

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
MICHEL PEREIRA MATIAS
LUIZ HENRIQUE GOMES DA SILVA REGO

**ESTUDOS DE EXPERIMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO
PROCESSO DE SOLDAGEM MAG AUTOMATIZADO**

Taubaté - SP

2019

**MICHEL PEREIRA MATIAS
LUIZ HENRIQUE GOMES DA SILVA REGO**

ESTUDOS DE EXPERIMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM MAG AUTOMATIZADO

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: prof. Me. Ivair Alves dos Santos

Taubaté - SP

2019

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

M433e Matias, Michel Pereira
Estudo de experimentos para otimização do processo de soldagem MAG automatizado / Michel Pereira Matias; Luiz Henrique Gomes da Silva Rego. -- 2019.
43 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.
Orientação: Prof. Me. Ivair Alves dos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica

1. DOE. 2. Parâmetros. 3. Soldagem. I. Título. II. Graduação em Engenharia Mecânica. III. Rego, Luiz Henrique Gomes da Silva.

CDD – 671.56

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

Michel Pereira Matias
Luiz Henrique Gomes da Silva Rego

**ESTUDO DE EXPERIMENTO PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE
SOLDAGEM MAG AUTOMATIZADA**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do curso
de Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade de
Taubaté.

DATA: 16 / Outubro / 2019

RESULTADO: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura Ivair Alves dos Santos

Prof. Me Antônio Carlos Tonini

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura Antônio Carlos Tonini

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus, pelas oportunidades e pela chance de aproveitá-las o melhor possível, nos guiando e iluminando para a conclusão deste trabalho.

Aos nossos familiares, por todo apoio, suporte e incentivo dado desde o início do curso e durante o desenvolvimento do nosso trabalho.

A todos nossos amigos e colegas de classe que conviveram conosco durante não só os momentos de tensão, mas também de descontração, e que também estavam em busca de um mesmo objetivo.

Enfim, agradecemos a todos que estiveram presentes nesta etapa decisiva e de grande importância em nossas vidas.

RESUMO

Este projeto tem como principal objetivo mostrar o aperfeiçoamento no processo de soldagem MAG automatizado, por meio de um estudo de experimentos. O foco maior do trabalho foi analisar as amostras e realizar os ensaios feitos em laboratório e descobrir quais seriam os possíveis parâmetros que poderiam ser melhorados e/ou alterados para uma melhora significativa no processo automatizado que atenda aos requisitos mínimos da montadora que solicita o produto. Além disso, o projeto visa também aumentar o conhecimento da ferramenta DOE através do software Minitab, buscando também um aumento na qualidade final do produto. O estudo de caso foi elaborado em uma empresa de autopeças localizada no interior de São Paulo, onde são produzidas autopeças para as grandes montadoras de automóveis. Por fim, neste trabalho será analisado os dados obtidos das amostras coletadas e serão alimentadas as planilhas fornecidas pelo software para analisar os efeitos dos principais parâmetros e sua influência para cada determinado fator de resposta e definido o parâmetro que atenda as especificações solicitada pelo cliente.

Palavras-Chave: DOE. Parâmetros. Soldagem.

ABSTRACT

This project aims to show the improvement in the automated MAG welding process, through a study of experiments. The main focus of the work was to analyze the samples and perform the laboratory tests and find out what the possible parameters could be improved and / or changed for a significant improvement in the automated process that meets the minimum requirements of the assembler requesting the product. In addition, the project also aims to increase knowledge of the DOE tool through Minitab software, also seeking an increase in the final quality of the product. The case study was prepared in an auto parts company located in the interior of São Paulo, where auto parts are produced for the major automakers. Finally, in this work will be analyzed the data obtained from the collected samples and will be fed the spreadsheets provided by the software to analyze the effects of the main parameters and their influence for each given response factor and set the parameter that meets the specifications requested by the customer.

KEYWORDS: DOE. Welding. Parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Princípio básico de funcionamento do processo.....	4
Figura 2 - Processo básico de soldagem MIG/MAG	5
Figura 3 - Influência da Corrente de Solda.....	6
Figura 4 - Influência da Tensão de Solda.....	7
Figura 5 - Influência da Velocidade de Solda.....	8
Figura 6 - <i>Stick-Out</i>	9
Figura 7 - Tipos de deposição obtidas com as variações de corrente e tensão.....	9
Figura 8 - Definição do <i>Stick-Out</i>	21
Figura 9 - Definição do sentido da tocha de solda	22
Figura 10 - Bancada com morsa e lixadeira para cortar os experimentos	23
Figura 11 - Lixadeira rotativa.....	23
Figura 12 - Lixadeira Politriz Metalográfica	24
Figura 13 - Recipiente com ácido Nítrico	25
Figura 14 - Microscópio ZEIZZ 50x	25
Figura 15 - Amostra 01.....	28
Figura 16 - Amostra 02.....	28
Figura 17 - Amostra 03.....	29
Figura 18 - Amostra 04.....	29
Figura 19 - Amostra 05.....	30
Figura 20 - Amostra 06.....	30
Figura 21 - Amostra 07.....	31
Figura 22 - Amostra 08.....	31
Figura 23 - Amostra 09.....	32
Figura 24 - Amostra 10.....	32
Figura 25 - Amostra 11.....	33
Figura 26 - Amostra 12.....	33
Figura 27 - Amostra 13.....	34
Figura 28 - Amostra 14.....	34
Figura 29 - Amostra 15.....	35
Figura 30 - Amostra 16.....	35
Figura 31 - Gráfico de Pareto para fator resposta Penetração.....	37

Figura 32 - Gráfico de Efeito da influência de cada Parâmetro em relação a Penetração	37
Figura 33 - Gráfico de Pareto para fator resposta Garganta	38
Figura 34 - Gráfico de Efeito da influência de cada Parâmetro em relação a Garganta	38
Figura 35 - Resposta otimizada através da "Response Optimizer"	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Experimento Fatorial para dois Fatores	16
Tabela 2 - Experimento Fatorial 2 ³	17
Tabela 3 - Composição química do arame.....	20
Tabela 4 - Propriedades Mecânicas do arame.....	20
Tabela 5 - Fatores e seus respectivos Níveis.....	26
Tabela 6 - Matriz do Delineamento de experimento.....	27
Tabela 7 - Matriz de Delineamento com os valores obtidos nas amostras	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Geral.....	2
1.1.2 Especifico.....	2
1.2 Delimitação do estudo.....	3
1.3 Relevância do estudo.....	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Soldagem GMAW - Conceitos e Métodos.....	4
2.2 Parâmetros e suas influências.....	5
2.2.2 Corrente.....	6
2.2.3 Tensão.....	6
2.2.4 Velocidade de Solda.....	7
2.2.5 <i>Stick-out</i>	8
2.3 Tipos transferência de metal.....	9
2.3.2 Transferência Globular.....	10
2.3.3 Transferência por Spray.....	10
2.3.4 Transferência por Curto-Circuito.....	10
2.3.5 Transferência por Arco Pulsado.....	11
2.4 Pontos positivos e negativos.....	11
2.5 <i>Design de experimentos</i>	12
2.6 Definições e termos utilizados.....	13
2.7 Etapas do estudo experimental.....	14
2.8 Planejamento experimental.....	15
2.8.2 Planejamento fatorial.....	15
2.8.3 Planejamento fatorial 2k	16
3 DESENVOLVIMENTO.....	19

3.1 O produto <i>Isofix</i>	19
3.2 Materiais de consumo	20
3.2.1 Arame consumível	20
3.2.2 Gás de proteção	20
3.2.3 <i>Stick-Out</i>	21
3.2.4 Posição da tocha	21
3.3 Laboratório de ensaios	22
3.4 Experimento	26
3.4.1 Realização do experimento	26
3.4.2 Análise	27
4 CONCLUSÃO	40
4.1 Resposta otimizada	40
4.2 Conclusões gerais	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais a exigência do mercado de trabalho por produtos de qualidade elevada e por produtividade é constante, exigindo de métodos que garantam a realização de tais objetivos. Por isso é imprescindível à necessidade de um amplo conhecimento desses processos.

Desta forma, utilizam-se da técnica do Estudo de Experimentos, como um método de pesquisa que tem como base a utilização de uma ferramenta estatística, garantindo um melhor entendimento e que a melhoria continua seja viável. Portanto esta metodologia vem sendo quase uma ferramenta obrigatória para a indústria que tem como objetivo um produto competitivo no mercado interior e exterior, visto que o alto índice de recall assombra as indústrias automobilísticas devido ao mau desenvolvimento e processo de fabricação. O estudo de experimentos é uma ferramenta extremamente eficaz para este tipo de caso, pois define de forma mais econômica o ajuste correto do processo a ser desenvolvido.

De acordo com todos os fatos apresentados, este projeto tem como propósito uma melhoria no processo de solda automatizada MAG em uma indústria através da aplicação do Estudo de Experimentos. Além da melhoria do processo o projeto visa o aumento do conhecimento desta ferramenta DOE, melhoria da qualidade da solda MAG automatizada e seus aspectos técnicos, aumento da produtividade, utilizando dos fatores adquiridos pela análise da técnica do Estudo de Experimentos na indústria em questão.

Neste contexto, será a determinação dos melhores parâmetros e consequência dos mesmos sobre o critério de qualidade para a soldagem robotizada, além de realizar os seguintes passos:

- a. Padronização do stick out, vazão de gás e sentido do cordão de solda;
- b. Analisar a penetração e garganta das juntas soldadas através do ensaio de macrografia;
- c. Analisar os parâmetros de soldagem e suas influencias para cada fator resposta;
- d. Desenvolver um estudo de Experimentos.

Com a determinação dos parâmetros mais efetivos do processo de soldagem automatizada será possível à avaliação da influência de cada parâmetro sobre os

critérios de qualidade da mesma, podendo determinar assim uma otimização das condições do processo, visto que a soldagem MAG é um dos processos de fabricação mais complexos e com um número excessivo de variáveis para sua ótima utilização.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Este projeto tem como objetivo aperfeiçoar um processo de soldagem automatizado MAG, através do estudo de experimentos utilizando a metodologia do delineamento de experimentos através do estudo fatorial fornecido pelo software Minitab e com os principais parâmetros utilizados no processo que influencia diretamente a qualidade do produto final, assim como Amperagem, Tensão, velocidade de soldagem e modo de trabalho.

1.1.2 Especifico

Como objetivo específico este projeto pretende os seguintes itens:

- a. Aprimorar o conhecimento no software Minitab
- b. Desenvolver um conhecimento da ferramenta D.O.E.
- c. Melhorar a qualidade do produto final.
- d. Aperfeiçoar a produtividade em uma célula de solda robotizada.
- e. Aumentar o conhecimento do processo de soldagem automatizada.
- f. Desenvolver um conhecimento em ensaios laboratoriais em processos de soldagem MIG/MAG.

1.2 Delimitação do estudo

O estudo de caso foi desenvolvido na unidade de uma empresa do ramo de autopeças, empresa do seguimento automotivo, é um grupo internacional dedicada ao design, desenvolvimento e fabricação de componentes automotivos de metal. O Grupo é especializado no desenvolvimento de produtos de design inovador para alcançar os veículos cada vez mais seguros e mais leves, reduzindo assim o consumo de energia e impacto ambiental. Onde destaca-se na produção de autopeças para grande montadora.

1.3 Relevância do estudo

Este estudo é sem dúvida de suma importância para área de processo industrial ou interessados em processo de soldagem MIG/MAG e desenvolvimento de estudo de casos. Será desenvolvido uma aprimoração dos conhecimentos no processo de soldagem MIG/MAG, na utilização do estudo de experimentos para se obtêm uma melhoria na qualidade do produto final, onde é definido as principais variáveis de influência e as variáveis respostas que se deseja almejar com este estudo. Por fim este trabalho tem o propósito de garantir um produto com maior robustez e confiabilidade no processo de soldagem.

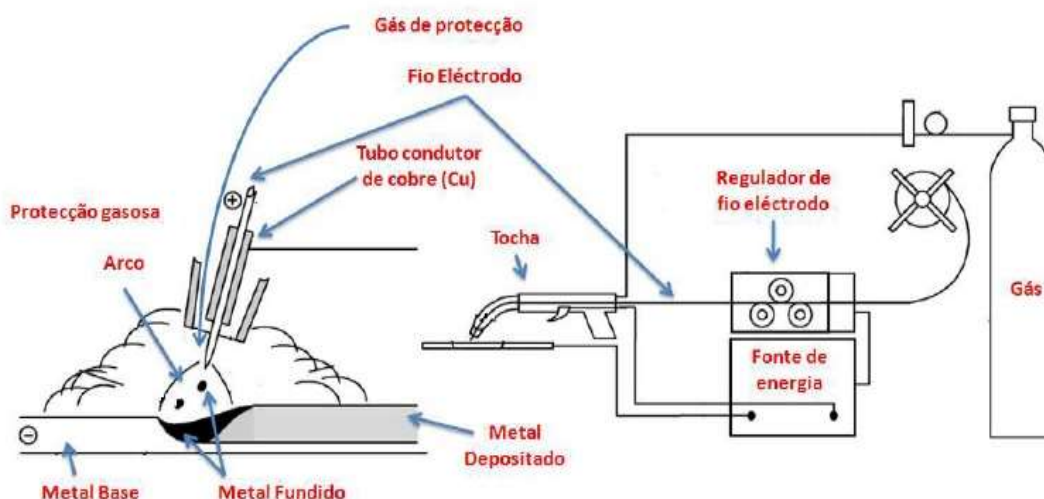
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Soldagem GMAW - Conceitos e Métodos

O conceito do processo de soldagem GMAW foi desenvolvida em meados de 1920, sendo assim possível sua comercialização após 1948.

Onde o arco elétrico usualmente conhecido com soldagem MIG/MAG, que significa *MIG* – Metal Inert Gas e *MAG* – Metal Active Gas. Onde tem seu princípio de funcionamento um arco elétrico que gera calor para fundir um eletrodo consumível alimentado constantemente, assim formando a poça de fusão, a qual é protegida por uma mistura gasosa através de uma fonte externa para proteção dos gases nocivos da atmosfera. A Figura 1 mostra o equipamento utilizado para o processo de soldagem MIG/MAG.

