qualidade da solda.

Já no estudo de (SIMPSON, 2007) é feita uma avaliação dos processos com o uso de assinaturas de imagem de voltagem e corrente para localizar falhas. Dessa forma, ao se comparar os dados de um cordão de solda com um outro preexistente e já de boa qualidade, seria possível detectar falhas presentes no novo cordão.

Já em (ZHIYONG et al., 2013) avalia-se a estabilidade do processo e a influência dos parâmetros no equilíbrio do sistema. Nesse estudo, é usado o expoente de Lyapunov para realizar as comparações. Nesse contexto, ficou definido que os parâmetros ótimos seriam aqueles com os menores valores desse expoente.

Alguns trabalhos presentes na literatura visam identificar a influência dos parâmetros de soldagem no cordão de solda, seja na qualidade, seja na estabilidade. Tal fato fica claro nos estudos de (SOUZA et al., 2011), os quais têm esses fatores como foco.

Tendo em vista a interferência dos parâmetros na estabilidade da soldagem, há trabalhos voltados a identificar valores ótimos para parâmetros específicos, como em (REZENDE et al., 2011). Nesse estudo, é usado o índice de Vilarinho de regularidade como parâmetro de avaliação da estabilidade, buscando definir o valor ótimo de tensão.

Dentro do contexto de busca por um ponto ideal para definir o valor de tensão, há o estudo de (FERREIRA et al., 2019), no qual, através do teste de qui-quadrado, identifica-se uma faixa de valores os quais garantem semelhança estatística dos valores de pico de tensão.

2.3. Teste de Qui-Quadrado.

Para a realização deste trabalho será utilizado o teste estatístico conhecido como qui-quadrado, o qual, “para a qualidade do ajuste é usado para testar se uma distribuição de frequência observada se ajusta a uma distribuição esperada.” (LARSON; FARBER, 2015).

O qui-quadrado consiste na comparação de duas amostragens: uma delas é a frequência esperada, isto é, um conjunto de valores de frequência da ocorrência de determinado acontecimento, enquanto a outra consiste no conjunto de valores que foram observados. No entanto, tais valores devem ser maiores que 5 observações.

Para que se possa realizar o cálculo, é importante conhecer não só as amostragens, mas também o número de graus de liberdade, as categorias, o qui-quadrado crítico e a significância do teste.

- Graus de Liberdade

Os graus de liberdade consistem na análise do número de categorias presentes no estudo que está sendo realizado menos um. ($k - 1$), onde k é o número de categorias.

- Categorias

São o número de grupos que podem ser formados dentro de uma análise, No estudo deste trabalho, cada categoria pode ser considerada como um intervalo no qual haverá um agrupamento dos valores. Nesse caso, os valores de pico são agrupados entre 10 e 15 A, 15 e 20 A. e assim por diante.

- Significância do teste

A significância do teste indica o valor de certeza sobre a decisão a ser tomada. Nesse sentido, existem valores tabelados, como mostra a Tabela 1, a qual indica diferentes resultados de acordo com o grau de significância do teste. Nesse caso, uma significância de 0,05, indica que a certeza do teste é de 95 por cento.

- Qui-quadrado crítico

O valor crítico de qui-quadrado crítico é um valor tabelado que tem como referência o grau de liberdade do teste em questão e o grau de significância que está sendo adotado.

Tabela 1 - Alguns valores de qui-quadrado crítico, onde α é o grau de significância e φ é o grau de liberdade.

$\alpha \backslash \varphi$	0,995	0,990	0,975	0,950
1	0,0000	0,0002	0,0010	0,0039
2	0,0100	0,0001	0,0506	0,1030
3	0,0717	0,1150	0,2160	0,3520
4	0,2070	0,2970	0,4840	0,7110
5	0,4120	0,5540	0,8310	1,1500

Fonte: Adaptado FONSECA; MARTINS (2011,p.314)

. Tabela completa no anexo

Sendo assim, inspirado no trabalho de (FERREIRA et al., 2019), que analisou os picos de tensão em um cordão de solda, este estudo utilizou a mesma ideia para analisar os picos de corrente.

Dessa forma, no tópico 3, será esclarecido como os dados foram utilizados para a realização das análises necessárias.

3. Metodologia

3.1. Procedimento experimental

O procedimento experimental foi realizado e apresentado em detalhes por (FERREIRA et al., 2019). Descreve-se, a seguir, a parametrização do processo.

Para realização do experimento foi utilizada uma fonte comercial inversora no secundário (DIGIPLUS A7 450). Os parâmetros fixados estão presentes na Tabela 2, com avanço mecanizado da tocha sobre placas de teste de aço carbono ABNT 1020 (3,2 mm de espessura e 38,1 mm de largura) e a simples deposição de metal.

As placas utilizadas foram previamente limpas para retirada de carepas de laminação, bem como foram lavadas com álcool absoluto, para que se pudesse eliminar qualquer resquício de poeira ou filmes de óleo. Como metal de adição do processo foi utilizado o AWS ER70S-6, com diâmetro de 1 mm, enquanto que, como gás de proteção, se optou pelo uso de uma mistura de Ar com 20% de CO₂ com uma vazão fixada em 16 l/min e um diâmetro do bocal da tocha de 16,0 mm. Para cada condição de velocidade de alimentação, foi depositado um cordão único de solda sobre a placa com, pelo menos, 30 segundos de deposição

Após a definição dos parâmetros do processo, pode-se iniciar os testes. Para a coleta dos dados de corrente que seriam analisados, foi utilizado o sistema de aquisição de dados SAP-4, da marca IMC soldagem, com uma taxa de aquisição de dados definida de 5000 Hz.

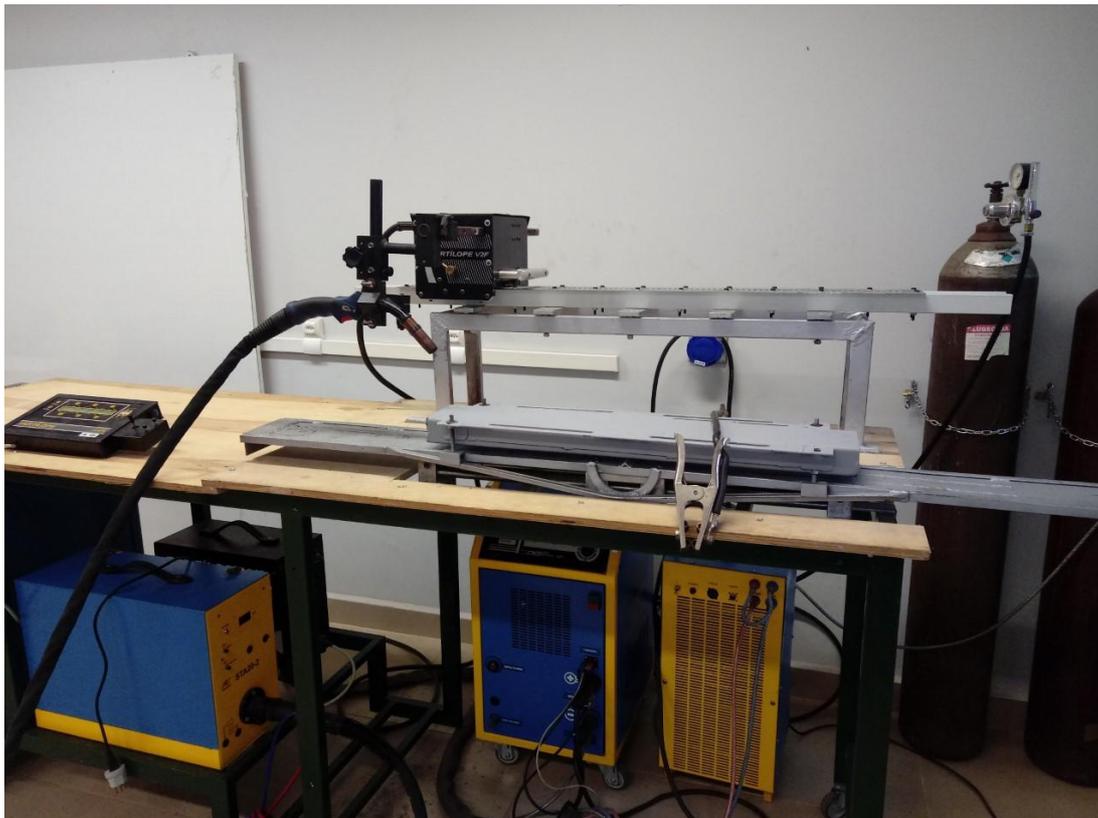
Tabela 2- Parâmetro de soldagem usados nos experimentos.

U_{ref} - Tensão de Referência (V)	18
Velocidade de soldagem (mm/s)	5,0
Distância de bico de contato à peça (mm)	12
Ângulo entre a tocha e a superfície soldada	90°
Posição de indutância* de subida e de descida da máquina de solda	30
Posição de soldagem	plana

** para máquina de solda DIGIPLUS A7 450, marca IMC soldagem*

Fonte: Adaptado FERREIRA et al. (2019,p. 2)

Figura 5 - Sistema de Aquisição de dados.

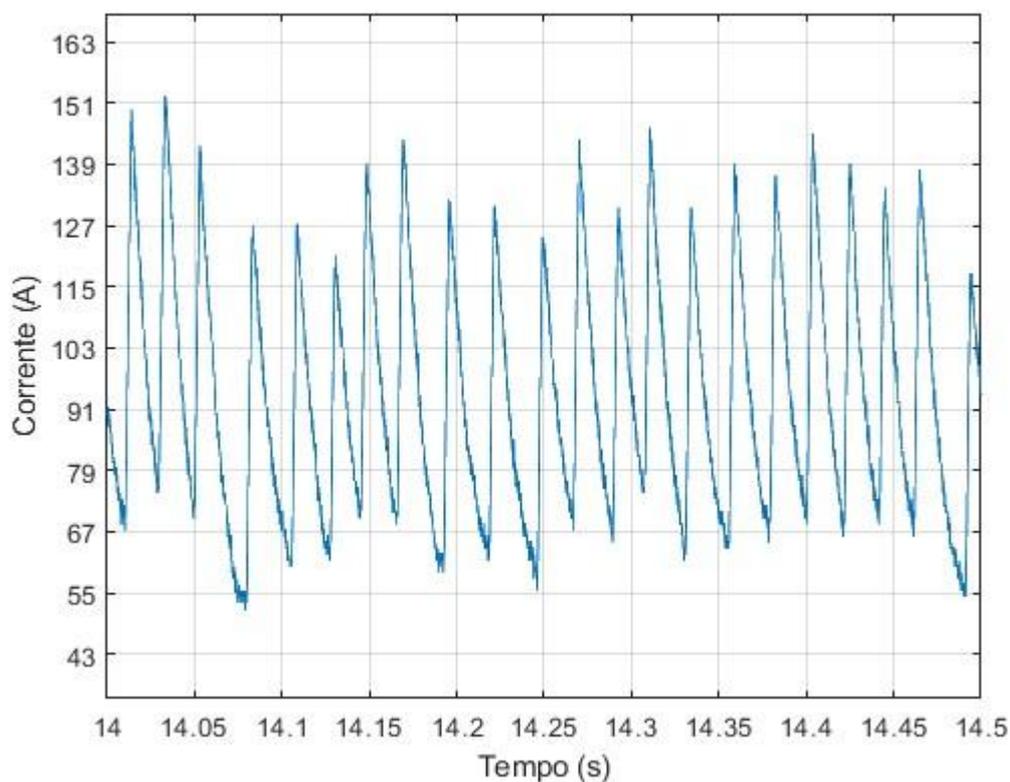


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.2. Conjunto de dados.

O conjunto de dados de corrente de soldagem analisados neste trabalho foi coletado do artigo de (FERREIRA et al., 2019). Foram amostrados os valores de corrente equivalentes a um período de 30 s, os quais, no caso do teste, foram divididos em 150000 pontos. Tais pontos foram transformados em um vetor para, a partir disso, ser feita a análise do mesmo. Foram eliminadas 5000 amostras na abertura e 5000 amostras na extinção do arco, a fim de evitar a instabilidade inerente ao comportamento transitório da abertura e extinção do arco. A Figura 6 ilustra um trecho do oscilograma com os dados que foram coletados para estudo.

Figura 6 - Oscilograma para WFS de 3,5 m/min.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A coleta de dados foi feita para diferentes velocidades de alimentação, na faixa de 1,5 a 5,5 m/min, com intervalos de 0,5 m/min. Visando um maior refinamento em região de interesse, foram feitos, também, experimentos para as velocidades de alimentação de 3,3 m/min e 3,8 m/min. Para análise dos dados, foi utilizado o programa

Matlab©, no qual foram desenvolvidos os devidos códigos para realização do estudo estatístico de Qui-Quadrado, explicado na seção 3.3.

