



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA DE
BAIXO CUSTO**

MATHEUS DOS SANTOS BARBOSA

**Tucuruí - PA
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA DE
BAIXO CUSTO**

MATHEUS DOS SANTOS BARBOSA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica do Campus Tucuruí, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Orientador:

**Profº Dr. Eng. Wassim Raja El
Banna**

**Tucuruí - PA
2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA DE
BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Mecânica do Campus Tucuruí, como parte
dos requisitos para a obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

BANCA EXAMINADORA

Wassim Raja El Banna

Orientador:

Profº Dr. Eng. Wassim Raja El Banna
FEM/CAMTUC/UFPA

J. L. Padilha

Membro Interno:

Profº Me. Eng. Jessé Luís Padilha
FEM/CAMTUC/UFPA

Paulo Lourenço Monteiro Junior

Membro Interno:

Profº Me. Eng. Paulo Lourenço Monteiro Junior
FEM/CAMTUC/UFPA

Conceito_____.

Tucuruí, 09 de Fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Em especial a minha família por todo o apoio e motivação dados para realização deste sonho de me tornar um Engenheiro Mecânico.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração pelo incentivo e oportunidade de realizar este trabalho. Em especial ao professor Douglas Neves Garcia pela orientação, apoio e confiança.

Aos colaboradores e técnicos do LABEM (Laboratório de Engenharia Mecânica) e ao Técnico do Laboratório de Engenharia Elétrica Cleber por toda a ajuda dada na construção da máquina.

A Eletronorte pela doação de materiais e a colaboração do Engenheiro Gilton Furtado.

Aos integrantes da equipe Flow por todo o apoio e motivação dados durante o curso, lembrem-se o pró-labore da JAMM incineração está de olho.

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram direta ou indiretamente, eu quero deixar um agradecimento eterno, porque sem elas não teria sido possível

RESUMO

CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE SOLDA A PONTO POR RESISTÊNCIA DE BAIXO CUSTO

RESUMO: A soldagem por resistência elétrica é utilizada para a união de peças na carroceria dos automóveis devido a sua alta velocidade de soldagem e a boa qualidade final da solda. Este trabalho visa desenvolver uma máquina de soldagem por resistência elétrica de baixo custo, analisando os parâmetros envolvidos no processo e aplicando os conhecimentos adquiridos durante o curso de engenharia mecânica, com o intuito de deixar a mesma à disposição dos discentes do curso para estes assimilarem de maneira didática os conteúdos das disciplinas da área de processos de fabricação. O projeto foi realizado de maneira a utilizar materiais de baixo custo, que estivessem disponíveis no laboratório de Soldagem do Campus e ao mesmo tempo atendessem aos parâmetros operacionais necessários. Para o fornecimento da corrente elétrica foi utilizado um transformador de micro-ondas e para a aplicação de força um sistema mecânico com pedal. Em seguida foram retirados corpos de provas com espessura de 0,5 mm de chapas de aço carbono, soldados e submetidos ao ensaio de arrancamento, o qual foi aplicado de maneira qualitativa, este é utilizado para verificar as dimensões do ponto solda. Para realizar a validação dos parâmetros utilizados foi consultada a norma AWS D8.7-88 de 1987, segundo ela para a espessura utilizada nas amostras o diâmetro do ponto deve ser em torno de 3,0 mm enquanto que a média dos diâmetros medido nas amostras foi de 2,54 mm, apesar de pequenas variações foi possível validar os parâmetros estabelecidos.

Palavras-chave: Soldagem por resistência, dimensionamento, construção de máquina de solda ponto.

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF A WELDING MACHINE TO POINT BY LOW COST RESISTANCE

ABSTRACT: The Electric resistance welding is used mainly in the joining of parts in the automobile body due to its high welding speed and the good final quality of the weld. This work aims to develop a low cost electrical resistance welding machine, analyzing the parameters involved in the process and applying the knowledge acquired during the mechanical engineering course, in order to make it available to course students to assimilate them didactic way the contents of the disciplines of the area of manufacturing processes. The project was carried out in a way to use materials of low cost, that were available in the laboratory of the Campus and at the same time to meet the necessary operational parameters. For the supply of the electric current, a microwave transformer was used and for the application of force a mechanical system with pedal. Then, samples of 0.5 mm thickness of carbon steel plates were welded and subjected to the pullout test, which was applied in a qualitative way, this is used to verify the dimensions of the weld point. To perform the validation of the parameters used AWS D8.7-88 of 1987 was consulted, according to it for the thickness used in the samples the diameter of the point should be around 3.0 mm while the average of the diameters measured in the samples was 2.54 mm, despite small variations it was possible to validate the established parameters.

Key words: Resistance welding, sizing, construction of point welding machine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Classificação dos processos de soldagem.	14
Figura 2. características do ponto de solda.	17
Figura 3. Resistências à passagem de corrente elétrica na soldagem por resistência.	18
Figura 4. Transformador para elevação de corrente.	19
Figura 5. Formato de onda gerado por transformadores.	20
Figura 6. Tiristor.	21
Figura 7. Triac.	22
Figura 8. Ciclo de trabalho de um processo de soldagem por resistência.	23
Tabela 1. Diâmetro mínimo de solda por resistência para solda automotiva.	25
Figura 9. Procedimento de realização do ensaio de arrancamento.	26
Figura 10. Medidas para a medição do ponto de solda.	26
Figura 11. Transformador de micro-ondas.	28
Figura 12. Cabo de cobre.	28
Figura 13. Transformador modificado.	29
Figura 14. Distribuição de temperatura em torno ponto de solda.	30
Tabela 2. Características dos eletrodos segundo a RWMA.	31
Figura 15. Tipos de eletrodos.	32
Figura 16. Tipos padrões de eletrodos para a soldagem por pontos.	32
Figura 17. Pinça utilizadas no processo de soldagem por resistência.	33
Figura 18. Capas de eletrodos	34
Figura 19. Parâmetros orientativos para o formato dos eletrodos.	35
Tabela 3. Parâmetros orientativos para o formato dos eletrodos.	35
Figura 20. Ilustração do formato do eletrodo utilizado.	36
Figura 21. Ilustração da superfície de contato no contato peça-peça.	37
Tabela 4. Força máxima permitida nos eletrodos.	37
Figura 22. Inter-relação entre força, diâmetro do eletrodo e espessura da peça.	38
Figura 23. Comparação da resistência de contato em função da força aplicada em chapas galvanizadas.	39
Figura 24. Relação da espessura com a corrente e tempo de soldagem em chapas de aço carbono.	40
Figura 25. Temporizador ajustável.	41

Figura 26. Triac.	41
Figura 27. Ilustração do esquema elétrico da máquina.	42
Figura 28. Design da máquina.	43
Figura 29. Peças base para a construção.	44
Figura 30. DCL da máquina.	45
Figura 31. Medidas dos braços de alavanc utilizados.	46
Figura 32. Articulação da haste.	47
Tabela 5. Força exercida no pedal.	47
Figura 33. Mola de retorno da pinça superior.	48
Figura 34. Base da estrutura da máquina.	49
Figura 35. Suporte para os eletrodos	49
Figura 36. Máquina com suportes	50
Figura 37. Pinça superior completa: a. pinça superior; b. pedal.	51
Figura 38. Processo de pintura das peças.	52
Figura 39. Estrutura da máquina completa.	53
Figura 40. Eletrodo usinado: a. eletrodo usinado; b. realização do furo para passagem do cabo; c. Confecção de rosca para parafuso de fixação.	54
Figura 41. Caixa de passagem com proteção antichama.	54
Figura 42. Localização do triac.	55
Figura 43. Sistema de controle.	56
Figura 44. Conector dos cabos: a peças separadas; b. peças posicionas; c. peças cortadas; d. peças soldadas.	56
Figura 45. Suporte dos conectores: a. peças usinadas; b. peças fixadas.	57
Figura 46. Máquina completa.	58
Figura 47. Corpos de prova utilizados.	58
Tabela 6. Parâmetros de soldagem.	58
Figura 48. Corpos de prova primeiro teste.	60
Figura 49. Eletrodo após segunda usinagem.	61
Figura 50. Corpos de prova após ensaio de arrancamento.	61
Tabela 7. Diâmetro do ponto de solda pós teste 3.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWS – American Welding Society

CA – Corrente Alternada

CAMTUC – Campus Universitário de Tucuruí

CC – Corrente Contínua

DCL - Diagrama de Corpo Livre

IACS - International Annealing Copper Standard

kN – 1000 Newtons

MAG – Metal Active Gas

MIG – Metal inert Gas

RWMA - Resistance Welder Manufacturers Association

RWS – Resistance Spot Welding

SAE - Society of Automotive Engineers

SCR - Silicon Controlled Rectifier

TIG – Tungstênio Inert Gas

TRIAC - Tríodo de Corrente Alternada

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Ampere

Al – Alumínio

Cr – Cromo

Cu – Cobre

d_1 – Distancia 1

d_2 – Distancia 2

D_1 – Comprimento 1

D_2 – Comprimento 2

e – Número de Euler

$F_{ELETRODOS}$ – Força nos eletrodos

F_{PEDAL} – Força no pedal

F_t – Força Transmitida

G – Gate

Hz – Hertz

in – polegada

kg – Quilograma

ksi – 1000 libras por polegada quadrada

l – Litros

m – metro

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

MT1 – Main Terminal 1

MT2 – Main Terminal 2

M_1 – Momento 1

M_2 – Momento 2

V – Tensão

Zr – Zircônio

Ω – Ômega

% - Por cento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVO	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA.....	17
2.1.1 Soldagem a ponto por resistência.....	17
2.2 ENERGIA DE FUSÃO	18
2.3 CORRENTE DE SOLDAGEM	19
2.4 DENSIDADE DE CORRENTE	20
2.5 COMPONENTES ELETRÔNICOS	21
2.5.1 Tiristor.....	21
2.5.2 Triac.....	21
2.6 CICLO DE TRABALHO	22
2.7 FORÇA.....	23
2.8 TEMPO DE SOLDAGEM	24
2.9 ENSAIOS	24
2.9.1 Ensaio de arrancamento	25
3 DIMENSIONAMENTO.....	27
3.1 Fornecimento de corrente elétrica	27
3.2 Seleção do eletrodo.....	29
3.2.1 Material do eletrodo	30
3.2.2 Formato do eletrodo	32
3.2.3 Diâmetro do eletrodo.....	34
3.2.4 Força dos eletrodos.....	36

3.2.5 Refrigeração dos eletrodos.....	38
3.2.6 Corrente de soldagem.....	39
3.2.6.1 Densidade de corrente	39
3.2.7 Tempo de soldagem	40
3.2.8 Circuito de controle do tempo de soldagem	40
3.3 CONSTRUÇÃO	43
3.3.1 Estrutura	44
3.3.2 Calculo da força a ser exercida no pedal.....	45
3.3.3 Corte das peças	48
3.3.4 Montagem das peças.....	48
3.3.5 Eletrodos.....	53
3.3.6 Ligação elétrica	54
3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
5.1 CONCLUSÕES	64
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE I.....	68
APÊNDICE II	69

1 INTRODUÇÃO

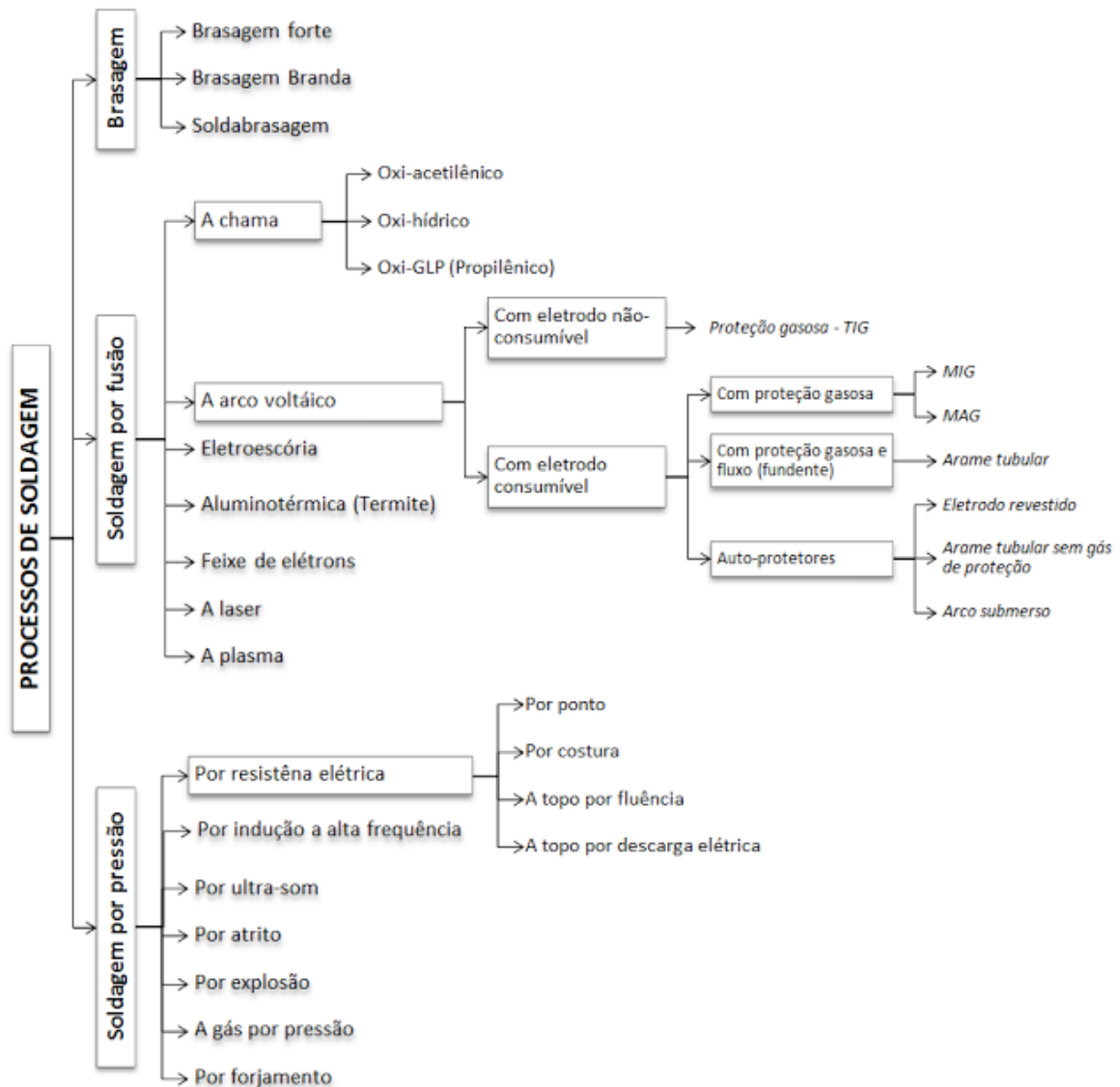
De acordo com Loureiro (2016), em um cenário de concorrência, as indústrias investem em tecnologia e melhorias em seus processos, diminuindo custos e melhorando a qualidade para clientes cada vez mais exigentes.