Figura 1 - Princípio básico de funcionamento do processo.



Fonte: Mendes, (2009).

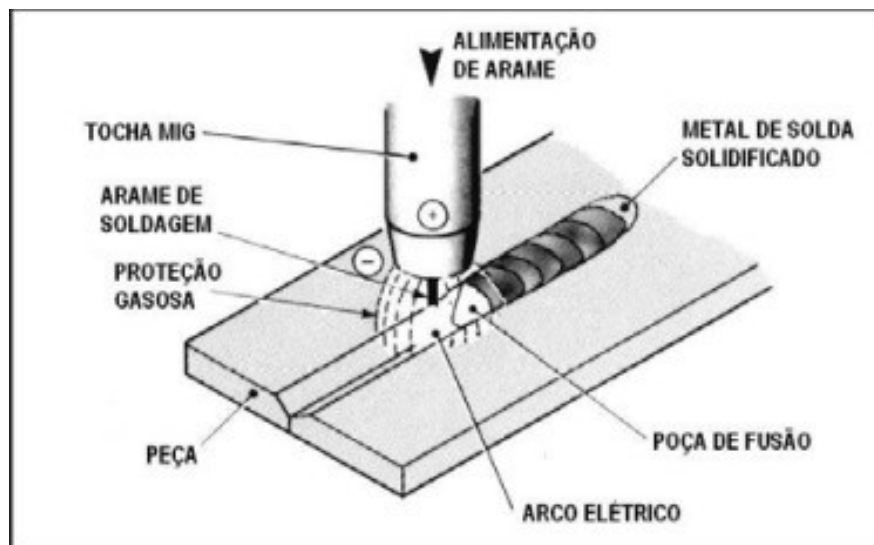
O processo de soldagem MIG/MAG é usualmente utilizado na soldagem de materiais de diversas espessuras. Este processo tem sido utilizado em indústrias dos mais diversos ramos.

De acordo com Mendes (2009), nos últimos anos, este processo de soldagem tem apresentado um grande aumento na sua utilização, devido à facilidade do uso de

processos semiautomáticos, automáticos e mecanizados substituindo o processo manual, garantindo a maior produtividade.

Santos (2010) ressalta que a grande diferença entre os processos de soldagem MIG/MAG é a utilização dos gases de proteção entorno a poça de fusão, podendo ser os gases inertes (He e Ar) para utilização do processo MIG e os gases ativos (O₂, CO₂ e H₂) no caso do processo MAG.

Figura 2 - Processo básico de soldagem MIG/MAG



Fonte: Esab, (2005).

2.2 Parâmetros e suas influências

Mendes (2009) diz também que, para se manter um processo estável, é fundamental conhecermos os parâmetros e suas características diante do mesmo, assim sendo possível garantir resultados mais satisfatórios e estáveis.

Algumas variáveis pré-selecionadas como as propriedades e diâmetro do arame, o tipo e a vazão do gás de proteção são denominados também como variáveis fixas. As variáveis como tensão do arco, voltagem, velocidade de alimentação do arame, velocidade de soldagem e tipo de transferência metálica são consideradas variáveis primárias.

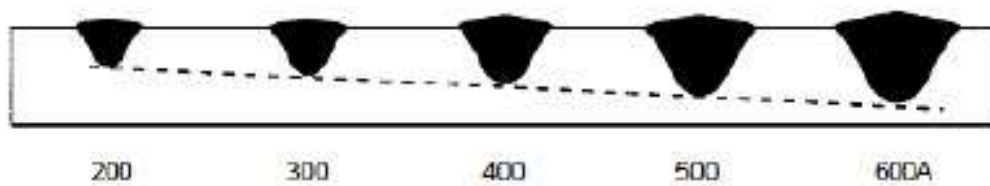
Segundo Santos (2010) para se obter um cordão de solda com ótimas características geométricas é necessário ressaltar os parâmetros com maior influência

na soldadura, sendo eles: Corrente (A), Tensão (U), Velocidade de avanço e stick-out (DBCP). A escolha incorreta desses parâmetros acarreta diretamente em uma má característica geométrica dos cordões de solda.

2.2.2 Corrente

A corrente de solda seria um dos parâmetros mais importante para o processo de soldagem, pois é ele o responsável pela taxa de fusão do eletrodo, quantidade de material base a ser depositado na posa de fusão. Mendes (2009) complementa ainda que, uma corrente elevada pode acarretar num cordão com maior dimensão e com mais penetração. Já para corrente baixa acontecerá o oposto.

Figura 3 - Influência da Corrente de Solda



Fonte: Mendes, (2009).

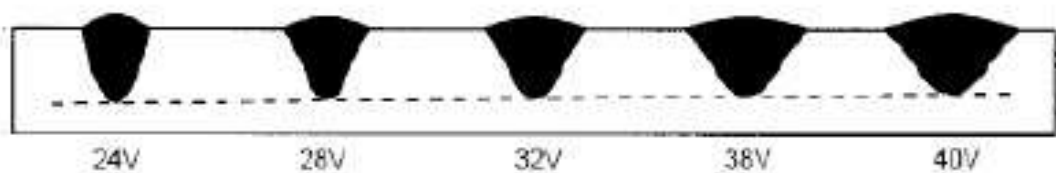
Pode-se concluir então que é essencial a escolha da corrente na hora do processo de soldagem, e que altas entregas térmicas podem originar uma maior tendência para deformação da peça após o arrefecimento.

2.2.3 Tensão

Como é explicado por Mendes (2009), a tensão é responsável pelo comprimento do arco do processo, sendo assim se aumentar a tensão no processo o comprimento do arco aumentara e vice-versa. Ela é responsável por influenciar na largura do cordão de solda.

De acordo com Pessoa (2009) a variação da tensão influencia na largura do cordão, aumentando sua largura de acordo com o aumento do arco. Mesmo assim, ele não tem uma influência significativa na taxa de deposição.

Figura 4 - Influência da Tensão de Solda



Fonte: Mendes, (2009).

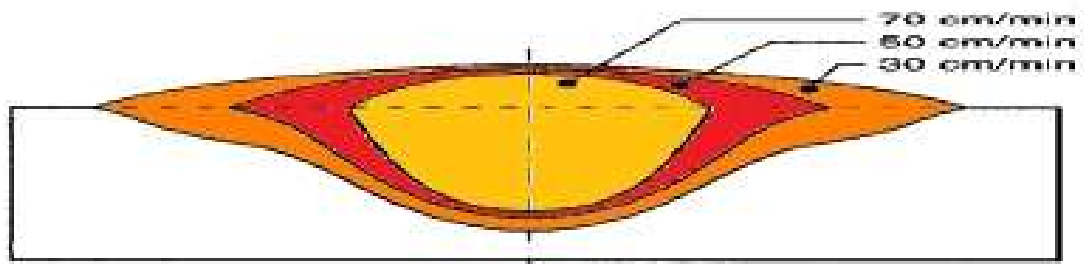
2.2.4 Velocidade de Solda

A velocidade de solda, de acordo com Mendes (2009), seria a relação entre o caminho percorrido pela posa de fusão ao longo da peça e o tempo que ela levaria para percorrer este trajeto. A velocidade de solda tem uma influência significativa na largura e penetração do cordão. Onde velocidade elevada pode originar defeitos como porosidades, baixa penetração e sopro magnético, já no caso de velocidade baixa podemos ressaltar numa soldagem com penetração irregular, vazão e perfuração.

No que diz respeito a velocidade de soldagem temos que ter o conceito que:

- Casos em que a espessura da peça aumenta a velocidade diminui
- Peças com uma determinada espessura e tipo de junta, quando a corrente de soldagem aplicada aumentar a velocidade deve aumentar e vice-versa.
- Sentido de soldagem empurrando se obtém maiores velocidades de soldagem.

Figura 5 - Influência da Velocidade de Solda



Fonte: Mendes, (2009).

2.2.5 *Stick-out*

O stick-out de acordo com Júnior (2003) seria a extensão do eletrodo entre o bico de contato e a ponta de contato. É nesta região que ocorre o efeito Joule (elevação de temperatura do eletrodo ocasionando o aumento da resistência elétrica), o que ajuda numa boa proteção do banho de fusão.

Júnior (2003) cita que a função do 'Stick-out' é fazer com que essa temperatura de pré-aquecimento seja atingida. Com um baixo "stick-out", o pré-aquecimento do fluxo não é capaz de propor uma produção adequada dos gases para proporcionar a proteção do banho de fusão. Mendes (2009), entretanto, explica que quando o "stick-out" tem valores elevados, é possível que ocorram dissociações prematuras do CO_2 , o que pode levar a ocasionar possíveis excessos de respingos e a temperatura do arame torna-se elevada fazendo com que aconteça seu amolecimento antes de atingir a poça de fusão, o que leva a causar desvios na linha de solda.

De acordo com Júnior (2003) a distância do stick-out quando ampliada afeta no efeito Joule o aumentando e a corrente de soldagem essencial para fundir o arame consumível é diminuída e vice-versa.

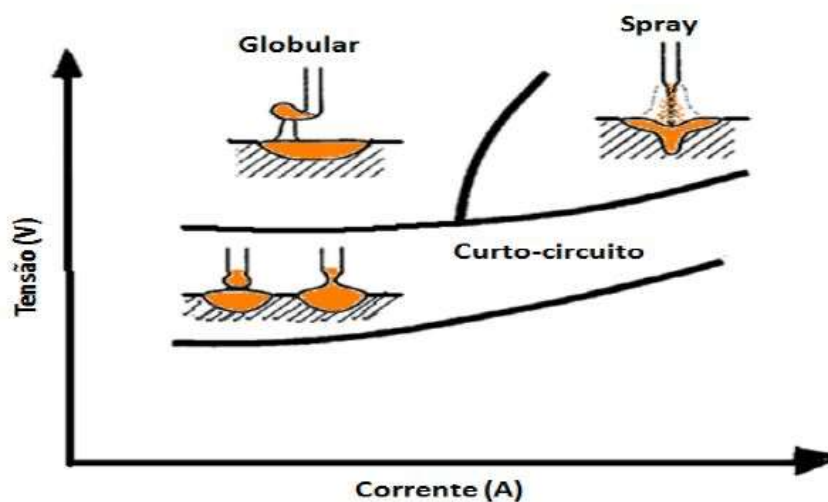
Figura 6 - *Stick-Out*

Fonte: Esab, (2005).

2.3 Tipos transferência de metal

De acordo com Mendes (2009) processo MIG/MAG possui características que fazem com que seja possível a transferência de metal fundido para o metal base, o que é chamado de deposição. Essas transferências são classificadas em três tipos: Transferência globular, por spray e por curto-circuito. Cada uma das transferências tem características únicas em seu funcionamento, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Tipos de deposição obtidas com as variações de corrente e tensão.



Fonte: Mendes, (2009).

2.3.2 Transferência Globular

A transferência globular é originalmente utilizada com correntes e tensões altas encontradas antes da corrente de transição, ou seja, baixas correntes. Mendes (2009) explica que, deposições de gotas de metal fundido em grandes dimensões caracterizam esse tipo de transferência, normalmente as gotas tem o mesmo diâmetro do eletrodo, podendo ocasionar o surgimento de salpicos de metal, que surgem devido ao contato da ponta do eletrodo com as gotas de metal fundido.

2.3.3 Transferência por Spray

Denomina-se Transferência por Spray a transferência que utiliza altas tensões e correntes, normalmente acima da corrente de transição. Devido a isso, formam-se centenas de pequenas gotículas por segundo que são providas do arco elétrico. Durante o processo de deposição do metal, é possível notar que é frequente a ocorrência de salpicos do material.

2.3.4 Transferência por Curto-Circuito

Este tipo de transferência é caracterizado por baixas tensões e correntes de soldagem e tem o diâmetro dos eletrodos reduzidos. Devido a estes fatores, Mendes (2009) explica que forma-se uma espécie de "banho metálico" no metal base, este banho metálico é o responsável pelo contato entre o eletrodo e o metal base, ou seja, não há transferência alguma através do arco. Devido a essas propriedades, essa transferência acaba sendo a mais recomendada para a união de materiais de espessuras baixas.

2.3.5 Transferência por Arco Pulsado

A transferência por arco pulsado provém de máquinas sinérgicas, ou seja, fontes energéticas com controle de potência. Neste tipo de fonte, é possível fazer uma oscilação entre a corrente máxima acima da corrente de transição e abaixo da corrente mínima de transição (transferência por spray e globular, respectivamente). A cada pulso da corrente, forma-se uma gota metálica, e faz-se uma transferência por spray, porém, com corrente abaixo da normalmente utilizada. É possível então, a regulação dos pulsos de tempo, o que permite controlar a deposição de material fundido sobre o material base, os pulsos podem variar de 60 a 120 pulsos por minuto.

Este tipo de transferência possibilita a soldagem de peças com baixa espessura por spray, usando fios com diâmetros maiores, e ainda sim, evitando o excesso de fusão do material.

2.4 Pontos positivos e negativos

Mendes (2009) relata que este processo possui diversos pontos positivos, pois ele concede diversos tipos de proteção gasosa, o que faz com que ocorram diferentes comportamentos nos banhos metálicos e nas características de solda resultante. Possui também altas taxas de deposição, agindo de forma automática ou semiautomática, e também é possível executar várias soldaduras de grandes comprimentos.

Por outro lado, os pontos negativos mais impactantes são: custo do equipamento, a dificuldade no transporte do equipamento devido ao seu grande tamanho, dificuldade de soldadura em lugares específicos por conta do grande tamanho das tochas, necessidade de proteção do arco do ambiente externo, e falta de proteção de banho metálico.

2.5 *Design de experimentos*

Atualmente no processo de fabricação das indústrias contém diversos fatores e níveis de regulação que influenciam diretamente o processo ou a qualidade do produto. Para que o processo não se torne instável são realizados estudos de experimentos, também conhecido como *Design Of Experimente* (DOE). Segundo Duarte et al. (2007) todo DOE é fundamental planejar os experimentos e objetivos que se deseja obter sob condições controladas e adquirindo resultados confiáveis de um determinado processo. Com um planejamento adequado permite-se reduzir o tempo de análise e a quantidade de experimentos envolvidos, além de aperfeiçoar o processo e variabilidade dos resultados.