Com os dados coletados em forma de vetores, foi possível separá-los em dois vetores diferentes. Na primeira metade havia os dados que seriam considerados para calcular os valores esperados, enquanto na segunda havia os valores que seriam considerados como observados. Essa estratégia foi adotada para otimizar o processo, já que o resultado obtido seria o mesmo caso o parasse e iniciasse um novo cordão. Dessa forma, um vetor iria conter 70000 valores de corrente nos quais se considerariam no cálculo para o valor da distribuição esperada, enquanto o segundo vetor outros 70000 valores de corrente que seriam considerados como o comportamento observado.

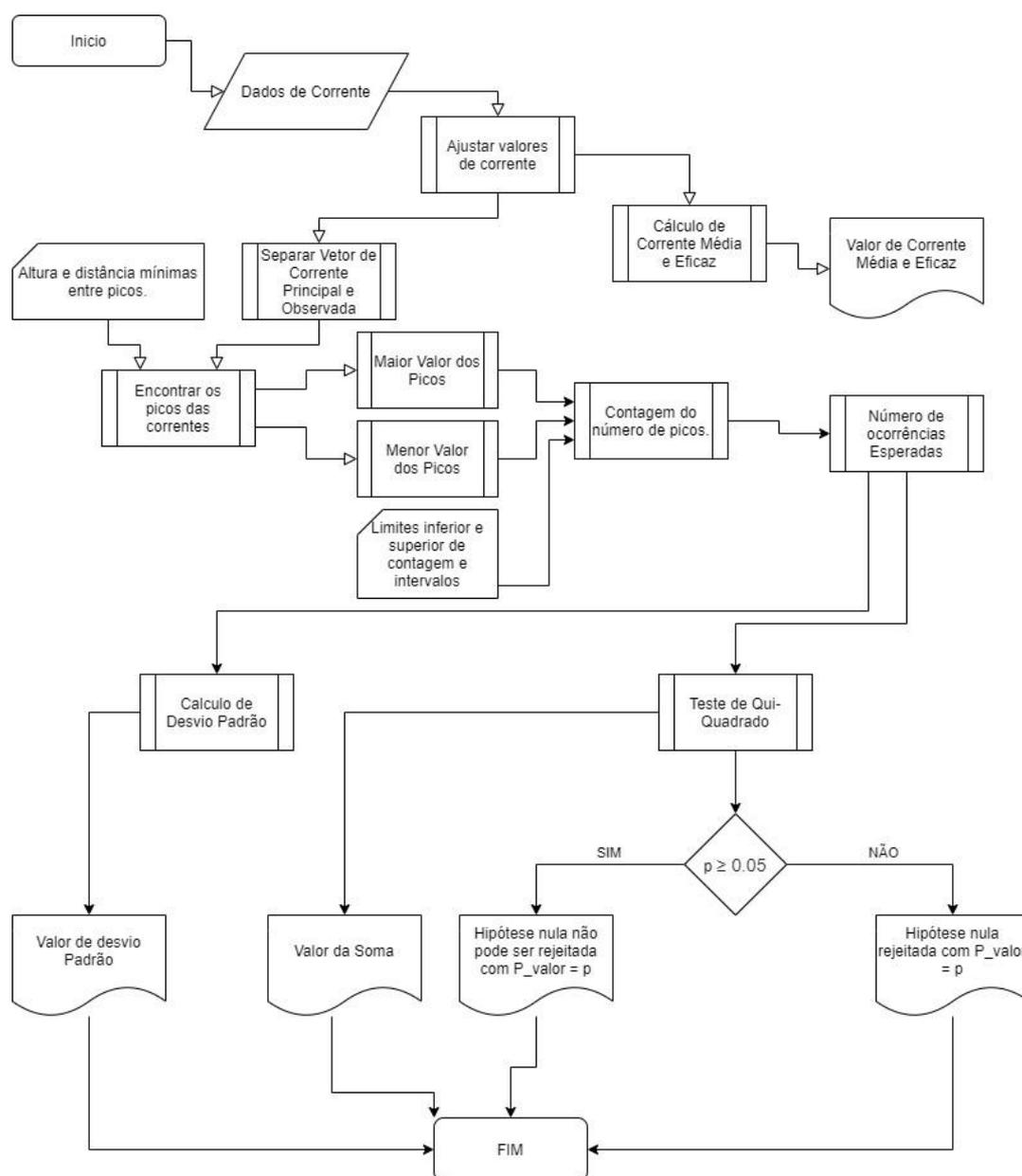
Uma vez que o estudo se baseia na estatística de Qui-Quadrado, cada categoria deve conter, no mínimo, cinco amostras de dados. Foram testadas categorias com intervalos de 3, 4, 5 e 6 A, ou seja, um intervalo de 3 A, caracterizava por dividir os picos em categorias que iam de 3 em 3 A. (0 a 3, 3 a 6, 6 a 9), o qual de acordo com o valor do pico era separado dentro da categoria correta. Paralelamente, observou-se que a definição dos limites superiores e inferiores de corrente de soldagem também eram importantes, já que, quando alterados, tais limites influenciavam o número de observações em cada categoria. Esse comportamento também acontece para diferentes velocidades de alimentação de arame.

Desse modo, o limite inferior foi definido como o menor valor de corrente no qual a primeira categoria contivesse, ao menos, cinco observações. O limite superior foi definido da mesma forma.

3.3. Elaboração do algoritmo.

O código do algoritmo de análise dos dados se encontra no apêndice I. O fluxograma da Figura 7 ilustra as várias etapas de tratamento e análise dos dados.

Figura 7 - Fluxograma com o algoritmo utilizado nesse trabalho



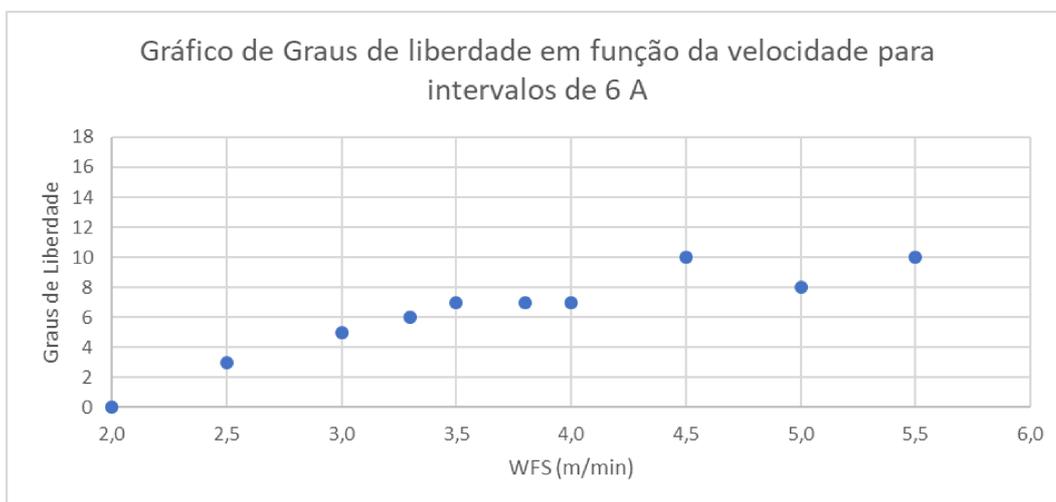
Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

4. Resultados e Discussão.

4.1. Influência nos graus de liberdade

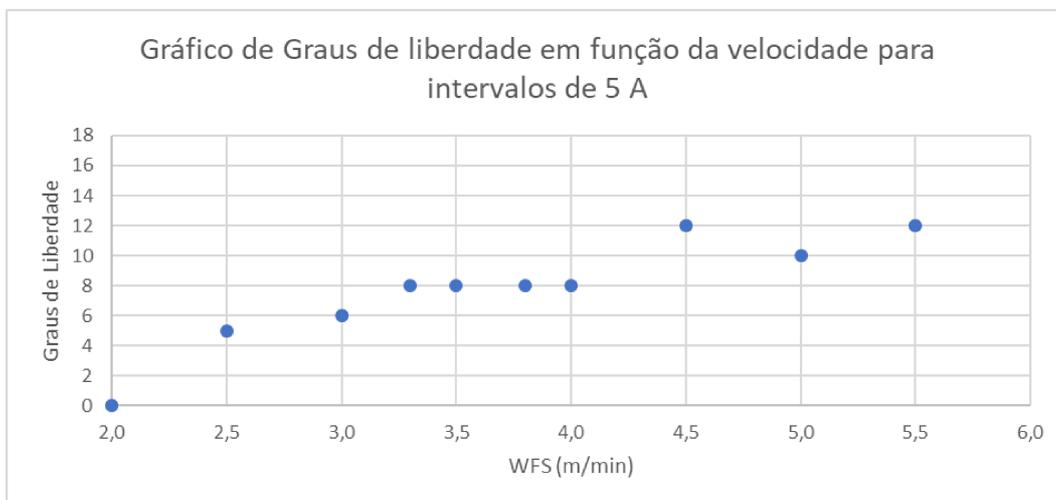
No início dos testes, durante a separação em classes para o teste de qui-quadrado, observou-se que houve variações nos graus de liberdade à medida em que se variavam os valores de velocidade de alimentação. O mesmo ocorreu na variação das categorias de estudo, as quais variavam de 3 a 6 A. Tal fato está evidenciado da Figura 8 até a Figura 15

Figura 8 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 6 A.



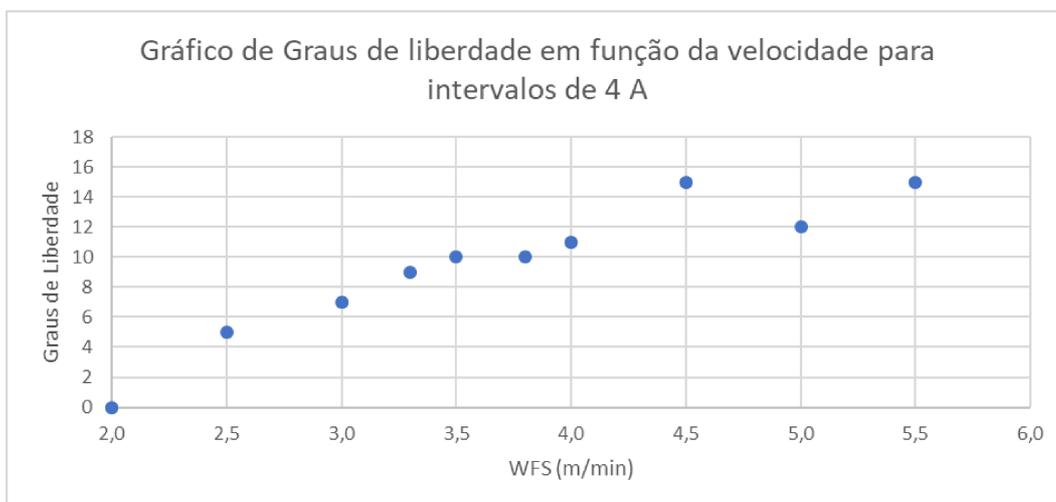
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 9 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 5 A.



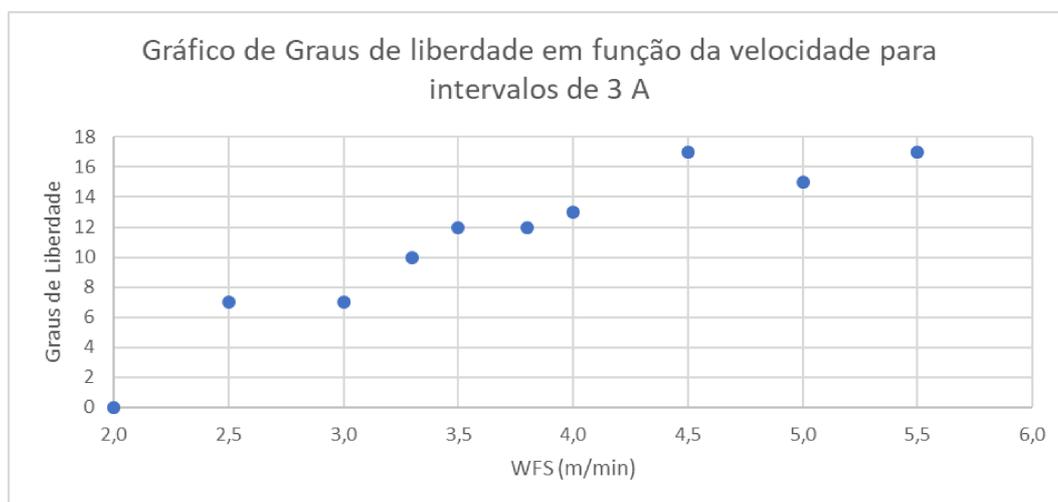
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 10 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 4 A.