Para Penteado (2011) a soldagem é um dos principais processos do ponto de vista industrial e é utilizada na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas, sua aplicação atinge desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas e equipamentos e sua importância fica evidenciada por possuir mais de cinquenta diferentes processos de soldagem aplicados a atividades industriais distintas, como por exemplo, indústria naval, química, petroquímica, automobilística, aeroespacial e construção civil.

Segundo Wainer et al (1992) soldagem é o processo de união entre duas partes metálicas, utilizando calor com ou sem a aplicação de pressão. Sendo a solda o resultado do processo.

Vilma (2017) classifica os processos de soldagem em três grandes classes: soldagem por fusão, soldagem por pressão e brasagem. As Subdivisões desses tópicos podem ser visualizadas na Figura 1.

Figura 1. Classificação dos processos de soldagem.



Fonte: (VILMA, 2017).

Para Santos (2013) é um processo de união de peças metálicas bastante utilizado nas indústrias modernas, principalmente para a fabricação de equipamentos eletrônicos, eletrodomésticos, tubulações e na indústria automobilística. As peças a serem soldadas são unidas por pontos de solda, estes são gerados pelo calor proveniente da resistência à passagem de corrente elétrica (Efeito Joule) que as peças possuem.

“Atualmente a indústria mundial trabalha cada vez mais com uma alta taxa de produção, justificando assim a necessidade de processos que possuam alta velocidade de trabalho, sejam automatizados, gastem pouca energia e possuam pouca manutenção.” (INFOLSOLDA, 2017).

A Soldagem a Ponto por Resistência (RSW – Resistance Spot Welding) possui alta velocidade de soldagem, não gera calor excessivo, é altamente produtiva, não provoca

deformação da peça, não utiliza gás de proteção e nem material de adição, caracterizando-a como autógena. O processo é economicamente mais viável quando comparada aos processos que utilizam arco elétrico como eletrodo revestido, TIG, MIG/MAG e arame tubular. (INFOLSOLDA, 2017).

Em especial, a união em alta produção e sem defeitos entre chapas de aço é um desafio constante para projetistas e engenheiros. Mesmo já existindo concorrência (principalmente pela Soldagem a Laser), ainda hoje, o processo de Soldagem a Ponto é utilizado tanto na indústria automobilística quanto na indústria de eletrodomésticos. Este processo de fabricação tem grande aceitação na indústria porque é um processo utilizado para unir chapas finas, de alta confiabilidade, muito rápido de ser executado, não existe adição de metal e não é necessário um alto grau de experiência do operador. (NASCIMENTO, 2008).

1.1 JUSTIFICATIVA

A soldagem por ponto possui grande aplicabilidade na indústria mundial principalmente na indústria automobilística, pois é aplicada na união de chapas metálicas e necessita de um bom contato entre as peças a serem unidas, necessitando assim de um sistema para aplicação de pressão sobre as peças. As indústrias brasileiras que utilizam os processos de soldagem por resistência necessitam cada vez mais de profissionais qualificados.

Tendo isso em mente resolveu-se construir uma máquina de solda a ponto por resistência de baixo custo. A mesma será utilizada nas aulas da disciplina de soldagem do curso de engenharia mecânica do Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) com a finalidade de melhorar a relação ensino-aprendizagem e deixar os discentes mais familiarizados com o equipamento e as técnicas de soldagem, as quais são de grande importância para um engenheiro mecânico.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo geral

Construir uma máquina de soldagem a ponto por resistência de baixo custo utilizando materiais disponíveis no CAMTUC.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fazer o dimensionamento estrutural do equipamento;
- Fazer o circuito elétrico da máquina;
- Realizar soldagem em chapas de aço carbono para validar os parâmetros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

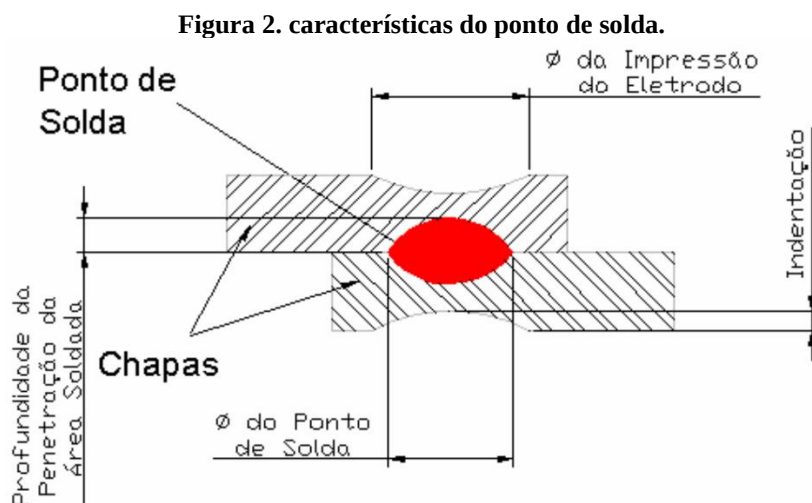
2.1 SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

2.1.1 Soldagem a ponto por resistência

Para Marques (2012) essa operação tende a unir duas ou mais peças com o intuito de manter as propriedades físicas, químicas e metalúrgicas.

“Consiste na passagem de corrente elétrica entre dois eletrodos (não consumíveis) que comprimem peças distintas. Consequentemente, devido à maior resistência apresentada pelas interfaces em contato, ocorre fusão localizada, formando a solda” (MACHADO, 1996).

Segundo Penteado (2011), no processo de soldagem de pontos por resistência elétrica ou RSW (Resistance Spot Welding), as peças a serem soldadas são mantidas juntas devido à força exercida pelos eletrodos, e o calor gerado pela resistência ao fluxo de corrente através das peças é o responsável por formar o ponto de solda (Figura 2).



Fonte: (BRANCO, 2004).

Na superfície em contato, um curto pulso de energia com baixa tensão e alta corrente é fornecido passando pelos eletrodos, não consumíveis. A resistência do material de base à passagem dessa corrente elétrica ocasiona uma quantidade de calor nas superfícies de contato das peças, sendo esta proporcional ao tempo e a sua intensidade, a qual deverá ser suficiente para permitir que esta região atinja o ponto de fusão do material formando uma região fundida que recebe o nome de ponto de solda (PENTEADO, 2011).

2.2 ENERGIA DE FUSÃO

É a energia necessária para que ocorra a fusão nas peças a serem soldadas, para assim então formar o ponto de solda ou “botão de solda”.

Machado (1996), diz que “a energia para ocorrer a fusão e formação do ponto, é gerada nos contatos elétricos (Eletrodos) e nas peças”. A mesma pode ser obtida segundo a eq.(1) (Lei de Joule).

$$Q = \frac{1}{J} \int_0^t I^2 \cdot R \cdot dt \quad (1)$$

Onde:

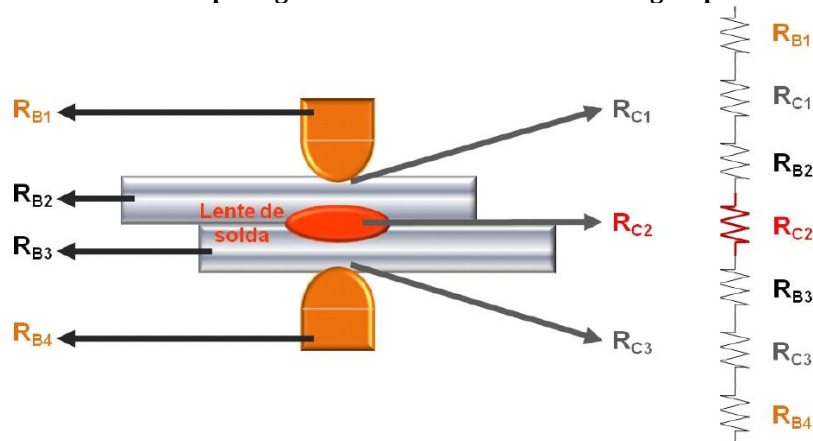
J : Constante igual a 4,185 J ;

I : corrente de soldagem (A);

t : tempo que a corrente circula (s);

R : é a soma das resistências das peças, dos eletrodos e dos contatos chapa-eletrodo e chapa-chapa (Figura 3) (Ω).

Figura 3. Resistências à passagem de corrente elétrica na soldagem por resistência.



Fonte: (NASCIMENTO,2008).

Onde:

R_{B1} = Resistência elétrica do eletrodo superior;

R_{B2} = Resistência elétrica da chapa superior;

R_{B3} = Resistência elétrica da chapa inferior;

R_{B4} = Resistência elétrica do eletrodo inferior;

R_{C1} = Resistência elétrica do contato eletrodo superior-chapa superior;

R_{C2} = Resistência elétrica do contato chapa superior-chapa inferior;

R_{c3} = Resistência elétrica do contato eletrodo inferior-chapa inferior.

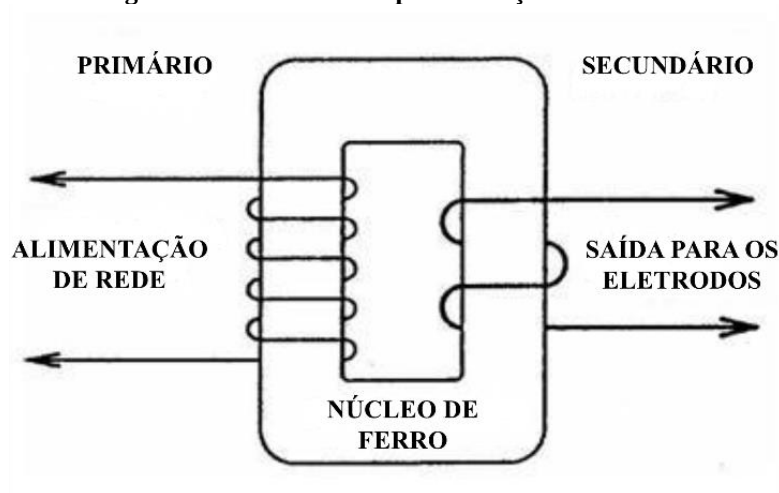
2.3 CORRENTE DE SOLDAGEM

Analisando a eq.(1) é possível notar que a corrente possui um papel muito importante pois possui influencia quadrática na equação, devido isto ela possui efeito maior na geração de calor quando comparada com a resistência ou tempo.

Segundo Santos (2013) esta possui um limite inferior no qual o aquecimento e a fusão são insuficientes para ocorrer a solda e um limite superior que pode provocar o superaquecimento das peças causando deformação plástica da área de contato com os eletrodos e levar a ocorrência de penetrações excessivas dos eletrodos.

Nascimento (2008) diz que a corrente de soldagem pode atingir valores desde 5 *kA* até 15 *kA*, sendo o segundo em aplicações automobilísticas e que altos valores de corrente são conseguidos através de transformadores como o da Figura 4. A título de exemplo, um transformador que contém 100 espiras no circuito primário e duas no circuito secundário possui uma razão de 50: 1, ou seja, com uma corrente de 50 A no primário, esta será elevada para 2500 A no secundário.