De acordo com Macedo (2007) esta metodologia é fundamentada em conceitos estatísticos, com o objetivo de planejar, executar e analisar. Este estudo tem ganhado cada vez mais adeptos em uma vasta gama de aplicações nos mais diversos ramos na indústria, permitindo estudar diversas variáveis e separando seus efeitos a cada experimentação. A vantagem do estudo de experimentos é reduzir e controlar os efeitos causados pelos fatores não controláveis. Ao aplicar o estudo de experimentos o desenvolvedor do projeto o torna eficiente devido a aplicação por expressões matemáticas e conclusões a partir dos resultados qualitativos.

Duarte et al. (2007) ressalta que os objetivos na utilização desta técnica podem ser divididos de acordo com o propósito dos ensaios:

- a. Definir as variáveis que mais influenciam os resultados;
- b. Denominar valores as variáveis que influenciam o processo de forma a aprimorar os resultados;
- c. Atribuir valores as variáveis que influenciam o processo de forma a reduzir a mutabilidade dos resultados;
- d. Denomina valores as variáveis que influenciam no processo de forma a minimizar a influência das variáveis incontroláveis;

Em contrapartida, é extremamente a importância de analisar os efeitos provocados nas respostas dos experimentos por dois ou mais fatores, em cada um deles com dois ou mais níveis. Sugere a utilização das clássicas técnicas de experimentação, tais como: fatorial completa, fatorial fracionado ou experimentos com pontos centrais.

O planejamento de experimentos segundo Duarte et al. (2007) é uma ferramenta fundamental para o aperfeiçoamento do processo. Além disso, permite a definição de parâmetros de projeto apropriados em uma vasta faixa de utilização. A concepção sobre o planejamento experimental pode ser definida por três termos muito utilizados atualmente na indústrias: produtividade, qualidade e competitividade.

2.6 Definições e termos utilizados

Segundo Alves (2017) para termos um melhor entendimento sobre a experimentação, devemos conhecer alguns termos:

- a. Fatores: São denominadas as variáveis da qual influenciam as variáveis respostas estudadas no experimento (ALVES 2017);
- b. Níveis: Quantidade de valores que irá assumir no fator do experimento (Alves 2017). Por exemplo, se um processo será estudado com duas ou mais valores na amperagem no cordão de solda;
- c. Tratamentos: Diversas combinações que poderá ser realizada com cada nível de cada fator (GALDAMEZ 2002);
- d. Ensaio: cada tratamento necessita de um ensaio para coletar os dados dos experimentos (ALVES 2017);
- e. Variáveis resposta: Variável determinada pelo experimentador em que se deseja obter. Todo experimento possui a variável resposta (GALDAMEZ 2002);
- f. Replicação: Quando se tem mais de um ensaio por tratamento sob as mesmas condições. Esta repetição de experimentos é necessária para analisar se não haverá variação nas variáveis resposta de interesse (ALVES 2017);
- g. Aleatorização: Definição da ordem dos tratamentos da matriz, realizado através de sorteio ou por limitações específicas de testes (GALDAMEZ 2002);
- h. Bloco: Técnica para eliminar a influência de um ou mais fatores em relação ao resultado do experimento. Assim possibilita criar um experimento mais

homogêneo e com mais precisão nas variáveis de resposta (GALDAMEZ 2002).

2.7 Etapas do estudo experimental

Para a realização do DOE é de suma importância termos um conhecimento em estatística para planejar e analisar os dados. Além disso, para se fazer um projeto de experimentos deve-se ter definido o objetivo do estudo, meios para se adquirir os dados fornecidos e a forma de como os dados serão analisados. Segundo Macedo (2007) a utilização desse método torna os resultados mais confiáveis e é uma ferramenta mais eficiente. Para o planejamento experimental e análise dos resultados obtidos utilizam sete etapas:

- a. Análise e definição do problema: Todo estudo experimental tem a finalidade de solucionar algum problema em seu processo de fabricação ou melhoria do mesmo, então é necessário o conhecimento do problema proposto (MACEDO 2007);
- b. Definição das variáveis (níveis e fatores): O conhecimento e a definição correta dessas variáveis para o pesquisador são uma combinação dos conceitos teóricos e práticos do processo (MACEDO 2007);
- c. Definição das variáveis respostas: É importante garantir a objetividade do experimento e garantir que o erro experimental seja mínimo (MACEDO 2007);
- d. Seleção do planejamento experimental: A seleção do experimento envolve o número de réplicas e conseqüentemente o número de ensaios, tendo a necessidade de aleatorização ou o uso de bloco. Caso haja uma escolha incorreta do experimento o procedimento de testes acaba elevando o custo da experimentação do pesquisador (MACEDO 2007);
- e. Aplicação dos experimentos: Nesta etapa através do monitoramento é possível garantir a confiabilidade do experimento (MACEDO 2007);
- f. Análise dos dados: Podemos utilizar métodos estatísticos para garantirmos a confiabilidade dos resultados, fornecendo dados conclusivos de confiança e

que o erro associado a conclusão esteja de acordo com o grau de confiança associado aos parâmetros pré-definidos (MACEDO 2007);

- g. Conclusão do estudo experimental: Permitirá que se tome decisões conforme os dados obtidos, obtendo tabelas e gráficos que apresentem os dados (MACEDO 2007);

2.8 Planejamento experimental

A algumas formas de realizar a experimentação, desde a mais simples até a mais complexa. Conforme citado por Macedo (2007) o objetivo desta definição é ter em vista o número de ensaios que será realizado e também a estimativa dos erros dos experimentos garantindo que os dados obtidos sejam confiáveis. Nesta etapa do projeto tem-se algumas formas de experimentação descrita a seguir.

2.8.2 Planejamento fatorial

O planejamento fatorial segundo Galdamez (2002) tem como objetivo avaliar os efeitos de duas ou mais variáveis. Cada experimentação é aleatória e são obtidas todas as combinações possíveis com os níveis definidos pelo pesquisador.

Considerando que o experimento utiliza dois fatores A e B e ambos com respectivamente a e b níveis, assim define todas as combinações possíveis dos níveis de cada fator. O planejamento fatorial pode ser representado por b^x , onde x representa a quantidade de fatores e b representa a quantidade de níveis. O planejamento 2^x é o mais comum por ter a vantagem de realizar poucos ensaios (GALDAMEZ 2002). Abaixo a Tabela 1 mostra o planejamento fatorial para dois fatores.

Tabela 1 - Experimento Fatorial para dois Fatores

		Fator B			
		Níveis	1	2	...
Fator A	1	$Y_{111}, Y_{112}, \dots, Y_{11n}$	$Y_{121}, Y_{122}, \dots, Y_{12n}$	$Y_{1b1}, Y_{1b2}, \dots, Y_{1bn}$
	2	$Y_{211}, Y_{212}, \dots, Y_{21n}$	$Y_{221}, Y_{222}, \dots, Y_{22n}$	$Y_{2b1}, Y_{2b2}, \dots, Y_{2bn}$
	:	:	:	:	:
	a	$Y_{a11}, Y_{a12}, \dots, Y_{a1n}$	$Y_{a21}, Y_{a22}, \dots, Y_{a2n}$	$Y_{ab1}, Y_{ab2}, \dots, Y_{abn}$

Fonte: Galdamez, (2002).

Segundo Galdamez (2002) o modelo de regressão estatístico que representa esse planejamento fatorial é dado pela Equação (1).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Sendo

- μ : média entre os resultados;
- τ_i : efeito principal do fator A;
- β_j : efeito principal do fator B;
- $(\tau\beta)_{ij}$: efeito da interação dos fatores A e B;
- ε_{ijk} : erro experimental.

Para Alves (2017) a vantagem desse tipo de experimento pois pode analisar mais de um fator ao mesmo tempo, analisando assim a relação entre eles e pode avaliar os efeitos de um ou mais fatores em vários níveis.

2.8.3 Planejamento fatorial 2^k

Conforme citado por Galdamez (2002) o planejamento fatorial com k fatores consiste em cada um deles com dois níveis onde se denomina experimento fatorial 2^k . Este método tem a vantagem de ser simples, índice de custo baixo, praticidade e preferencialmente escolhido para processo e projetos de experimentos que esteja em fase de implementação.

Esta técnica é baseada na realização de testes com cada uma das combinações expressadas pela matriz experimental, onde em seguida serão analisados os principais efeitos e a interação entre eles.

A nível ilustrativos vamos utilizar um planejamento experimental fatorial 2^3 representado na Tabela 2. As respostas obtidas pelo ensaio são informadas na coluna y_i , é importante destacar que a sequência de realização dos testes é aleatória (GALDAMEZ 2002).

Tabela 2 - Experimento Fatorial 2^3

N Teste	Fatores de controle			Ordem do Teste	Resposta (y_i)
	X_1	X_2	X_3		
1	-1	-1	-1	6	y_1
2	+1	-1	-1	8	y_2
3	-1	+1	-1	1	y_3
4	+1	+1	-1	2	y_4
5	-1	-1	+1	5	y_5
6	+1	-1	+1	3	y_6
7	-1	+1	+1	4	y_7
8	+1	+1	+1	7	y_8

Fonte: Galdamez, (2002).

Segundo DEVOR et al. (1992) define que este método de organizar o experimento é denominado como ordem padrão (standard order). Ressalta também que com essa formação dos arranjos todas as colunas sejam ortogonais entre si.

MONTGOMERY (1991) define que o modelo estatístico para o fatorial 2^3 é expressado na Equação (2).

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta_{ij}) + (\tau\gamma_{ik}) + (\beta\gamma_{jk}) + (\tau\beta\gamma_{ijk}) + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

Sendo

- a. μ : média entre os resultados;
- b. τ_i : efeito principal do fator x_1 ;
- c. β_j : efeito principal do fator x_2 ;
- d. γ_k : efeito principal do fator x_3 ;
- e. $(\tau\beta_{ij})$: efeito da interação entre fatores x_1 e x_2 ;
- f. $(\tau\gamma_{ik})$: efeito da interação entre fatores x_1 e x_3 ;
- g. $(\beta\gamma_{jk})$: efeito da interação entre fatores x_2 e x_3 ;
- h. $(\tau\beta\gamma_{ijk})$: efeito da interação dos fatores x_1 , x_2 e x_3 ;
- i. ε_{ijk} : erro experimental.

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será apresentado a análise e influência de alguns parâmetros do processo de soldagem do componente Isofix para se obter um cordão de solda que atenda as especificações desejadas do cliente, onde será analisado a penetração na chapa e garganta, por outro lado pretendeu-se também otimizar os parâmetros de modo que otimize também a qualidade do processo de soldagem.

Para analisar os dados obtido de cada amostra será utilizado o software MINITAB, onde através do mesmo será analisado a influência de cada parâmetro em relação a penetração e garganta de solda.

3.1 O produto *Isofix*

O sistema de travas *Isofix* não é algo novo, porém é um sistema que vem se desenvolvendo ao longo dos anos. Este sistema consiste em duas âncoras soldadas ou aparafusadas a estrutura do automóvel para a fixação de cadeirinhas infantis garantindo maior segurança para as crianças.

Analisando a importância da qualidade de solda neste componente e da importância deste componente, as seguintes informações foram consideradas:

- a. A penetração da solda na base da chapa é de suma importância;
- b. A altura da garganta da solda, para garantir um cordão consistente e distribuído entre componentes;
- c. O tempo que a manutenção perdia para ajustar a solda devido sua variação.

Analisando as informações descritas acima, o estudo estará sendo direcionado para a Engenharia de Processo da empresa, assim a equipe terá como objetivo melhorar as características da qualidade da solda.

3.2 Materiais de consumo

3.2.1 Arame consumível

Para execução dos estudos neste trabalho foi utilizado o arame consumível AWS ER70S-6 com 1,00mm de diâmetro, fabricado pela empresa Belgo Bekaert Arames. De acordo com o fabricante a composição química mostrada na Tabela 3 e propriedades mecânicas são mostradas na Tabela 4.

Tabela 3 - Composição química do arame

ARAME AWS ER70S-6					
Composição Química %					
C Carbono	Si Silício	Mn Manganês	P Fósforo	S Enxofre	Cu Cobre
	0,8 a 1,15	1,4 a 1,85	0,025 máx.	0,035 máx.	0,5 máx.

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Propriedades Mecânicas do arame

ARAME AWS ER70S-6			
Propriedades Mecânicas			
Resistencia a tração	Limite de escoamento	Alongamento	Resistência ao impacto
Mpa	Mpa	%	J a – 30° C
480 mín.	400 mín.	22 mín.	27 mín.

Fonte: Próprio autor

3.2.2 Gás de proteção

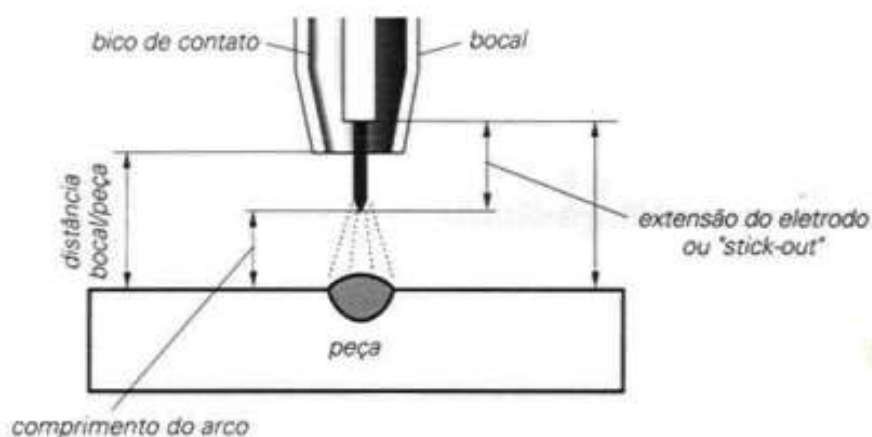
Para este trabalho foi utilizado os gases de proteção na proporção de 25% CO_2 – 75% Ar com o intuito de testar as circunstâncias específicas, na qual um dos gases

tem maior influência metálica por curto-circuito e tem maior estabilidade do arco. Além disso, o fabricante recomenda os dois tipos de gases para a utilização do arame.