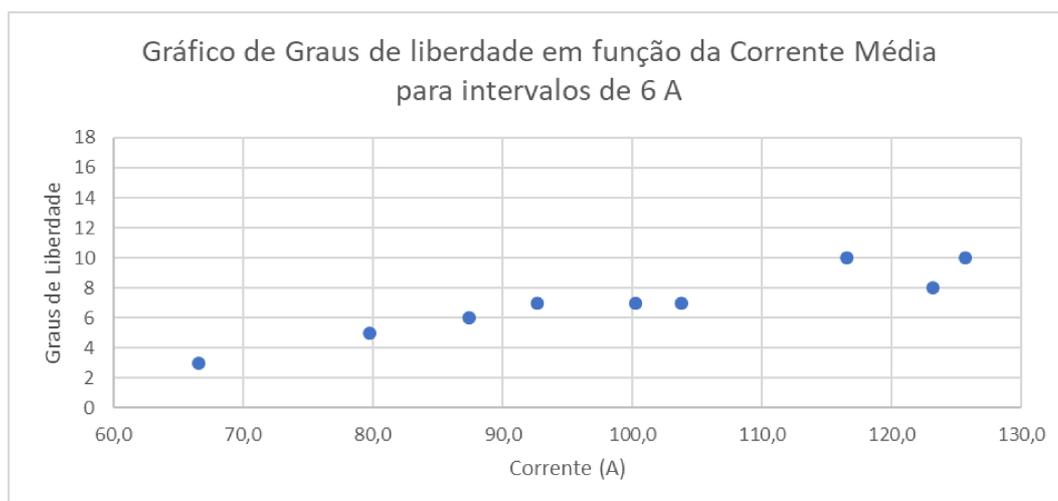
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 11 - Variação dos graus de liberdade em função da velocidade de alimentação para intervalo de 3 A.



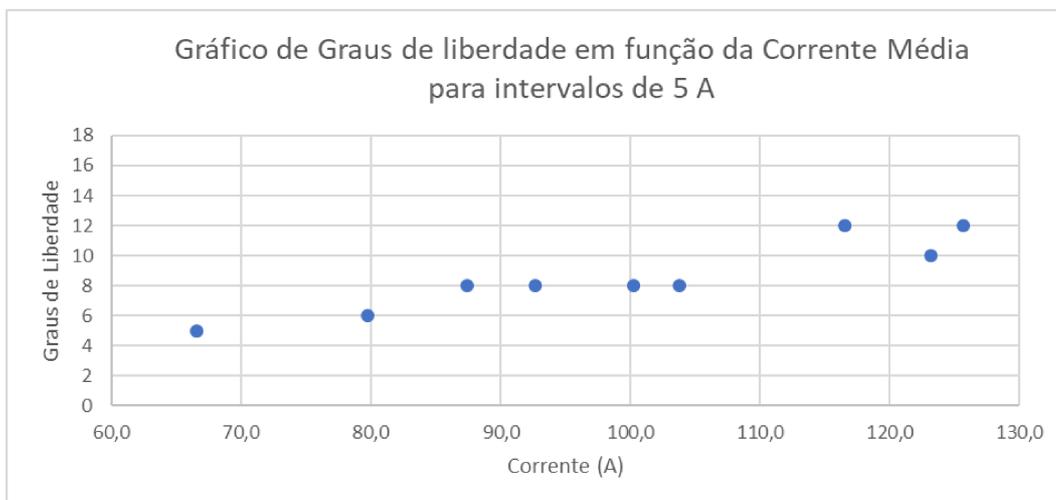
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 12 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 6 A.



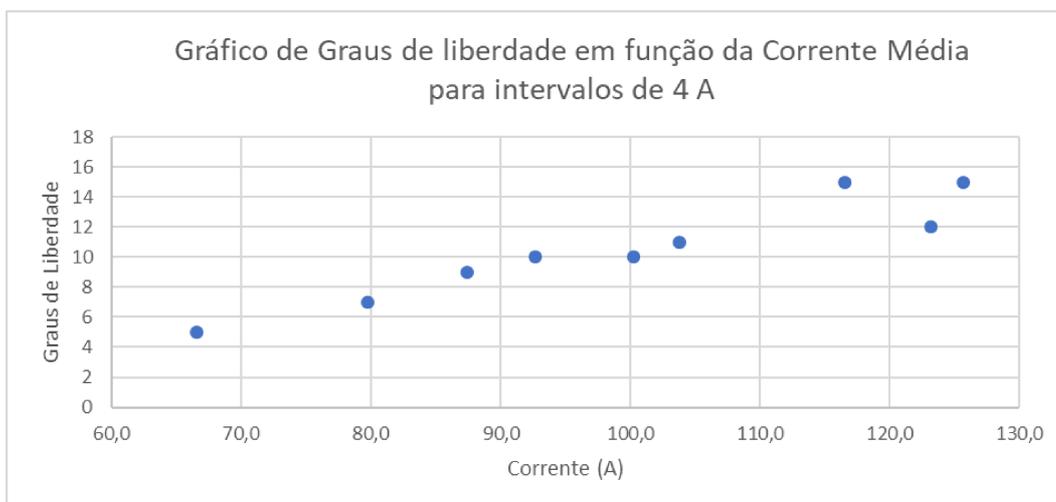
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 13 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 5 A.



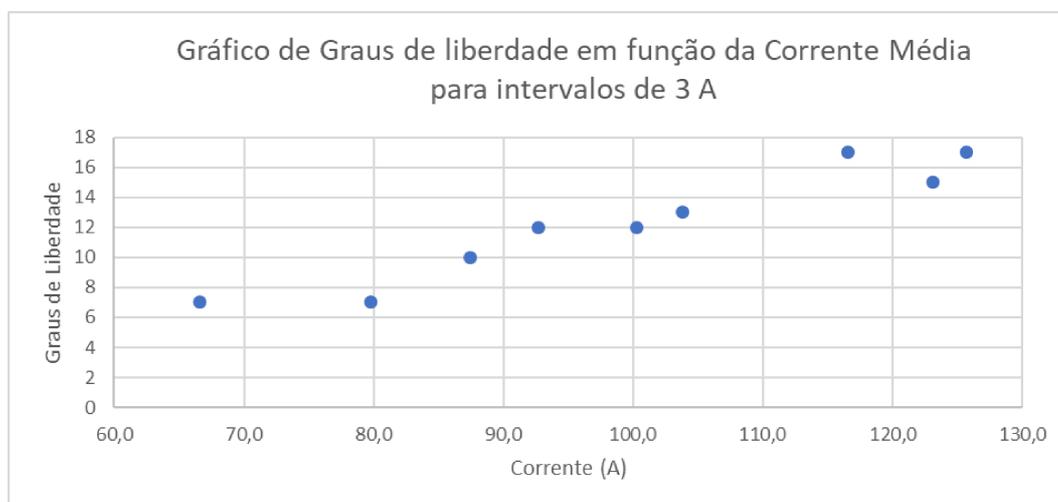
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 14 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 4 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 15 - Variação dos Graus de liberdade em função da corrente média para intervalo de 3 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

As variações dos graus de liberdade podem ser explicadas, já que, no caso da variação dos intervalos de 3 a 6 A, ocorre um agrupamento de dados que antes eram analisados em categorias diferentes. Dessa forma, o resultado da diminuição dos graus de liberdade à medida que se aumentava o valor do intervalo já era esperado. Com isso, seria impossível definir um mesmo grau de liberdade para todas as velocidades, uma vez que isso faria com que algumas categorias ficassem com menos observações do que as necessárias, o que enviesa o teste.

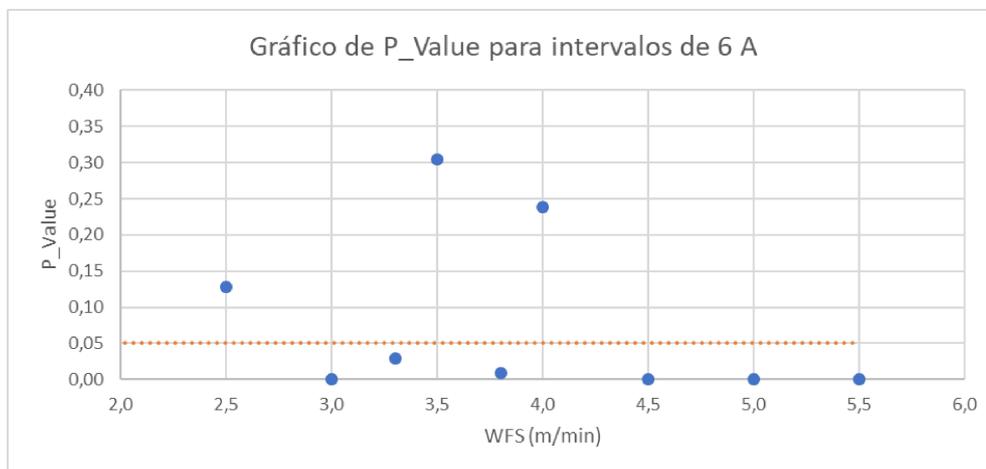
Já o caso de variação dos graus de liberdade de acordo com a variação da velocidade de alimentação pode ser explicado por outro motivo. Isso ocorre devido à variação nos limites inferiores e superiores, pois, à medida que se modificava as velocidades de alimentação, havia uma variação nos valores da corrente, o que alterava os limites. Sendo assim, para cada valor de velocidade de alimentação havia novos valores definidos como inferior e superior, para que o teste pudesse ser validado.

No entanto, é interessante observar que, no intervalo entre 3,3 e 3,8 m/min, as variações dos graus foram bem pequenas.

4.2. Valores de P_Value.

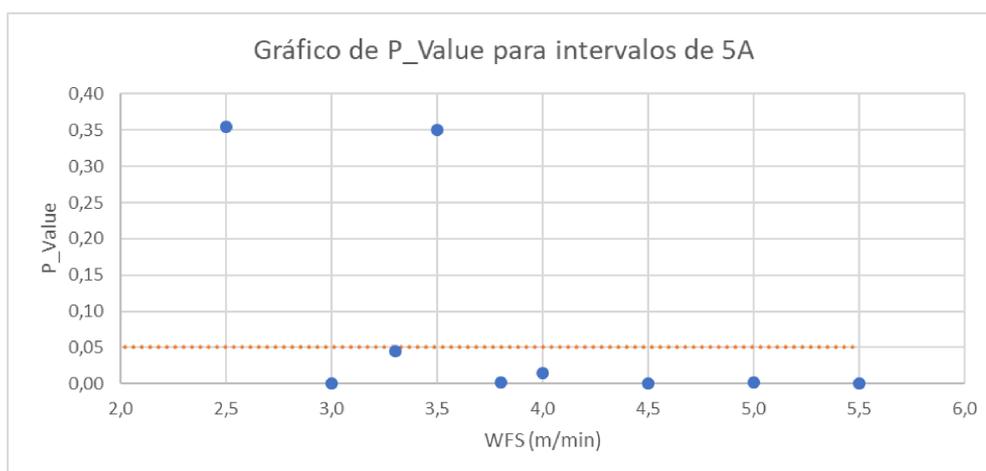
Da Figura 16 à Figura 19 mostra o valor de P_value em função da variação da velocidade de alimentação do arame de soldagem para cada categoria de corrente.

Figura 16 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 6 A.



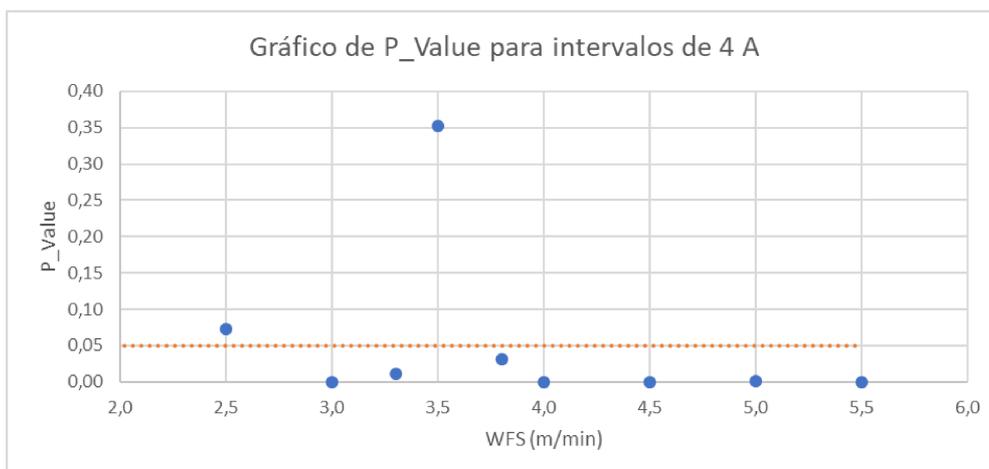
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 17 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 5 A.