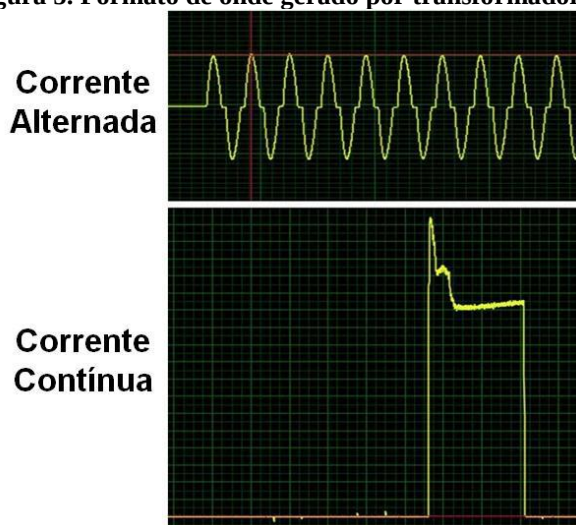
Figura 4. Transformador para elevação de corrente.



Fonte: Autoria própria adaptado de (NASCIMENTO, 2008).

Os formatos de onda utilizados em soldagem por resistência são CA (Corrente Alternada) e CC (Corrente Contínua), a representação desses formatos pode ser visualizada na Figura 5. Vale ressaltar que em transformadores convencionais o formato de onda gerado é CA, para conseguir formatos CC são utilizados transformadores especiais. (NASCIMENTO, 2008)

Figura 5. Formato de onda gerado por transformadores.



Fonte: (NASCIMENTO, 2008).

2.4 DENSIDADE DE CORRENTE

A corrente elétrica nada mais é do que um fluxo ordenado de elétrons, quando esse fluxo é transportado através de uma superfície, esta superfície possui uma densidade de corrente, que é a quantidade de corrente elétrica que é conduzida em determinada área, como é uma quantidade por medida área, esta pode ser expressa na seguinte unidade, A/mm^2 . A área na qual a corrente será conduzida é a região da ponta do eletrodo, nesse caso a densidade de corrente está intimamente ligada com o diâmetro da face do eletrodo. (AURES, 2006)

Segundo Machado (1996) se a densidade de corrente for insuficiente não haverá fusão, no entanto se esta for muito alta o eletrodo acabará penetrando na peça devido a mesma estar na fase plástica, sendo assim para determinada força aplicada sobre a peça existe uma corrente máxima que os eletrodos suportam antes de o metal de base ser expulso provocando soldas defeituosas.

Dessa maneira, é conveniente calcular a densidade de corrente máxima, sendo essa o limite para que não haja expulsão de material das peças a serem soldadas. Machado (1996) sugere que para o ponto de solda ser obtido em um tempo curto e com alta resistência mecânica é habitual calcular a densidade de corrente máxima, pode-se estimar segundo a eq.(2).

$$D_{MÁX} = 192 + 480 \cdot e^{-t} \quad (2)$$

Onde:

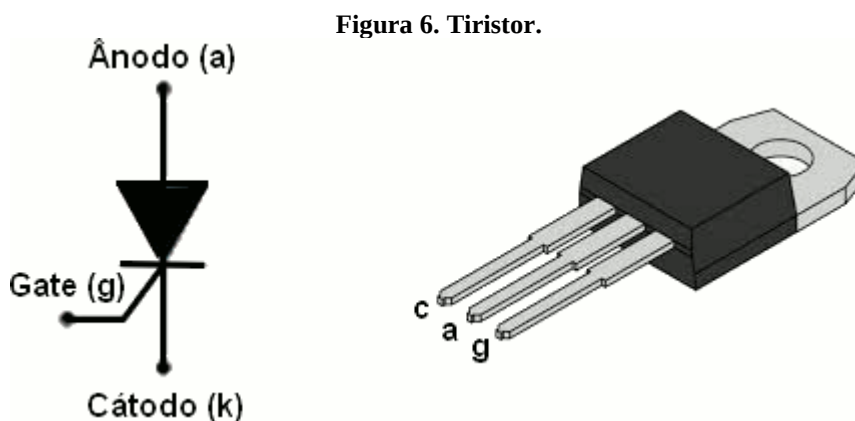
$D_{MÁX}$: É a densidade de corrente máxima.

t : É a espessura da chapa mais fina.

2.5 COMPONENTES ELETRÔNICOS

2.5.1 Tiristor

Para Segundo e Rodrigues (2015) os tiristores são conhecidos pela sigla SCR (Silicon Controlled Rectifier) que é um retificador de silício controlado e fazem parte de uma família de componentes eletrônicos que possuem em comum a característica de disparo. Seu funcionamento se assemelha em alguns aspectos à um diodo no qual deixa fluir corrente elétrica em apenas um sentido entrando pelo ânodo e saindo pelo cátodo quando recebem um sinal no Gate, a Figura 6 ilustra sua aparência e terminais. Por esse motivo é utilizado apenas em circuitos que trabalham com CC (Corrente Contínua).



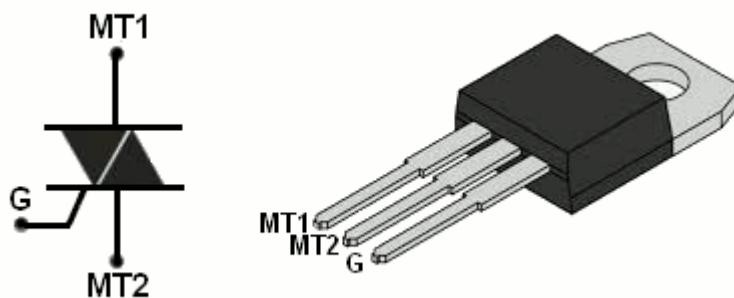
Fonte: (SEGUNDO E RODRIGUES, 2015).

2.5.2 Triac

O TRIAC é um Tríodo de Corrente Alternada e funciona como um interruptor controlado, apresentando as mesmas características funcionais de um SCR. Possui a vantagem de conduzir a corrente nos dois sentidos de polarização, o mesmo funciona como dois Tiristores em antiparalelo. (SEGUNDO E RODRIGUES, 2015).

Em seu funcionamento quando recebe uma tensão no Gate (G), permite a condução de corrente alternada entre os terminais MT1 e MT2, conforme a Figura 7.

Figura 7. Triac.



Fonte: (SEGUNDO E RODRIGUES, 2015).

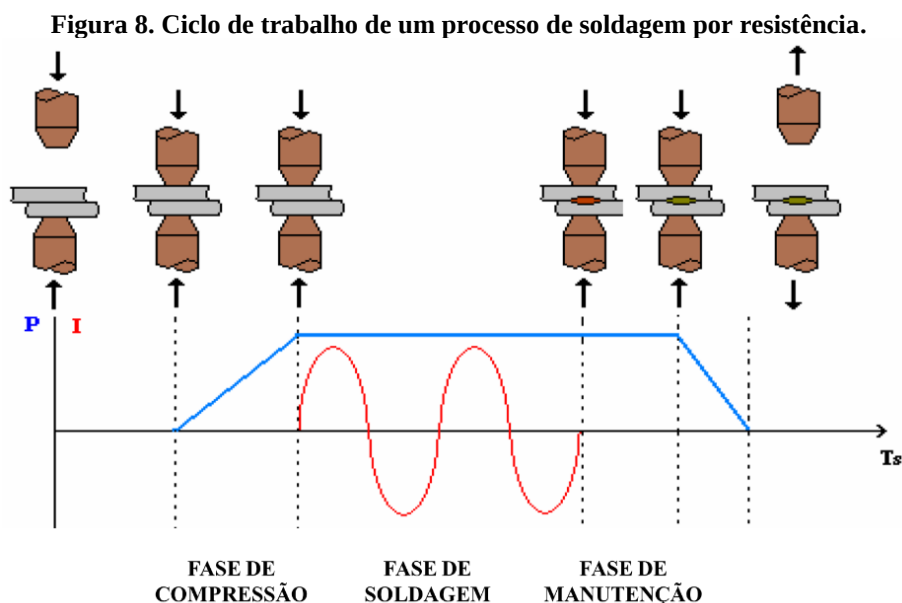
2.6 CICLO DE TRABALHO

Para a correta execução do processo de soldagem por resistência elétrica, algumas etapas devem ser seguidas afim de evitar falhas no procedimento e botões de solda mal feitos. Essas etapas são normalmente condensadas em um ciclo, pois para cada solda realizada as mesmas etapas devem ser executadas novamente.

Machado (1996) cita que as seguintes etapas que compõem um ciclo de soldagem são: Fase de compressão, fase de soldagem, fase de manutenção e fase de espera, sendo esta última mais utilizada em processos contínuos. Cada fase possui uma característica própria.

- Fase de compressão: Também conhecida como pré-pressão é o intervalo de tempo entre o início da operação e o início da passagem de corrente, neste tempo a pinça superior (móvel) se desloca de maneira a aplicar força pressionando as peças uma contra a outra;
- Fase de soldagem: é o tempo em que a corrente circula através do conjunto eletrodos – peças acarretando através do efeito joule no aquecimento, consequentemente fusão e formação do ponto;
- Fase de manutenção: é determinado pelo tempo no qual os eletrodos continuam aplicando pressão nas peças mesmo após o término da passagem da corrente, este tem o intuito de resfriar o conjunto e completar a solidificação do ponto, é chamado também de pós - pressão;
- Fase de espera: é o intervalo de tempo entre uma solda e outra onde as normalmente as mesmas condições de soldagem são utilizadas.

A Figura 8 apresenta um esquema de um ciclo de trabalho para soldagem por resistência elétrica.



Fonte: Autoria própria adaptado de (BRANCO, 2004).

2.7 FORÇA

Para Aures (2006) a força é a encarregada de unir as peças de trabalho, tendo sua aplicação antes (pré-pressão), durante (pressão de soldagem) e após (pós-pressão) a passagem de corrente nas peças. Serve também para forjar os metais enquanto se encontram no estado plástico.

A força aplicada pelos eletrodos assegura o contato entre as peças e evita a formação de trincas devido as contrações de solidificação do ponto após a fase de soldagem (resfriamento). Esta deve ser bem determinada pois valores abaixo do especificado poderão formar soldas de má qualidade, aumentam o valor da resistência de contato o que para o mesmo valor de corrente utilizado ocasionará superaquecimento das peças, já para valores superiores aos dimensionados poderá ocorrer a expulsão de material da peça devido a pressão elevada aplicada na peça. (SANTOS, 2013).

Os métodos para a aplicação de força em máquinas de soldagem por resistência são: Sistemas mecânicos (equipamentos com baixa capacidade e manuais); Sistemas pneumáticos (rápida atuação); Sistemas hidráulico-pneumático (maior força). (NASCIMENTO, 2008).

2.8 TEMPO DE SOLDAGEM

Segundo Bracarense (2000), é o tempo necessário para a corrente fluir e fazer a solda. O tempo durante o qual a corrente flui afeta o calor gerado, basicamente usamos o tempo para desenvolver o botão de solda requerido, a fim de obter a resistência mecânica necessária ao conjunto soldado.

Para que ocorra o processo de soldagem este deve passar por várias etapas como visto anteriormente, cada uma delas tem uma duração exata. Branco (2004) diz que este pode ser contabilizado em segundos e suas variantes ou em ciclos/pulsos. No segundo caso considerando que a frequência da rede de distribuição elétrica no Brasil é de 60Hz cada ciclo ou pulso teria duração de $\frac{1}{60} = 0,0167 \text{ s}$.

O tempo de soldagem no processo deve ser mantido o menor possível (1/4 s em média), apesar de se demandar tempos mais longos para correntes mais baixas. (VARGAS et al. 2007 apud NASCIMENTO,2008).

2.9 ENSAIOS

A norma AWS D8.7-88 de 1987 contém as práticas recomendadas para qualidade de solda automotiva utilizando o processo de soldagem por resistência elétrica, norma esta que foi utilizada como base para realizar o ensaio necessário para a validação dos parâmetros adotados no processo. A mesma é limitada a aplicações que utilizem aço com baixo teor de carbono, resistência máxima de 40 ksi (aproximadamente 276 Mpa) e que possuam uma porcentagem máxima de carbono correspondente à um aço SAE 1010 com 0,13 % de carbono.

O processo de soldagem deve ser controlado de modo a atingir um nível mínimo de qualidade de solda respeitando os requisitos do produto. Uma soldagem satisfatória tem um diâmetro acima do mínimo (Tabela 1).

O diâmetro possui grande influência pois segundo AWS (1987) o design e as configurações da ferramenta (eletrodos) dependem do mesmo. Para realizar a medição das dimensões do ponto de solda é utilizado o ensaio de casca ou arrancamento.

Tabela 1. Diâmetro mínimo de solda por resistência para solda automotiva.