3.2.3 *Stick-Out*

Será padronizado um *Stick-out* de 15mm, pois caso tenha uma distância curta resultara em um aumento de corrente e a poça de fusão de difícil controle. Caso tenhamos um *Stick-Out* longo resultara em porosidade no cordão de solda, gotículas maiores e excesso de respingo.

Figura 8 - Definição do *Stick-Out*

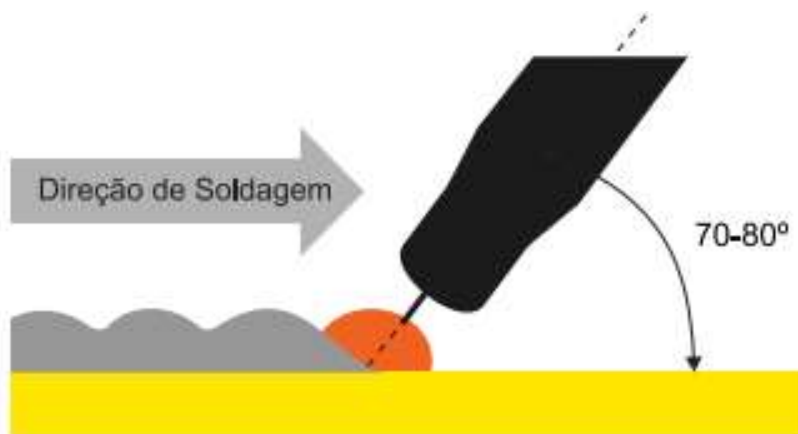


Fonte: Infosolda, (2013).

3.2.4 Posição da tocha

Para garantir uma ótima penetração do cordão de solda o sentido da tocha durante o processo de soldagem acontecerá no sentido puxando, esta técnica de soldagem será utilizada pois o arame é depositado em um material base quente, onde facilita e melhora a penetração.

Figura 9 - Definição do sentido da tocha de solda



Fonte: Esab, (2005).

3.3 Laboratório de ensaios

Para este estudo iremos utilizar os instrumentos do laboratório metalúrgico para preparar as amostras e analisar a penetração e garganta do conjunto soldado.

Através dos passos a seguir iremos preparar todas as amostras deste estudo:

Passo 1: Bancada com lixadeira para cortar os cordões de solda no sentido transversal;

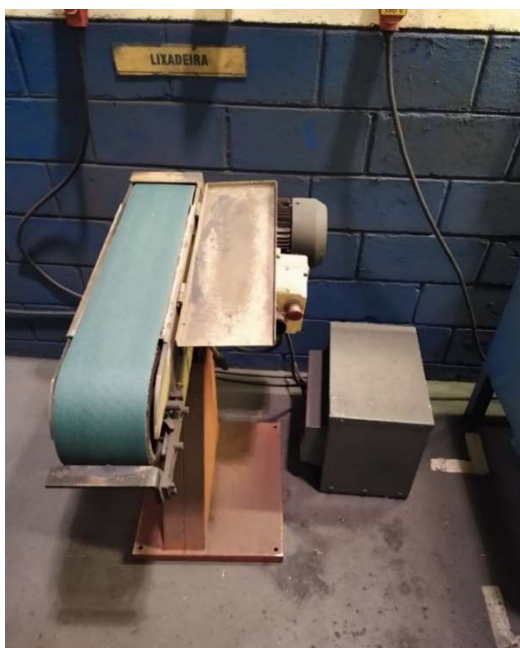
Figura 10 - Bancada com morsa e lixadeira para cortar os experimentos



Fonte: Próprio autor

Passo 2: Após o corte no sentido transversal dos cordões de solda a amostra deve passar por uma lixa rotativa para tirar o excesso de rebarba e preparar a superfície para o polimento;

Figura 11 - Lixadeira rotativa



Fonte: Próprio autor

Passo 3: Após a retirada do excesso de material da superfície, ela agora passa pelo processo de polimento da superfície para receber o ataque químico;

Figura 12 - Lixadeira Politriz Metalográfica



Fonte: Próprio autor

Passo 4: Nesta etapa o corpo de prova passa por um ataque químico Nítrico 15%, onde revela a solda para próxima etapa;

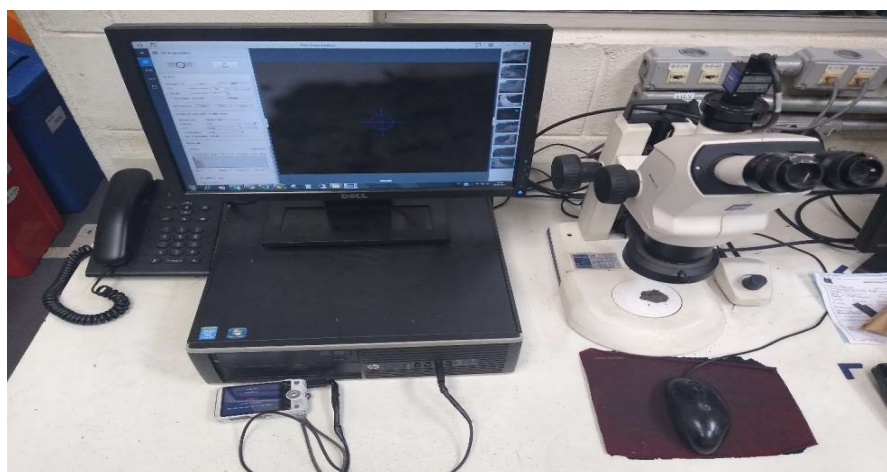
Figura 13 - Recipiente com ácido Nítrico



Fonte: Próprio autor

Passo 5: No microscópio iremos analisar toda a estrutura do cordão de solda, sua penetração e garganta da solda.

Figura 14 - Microscópio ZEISS 50x



Fonte: Próprio autor

A norma exigida da montadora especifica que este componente tenha o valor mínimo para:

- a. Garganta: 1,5mm
- b. Penetração na chapa: 0,2mm

Através desses valores o estudo terá um foco a atender os requisitos mínimos a montadora sem que haja quebra na qualidade do produto final.

3.4 Experimento

3.4.1 Realização do experimento

Após um brainstorming com os especialistas em soldagem e analisando o processo ficou definido que para este estudo teríamos quatro potenciais fatores e cada um deles com dois níveis. A Tabela 5 mostra os fatores e níveis nos quais os mesmos foram especificados pelos especialistas do processo

Tabela 5 - Fatores e seus respectivos Níveis

Fatores	Nível
Corrente	8 – 12
Tensão	-5 – 5
Velocidade	8 – 12
Modo de Trabalho	CMT – PULSADO

Fonte: Próprio autor

Dada as determinadas circunstâncias optou-se por fazer um experimento no software MINITAB através do método fatorial completo, onde gera uma matriz de experimentos com 16 combinações. Após a definição dos níveis e fatores foi gerado uma matriz conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Matriz do Delineamento de experimento

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8-T
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	CORRENTE (A)	TENSÃO (T)	VELOCIDADE (mm/seg)	MOD0
1	14	1	1	1	12	-5	12	PULSADO
2	9	2	1	1	8	-5	8	PULSADO
3	7	3	1	1	8	5	12	CMT
4	2	4	1	1	12	-5	8	CMT
5	15	5	1	1	8	5	12	PULSADO
6	6	6	1	1	12	-5	12	CMT
7	10	7	1	1	12	-5	8	PULSADO
8	4	8	1	1	12	5	8	CMT
9	12	9	1	1	12	5	8	PULSADO
10	13	10	1	1	8	-5	12	PULSADO
11	16	11	1	1	12	5	12	PULSADO
12	1	12	1	1	8	-5	8	CMT
13	5	13	1	1	8	-5	12	CMT
14	3	14	1	1	8	5	8	CMT
15	8	15	1	1	12	5	12	CMT
16	11	16	1	1	8	5	8	PULSADO

Fonte: Próprio autor

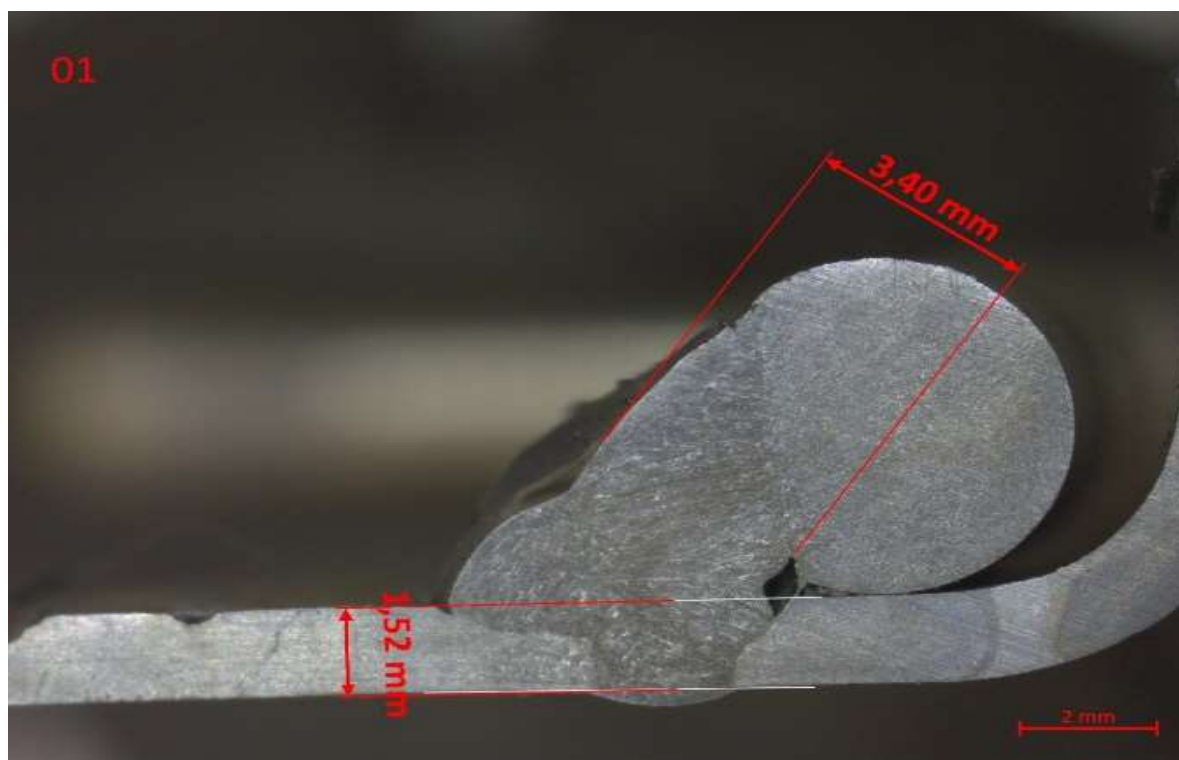
A primeira coluna fornecida na tabela constitui na ordem do experimento, a segunda coluna determina a ordem em que cada experimento tem que acontecer, as demais colunas são os dados de entrada do experimento.

Antes de se iniciar o experimento foi feito os devidos ajustes no robô, onde se padronizou o stick-out, angulação da tocha, sentido do cordão, vazão do gás de proteção e mistura da proporção do gás. Após os ajustes deu-se início aos ciclos de solda nos robôs ABB.

3.4.2 Análise

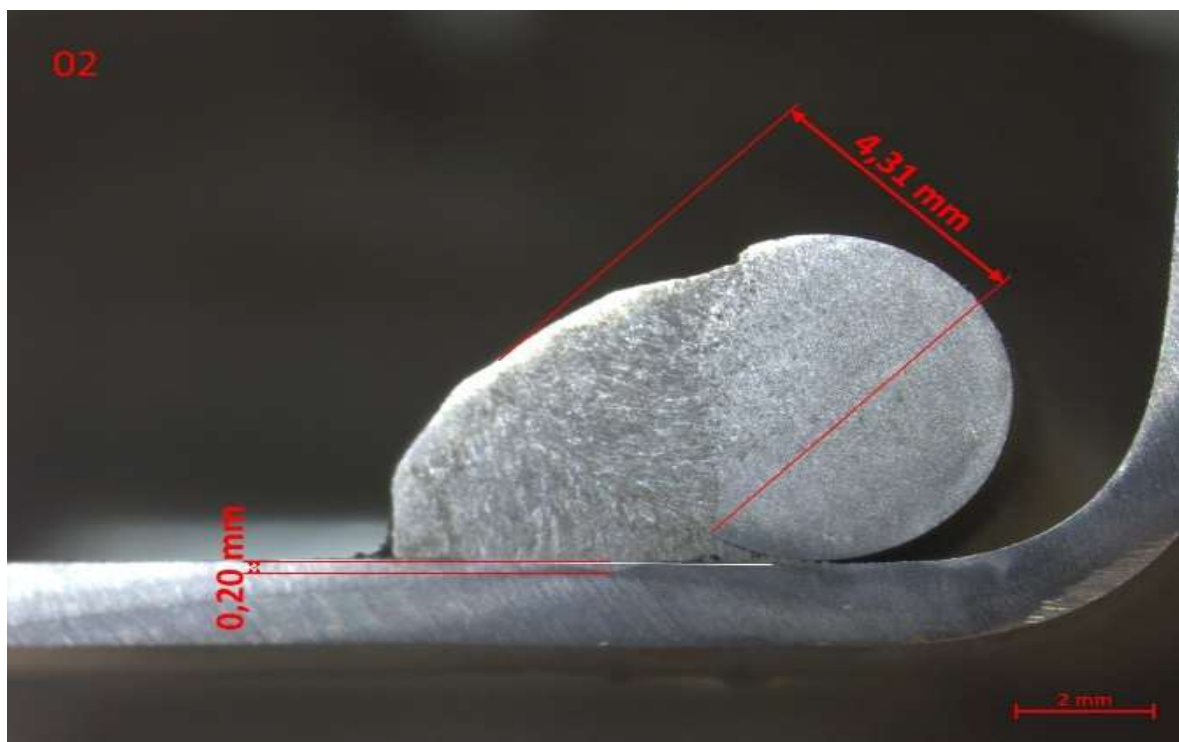
Após a realização de todas as amostras, todos os conjuntos soldados foram levados para o laboratório metalúrgico para a preparação das amostras e seus devidos análises (penetração e garganta). Posteriormente aos análises macrográfico, todos os dados foram lançados na matriz gerada no software Minitab, conforme mostrada na Tabela 7.