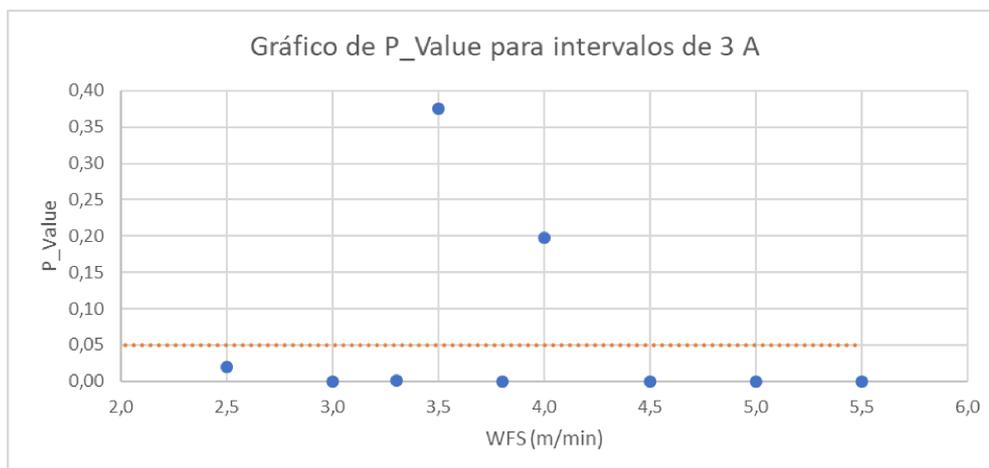
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 18 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 4 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

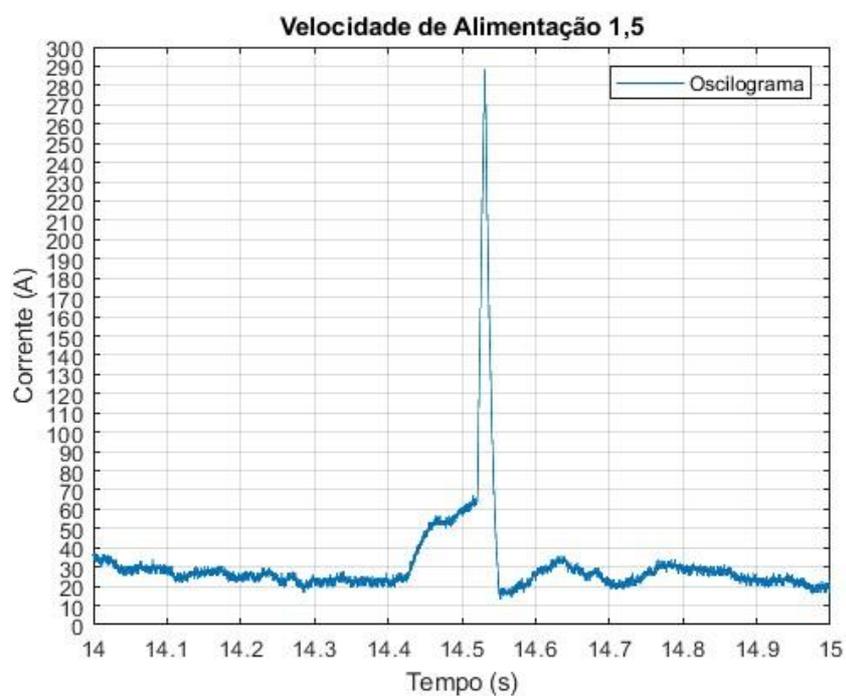
Figura 19 - Gráfico de P_Value para intervalo de corrente de 3 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

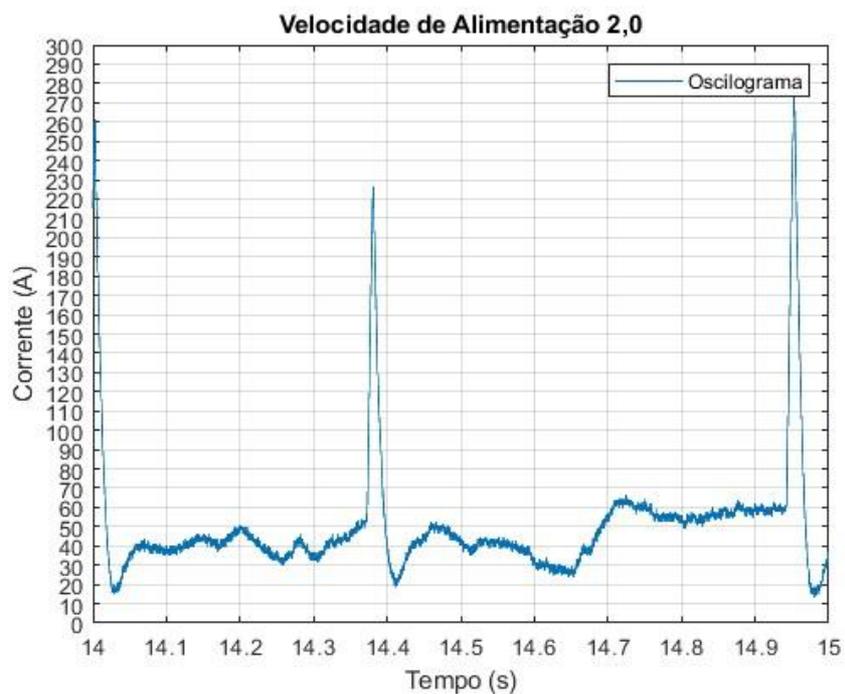
Da Figura 16 até a Figura 19 são retratados os valores de P_Value a partir de 2,5 m/min. Isso se deve, pois, durante os testes para velocidades inferiores a essa, os números de picos registrados foram muito baixos. Com isso, não houve um número necessário de observações para que se pudesse fazer análise dos dados pelo método de Qui-Quadrado, o qual exige pelo menos 5 observações, conforme discutido na seção 2.3. (LARSON; FARBER, 2015). Da Figura 20 até a Figura 30 é ilustrado a situação, por meio de oscilogramas os quais mostram um intervalo de 1 s. para as velocidades analisadas nesse estudo. Observa-se, assim, a presença de poucos picos para velocidades abaixo de 2,5 m/min. Uma tentativa de contornar tal questão seria por meio da análise de um período maior.

Figura 20 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 1,5 m/min



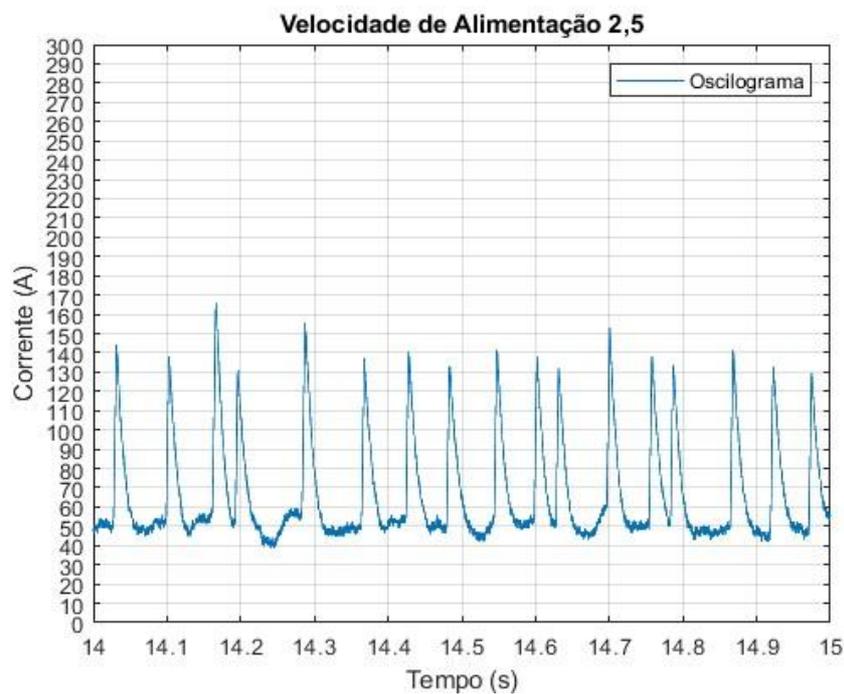
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 21 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 2,0 m/min.



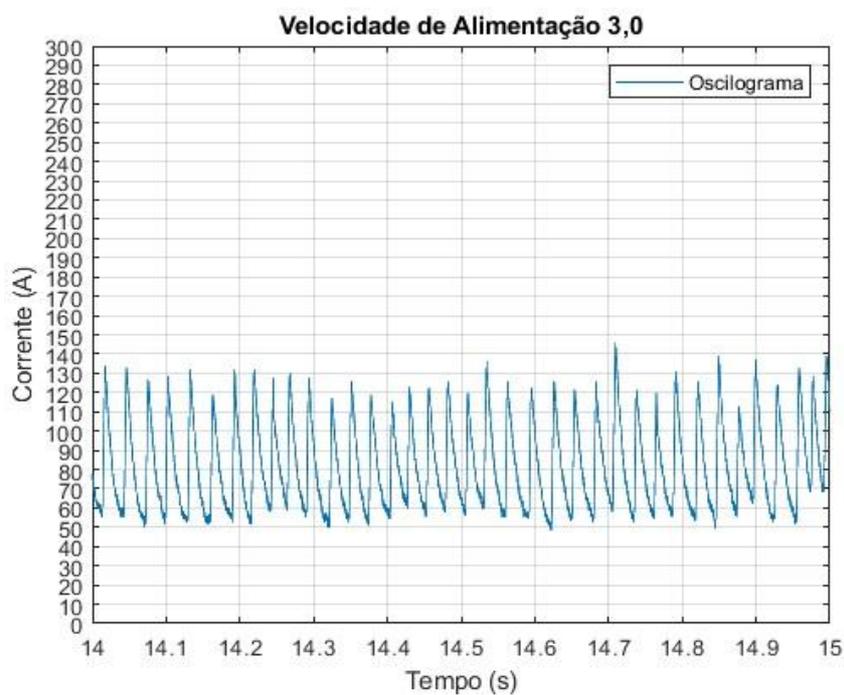
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 22 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 2,5 m/min.



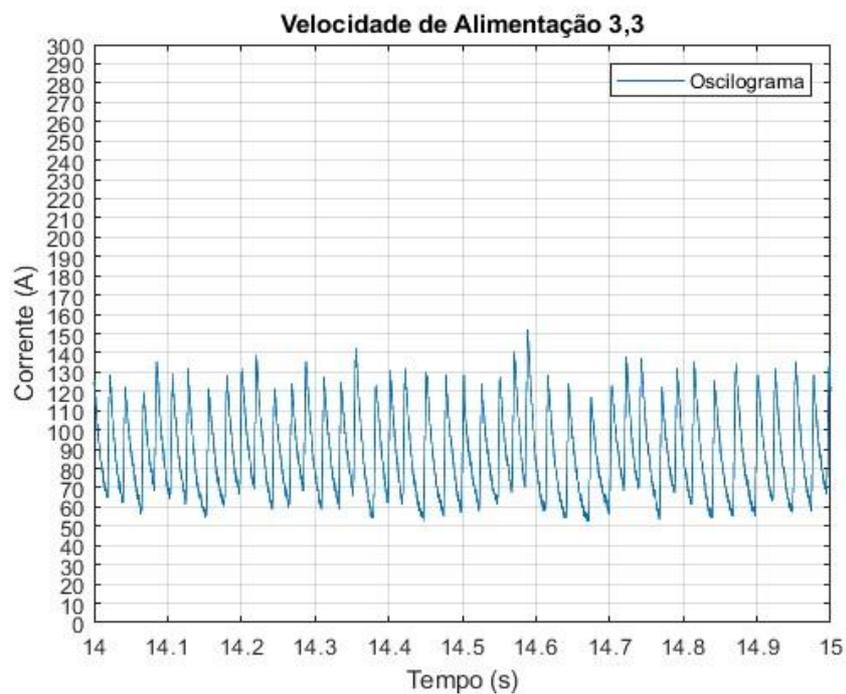
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 23 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,0 m/min.