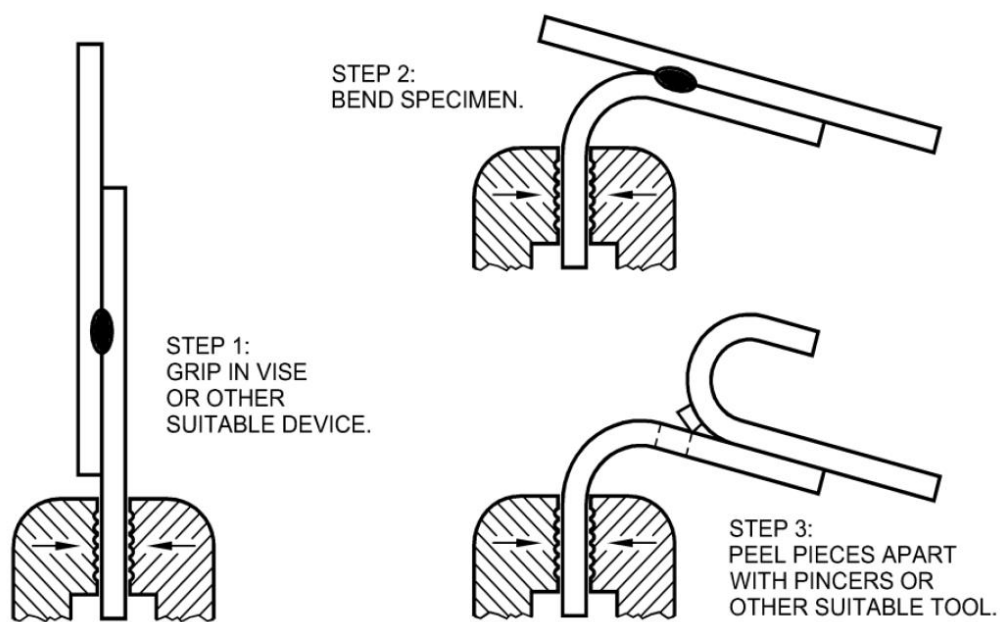
ESPESSURA DO MATERIAL		DIÂMETRO DO PONTO DE SOLDA	
Polegadas	Milímetros	Polegadas	Milímetros
0.015 - 0.024	0,38 - 0,62	0.12	3,0
0.025 - 0.034	0,63 - 0,87	0.15	3,8
0.035 - 0.044	0,88 - 1,13	0.17	4,3
0.045 - 0.054	1,14 - 1,38	0.20	5,1
0.055 - 0.064	1,39 - 1,64	0.21	5,3
0.065 - 0.074	1,65 - 1,89	0.22	5,6
0.075 - 0.084	1,90 - 2,14	0.24	6,1
0.085 - 0.099	2,15 - 2,52	0.26	6,6

Fonte: Autoria própria adaptado de (AWS, 1987).

2.9.1 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento é caracterizado como um ensaio destrutivo e é normalmente aplicado em processos de soldagem por resistência elétrica. É o efeito de arrancar ou separar uma chapa da outra, o ensaio é realizado de maneira a causar uma tração nas chapas onde uma das extremidades da mesma fica fixa e a outra sofre o esforço, após os esforços apenas uma chapa continua com o ponto de solda onde será realizada a medição do diâmetro do mesmo. (AWS C1.1M, 2012 apud LOUREIRO, 2016). A Figura 9 ilustra o procedimento de realização deste ensaio.

Figura 9. Procedimento de realização do ensaio de arrancamento.



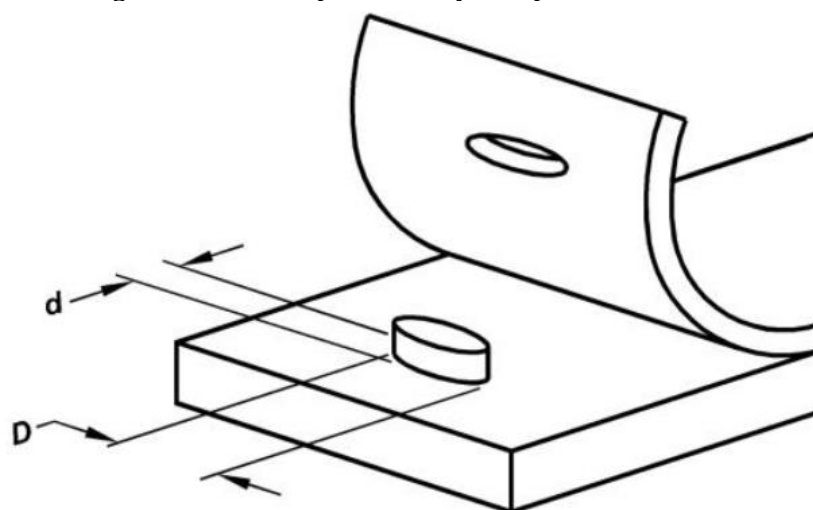
Fonte: (AWS C1.1M, 2012 apud LOUREIRO, 2016).

“O diâmetro do botão de solda segundo a norma AWS C1.1M (2012), deve ser medido com um paquímetro ou outro equipamento de medição adequado.” (AWS C1.1M, 2012 apud LOUREIRO, 2016).

Para medir o tamanho do ponto de solda deve ser realizada a medida das distancias d e D assim como ilustrado na Figura 10 e calculadas através da eq.(3).

$$\text{Diâmetro do ponto de solda} = \frac{D+d}{2} \quad (3)$$

Figura 10. Medidas para a medição do ponto de solda.



Fonte: (AWS C1.1M, 2012 apud LOUREIRO, 2016).

3 DIMENSIONAMENTO

Considerou-se como parâmetro inicial para o dimensionamento que a corrente elétrica seja constante (a corrente não será constante, será função das propriedades do material) e que regulasse o tempo no processo de acordo com a espessura do material a ser soldado e o tipo de material.

Os parâmetros fundamentais, para uma solda de qualidade, em soldagem a ponto são a corrente de soldagem, o tempo de soldagem e a força exercida sobre as peças no momento da soldagem. Estas variáveis irão influenciar de maneira direta na geometria da solda e a partir disso pode-se dimensionar os melhores valores para essas variáveis afim de obter a geometria que irá possibilitar uma solda com boa aparência, resistência mecânica e diâmetro da solda.

Os materiais normalmente soldados por resistência elétrica são aços ao carbono, inclusive os zincados, baixa liga e inoxidáveis, além de cobre, níquel, alumínio, magnésio, titânio e suas ligas. Sendo, os aços ao carbono os mais soldados por esse processo de soldagem (MACHADO, 1996).

Segundo Wainer et. al (1992) todas as máquinas que trabalham com o processo de soldagem por resistência devem apresentar no mínimo três componentes fundamentais:

- Sistema mecânico: responsável pela fixação da peça e aplicação da força através dos eletrodos, sendo este mecânico, hidráulico ou pneumático;
- Circuito elétrico: consiste basicamente de um transformador com a função de regular a corrente de soldagem;
- Sistema de controle: atua sobre o tempo de soldagem e dependendo da máquina também atua sobre a ação mecânica da aplicação da força.

3.1 Fornecimento de corrente elétrica

Para o fornecimento da corrente de soldagem foi utilizado um transformador de micro-ondas. Entretanto, esses tipos são utilizados para elevação de tensão, como na máquina serão utilizadas altas correntes em contrapartida tensões baixas, necessitou fazer uma alteração no circuito secundário do mesmo. O transformador utilizado pode ser visto na Figura 11.

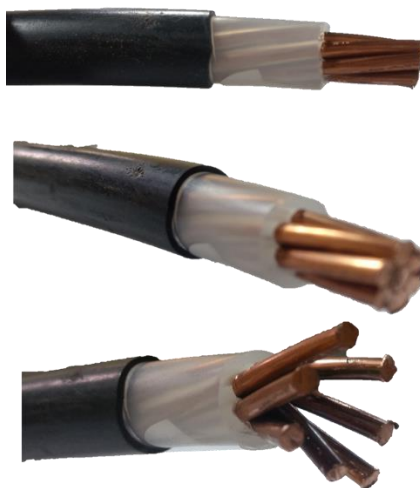
Figura 11. Transformador de micro-ondas.



Fonte: Autoria própria.

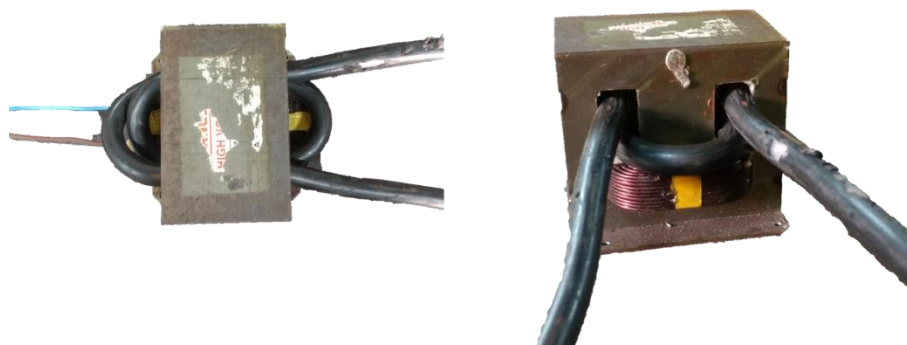
Para realizar a elevação de corrente o circuito secundário necessita possuir menos espiras que o primário, para isso foi feita uma volta (2 espiras) no circuito secundário para obter a maior quantidade de corrente que o transformador é capaz de fornecer. Levando em consideração que a corrente será muito elevada, necessitou-se de um cabo que fosse capaz de suportar a mesma, para isso foi utilizado um cabo de cobre com 7 pernas, revestimento duplo e área de secção transversal de 35 mm^2 conforme mostrado na Figura 12. O transformador montado pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 12. Cabo de cobre.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13. Transformador modificado.



Fonte: Autoria própria.

Não houve como quantificar o número de espiras no circuito primário para fazer a relação do transformador, conseqüentemente estimar a corrente no secundário. Como esta é de extrema importância para o trabalho, foi realizada a medição da mesma com o auxílio de um alicate amperímetro o qual mostrou que em curto-circuito a corrente chegou a um valor médio de aproximadamente 900 A, sendo este o valor máximo que o transformador é capaz de fornecer.

3.2 Seleção do eletrodo

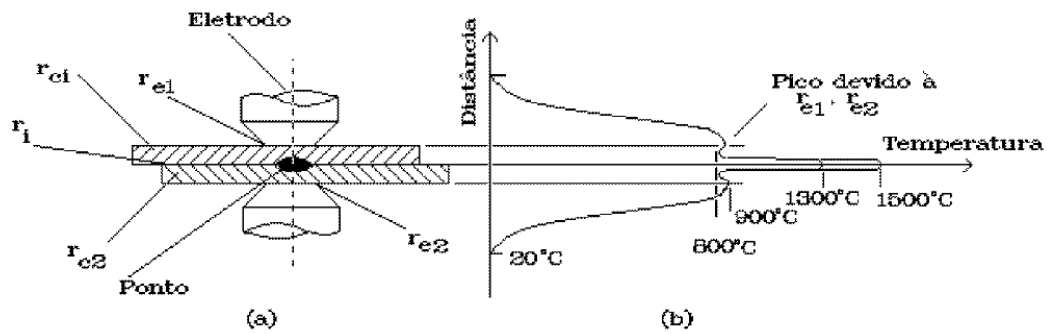
Um importante componente do equipamento de soldagem por resistência elétrica, é o eletrodo. O material do mesmo deve possuir alta condutividade elétrica e térmica, baixa resistência de contato e grande resistência mecânica e ao desgaste nas temperaturas de trabalho (MACHADO, 1996).

O propósito do eletrodo é conduzir a corrente de soldagem para a peça de trabalho, aplicar força para juntar as peças a serem soldadas e retirar ou reduzir o calor da superfície da peça de trabalho além de manter a sua forma e características originais de condutor térmico e elétrico sob severas condições de trabalho. (VARGAS, 2006).

Além de conduzir a corrente elétrica no momento da solda, os eletrodos devem manter a sua característica metalúrgica afim de evitar mudanças na sua forma ocasionando soldas malfeitas, desgaste e contaminação do metal de base.

Os eletrodos estão sujeitos a altas correntes e grandes esforços mecânicos e temperaturas extremas (Figura 14) que podem chegar a 900°C no contato eletrodo/peça, devido a estes motivos o eletrodo deve garantir suas propriedades mecânicas afim de evitar os problemas mencionados anteriormente além de deformações (plástica e elástica), levando ao desgaste do mesmo.

Figura 14. Distribuição de temperatura em torno ponto de solda.



Fonte: (MACHADO, 1996).

3.2.1 Material do eletrodo

Para Machado (1996), “o material fundamental utilizado na construção de eletrodos para a soldagem por resistência é o Cobre (Cu), isso se deve ao fato deste possuir alta condutividade térmica e elétrica, baixa resistência de contato, elevada resistência mecânica além de uma boa resistência as altas temperaturas de trabalho.”.

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), “na maioria das aplicações os eletrodos são formados de ligas CuCr, CuCrZr, CuCd e CuBe, tratadas termicamente para atingirem as seguintes propriedades:

- Condutividade térmica e elétrica elevadas;
- Resistência mecânica elevada;
- Fraca tendência para formar ligas com o material a soldar;
- Resfriamento absolutamente seguro das pontas dos eletrodos;
- Alto ponto de amolecimento, temperatura na qual, após um período de determinado tempo, o material perde grande parte de sua dureza e/ou resistência.”.

“Os eletrodos à base de cobre estão classificados segundo a Resistance Welder Manufacturers Association (RWMA) em 3 classes:

- Classe 1: Nessa classe estão os materiais não tratáveis termicamente e endurecidos por trabalho a frio, que não afeta as altas condutibilidades térmica e elétrica;
- Classe 2: É composta por materiais com propriedades mecânicas mais altas e condutibilidades elétrica e térmica mais baixas em relação aos eletrodos da Classe 3. As propriedades mecânicas e físicas requeridas são conseguidas por

tratamento térmico ou por uma combinação de tratamento térmico e trabalho a frio. Os eletrodos da Classe 2 são os mais utilizados e podem se adequar a uma ampla faixa de metais e condições;

- Classe 20: É composta por materiais com capacidade de resistir a altas taxas de calor e pressão quando comparado com os materiais das classes 1 e 2. São fabricados utilizando cobre e material refratário.” (RWMA, 2002, apud BRANCO, 2004).