Figura 15 - Amostra 01



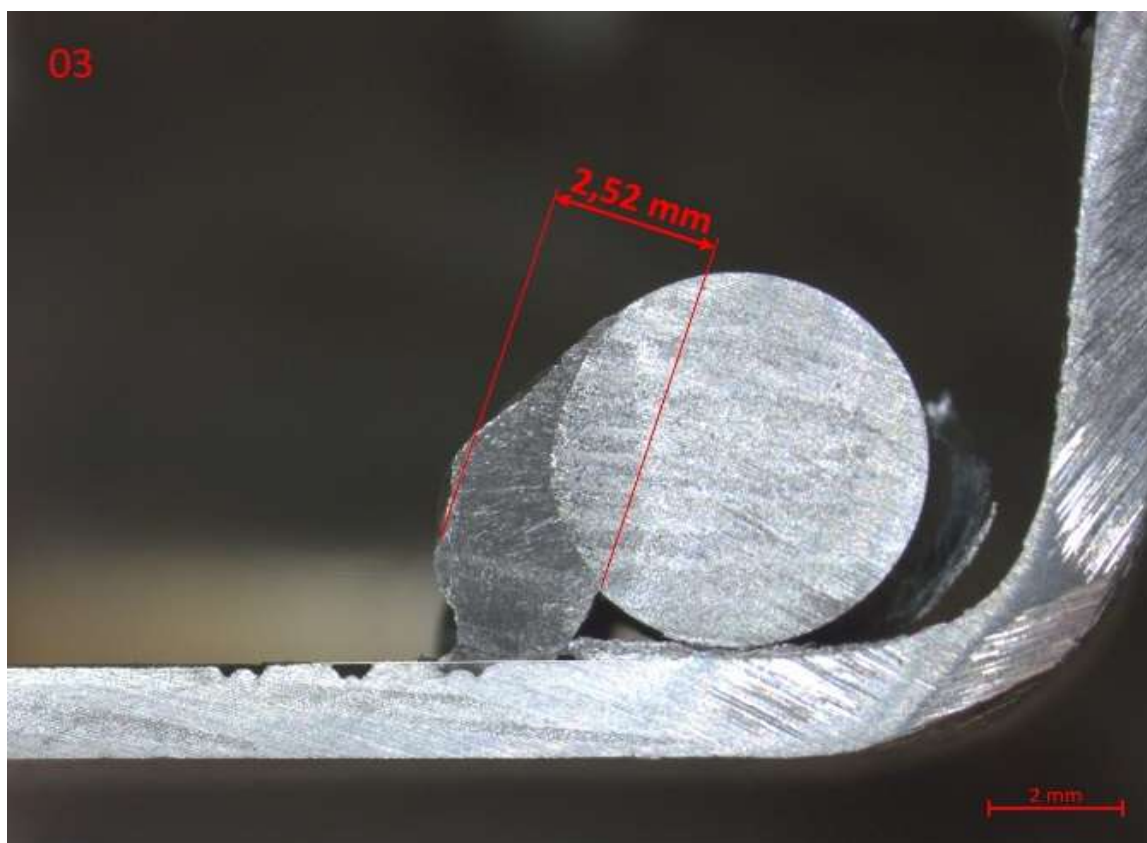
Fonte: Próprio Autor

Figura 16 - Amostra 02



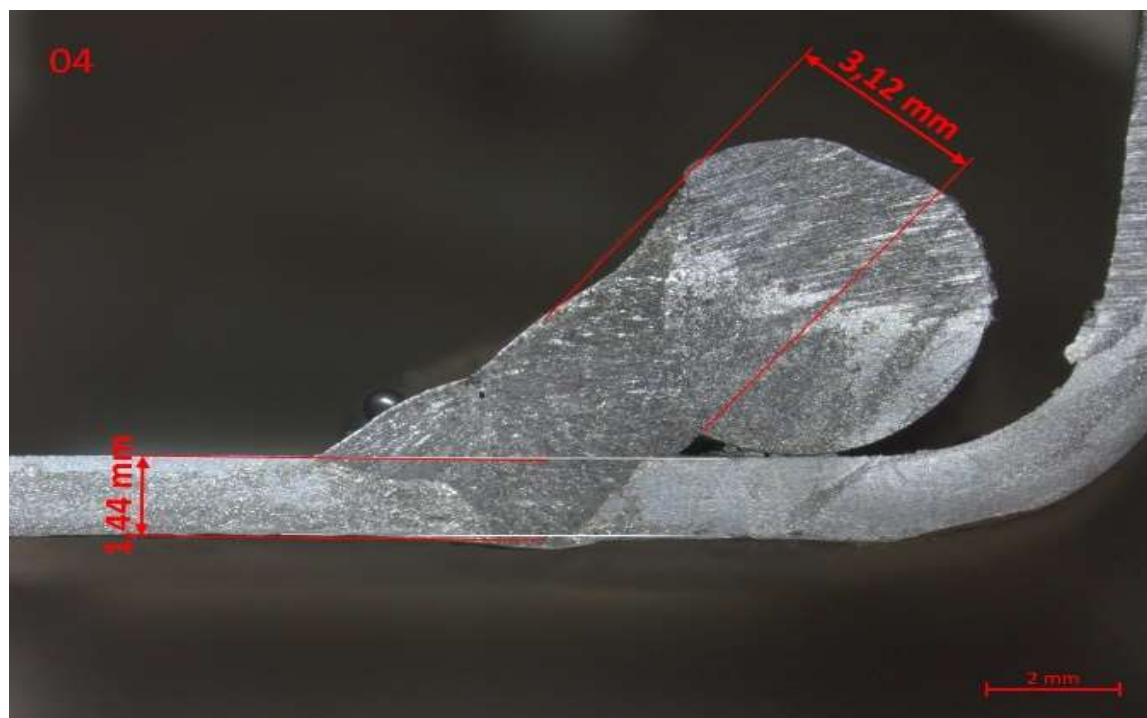
Fonte: Próprio Autor

Figura 17 - Amostra 03



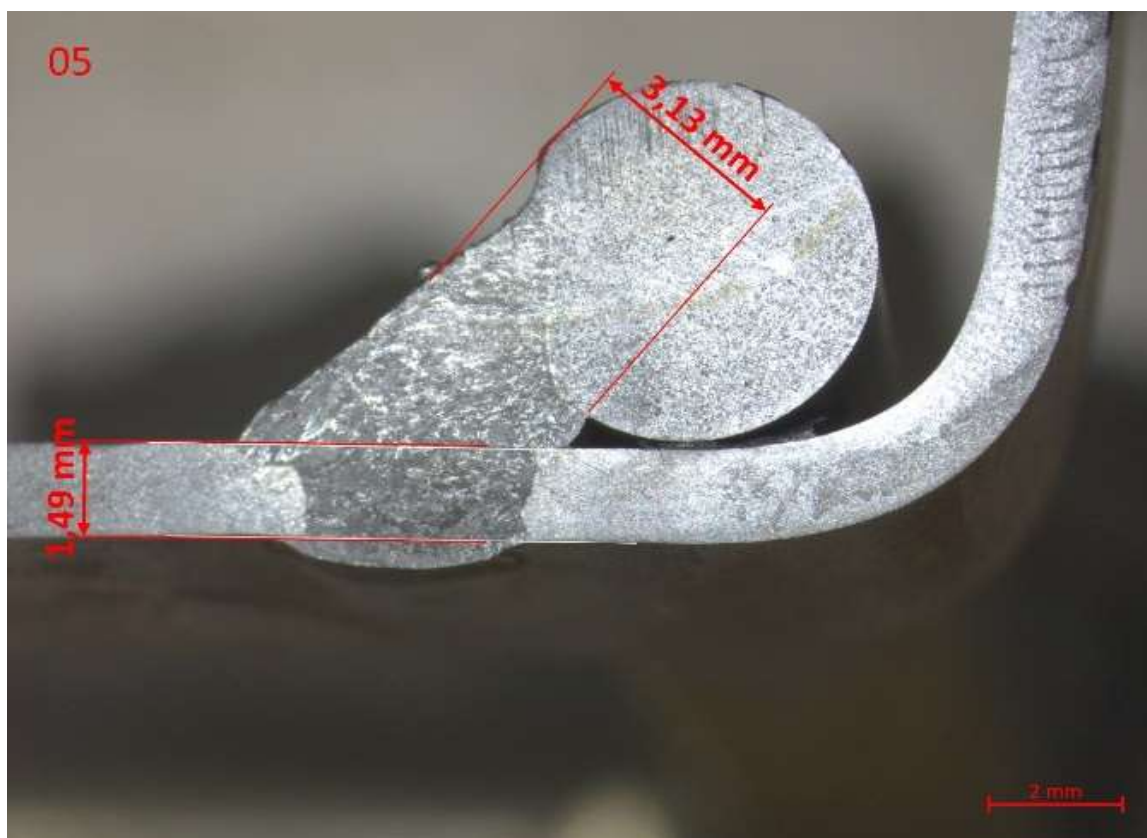
Fonte: Próprio Autor

Figura 18 - Amostra 04



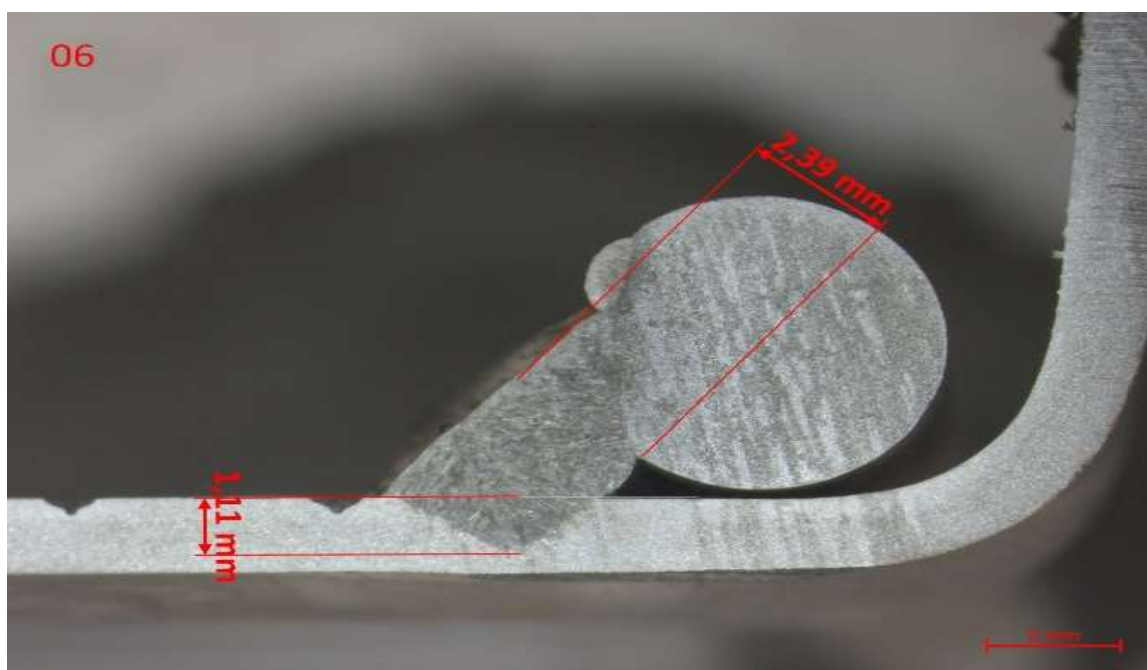
Fonte: Próprio Autor

Figura 19 - Amostra 05



Fonte: Próprio Autor

Figura 20 - Amostra 06



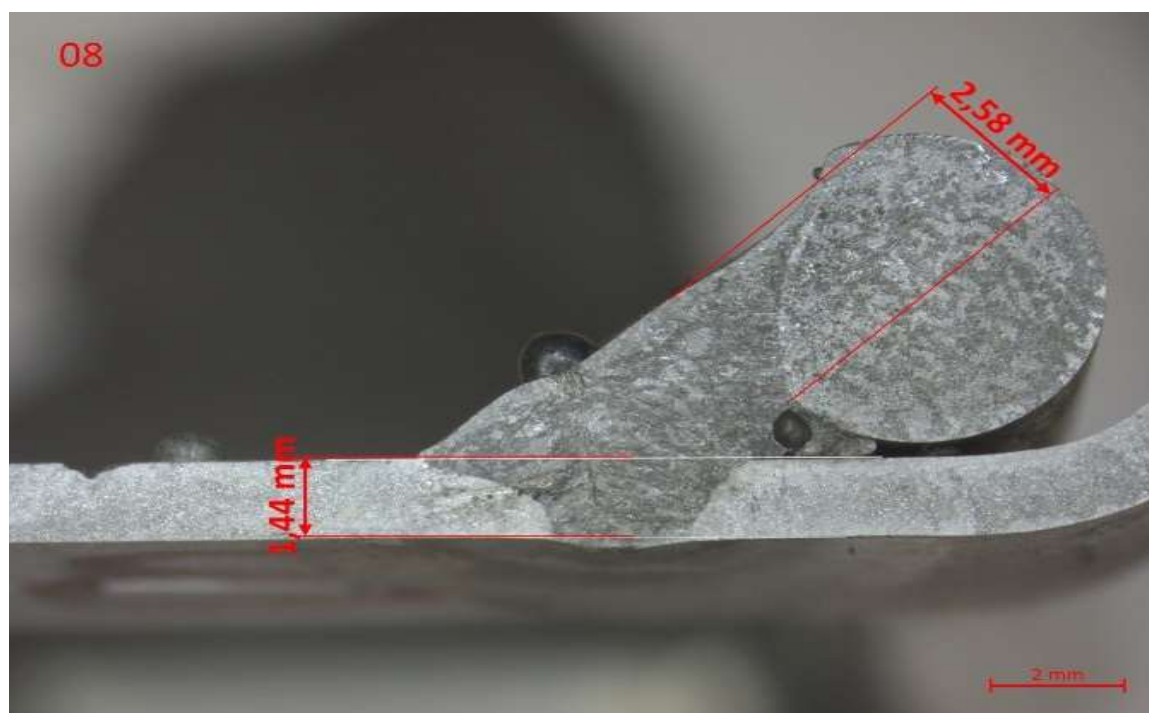
Fonte: Próprio Autor

Figura 21 - Amostra 07



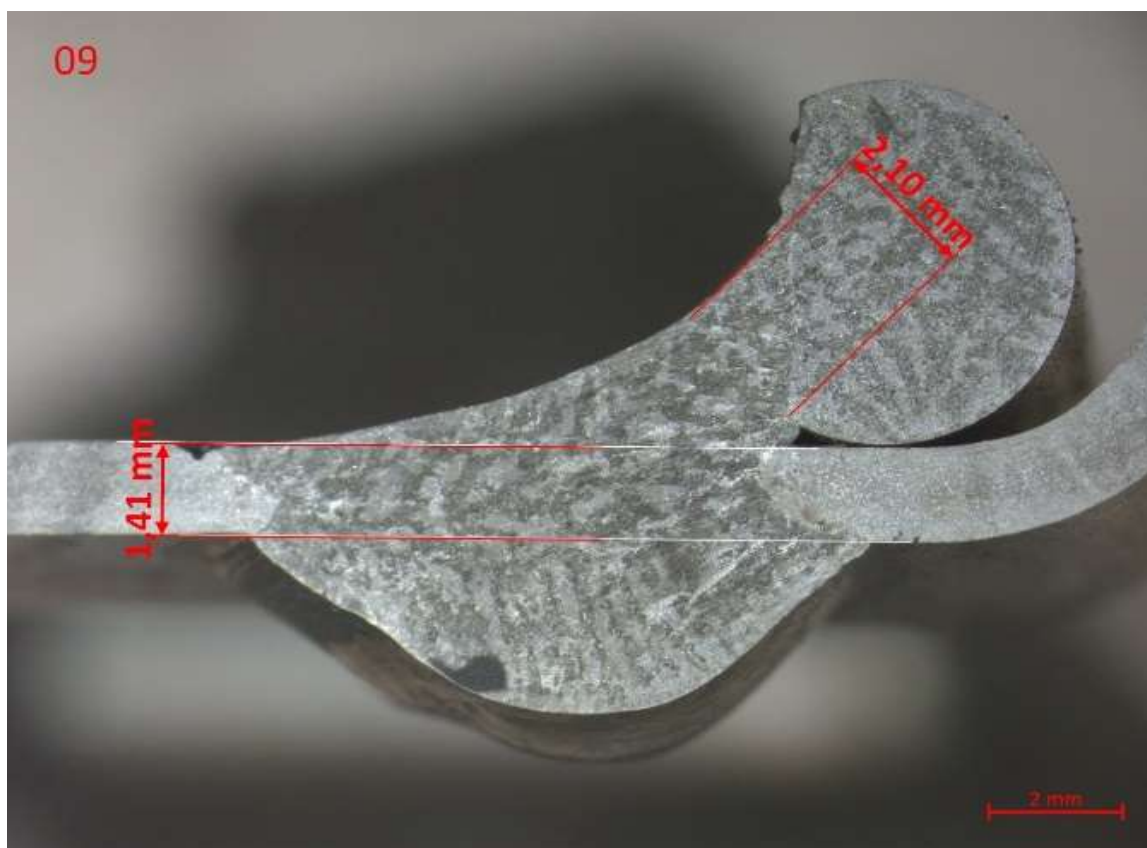
Fonte: Próprio Autor

Figura 22 - Amostra 08



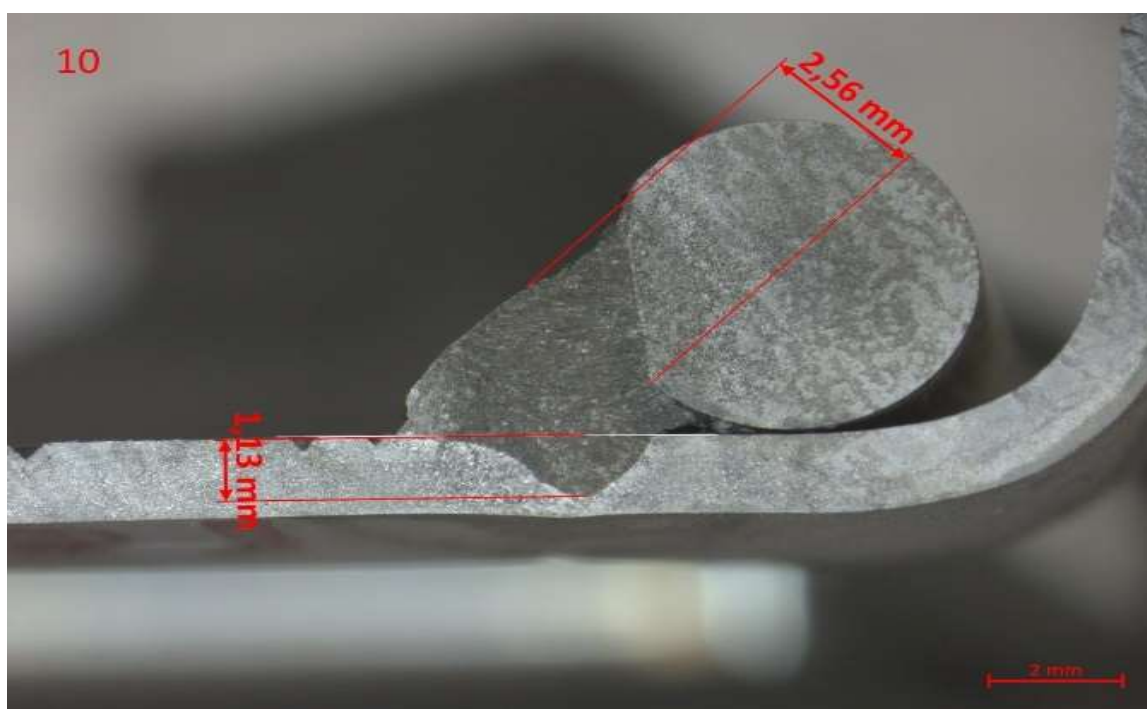
Fonte: Próprio Autor

Figura 23 - Amostra 09



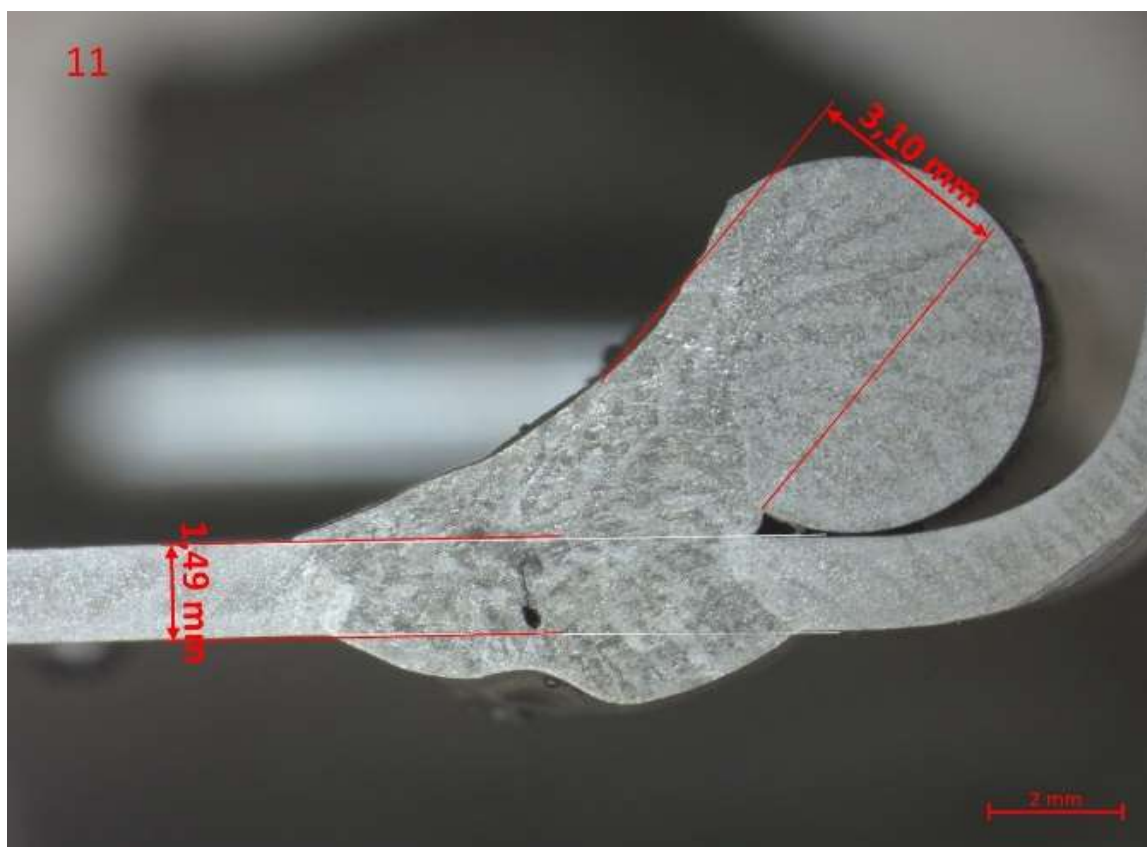
Fonte: Próprio Autor

Figura 24 - Amostra 10



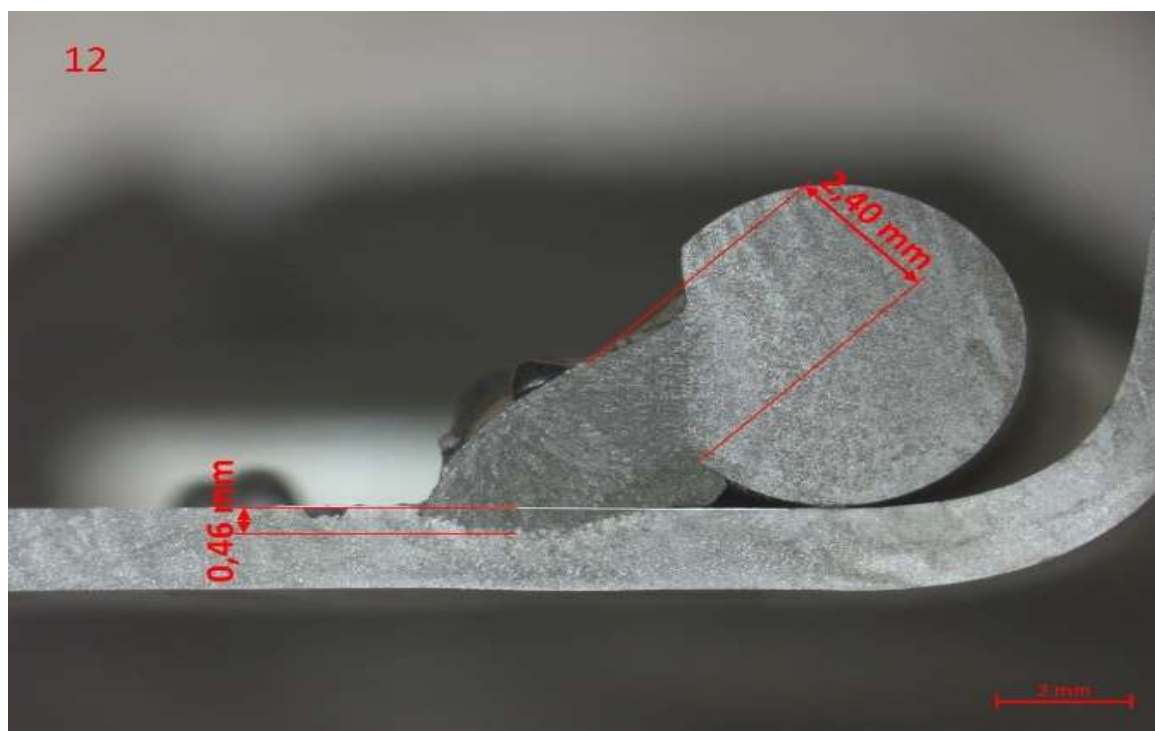
Fonte: Próprio Autor

Figura 25 - Amostra 11



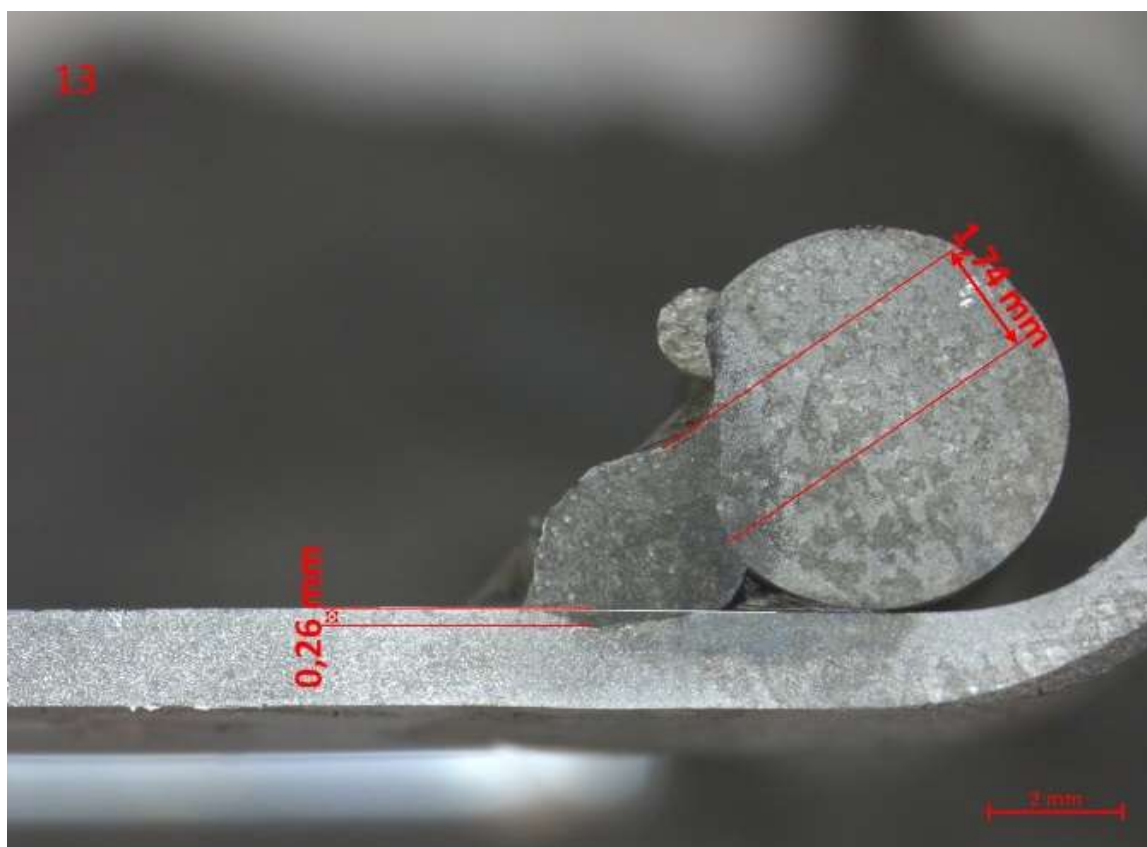
Fonte: Próprio Autor