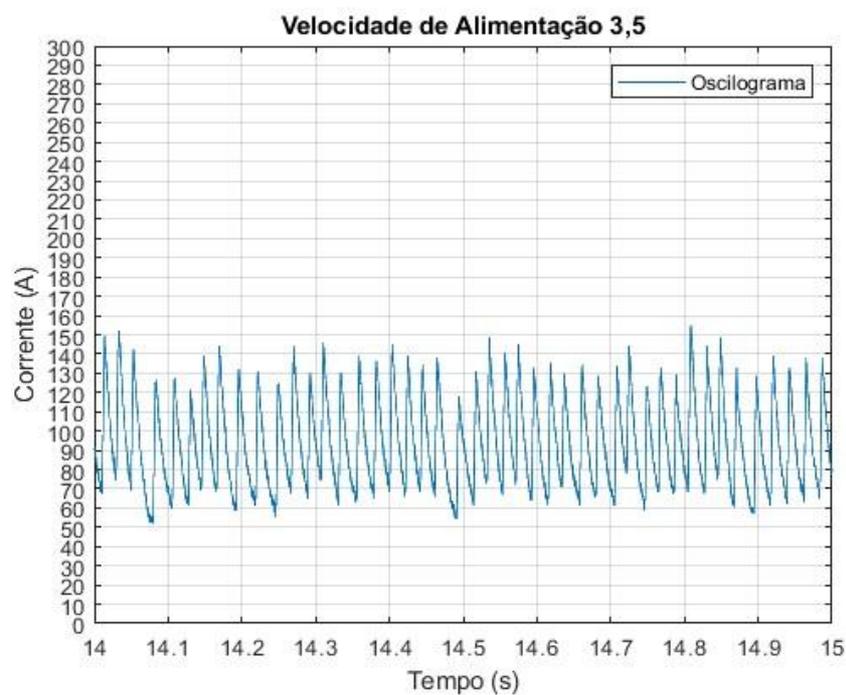
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 24 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,3 m/min.



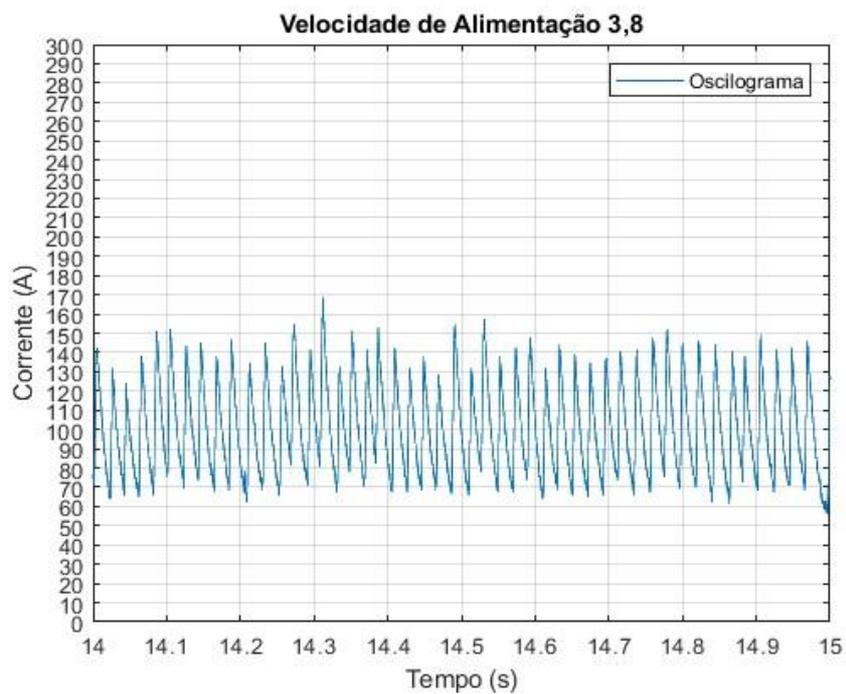
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 25 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,5 m/min.



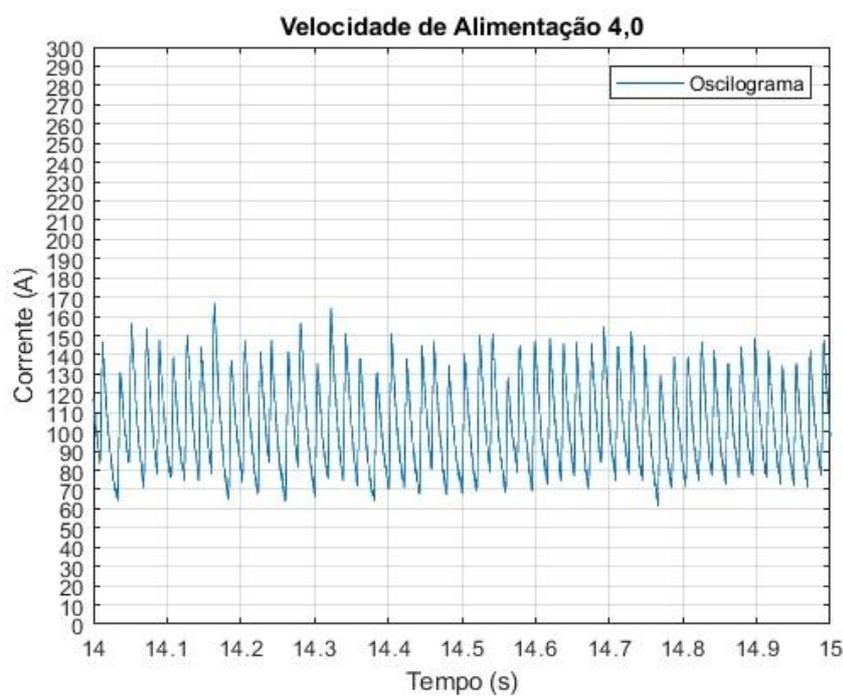
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 26 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 3,8 m/min.



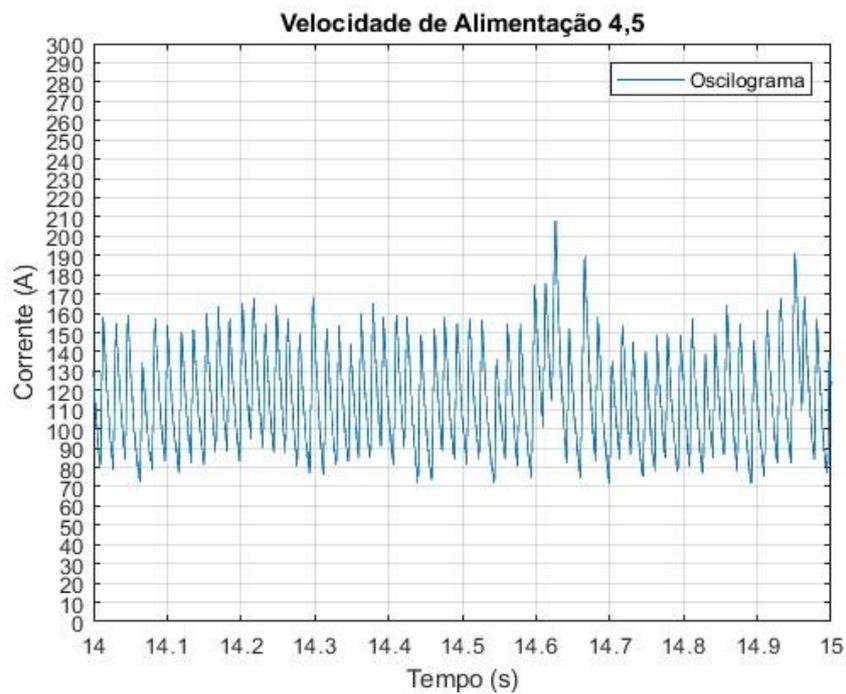
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 27 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 4,0 m/min.



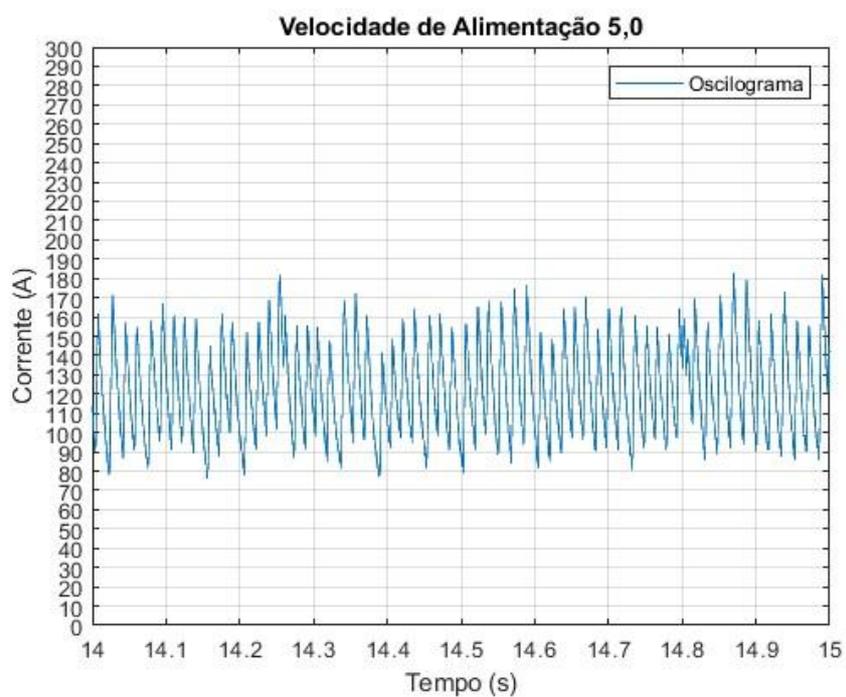
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 28 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 4,5 m/min.



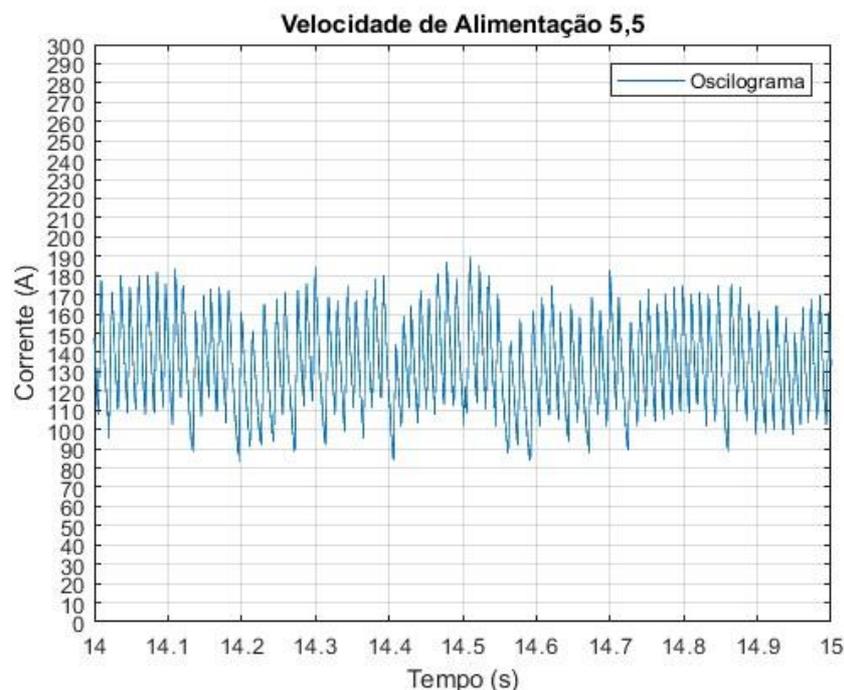
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 29 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 5,0 m/min.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 30 - Oscilograma com período de 14 s. a 15 s. para as velocidade de 5,5 m/min.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Da Figura 16 à Figura 19 observa-se que em todos os gráficos a velocidade de 3,5 m/min apresentou os maiores valores de P_{value} . Uma vez que esses valores são superiores a 0,05, fica indicado que, para essa velocidade, os picos de corrente são estatisticamente iguais. Tal fato é coerente com os resultados encontrados por (FERREIRA et al., 2019), nos quais evidencia-se que a velocidade de alimentação ótima situa-se entre 3,3 m/min e 3,8 m/min.

A velocidade de 2,5 m/min também apresentou valores de P_{value} superiores a 0,05. Para essa velocidade, embora tenham sido observados poucos valores de pico, o número ainda assim foi suficiente para que se pudesse definir os limites. No entanto, por apresentar poucos graus de liberdade, tal situação influenciou diretamente nos resultados de aderência obtidos.