A Tabela 2 mostra as características dos materiais de fabricação dos eletrodos conforme a classificação da RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association). (RWMA, 2002, apud BRANCO, 2004).

Tabela 2. Características dos eletrodos segundo a RWMA.

Classe RWMA	Descrição	Condutividade (I.A.C.S.)	Dureza (HB)	Mecanismo de endurecimento
RWMA 1 (Classe 1)	Cobre - Zircônio CuZr (0,15% Zr)	90%	70 HB	Precipitação
RWMA 2 (Classe 2)	Cobre - Cromo CuCr (1% Cr)	85%	83 HB	Precipitação
RWMA 2 (Classe 2)	Cobre - Cromo - Zircônio CuCrZr (1% Cr 0,25% Zr)	85%	83 HB	Precipitação
RWMA 20 (Classe 20) Al - 60	Cobre resistente por dispersão CuAl ₂ O ₃ (1,1% Al ₂ O ₃)	85%	75 HB	Dispersão

Fonte: Autoria própria adaptado de (RWMA, 2002, apud BRANCO, 2004).

De acordo com a classificação da RWMA e com a finalidade de aumentar o leque de materiais que serão soldados na máquina, a classe 2 é a que mais se adequa as condições de operação. Reforçando que os eletrodos dessa classe são os mais utilizados e podem se adequar a uma ampla faixa de metais e condições.

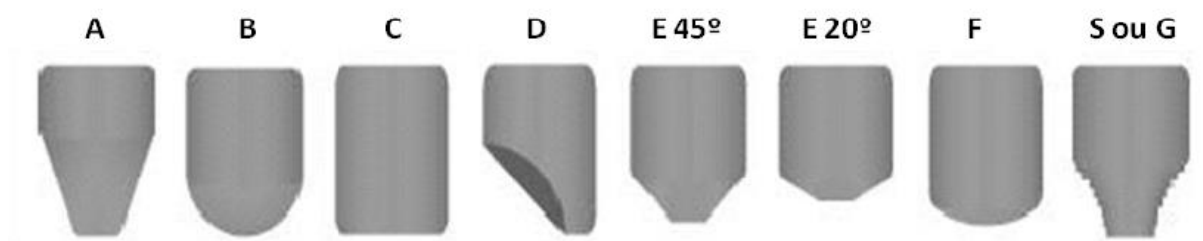
No entanto a classe 2 possui basicamente dois materiais, os eletrodos de CuZr e CuCrZr. Porém devido ao Zircônio (Zr) proporcionar a liga o suporte a altas temperaturas e consequentemente aumentando a produtividade em processos de solda por resistência, o material selecionado para a confecção dos eletrodos foi o Cobre - Cromo – Zircônio (CuCrZr).

3.2.2 Formato do eletrodo

O formato dos eletrodos está diretamente ligado com a sua vida útil e este com o custo de manutenção do mesmo, quanto menor a vida útil do eletrodo maior será o custo com o mesmo. Levando em consideração que a mesma está intimamente ligada as condições de operação como temperatura e tempo de trabalho, a correta seleção das especificações de trabalho do eletrodo.

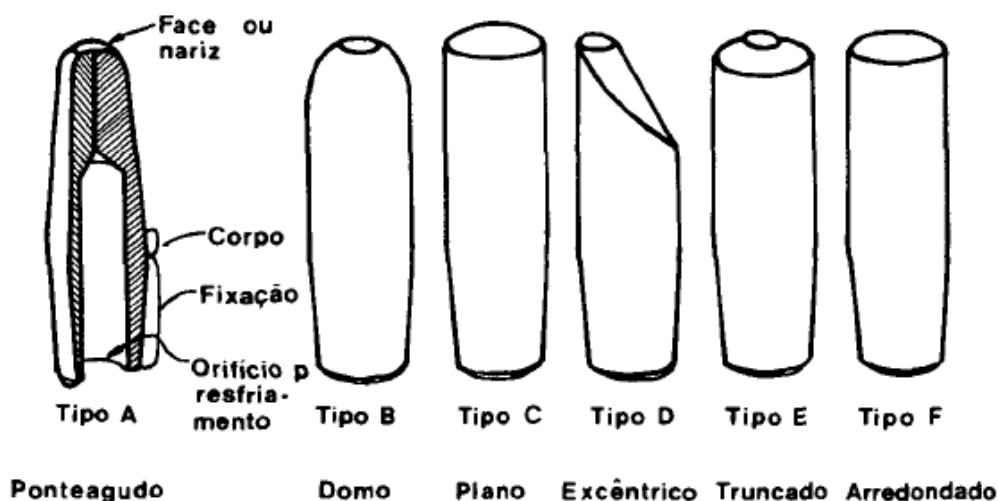
O formato do eletrodo depende da espessura, composição e revestimento do material a ser soldado (PENTEADO, 2011). Grande parte dos eletrodos produzidos por empresas seguem modelos padronizados, destacando-se os da Figura 15 e Figura 16.

Figura 15. Tipos de eletrodos.



Fonte: (INTERMACHINERY, 2002 apud PENTEADO, 2011).

Figura 16. Tipos padrões de eletrodos para a soldagem por pontos.

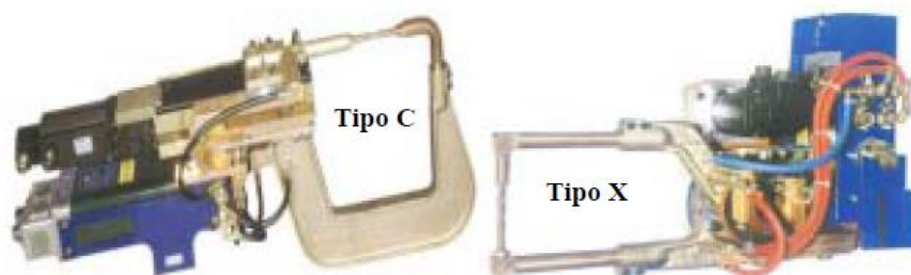


Fonte: (WAINER, et. al., 1992).

Os eletrodos mais utilizados são com formato A e B, sendo o primeiro configurado para pinças tipo C (Figura 17) que trabalham com aplicação de força axial e é recomendado para máquinas automáticas, já o segundo é aplicado quando as chapas possuem pouco ou nenhum revestimento e até 2,5 mm de espessura, sendo indicado para máquinas manuais com aplicação de

força radial. O eletrodo C é usado em chapas que possuem diferentes espessuras e o D é indicado em soldagem de bordas, áreas com acesso restrito ou perto de superfícies curvas; ambos os eletrodos são de uso específico. O eletrodo E possui aplicação parecida com o A. O eletrodo F possui uso específico sendo recomendado para chapas com espessura superior a 2,5 mm, podendo ser utilizado em máquinas manuais ou automáticas, o formato S ou G são de uso geral, porém não permitem afiação. (INTERMACHINERY, 2002 apud PENTEADO, 2011).

Figura 17. Pinça utilizadas no processo de soldagem por resistência.

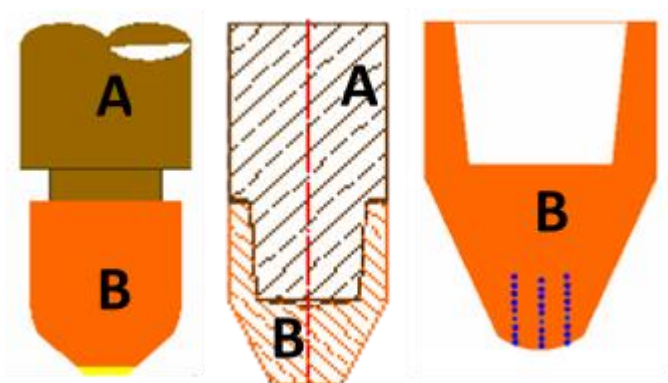


Fonte: (RUIZ, 2005).

Com base no parâmetro espessura das chapas determinado anteriormente no qual a espessura máxima de trabalho especificada foi de 1,0 mm o formato de eletrodo que mais se adequa a esta aplicação é o do tipo B (Domo) que solda chapas com espessura de até 2,5 mm. Levando em consideração que a faixa de espessura real será definida com base nas análises das soldagens de testes e no formato do eletrodo pode-se definir uma espessura máxima provisória de 1 mm considerando que o formato de eletrodo selecionado é utilizado para chapas com espessura máxima de 2,5 mm .

Em máquinas do tipo automáticas os eletrodos são utilizados na forma de “capas” conforme ilustra a Figura 18, em que a parte “A” da figura é o eletrodo de propriamente dito e a parte “B” é a capa do mesmo, sendo esta que passa por processos mecânicos para adquirir o formato ideal para a solda e as propriedades mecânicas adequadas de acordo com a aplicação, essas máquinas comumente são de cunho industrial na qual possuem grandes potências e necessitam de sistema de resfriamento do eletrodo devido a soldagem ser realizada com grande frequência. Este trabalho por se tratar de uma máquina do tipo manual e não possuir sistema de resfriamento os eletrodos não utilizaram “capas” e sim serão uma peça única.

Figura 18. Capas de eletrodos



Fonte: Autoria própria adaptado de (BRANCO, 2004).

3.2.3 Diâmetro do eletrodo

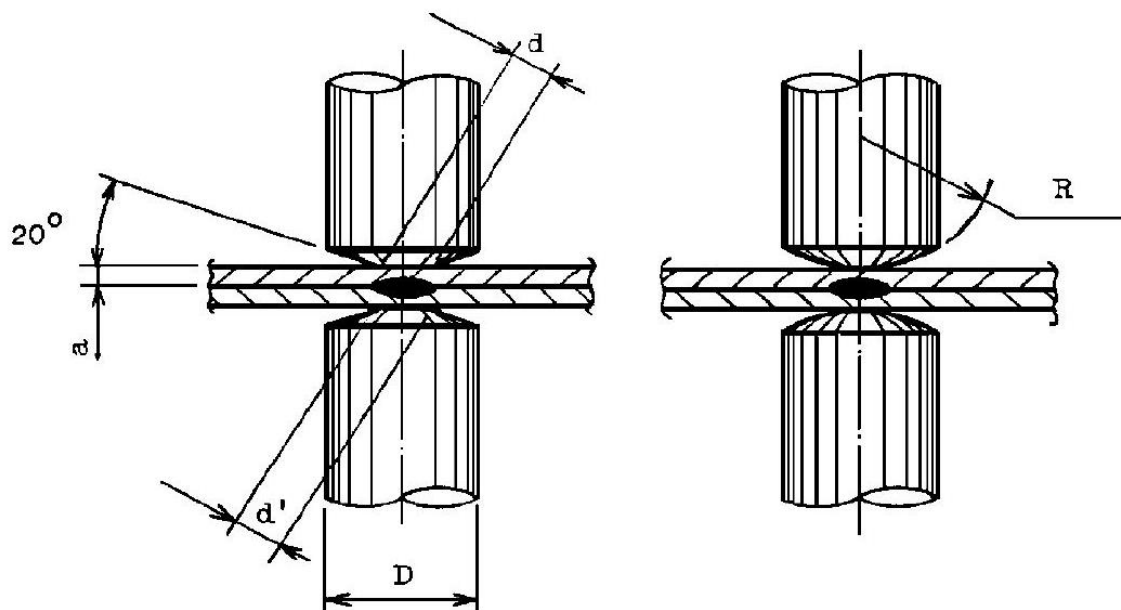
Sendo definido os formatos dos eletrodos falta determinar o diâmetro dos mesmos, o qual varia de acordo com a espessura das peças que serão soldadas. “Dependendo da aplicação, os eletrodos podem possuir os mais diversos diâmetros” (MACHADO, 1996).

Para Machado (1996), “o aumento não controlado da área de contato do eletrodo com a peça, diminui a densidade de corrente e a pressão aplicada. Além disso, é primordial que as faces dos eletrodos sejam mantidas alinhadas, com respeito as peças e entre si”.

Segundo Aures (2006) Se o diâmetro do eletrodo for pequeno a densidade de corrente será alta, logo a quantidade de corrente que será transmitida através dos mesmos será alta gerando grande quantidade de calor e causando indentação (penetração dos eletrodos na peça), no entanto se o diâmetro for grande pouco calor será gerado a pressão diminuirá e a solda pode não ocorrer.

Marimax (2017) fornece a Figura 19 e a Tabela 3 com parâmetros orientativos para a soldagem a ponto por resistência de aços SAE com baixo teor de carbono (1010/1030). Levando em consideração a espessura máxima provisória determinada anteriormente pode-se determinar o diâmetro dos eletrodos.

Figura 19. Parâmetros orientativos para o formato dos eletrodos.



Fonte: (MARIMAX, 2017).

Tabela 3. Parâmetros orientativos para o formato dos eletrodos.