Figura 26 - Amostra 12



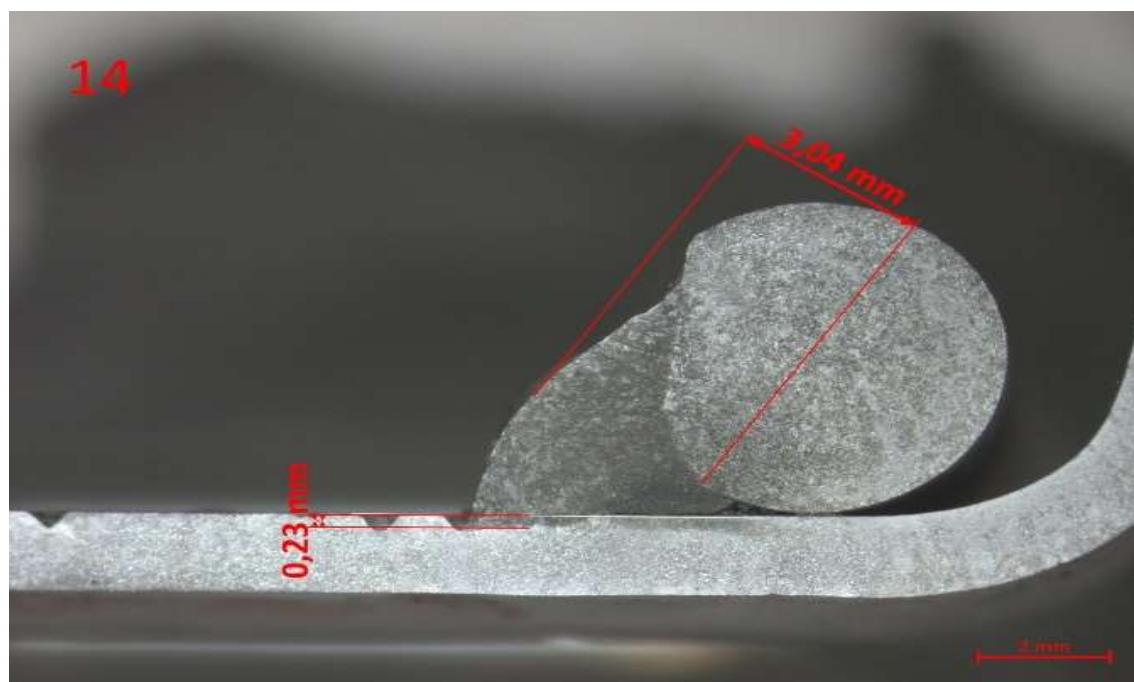
Fonte: Próprio Autor

Figura 27 - Amostra 13



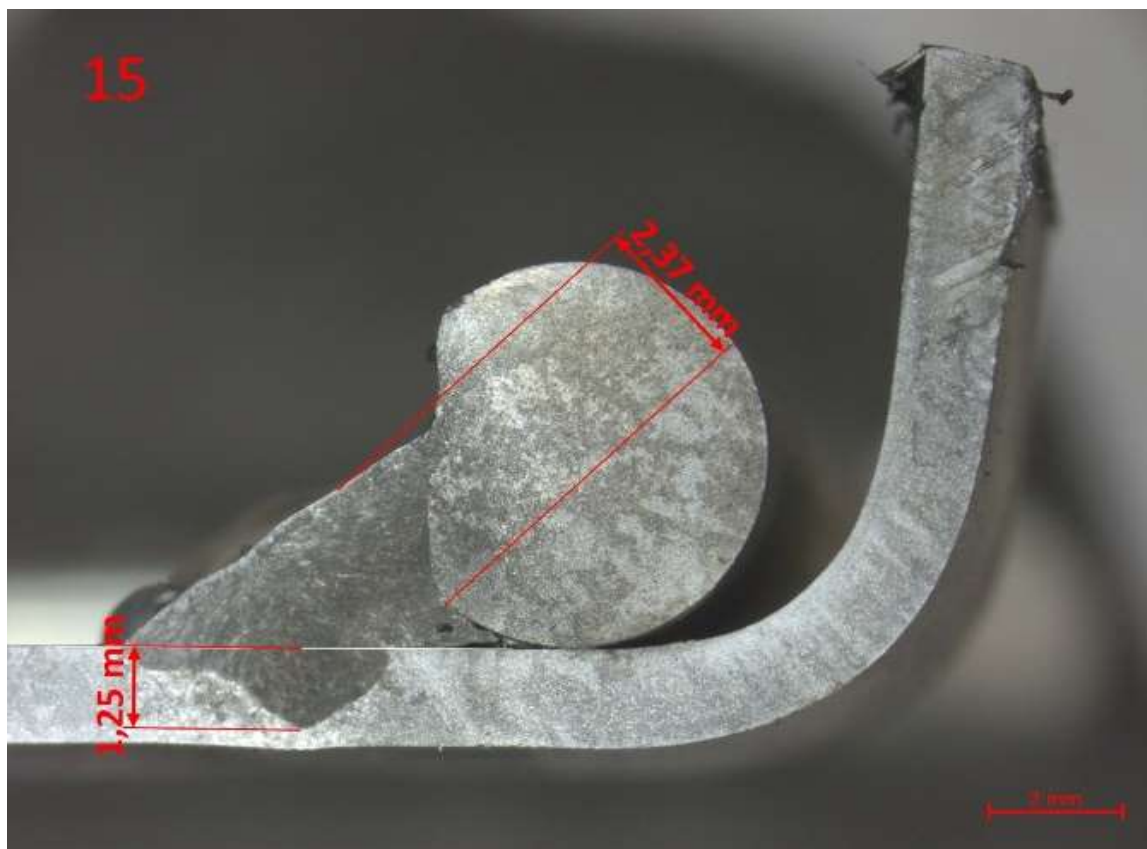
Fonte: Próprio Autor

Figura 28 - Amostra 14



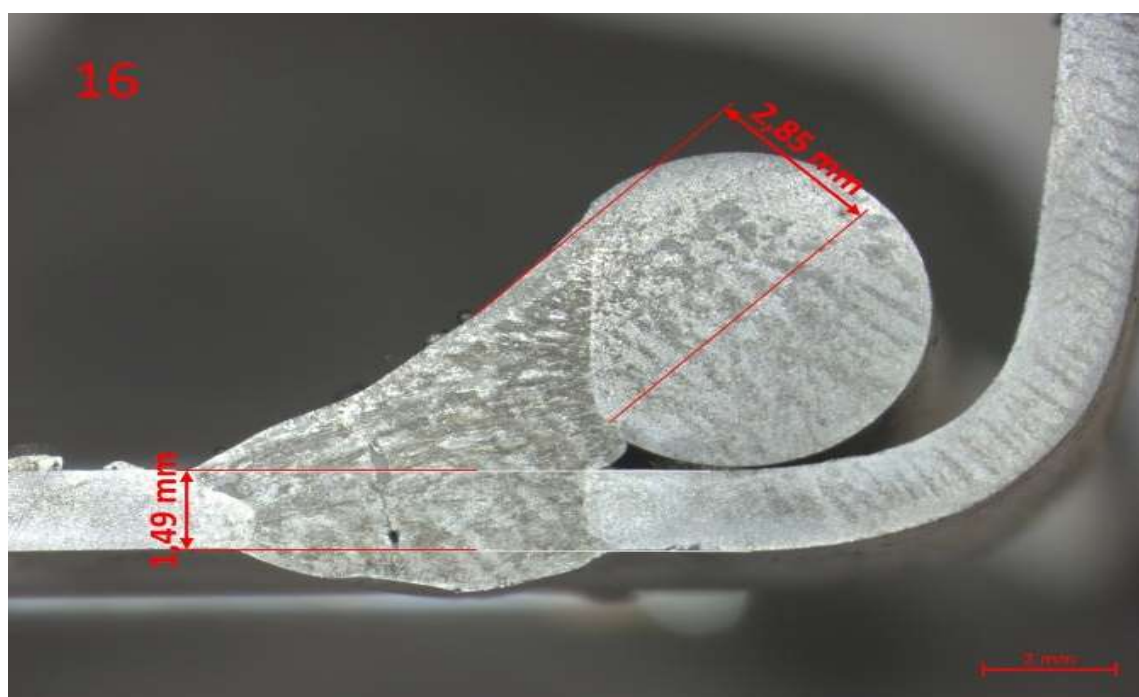
Fonte: Próprio Autor

Figura 29 - Amostra 15



Fonte: Próprio Autor

Figura 30 - Amostra 16



Fonte: Próprio Autor

Tabela 7 - Matriz de Delineamento com os valores obtidos nas amostras

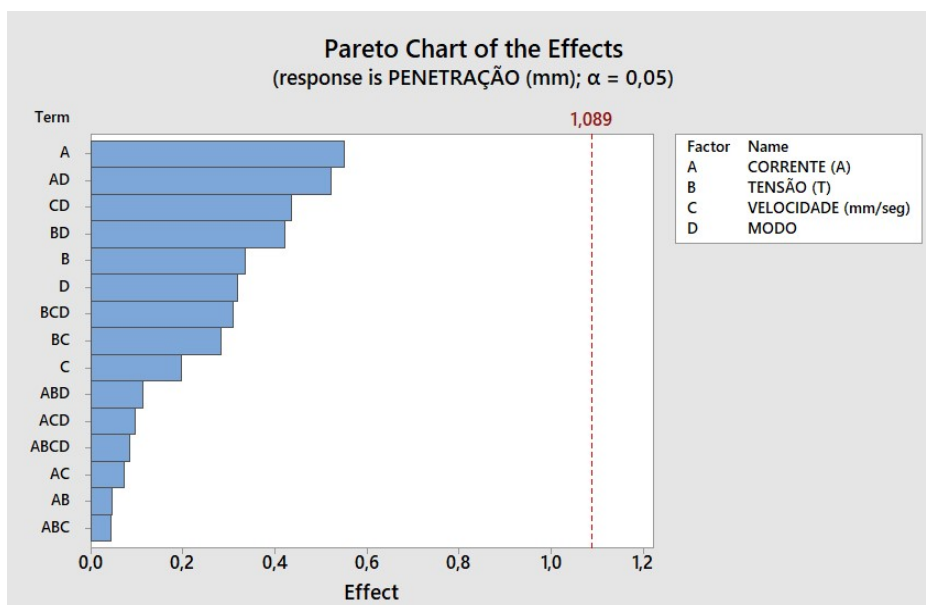
RunOrder	CORRENTE (A)	TENSÃO (T)	VELOCIDADE (mm/seg)	MODO	PENETRAÇÃO (mm)	GARGANTA (mm)
1	12	-5	12	PULSADO	1,52	3,4
2	8	-5	8	PULSADO	0,2	4,31
3	8	5	12	CMT	0	2,52
4	12	-5	8	CMT	1,44	3,12
5	8	5	12	PULSADO	1,49	3,13
6	12	-5	12	CMT	1,11	2,39
7	12	-5	8	PULSADO	0	0
8	12	5	8	CMT	1,44	2,58
9	12	5	8	PULSADO	1,41	2,1
10	8	-5	12	PULSADO	1,13	2,56
11	12	5	12	PULSADO	1,49	3,1
12	8	-5	8	CMT	0,46	2,4
13	8	-5	12	CMT	0,26	1,74
14	8	5	8	CMT	0,23	3,04
15	12	5	12	CMT	1,25	2,37