Para velocidades menores que 2,5 m/min, o ideal é repetir o teste e analisar um período maior de corrente, a fim de garantir uma maior quantidade de dados, o que pode ser observado na Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

Outro fator a se destacar é a influência que o número de categorias tem na obtenção do P_{value} , já que, à medida em que se alterava os limites de cada classe para abranger intervalos de 3 A até 6 A, os resultados obtidos se alteravam. Assim, para a velocidade

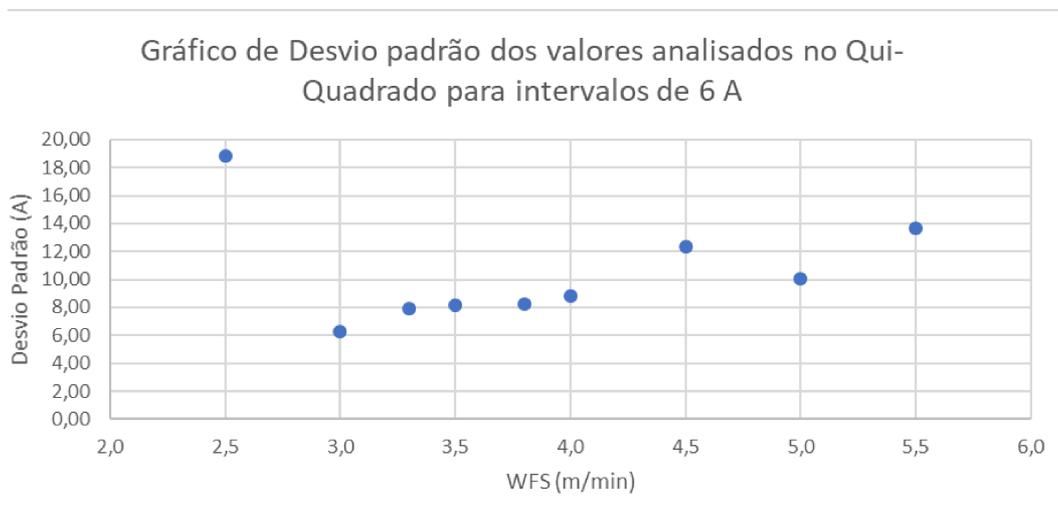
de 4,0 m/min foi possível notar aderência, ou seja, a semelhança estatística entre os cordões de solda, em dois dos gráficos, enquanto que, no mesmo teste, a velocidade de 2,5 m/min não apresentou aderência apenas em um dos gráficos.

A partir desses resultados, pode-se concluir que, uma vez que a fonte de tensão era constante, não havia regulagem dos valores de corrente e, à medida que se variava a velocidade de alimentação, os valores de picos de corrente variavam muito. Desse modo, não foi possível obter um mesmo parâmetro para realização do teste em diferentes velocidades.

4.3. Desvio Padrão.

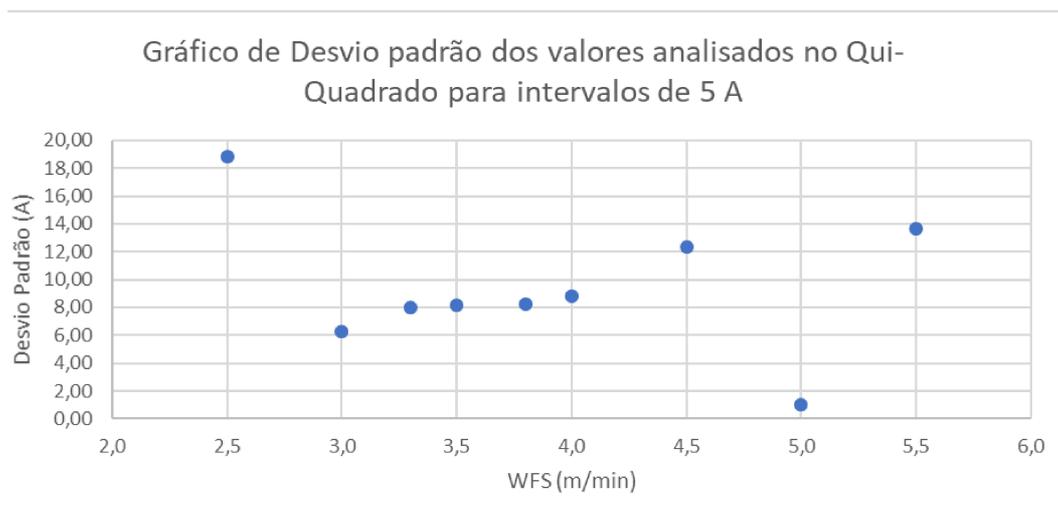
Para entender o comportamento dos picos de corrente de acordo com a variação da velocidade de alimentação foram realizados, ainda, testes com os desvios padrões dos picos utilizados no teste do χ^2 , obtendo assim os gráficos da Figura 31 até a Figura 34.

Figura 31 - Desvio Padrão para intervalo de 6 A.



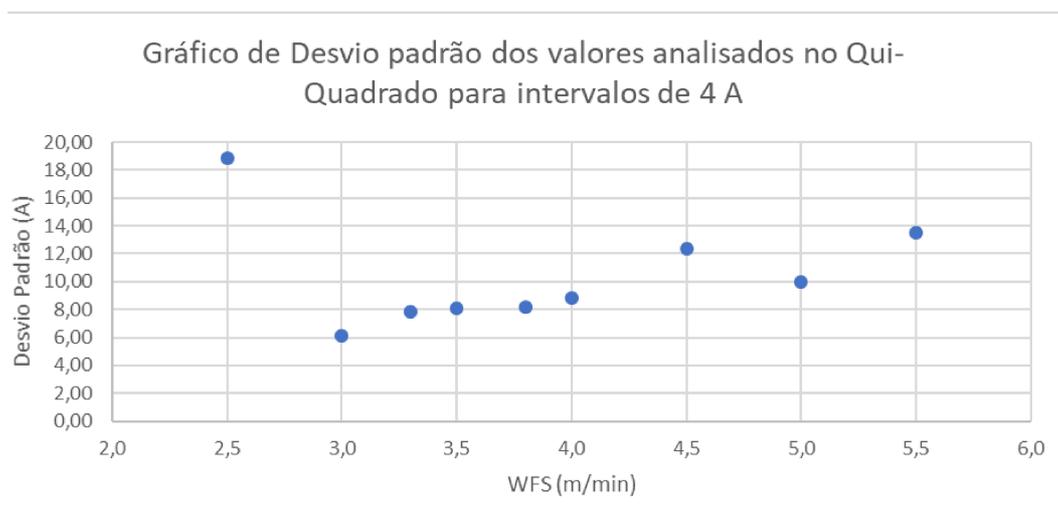
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 32 - Desvio Padrão para intervalo de 5 A



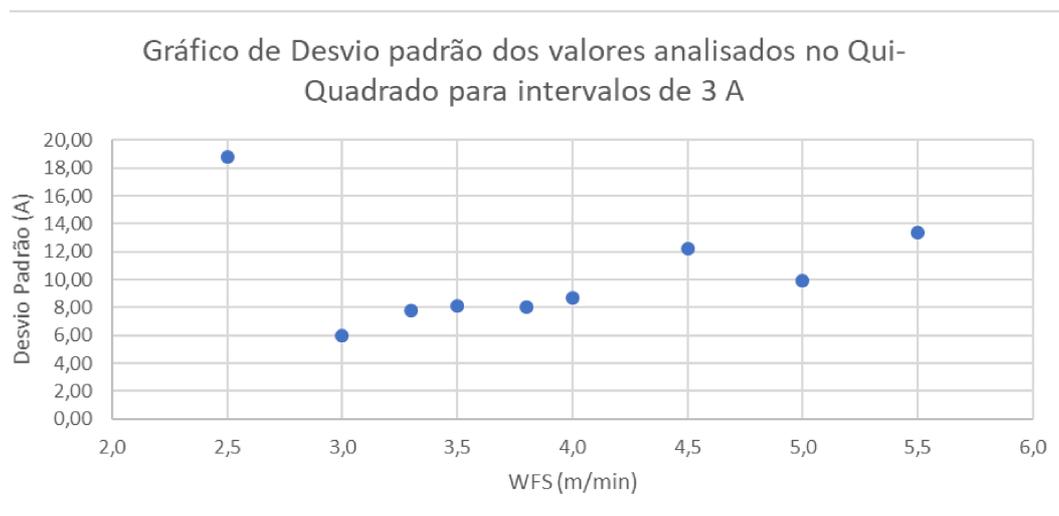
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 33 - Desvio Padrão para intervalo de 4 A



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 34 - Desvio Padrão para intervalo de 3 A



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

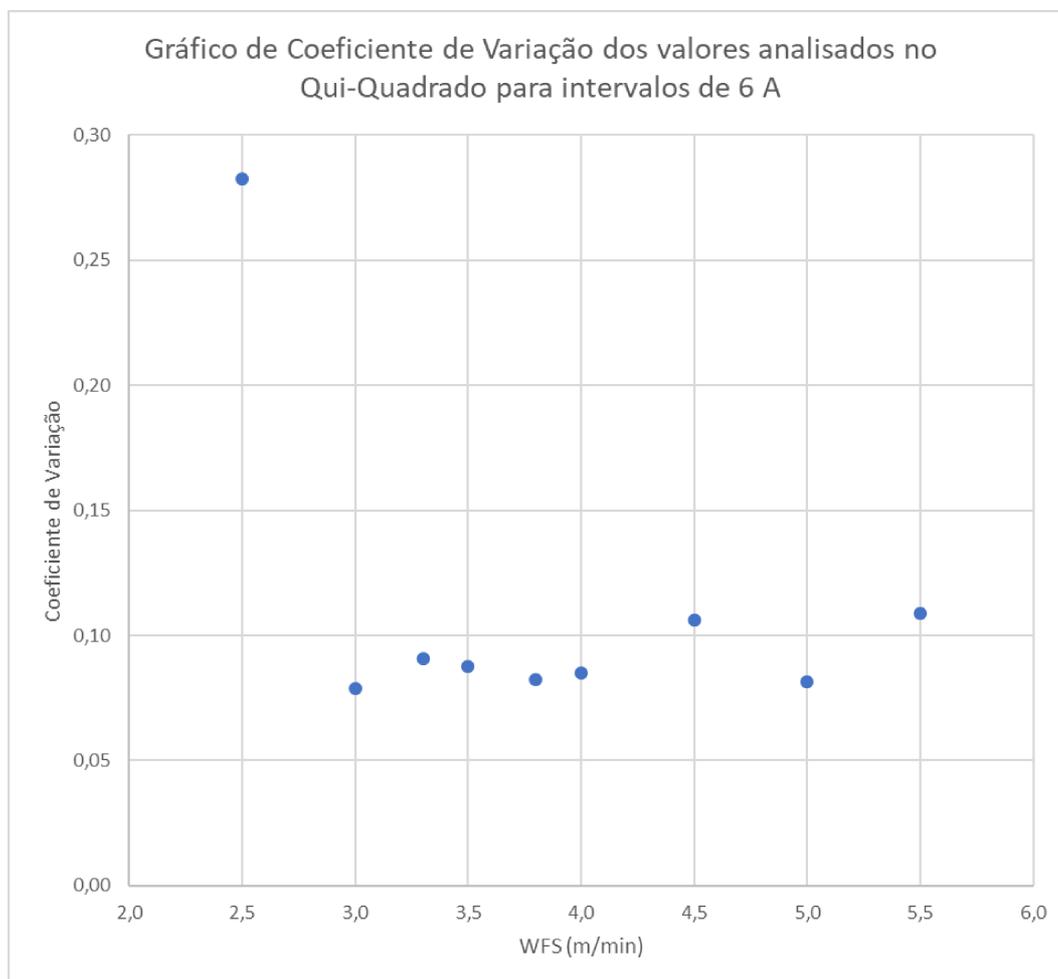
Observa-se uma semelhança em todos os gráficos acima, com pequenas variações em alguns casos, sendo que, em todos eles, a velocidade de alimentação com menor desvio padrão é a de 3,0 m/min. A exceção ocorre apenas para o intervalo de 5 A, que apresenta o menor valor de desvio padrão para 5,0 m/min. Sendo assim, pelo desvio padrão dos picos, aparentemente a velocidade com maior estabilidade seria a de 3,0 m/min.

Nesse sentido, embora os dados da velocidade de alimentação de 2,5 m/min apresentassem aderência pelo teste de qui-quadrado (item 4.2), notou-se, para esse valor, o desvio padrão foi o mais elevado, correspondendo a mais de 18 A. Isso ocorreu, uma vez que foi observada uma baixa quantidade de dados para essa velocidade, o que influenciou nos resultados de qui-quadrado.