ALTA QUALIDADE DE SOLDA (TEMPO DE SOLDA CURTO)							
Espessura (mm)	Força entre os eletrodos (kgf)	corrente de solda (kA)	Tempo de solda (ciclos/60Hz)	Eletrodos			Diâmetro do ponto de solda d' (mm)
				D mín. (mm)	d (mm)	R (mm)	
0,5	60	4	10	10	4	50	3,5
1	100	5	20	12	6	75	4,5
1,5	150	6	40	16	6	75	5,5
2	200	7	50	16	7	75	6,5
2,5	250	8	75	19	8	75	7,5
3	300	9	100	19	9	100	8,5

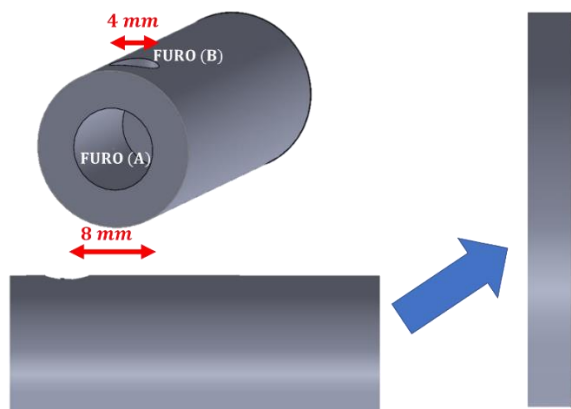
Fonte: (MARIMAX, 2017).

Após a análise, verifica-se que (D mín) representa o diâmetro do eletrodo, onde este varia de acordo com a espessura. Segundo a espessura máxima provisória determinada anteriormente (1 mm) constatou-se que o diâmetro do eletrodo será de 12 mm. A unidade de medida comercial para compra de barras redondas é a polegada, sendo necessário assim realizar uma conversão, o diâmetro em polegadas que mais se aproxima do selecionado é 15/32 in que equivale a 11,906 mm, o que indica que o diâmetro dos eletrodos que serão utilizados na máquina será de 15/32 de polegada.

Necessita-se também determinar o raio de curvatura (R), para uma espessura de 1 mm o raio de curvatura equivale à 75 mm. Aplicando as informações de espessura e formato do

eletrodo em um desenho com o auxílio do Software SOLIDWORKS®, obteve-se um eletrodo conforme o da Figura 20.

Figura 20. Ilustração do formato do eletrodo utilizado.



Fonte: Autoria própria.

Com o intuito de fixar os cabos condutores de energia no eletrodo foram realizados dois furos no mesmo, o furo A para inserir o cabo de energia e o furo B para inserir um parafuso com a finalidade de prender o cabo de energia no eletrodo, evitando assim o mal contato e o possível surgimento de um arco elétrico dentro do eletrodo.

3.2.4 Força dos eletrodos

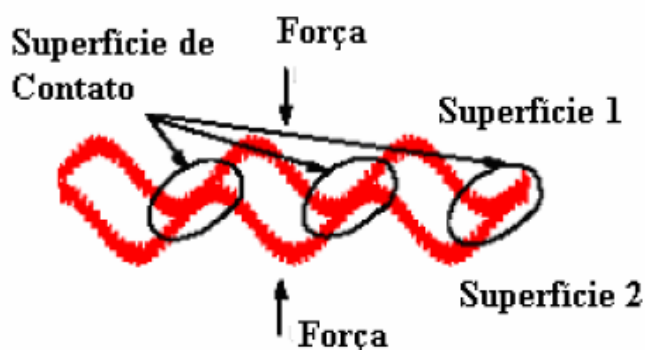
Para Santos (2013), é responsável por unir as peças no momento da soldagem, aplicando pressão antes, durante e depois do processo.

Para a força agir de maneira mais eficiente para o processo de soldagem, esta deve ser aplicada antes do início da passagem de corrente elétrica de forma a manter as peças fixas, evitar movimento relativo entre as peças e segundo Penteado (2011) deve assegurar a mínima existência de espaços entre as peças para evitar a expulsão de metal fundido na região soldada. Durante a passagem da corrente para diminuir a resistência elétrica do conjunto peça-peça e após o encerramento da mesma com o intuito de assegurar que as peças não se soltem enquanto a solda solidifica.

“A força entre os eletrodos assegura o perfeito contato entre as peças (pré-pressão) e evita a formação de trincas devido aos esforços provocados pela contração de solidificação da lentilha de solda durante o resfriamento (pós-pressão).” (WAINER, 1995 apud SANTOS, 2013)

A região de contato peça-peça em escala microscópica é formada por picos e vales de forma irregular que elevam a resistência elétrica do conjunto devido à baixa área de contato entre as mesmas, que de fato é o que vai conduzir a corrente. A aplicação da pré-pressão diminui a resistência desse conjunto devido a força aplicada pelos eletrodos deformar as superfícies das peças de maneira a comprimir umas contra as outras aumentando assim a área de contato (Figura 21), porém essa força não pode ultrapassar certos limites pois caso esta seja muito elevada pode causar deformação indesejada no metal de base e marcas na superfície externa da peça prejudicando o acabamento. (NASCIMENTO, 2008).

Figura 21. Ilustração da superfície de contato no contato peça-peça.



Fonte: (BRANCO, 2004).

A diminuição da resistência acarreta na redução do calor gerado na solda, o que requer correntes de soldagem altas para grandes forças aplicadas. Ocasionalmente assim uma relação direta entre a corrente de soldagem e a força aplicada nos eletrodos.

Machado (1996) apresenta a Tabela 4 na qual relaciona as forças máximas que podem ser aplicadas em eletrodos em função do diâmetro externo e do diâmetro da face, a Figura 22 que correlaciona a força aplicada pelos eletrodos com a espessura da peça e o diâmetro da face do eletrodo para aços com baixo teor de carbono.

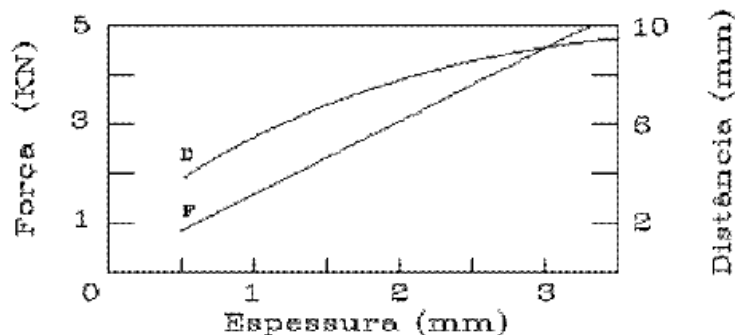
Tabela 4. Força máxima permitida nos eletrodos

Diâmetro externo (mm)	Diâmetro da face (mm)	Força máxima (kN)
12,24	4,83	3,6
15,87	6,35	6,7
19,05	7,11	8,9
22,22	7,87	10,7

Fonte: Autoria própria adaptado de (MACHADO, 1996).

Como o diâmetro do eletrodo utilizado é de 15/32 in que equivale a 11,906 mm a força máxima que o eletrodo deverá suportar é de 3,6 kN.

Figura 22. Inter-relação entre força, diâmetro do eletrodo e espessura da peça.



Fonte: (MACHADO, 1996).

Analisando com base na espessura máxima provisória e no diâmetro da face do eletrodo ambos determinados anteriormente, constatou-se que os eletrodos deverão exercer uma força em torno de 1,6 kN, quando utilizado para soldar peças com baixo teor de carbono.

3.2.5 Refrigeração dos eletrodos

Devido serem os eletrodos que conduziram a corrente elétrica do circuito secundário do transformador até passarem pelas peças a serem soldadas estes sofreram a ação do efeito joule gerando um calor proporcional a corrente elétrica que passa por eles. Como a corrente elétrica em soldagem por resistência é da ordem de kA a quantidade de calor gerada será muito elevada, dependendo de algumas variáveis como espessura da peça a ser soldada, material do eletrodo, corrente de soldagem e tempo pode ou não haver a necessidade de um sistema de refrigeração dos eletrodos.

“Em peças com espessuras igual ou superior que aproximadamente 4 mm, a realização das soldas necessita de grande geração de energia, que ocasionalmente superaquece os eletrodos. Para minimizar esse problema utiliza-se um sistema de resfriamento.” (MACHADO, 1996).

Santos (2013) recomenda que para soldar chapas de aço com espessura de até 3 mm e sem revestimento necessitasse de uma vazão de água de pelo menos 4 l/min para se obter uma ótima refrigeração dos eletrodos. Essa vazão é indicada para máquinas automáticas que trabalham várias horas por dia, portanto realizando várias soldas por minuto, justificando assim a sua necessidade.

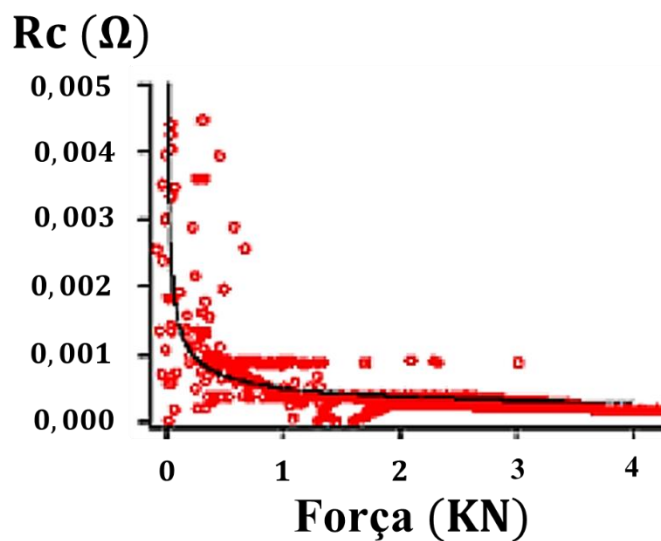
Como essa máquina irá operar em caráter manual e o tempo de seu funcionamento será baixo já que não serão realizadas soldagens contínuas, a máquina em questão não possuirá sistema de resfriamento a água. O sistema de resfriamento dos eletrodos será a ar.

3.2.6 Corrente de soldagem

A corrente elétrica precisa assumir valores da ordem de kA para compensar a baixa resistência elétrica em chapas de aço considerando que a quantidade de calor gerado tem que ser suficiente para ocorrer a fusão do material.

A resistência elétrica apresenta comportamento inversamente proporcional à aplicação da força, conforme apresentado por Branco (2004) pode-se verificar que para forças em torno de 1,6 kN a resistência elétrica no contato peça-peça cai para valores próximos a $0,0007 \Omega$ (Omhs) conforme consulta feita à Figura 23.

Figura 23. Comparação da resistência de contato em função da força aplicada em chapas galvanizadas.



Fonte: Autoria própria adaptado de (BRANCO, 2004).

3.2.6.1 Densidade de corrente

Esta pode ser calculada através da eq.(2). Resolveu-se considerar a situação mais severa considerando que as duas chapas possuem a espessura máxima provisória, portando a espessura da menor chapa será de 1 mm.

$$D_{M\acute{A}X} = 192 + 480 \cdot e^{-1} \quad (4)$$

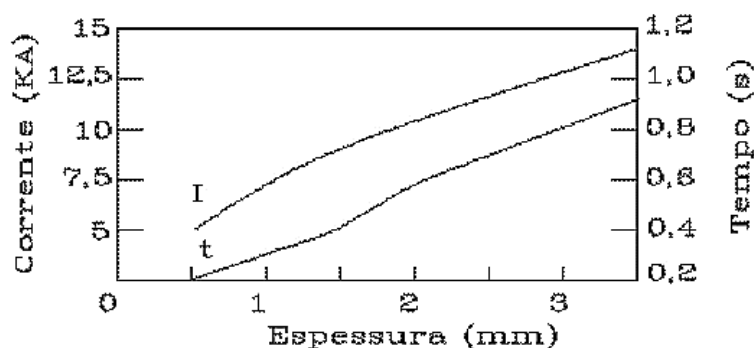
$$D_{M\acute{A}X} = 368,5821 \text{ A/mm}^2 \quad (5)$$

Isso implica que a peça selecionada pode suportar uma densidade de corrente máxima de $231,40 \text{ A/mm}^2$ sem que haja a deformação da mesma.

3.2.7 Tempo de soldagem

Levando em consideração a praticidade e por ser mais usual em sistemas de controle optou-se por realizar a contabilização do tempo em segundos ao invés de ciclos ou pulsos. A Figura 24 apresenta a relação da espessura de chapas de aço carbono com o tempo e a corrente de soldagem.

Figura 24. Relação da espessura com a corrente e tempo de soldagem em chapas de aço carbono.



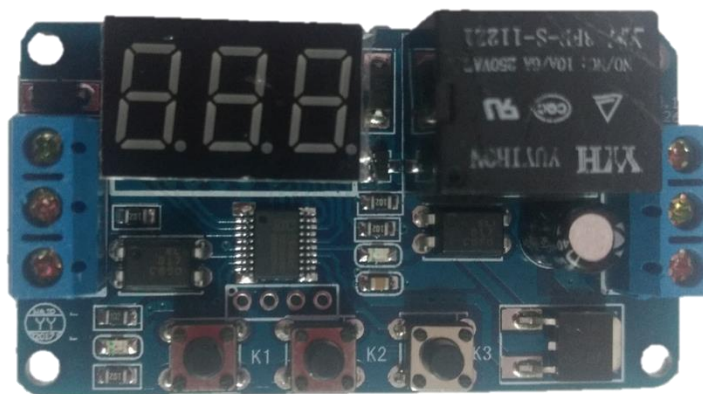
Fonte: (MACHADO, 1996).