16	8	5	8	PULSADO	1,49	2,85

Fonte: Próprio autor

Com os dados obtidos através das amostras, iniciou-se as devidas análises por meio dos gráficos de Pareto e de Efeito, foram analisados os dados separadamente para cada valor de resposta para que atenda aos requisitos mínimos exigidos pela montadora.

Com a análise no gráfico de Pareto para o efeito de resposta a Penetração podemos afirmar que a Corrente e a combinação de Corrente e Modo de trabalho têm grande influência na penetração final do cordão de solda.

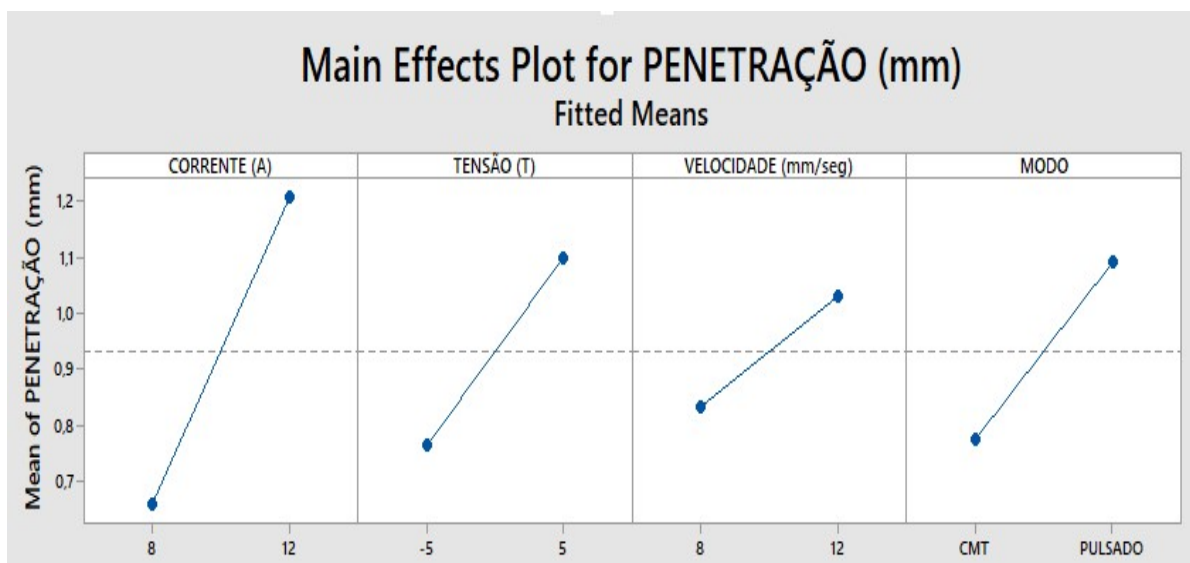
Figura 31 - Gráfico de Pareto para fator resposta Penetração



Fonte: Próprio autor

Com o gráfico mostrado na Figura 32 podemos afirmar o que se mostra no gráfico de Pareto mostrado anteriormente na Figura 31, onde a Corrente e o Modo de Trabalho têm grande influência na penetração do cordão de solda, porém podemos afirmar que a Tensão também tem uma influência considerável na penetração.