4.4. Coeficiente de Variação.

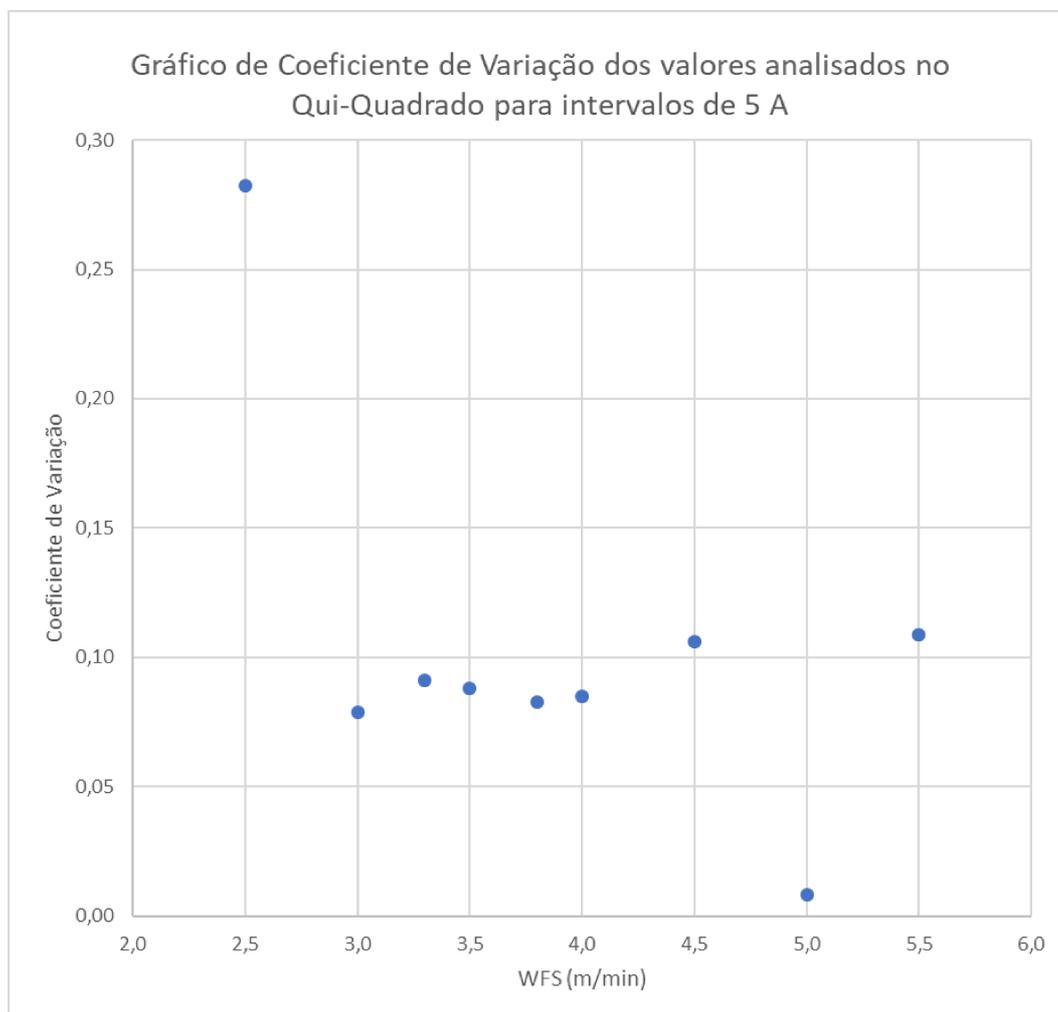
Um outro método interessante para a análise de dados estatísticos é o coeficiente de variação. Com isso, os mesmos dados foram analisados através desse método e plotados nos gráficos da Figura 35 até a Figura 38.

Figura 35 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 6 A.



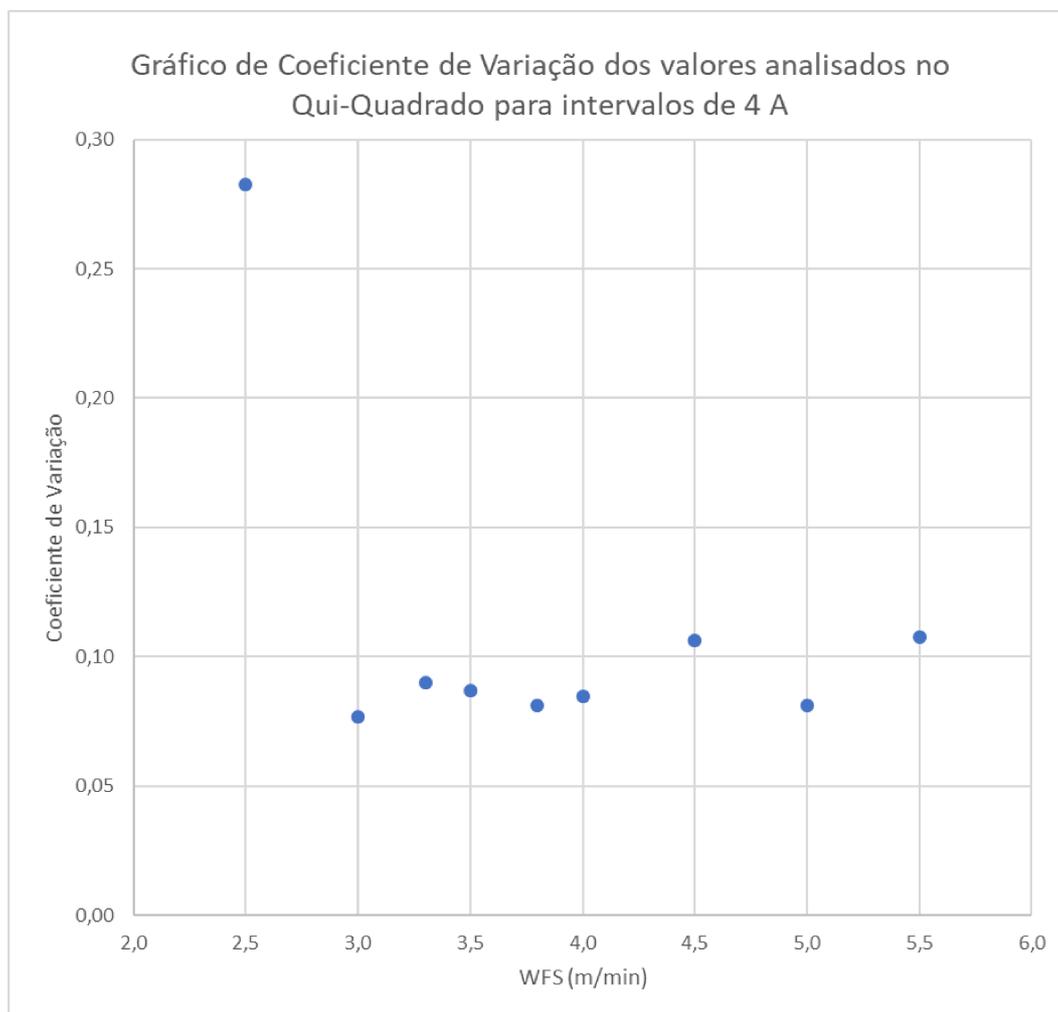
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 36 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 5 A.



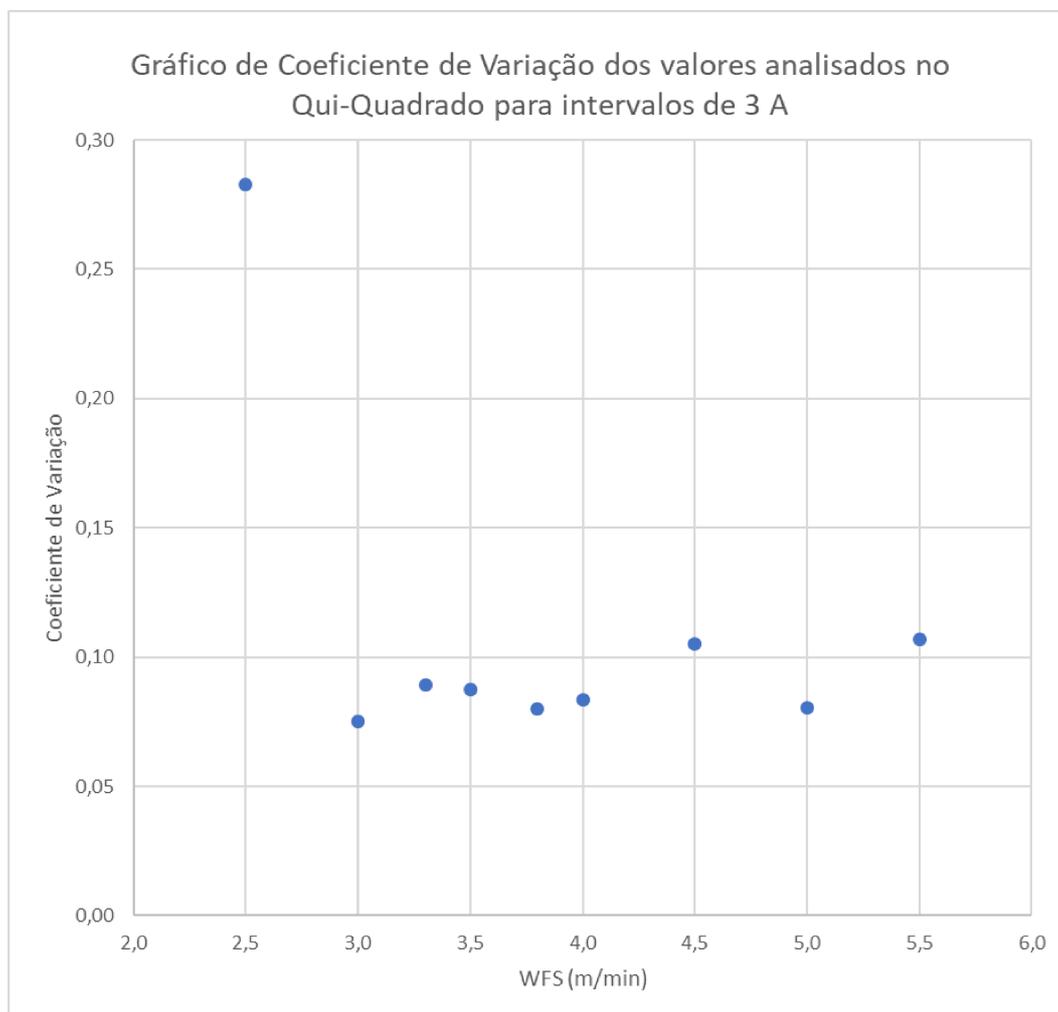
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 37 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 4 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 38 - Gráfico para Coeficiente de Variação dos Valores Qui-Quadrado de acordo com Velocidade de Alimentação para o intervalo de 3 A.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nesses gráficos, pode-se notar que houve similaridade entre o que ocorreu para o desvio padrão e para o coeficiente de variação, sendo que o valor de velocidade que apresentou maior coeficiente de variação foi a de 2,5 m/min. Isso já era esperado, com base no que foi visto ao longo desse estudo. Uma vez, que como visto no desvio padrão, a velocidade 2,5 m/min não apresenta uma garantia de similaridade estatística diferentemente do que foi obtido com o teste de qui-quadrado, demonstrando que os resultados obtidos para essa velocidade no qui-quadrado foram obtidos devido ao baixo número de dados.

5. Conclusões.

Nesse trabalho foi possível avaliar a influência da variação da velocidade de alimentação na similaridade estatística dos cordões de solda. Tal similaridade pode garantir que, com o tempo, se consiga uma melhor qualidade e controle dos cordões de solda em um sistema ainda mais automatizado, se definidos os parâmetros ótimos para realização do processo.

Assim, esse estudo conseguiu chegar a resultados que definem através do estudo estatístico dos picos de corrente definir valores considerados ideais para realização do processo. Uma vez, que com os estudos estatísticos e análises dos gráficos, foi possível definir que para uma velocidade de alimentação de 3,5 m/min os valores apresentaram uma semelhança estatística com uma certeza de 95 por cento pelo teste de qui-quadrado. Além disso, foi possível se observar pelo desvio padrão que os valores de velocidade de alimentação entre 3,3 e 3,8 m/min apresentaram valores semelhantes de desvio, com valores menores que 0,5 A.

Outro ponto que pode se tirar como conclusão é que apesar da fonte ser de tensão constante, ou seja, regular apenas os valores de tensão, enquanto os de corrente podiam variar “livremente”, observou uma semelhança do comportamento que havia sido observado em outros estudos, os quais se avaliavam os picos de tensão. Essa semelhança, reforça ainda mais a garantia dos resultados obtidos, uma vez, que independente do sinal que se avalia consegue se obter o mesmo valor de velocidade como sendo considerado o ótimo para realização do processo.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros.

Sugere-se, para um trabalho futuro, realizar a análise com um intervalo de tempo maior para os valores de velocidade de alimentação baixo, a fim de garantir se os mesmos não irão apresentar a semelhança estatística. Além disso, seria interessante observar o comportamento da corrente para a variação de outros parâmetros.