Levando em consideração que a espessura máxima provisória é de 1,0 mm, necessita-se de um tempo em torno de 0,3 s. No entanto como o fornecimento de corrente não é o adequado para o processo pode-se demandar tempos superiores aos vistos na Figura 24.

3.2.8 Circuito de controle do tempo de soldagem

Como visto na Figura 24 os tempos de soldagem utilizados no processo são da ordem de décimos de segundos, para realizar o controle desse tempo de maneira precisa resolveu-se utilizar um temporizador ajustável (Figura 25) que trabalha desde milissegundos até minutos.

Figura 25. Temporizador ajustável.



Fonte: Autoria própria.

O temporizador controlará o circuito primário do transformador, pois o circuito secundário só ficará energizado enquanto o circuito primário estiver ligado. Porém a tensão de trabalho do temporizador é de 12 VCC e a tensão de trabalho do primário do transformador é de 127 VCA, necessitando assim de um componente intermediador entre os dois. Em máquinas de soldagem por resistência elétrica que trabalham com Corrente Contínua (CC) esse comando do circuito primário é realizado por “TIRISTORES”, já em máquinas que trabalham com Corrente Alternada (CA) este é realizado por “TRIACS”.

O transformador irá trabalhar com a eletricidade fornecida pela rede utilizando uma tensão de 127 V CA com 60 Hz de frequência, logo o circuito primário do transformador que será utilizado trabalhará com Corrente Alternada (CA) necessitando-se assim de um triac para o controle do mesmo.

O temporizador irá controlar o triac (Figura 26) que por sua vez irá controlar o primário do transformador, ou seja, se o temporizador estiver programado para 0,5 s o primário permanecerá ligado durante esse tempo consequentemente a corrente elétrica percorrerá através dos eletrodos durante esse mesmo tempo.

Figura 26. Triac.



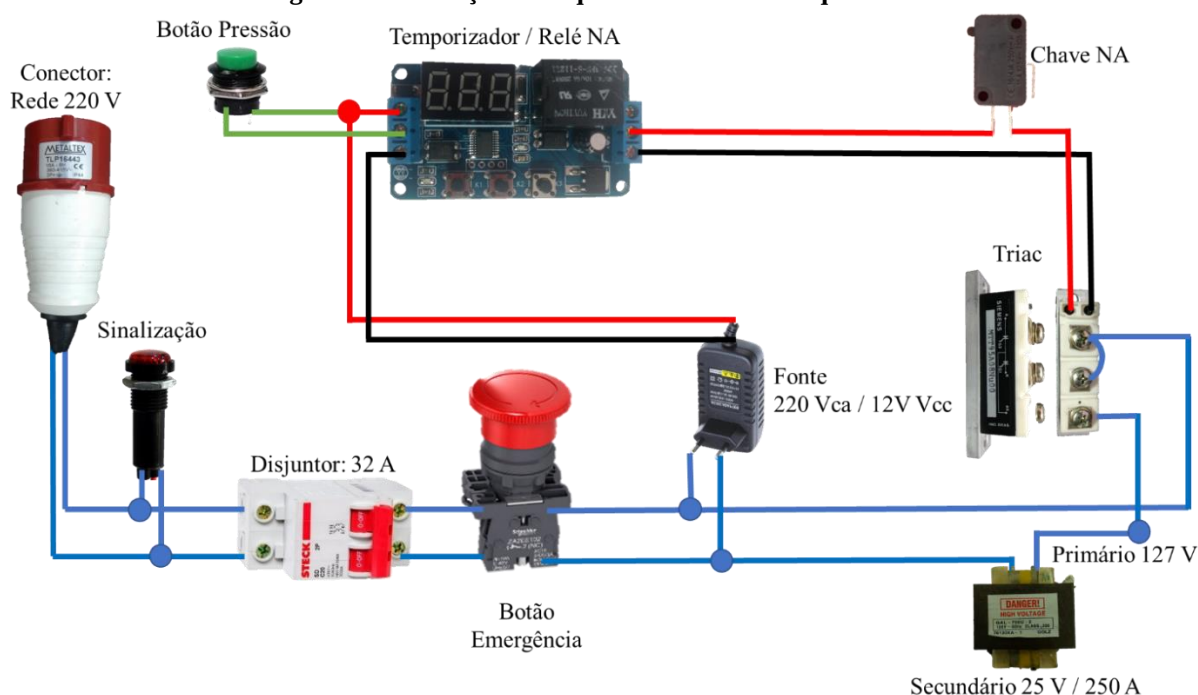
Fonte: Autoria própria.

Para o correto funcionamento do circuito de controle de tempo serão necessários outros componentes:

- Plug p/ tomada inclinada: conectar à máquina à rede de distribuição de energia;
- Lâmpada vermelha: indicar que a máquina está energizada;
- Disjuntor bivolt 32 A: ligar a máquina e fazer o desligamento caso haja sobrecarga de corrente;
- Botão de emergência: desligar a máquina rapidamente em caso de emergência;
- Fonte 12 V CC: alimentação do temporizador;
- PushBotton: fazer o acionamento do temporizador após programação do mesmo;
- Chave fim de curso: permitir o acionamento do triac apenas quando o pedal da máquina estiver pressionado diminuindo assim os riscos de operação como choques e formação de arcos elétricos indesejados.

O esquema elétrico da máquina está ilustrado na Figura 27.

Figura 27. Ilustração do esquema elétrico da máquina.

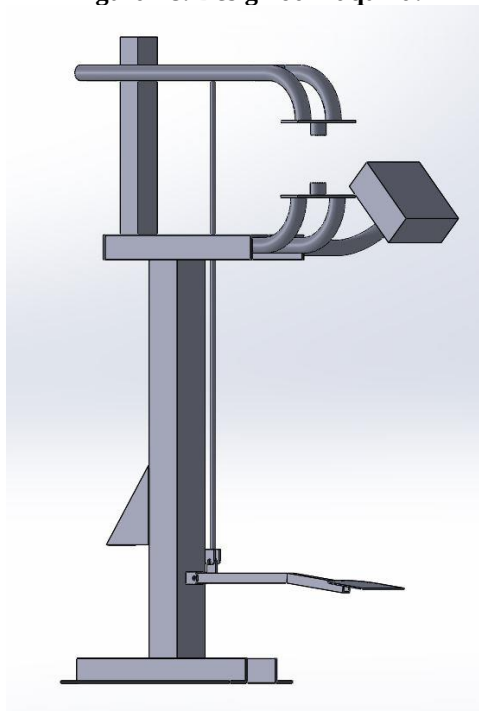


Fonte: Autoria própria.

3.3 CONSTRUÇÃO

A construção da máquina de solda ponto mecânica foi realizada visando realizar soldas em chapas com espessura individual de até 1 mm e idealizada com base nos modelos disponíveis atualmente no mercado, os custos com materiais e construção estão disponíveis no apêndice I e o design da mesma se encontra na Figura 28.

Figura 28. Design da máquina.



Fonte: Autoria própria.

“Para trabalho manual sentado ou que tenha de ser feito em pé, as bancadas, mesas, escrivaninhas e os painéis devem proporcionar ao trabalhador condições de boa postura, visualização e operação e devem atender aos seguintes requisitos mínimos:

- a) ter altura e características da superfície de trabalho compatíveis com o tipo de atividade, com a distância requerida dos olhos ao campo de trabalho e com a altura do assento;
- b) ter área de trabalho de fácil alcance e visualização pelo trabalhador;
- c) ter características dimensionais que possibilitem posicionamento e movimentação adequados dos segmentos corporais.”.

“Para trabalho que necessite também da utilização dos pés, os pedais e demais comandos para acionamento pelos pés devem ter posicionamento e dimensões que possibilitem fácil

alcance, bem como ângulos adequados entre as diversas partes do corpo do trabalhador, em função das características e peculiaridades do trabalho a ser executado.”. (REGULAMENTADORA, 1978).

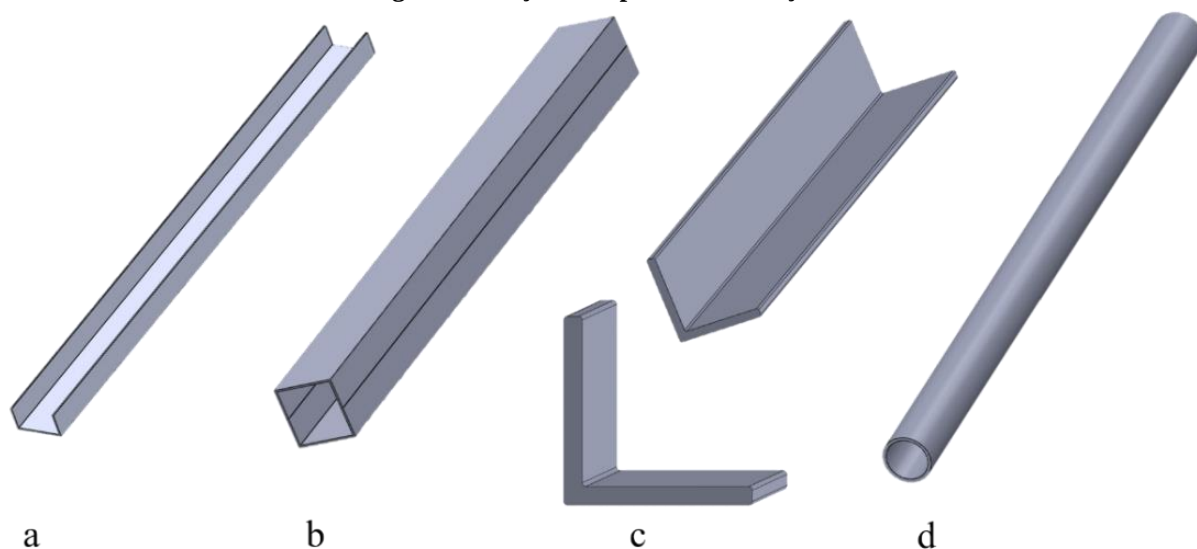
Considerando que o operador realizará as soldas na posição em pé e com a finalidade de que o mesmo trabalhe em condições de conforto e segurança foi levado em conta as considerações da NR 17 que trata de ergonomia no que diz respeito as condições de trabalho e operação.

A posição do sistema de controle da máquina foi situada no lado esquerdo da máquina pois estima-se que apenas 10% da população mundial é canhota (INTERESSANTE, 2018), já a altura do mesmo foi estimada considerando uma posição confortável ao trabalho do operador.

3.3.1 Estrutura

O corpo da mesma foi construído utilizando perfis em “U” (Figura 29-a) soldados de maneira a formarem um perfil “QUADRADO” (Figura 29-b), além desses foram utilizados também cantoneiras e tubos, todos de aço SAE 1020 (Figura 29-c e Figura 29-d). Foram selecionados os perfis mencionados devidos os mesmos estarem disponíveis para uso no Laboratório de Soldagem do Campus Universitário de Tucuruí.

Figura 29. Peças base para a construção.

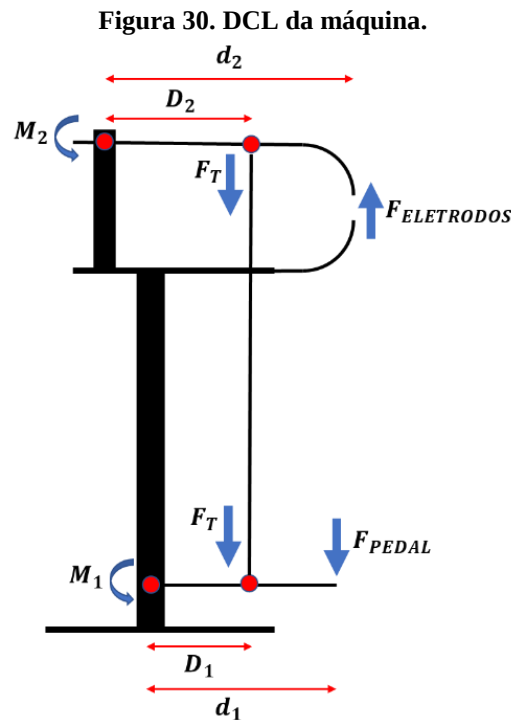


Fonte: Autoria própria.

3.3.2 Cálculo da força a ser exercida no pedal

Levando em consideração que as peças da máquina são rígidas, que os comprimentos das peças são curtos e que a mesma não sofrerá esforços muito elevados, não houve a realização de cálculos estruturais a respeito dos esforços envolvidos no processo, exceto acerca da força envolvida no pedal e nos eletrodos.

Como os eletrodos precisam exercer uma força de 1,6 kN nas peças, sendo este um requisito de projeto necessita-se calcular a força que será exercida no pedal, sendo que esta dependerá das dimensões D_1 , D_2 , d_1 e d_2 . Para isso foi feito um DCL (Diagrama de Corpo Livre) com o intuito de analisar da melhor forma possível as forças e momentos atuantes na estrutura, este está exposto na Figura 30.



Fonte: Autoria própria.