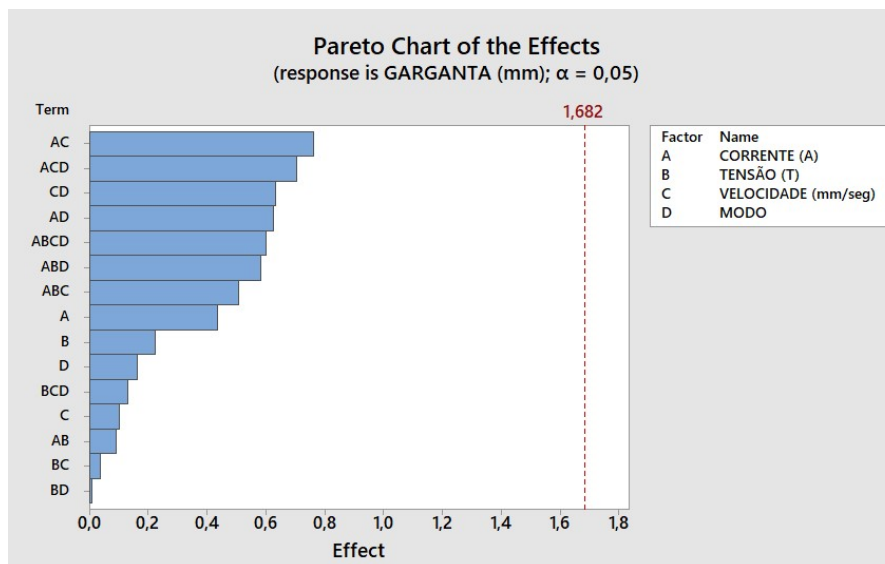
Figura 32 - Gráfico de Efeito da influência de cada Parâmetro em relação a Penetração



Fonte: Próprio autor

Agora iremos analisar os dados para o fator resposta Garganta através do gráfico de Pareto e de Efeito.

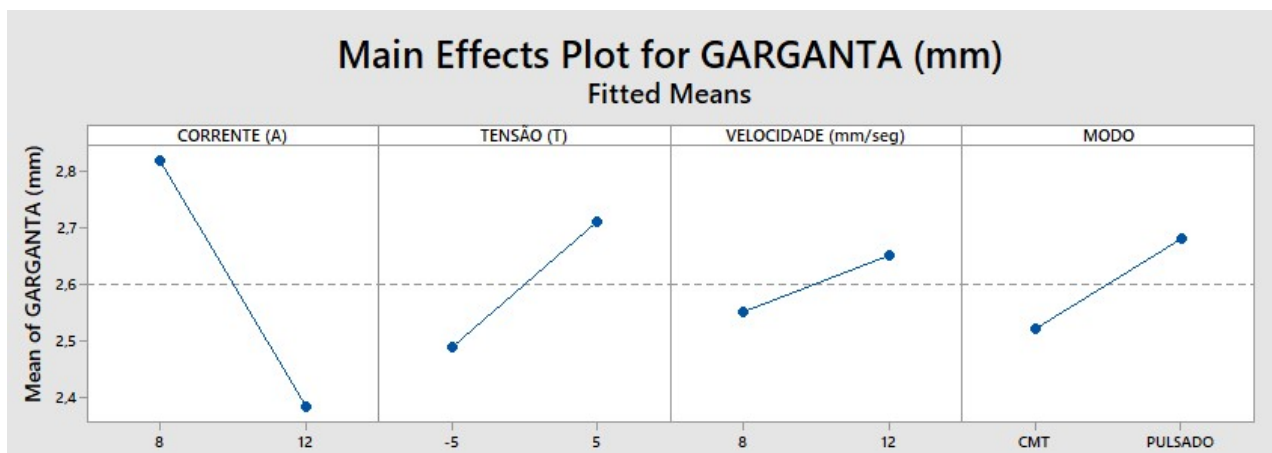
Figura 33 - Gráfico de Pareto para fator resposta Garganta



Fonte: Próprio autor

Com a análise no gráfico de Pareto para o efeito de resposta a Garganta podemos afirmar que as combinações Corrente e Velocidade de Solda e a combinação de Corrente, Velocidade de Solda e Modo de trabalho têm grande influência na formação da Garganta de solda.

Figura 34 - Gráfico de Efeito da influência de cada Parâmetro em relação a Garganta



Fonte: Próprio autor

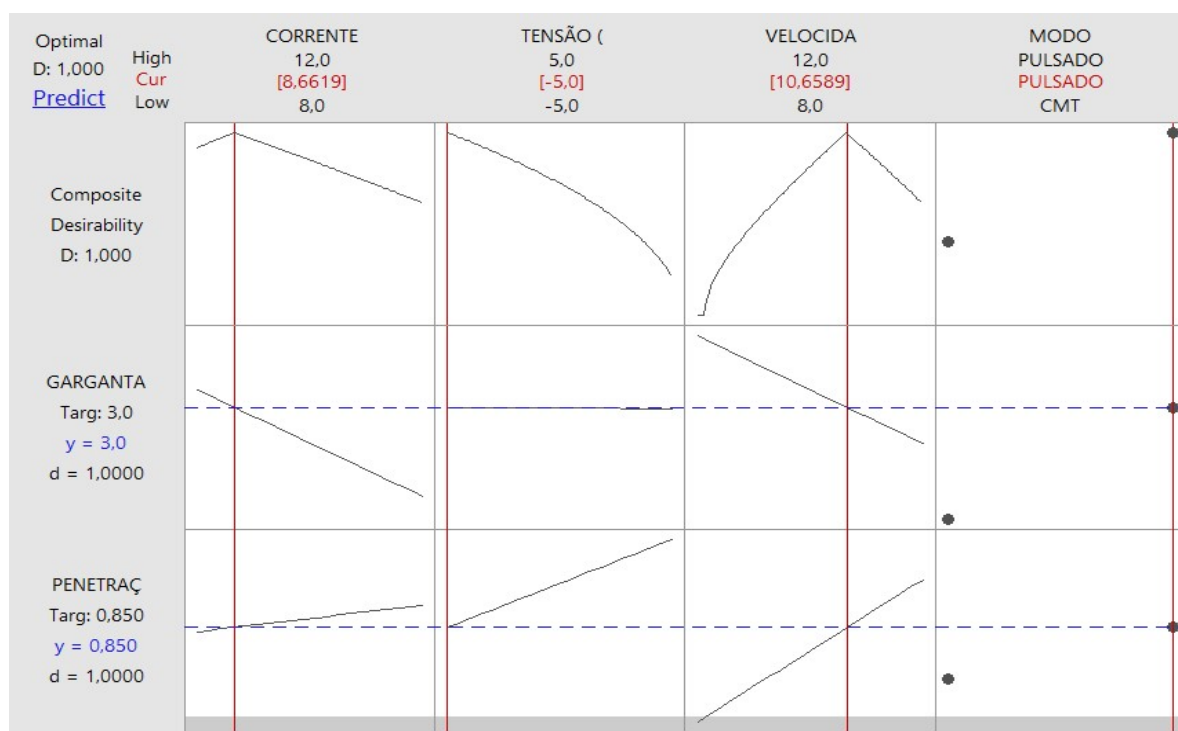
Com o gráfico de efeito mostrado na Figura 34 podemos afirmar que os fatores Corrente, Tensão e Modo de Trabalho têm grande influência na garganta do cordão de solda.

4 CONCLUSÃO

4.1 Resposta otimizada

Para se obter os valores otimizados para os melhores resultados de penetração e garganta, utilizou a aplicação da ferramenta "Response Optimizer", conforme mostrado na Figura 35.

Figura 35 - Resposta otimizada através da "Response Optimizer"



Fonte: Próprio autor

Para o range de cada nível foi determinado que a combinação que melhor se adapta a este produto é:

- Corrente: 8,7A
- Tensão: -5V
- Velocidade: 10,7mm/seg.
- Modo de trabalho: PULSADO

4.2 Conclusões gerais

Considerando o objetivo deste trabalho de se otimizar um processo de soldagem automatizado MAG para melhorar o produto final pode-se concluir que:

- a. A aplicação do estudo de experimento mostrou-se eficaz no modelamento das respostas em relação a influência dos parâmetros, podendo analisar quais parâmetros tiveram maior influência em relação a penetração na chapa de base e garganta;
- b. Aperfeiçoou o conhecimento no software Minitab para a execução do método D.O.E. e suas ferramentas, assim podendo avaliar melhor o experimento e o valor resposta;
- c. Em relação a otimização do processo de soldagem, analisou que os valores de respostas foram satisfatórios pois atenderam as especificações do cliente;

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. T. **ESTUDO DOS PARÂMETROS NO PROCESSO DE SOLDAGEM DE MISTURA POR ATRITO (FSW) DA LIGA DE ALUMÍNIO 5083-O**. Panambi, 2013.

ALVES, I. B. **Otimização dos processos produtivos de uma malharia por meio da aplicação do *Design Of Experiments***. Juiz de Fora, 2017.

ARAMES TUBULARES PARA AÇÕS AO CARBONO E DE BAIXA LIGA EM TODAS AS POSIÇÕES DE SOLDAGEM. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/guia-de-soldagem-arames-tubulares-todas-as-posi%C3%A7%C3%B5es.pdf>> Acesso em: 08 DE Agosto de 2019 às 20h30min.

BLANK, J. E. **ANÁLISE DE INFLUENCIA DA SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM SOBRE AS DISTORÇÕES DE SOLDAS REALIZADAS EM ESTALEIROS**. Joinville, 2014.

BERGER, D. R. **Determinação dos melhores parâmetros de processo para a soldagem robotizada do aço LNE 700**. Horizontina, 2012.

Catalogo solda 2015. Disponível em: <<http://www.belgobekaert.com.br/Produtos/Documents/CATALOGO%20SOLDA%202015.pdf>>. Acesso em: 09 de Abril de 2019 às 19h40min.

COLOMBARI, R. R. **Aplicação de delineamento de experimentos para o processo de solda à projeção**. Itajubá, 2004.

DEVOR, R. E.; CHANG, T.; SUTHERLAND, J. W. ***Statistical quality design and control – Contemporary concepts and methods***. New Jersey, 1992.

DUARTE, M. A. V.; MEOLA, T. **Curso de Planejamento Experimental**. Uberlândia, 2007

Experimentos Taguchi. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/taguchi-designs/taguchi-designs/>>. Acesso em: 12 de Abril de 2019 às 17h40min.

GALDÁMEZ, E. V. C. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos na melhoria da qualidade de um processo de fabricação de produtos plásticos**. São Carlos, 2002.

GOMES, E. B. **Análise do Comportamento da Soldagem por Curto-Circuito aplicado ao Processo Eletrodo Tubular através da Metodologia Taguchi**. Itajubá, 2006.

ISOFIX. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Isofix>>. Acesso em: 28 de Agosto de 2019 às 23h10min.

JÚNIOR, L. P. N. **Otimização de um processo de solda MIG/MAG para aplicação na indústria automobilística através da utilização da técnica do projeto de análise de experimentos.** Itajubá, 2003.

MACEDO, R. M. P. R. **Aplicação da metodologia de planejamento de experimentos para formulação de massas cerâmicas para telhas.** Natal, 2007.

MENDES, M. J. M. **Optimização e estudo dos parâmetros de soldadura MAG Robotizada de uma estrutura tubular de aço S235 com o fio consumível G3Si1.** Porto, 2009.

MONTGOMERY, D. C. **Diseño y análisis de experimentos.** México, 1991.

NILO JÚNIOR, L. P. **Otimização de um processo de solda MIG/MAG para aplicação na indústria automobilística através da utilização da técnica do projeto e análise de experimentos.** Itajubá, 2003.

Planejar um experimento. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/getting-started/designing-an-experiment/>> Acesso em: 18 de Abril de 2019 as 22h10min.

Processo mig/mag – Parâmetros de soldagem. Disponível em: <<https://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/174-processo-mig-mag-parametros-desoldagem>> Acesso em: 08 de Agosto de 2019 às 19h40min

Projetos de experimentos. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Projetos_de_experimentos> Acesso em: 17 de Abril de 2019 as 17h40min.

SANTOS, R. P. G. **Uma avaliação comparativa dos processos MIG/MAG e eletrodo tubular em termos de capacidade produtiva, geração de fumos e de respingos.** Uberlândia, 2010.

SCHIO, F. **Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada.** Panambi, 2013.

SIMONATO, G. **Otimização de soldagem robotizada em ligas de alumínio com modo de transferência Pulsado e CMT+P através do método Taguchi.** Bragança, 2017.

Soldagem MIG/MAG. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Soldagem_MIG/MAG> Acesso em: 27 de fevereiro de 2019 às 18h35min.

SOUZA, D. T. **Melhoria da Qualidade de um processo de Usinagem utilizando as técnicas de avaliação de Taguchi.** Guaratinguetá, 2012.

TAKENOUCI, M. M. **Otimização do processo de usinagem da superliga NIMONIC 80A utilizando o Método Taguchi.** Guaratinguetá, 2011.