6. Referências.

- CHAPMAN, S. J. **Programação em Matlab® para engenheiros**. 2ª ed. [s.l.] Thomson, 2003.
- FERREIRA, G. R. B. et al. Uma Metodologia para Análise da Distribuição de Contagem dos Picos de Tensão de Reignição para Avaliação da Estabilidade do Processo GMAW Curto-Circuito. **Soldagem & Inspeção**, v. 24, p. 9, 2019.
- FONSECA, J.; MARTINS, G. **Curso de Estatística**. 6ª ed. São Paulo: Atlas S.A, 2011.
- FUNDAMENTOS E TECNOLOGIA**. 3ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- GEARY, D.; MILLER, R. **SOLDAGEM**. 2ª ed. São Paulo: Bookman, 2013.
- LARSON, R.; FARBER, B. **ESTATÍSTICA APLICADA**. 6ª ed. São Paulo: Pearson, 2015.
- MARQUES, P.; MODENESI, P.; BRACARENSE, A. **SOLDAGEM**
- REZENDE, G. M. C. DE et al. Um critério para determinar a regulagem da tensão em soldagem MIG/MAG por curto-circuito. **Soldagem & Inspeção**, 2011.
- SÁNCHEZ ROCA, A. et al. New stability index for short circuit transfer mode in GMAW process using acoustic emission signals. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 12, n. 5, p. 460–466, 2007.
- SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG : melhor entendimento, melhor desempenho**. 2ª ed. São Paulo: Artliber, 2014.
- SIMPSON, S. W. Signature images for arc welding fault detection. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 12, n. 6, p. 481–486, 4 ago. 2007.

SIMPSON, S. W.; ZHU PEIYUAN. Formation of molten droplets at a consumable anode in an electric welding arc. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 28, n. 8, p. 1594–1600, 1995.

SOUZA, D. et al. Influência da regulagem de parâmetros de soldagem sobre a estabilidade do processo MIG/MAG operando em curto-circuito. **Soldagem & Inspeção**, v. 16, n. 1, p. 22–32, mar. 2011.

ZHIYONG, L. et al. An Analysis of Gas Metal Arc Welding Using the Lyapunov Exponent. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 28, n. 2, p. 213–219, fev. 2013.

APÊNDICE A – Algoritmo principal.

```
%% TCC CODIGO 3.0

clc
clear
close all

%% CHAMAR AS CORRENTES ALTERANDO O NUMERO DE 15 A 55

Nome = "Velocidade de Alimentação 2,5";
Name = "Corrente25";
load('Vel_alimen.mat', Name);
Corrente=Ajustar(Corrente25);

%% DEFINIÇÃO DO CODIGO

Li = 3;
Ls = 6;
Intervalo = 7; % DEFINE O INTERVALO DAS CATEGORIAS

%% CALCULA A CORRENTE MÉDIA E EFICAZ

[CorrenteMedia, CorrenteEficaz] = CalcValCorrentes(Corrente);

%% COSIDERAÇÕES PARA O PICO

Dpeak = 60; % DISTANCIA MINIMA ENTRE PICOS
LInf = 100; % ALTURA MINIMA PARA CONSIDERAR PICO

%% SEPARAR OS VETORES EM 70000 PONTOS PARA CADA

[CorrenteP, Corrente0] = Separar_vet(Corrente);

%% INSERIDO NO NOVO CODIGO

%ANALISAR IMAGEM DOS PICOS

% [A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N] = Separar(Corrente);
% figure()
% findpeaks(A,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(B,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(C,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(D,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(E,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(F,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(G,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(H,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
% figure()
% findpeaks(I,'minpeakheight',LInf,'minpeakdistance',Dpeak)
```

```

% figure()
% findpeaks(J, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)
% figure()
% findpeaks(K, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)
% figure()
% findpeaks(L, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)
% figure()
% findpeaks(M, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)
% figure()
% findpeaks(N, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)

%% Grafico

% figure()
% findpeaks(CorrenteP, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)
%figure()
%findpeaks(CorrenteO, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak)

%% AVALIAR PICOS

[PicosCorrenteP, b]=findpeaks(CorrenteP, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak);
[PicosCorrenteO, c]=findpeaks(CorrenteO, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak);
peaks = findpeaks(Corrente, 'minpeakheight', LInf, 'minpeakdistance', Dpeak);

%% VERIFICAR O MAIOR VALOR DE CORRENTE

Maior = VerificaMaior(PicosCorrenteO,PicosCorrenteP); %mudança no codigo
Menor = VerificaMenor(PicosCorrenteO,PicosCorrenteP); %Add

%% DEFINIR CATEGORIAS PARA ANALISE

OcorrenciasP = Contagem(PicosCorrenteP,Maior,Menor,Intervalo)';
OcorrenciasO = Contagem(PicosCorrenteO,Maior,Menor,Intervalo)';

%% CALCULO DE OCORRENCIAS ESPERADAS

[OcorrenciasE, TotalE, TotalO] = Calc_Esperada(Li,Ls,OcorrenciasP,OcorrenciasO);
OcorrenciasE = OcorrenciasE';

%% TESTE DE QUI-QUADRADO.

[p, soma]= QUI_Quad(Li,Ls,OcorrenciasE,OcorrenciasO);
valorteste=0.05;

%% DESVIO PADRÃO

D_P = std(peaks);
Analisado = Menor + (Li*Intervalo) - Intervalo ;
peaksA = findpeaks(Corrente, 'minpeakheight',Analisado, 'minpeakdistance', Dpeak);
D_P2 = std(peaksA);

```

```

%% Resultados dos Testes

fprintf('Intervalo = %d\n',Intervalo);
fprintf("\n")
fprintf(Nome);
fprintf("\n")
    if (p>=valorteste) % Análise de Aderência do Teste Chi-quadrado
        fprintf('Hipótese nula não pode ser rejeitada com P_valor = %d\n',p);
    else
        fprintf('Hipótese nula rejeitada com P_valor = %d\n',p);
    end

fprintf('Valor de soma = %d\n',soma);
fprintf('\n');

%% FACILITAR VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

fprintf('Valor de Corrente Média = %.3f\n',CorrenteMedia);
fprintf('Valor de Corrente Eficaz = %.3f\n',CorrenteEficaz);
fprintf('Menor Valor de pico = %.3f\n',Menor);
fprintf('Maior Valor de pico = %.3f\n',Maior);
fprintf('Li = %d\n',Li);
fprintf('Ls = %d\n',Ls);
fprintf('Distância mínima entre picos utilizada = %d\n',Dpeak);
fprintf('Altura mínima dos picos = %.3f\n',LInf);
fprintf('Desvio padrão dos picos = %d\n',D_P);
fprintf('Desvio padrão dos picos usados para Qui-Quadrado = %d\n',D_P2);

%%

```

APÊNDICE B – Algoritmo de Ajuste dos dados.

```
%Ajustar Corrente Para Grafico de 140000 Pontos partindo do meio...  
... para as pontas  
  
function CorrenteNovo = Ajustar(Corrente)  
  
Meio = length(Corrente)/2;  
CorrenteNovo = zeros(140000,1);  
  
for i=1:70000  
  
    CorrenteNovo(70000-i+1)=Corrente (Meio-i+1);  
    CorrenteNovo(70000+i)=Corrente (Meio+i);  
  
end
```

APÊNDICE C – Função para cálculo de Corrente Eficaz e Média.

```
%% Cálculo de Valores de Corrente Média e Eficaz

function [ Medio, Eficaz ] = CalcValCorrentes (Corrente)

Medio = sum(Corrente)/length(Corrente);
soma = 0;

for i = 1:length(Corrente)

    soma = soma+ Corrente(i)^2;

end

Eficaz = sqrt(soma/length(Corrente));

end
```

APÊNDICE D – Função para separar em 2 vetores.

```
%% Separar Corrente Para comparação em vetores com 70000 pontos partindo do centro↙  
para as extremidades  
  
function [CorrenteP, CorrenteO] = Separar_vet (CorrenteT)  
  
T = length(CorrenteT);  
CorrenteP=zeros(70000,1);  
CorrenteO=zeros(70000,1);  
  
for i=1:70000 %Separa em dois vetores para fazer a comparação.  
  
    CorrenteP(i) = CorrenteT((T/2)+1-i);  
    CorrenteO(i) = CorrenteT((T/2)+i);  
  
end  
  
CorrenteP = CorrenteP';  
CorrenteO = CorrenteO';  
  
end
```

APÊNDICE E – Função para verificar o maior valor de pico.

```
%% Compara e retorna o maior valor no Vetor
function Maior = VerificaMaior (Vetor1, Vetor2)

if max(Vetor1)>max(Vetor2)

    maior = max(Vetor1);

else

    maior = max(Vetor2);

end

Maior = maior;

end
```

APÊNDICE F – Função para verificar o menor valor do pico

```
%% Compara e retorna o menor valor no Vetor
function Menor = VerificaMenor (Vetor1, Vetor2)

if min(Vetor1)<min(Vetor2)

    menor = min(Vetor1);

else

    menor = min(Vetor2);

end

Menor = menor;

end
```

APÊNDICE G – Função para contagem dos Picos.

```
%%CONTAGEM DE CATEGORIAS PARA INTERVALOS DIFERENTES...
...COM VALOR DE LIMITE INFERIOR ARRENDONDADO PARA O INTEIRO POSTERIOR

function count = Contagem(Corrente,Maior,Menor,Intervalo)

Vet = Menor:Intervalo:Maior+Intervalo;

tam = length(Vet);

if Vet(tam-1)> Maior

    vet = zeros(1,tam-1);

    for i=1:tam-1

        vet(i) = Vet(i);
        Vet(i) = vet(i);

    end

end

count = zeros(1,length(Vet));

%%
k=1;

for j=1:(length(Vet))

    for i=1:length(Corrente)

        if(Vet(j)<=Corrente(i) && Vet(j+1) > Corrente(i))

            count(k)=count(k)+1;

        end

    end

    k=k+1;

end

end
```

APÊNDICE H – Função para cálculo de Ocorrências Esperadas.

```
function [OcorrenciasE, TotalE, TotalO] = Calc_Esperada(Li,Ls,OcorrenciasP, OcorrenciasO)

%Fazer a Soma de elementos Esperados no Intervalo em questao.
TotalE = 0;
TotalO = 0;

for i = Li:Ls

    TotalE = TotalE + OcorrenciasP(i);
    TotalO = TotalO + OcorrenciasO(i);

end

%Calcular a Ocorrencia Esperada

for i = Li:Ls

    OcorrenciasE(i) = (OcorrenciasP(i)/TotalE)*TotalO;

end

end
```

APÊNDICE I – Função para o cálculo de Qui-Quadrado.

```
%%CALCULO DE QUI QUADRADO Li = INICIO DO VETOR e Ls = FINAL DO VETOR

function [p, soma]= QUI_Quad(Li,Ls,OcorrenciasE,OcorrenciasO)

GL = (Ls-Li); %Grau de Liberdade
soma=0;
v = zeros(Ls-Li);

for j=Li:Ls

    v(j) = ((OcorrenciasO(j)-OcorrenciasE(j))^2)/(OcorrenciasE(j));
    soma = soma+v(j);

end

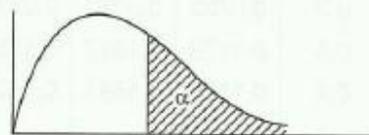
p = chi2cdf(soma,GL,'upper'); % probabilidade da cauda direita

end
```

ANEXO A – DISTRIBUIÇÃO QUI-QUADRADO

Tabela 3 - Distribuição Qui-Quadrado

Tabela 2. Distribuição de χ^2



$\alpha \backslash \phi$	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,750	0,500	0,250	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0000	0,0002	0,0010	0,0039	0,0158	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88
2	0,0100	0,0001	0,0506	0,103	0,211	0,575	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,021	2,37	4,11	6,25	7,81	9,25	11,3	12,8
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9
5	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7
6	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,45	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5
7	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	4,25	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3
8	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	5,07	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0
9	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,90	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6
10	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,74	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2
11	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	7,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8
12	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	8,44	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3
13	3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	9,30	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8
14	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	10,2	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3

(continua)

(continuação)

$\alpha \backslash \varphi$	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,750	0,500	0,250	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
15	4,60	5,23	6,23	7,26	8,55	11,0	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8
16	5,14	5,80	6,91	7,96	8,31	11,9	15,3	19,4	23,5	26,3	28,4	32,0	34,3
17	5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,8	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7
18	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	13,7	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2
19	6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	14,6	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6
20	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	15,5	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0
21	8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	16,3	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4
22	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	17,2	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,5	42,8
23	9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	18,1	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2
24	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	19,0	23,3	28,2	33,1	36,4	39,4	43,0	45,6
25	10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	19,9	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9
26	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	20,8	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3
27	11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	21,7	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6
28	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	22,7	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0
29	13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	23,6	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6	52,5
30	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	24,5	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7

Para $\varphi > 30$ usar a aproximação: $\chi_x^2 = \frac{1}{2} \left[\pm Z_\alpha + \sqrt{2\varphi - 1} \right]^2$

Fonte: Adaptado FONSECA; MARTINS (2011,p.314)

ANEXO B – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de Novembro de 2020.

Willian Brandão de Souza

Willian Brandão de Souza - Discente

Matrícula: 201471035 - CPF: 066.538.486-63

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.