Analisando o DCL podemos chegar as seguintes conclusões acerca dos momentos:

$$M_1 = F_T \cdot D_1 \quad (6)$$

$$M_1 = F_{PEDAL} \cdot d_1 \quad (7)$$

$$M_2 = F_T \cdot D_2 \quad (8)$$

$$M_2 = F_{ELETRODOS} \cdot d_2 \quad (9)$$

A força (F_T) que é transmitida do pedal para a pinça superior não sofre alteração, portanto:

$$F_T = \frac{M_1}{D_1} = \frac{M_2}{D_2} \quad (13)$$

Substituindo as equações 7 e 9 na equação 10, obtém-se que:

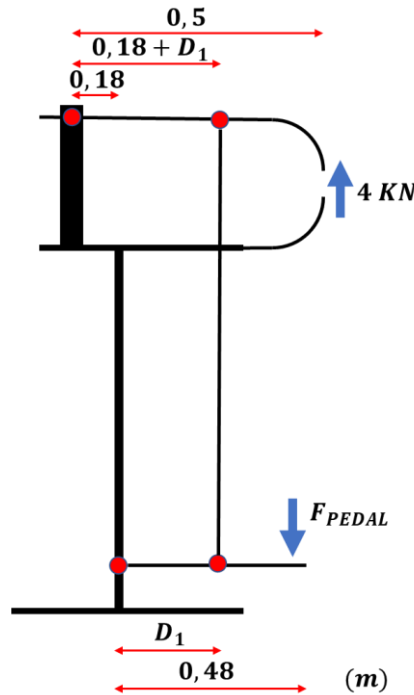
$$\frac{F_{PEDAL} \cdot d_1}{D_1} = \frac{F_{ELETRODOS} \cdot d_2}{D_2} \quad (11)$$

Como a força entre os eletrodos ($F_{ELETRODOS}$) já é conhecida e possui o valor de 1,6 kN deve-se encontrar o valor da força que deverá ser exercida pelo operador no pedal (F_{PEDAL}) afim de chegar ao valor desejado, portanto:

$$F_{PEDAL} = \frac{F_{ELETRODOS} \cdot d_2 \cdot D_1}{d_1 \cdot D_2} \quad (12)$$

Com as medidas d_1 e d_2 e a força $F_{ELETRODOS}$ definidos restam apenas as medidas D_1 e D_2 a serem definidas. A Figura 31 mostra as medidas adotadas, para analisar da melhor forma foi feita a Tabela 5 com o intuito de ajudar na escolha da relação entre as distancias D_1 e D_2 para alcançar a menor força necessária para a obtenção da força desejada entre os eletrodos.

Figura 31. Medidas dos braços de alavanc utilizados.



Fonte: Autoria própria.

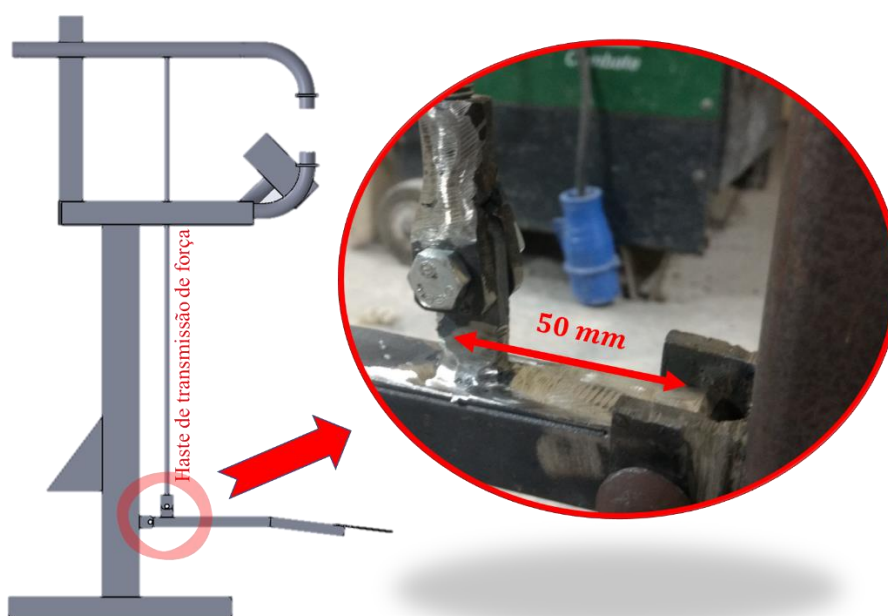
Tabela 5. Força exercida no pedal.

FORÇA NO PEDAL			
D1	D2	F (N)	F (kg)
0,01	0,19	87,71929825	8,941824
0,02	0,2	166,6666667	16,98947
0,03	0,21	238,0952381	24,27067
0,04	0,22	303,030303	30,88994
0,05	0,23	362,3188406	36,93362
0,06	0,24	416,6666667	42,47367
0,07	0,25	466,6666667	47,57051
0,08	0,26	512,8205128	52,27528
0,09	0,27	555,5555556	56,63156
0,1	0,28	595,2380952	60,67667

Fonte: Autoria própria.

A menor força para que se consiga obter os 1,6 kN entre os eletrodos é de aproximadamente 362,3188 N que equivale a 37 kg, esta é possível quando as distancias D_1 e D_2 equivalem a respectivamente 50 mm e 230 mm. Essas foram selecionadas de maneira a não deixar a haste de transmissão de força inclinada e de não restringir o movimento da articulação do pedal e da articulação da haste (Figura 32).

Figura 32. Articulação da haste.



Fonte: Autoria própria.

Após a aplicação da força no pedal a pinça superior desce e faz com que os eletrodos se encontrem e realizem a solda, porem os mesmos ficariam juntos até que alguma força os separasse. Para realizar esse serviço utilizou-se uma mola de maneira que toda vez que força no pedal for cessada a mesma faça com que a pinça superior retorne a sua posição inicial. A mola utilizada pode ser visualizada na Figura 33.

Figura 33. Mola de retorno da pinça superior.



Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Corte das peças

As dimensões da mesma foram idealizadas de acordo com os cálculos realizados, consulta nas normas NR 17 e AWS D8.7-88 além dos materiais disponíveis, objetivando assim uma máquina de baixo custo.

Após separados os materiais estes foram cortados nas dimensões exatas as quais estão disponíveis no apêndice II. Para isso foi empregada uma esmerilhadeira angular de 7 in onde foram utilizados discos de corte e de desbaste para a realização dos cortes nos formatos necessários, retiradas de cantos vivos e preparação da superfície para a pintura. As curvas nos tubos que foram utilizados para a confecção das pinças foram feitas em uma dobradora de tubos manual.

3.3.4 Montagem das peças

Realizado os cortes das peças as mesmas foram unidas utilizando o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido utilizando eletrodos do tipo 6013 (Rutílico) com o auxílio de uma máquina de soldagem eletrônica multiprocessos.

Antes de soldar as peças da base, foi realizado 4 furos, 2 em cada cantoneira, furos estes realizados com uma broca de 10 mm em uma furadeira de bancada com o intuito de fixar a máquina no chão para evitar que a mesma venha tombar para a frente no momento da aplicação da força necessária para a solda.

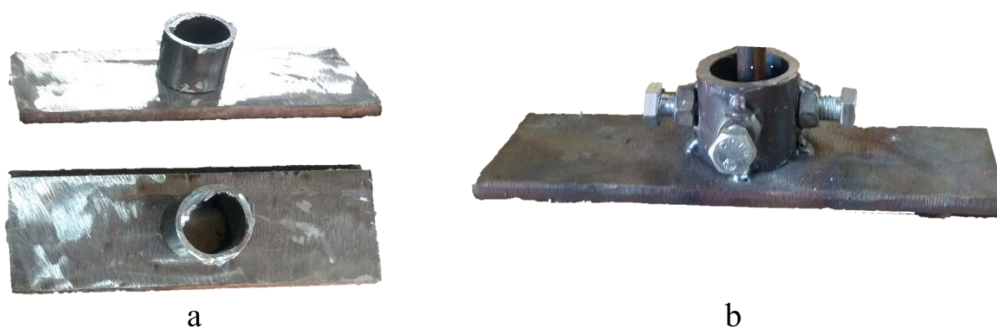
As primeiras peças foram unidas de maneira a formar a base da estrutura (Figura 34), em seguida foi feito uma das peças mais importantes da máquina, o suporte dos eletrodos (Figura 35-a), peça esta a qual os eletrodos serão fixos para o processo de soldagem, a mesma é composta por uma chapa de 5 mm de espessura, um tubo de $1\frac{1}{4}$ " e 4 porcas de $\frac{3}{8}$ ". Antes de soldar o tubo à chapa foi realizado 4 furos no tubo utilizando uma furadeira de bancada e uma broca de 10 mm com o intuito de soldar as porcas nos furos permitindo que parafusos possam passar pelo mesmo assim podendo fixar o eletrodo na peça. Após realizadas as devidas soldas formou-se a peça da Figura 35-b.

Figura 34. Base da estrutura da máquina



Fonte: Autoria própria.

Figura 35. Suporte para os eletrodos



Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi feito a “mesa” com os suportes para as pinças superior e inferior, sistema de controle, fixação dos cabos de energia, pedal, mola e guia da pinça superior (Figura 36). Todas as peças foram montadas com auxílio de um nível visando deixar todas peças niveladas e com os devidos alinhamentos.

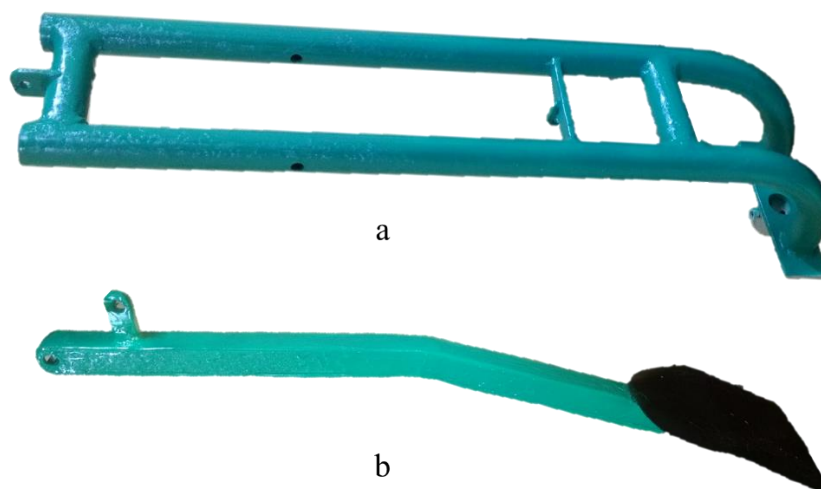
Figura 36. Máquina com suportes



Fonte: Autoria própria.

Após isso foi realizado as soldas na pinça superior incluindo o suporte para o eletrodo superior, engate da mola e fixação da haste de transmissão de força formando a estrutura da Figura 37-a e no pedal (Figura 37-b), peça onde será aplicada a força que será transmitida para a pinça superior.

Figura 37. Pinça superior completa: a. pinça superior; b. pedal.



Fonte: Autoria própria.

Levando em consideração que a máquina trabalhará com altas energias e o risco de choque elétrico para a saúde humana é muito alto foram feitos furos nas pinças superiores e inferiores, suporte do sistema de controle e em locais estratégicos da estrutura com uma serra-copo de 24 mm para a passagem dos cabos energizados para que durante o processo de soldagem ficassem dentro da máquina diminuindo assim consideravelmente os riscos de choques para o operador.

Sendo realizadas todos os devidos processos de soldagem as peças foram desbastadas com disco de Desbaste de 7 in com o intuito de retirar restos de tinta das peças, respingos de soldas e imperfeições das peças, em seguida as mesmas foram lixadas com um disco flap também de 7 in para deixar as superfícies prontas para o processo de pintura.

Foi aplicado na superfície das peças antes da pintura tinta anticorrosiva para evitar futuras oxidações aumentando assim a vida útil da estrutura tendo em mente que a umidade do local de trabalho da máquina é alta. Feito isso as peças foram pintadas (Figura 38) e posteriormente montadas formando a estrutura da máquina na Figura 39.

Figura 38. Processo de pintura das peças.



Fonte: Autoria própria.

Figura 39. Estrutura da máquina completa.



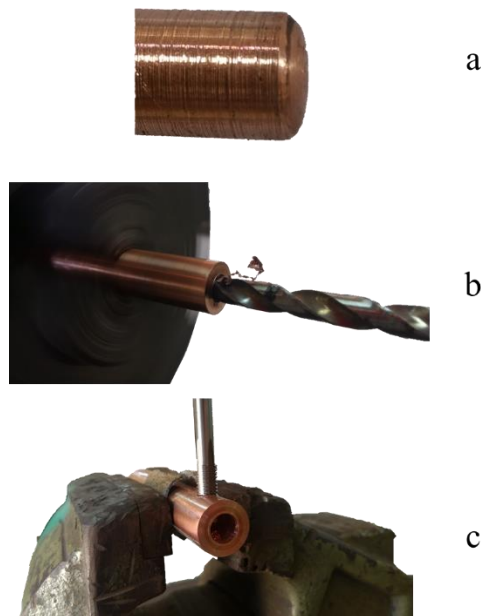
Fonte: Autoria própria.

3.3.5 Eletrodos

Conforme visto na Tabela 3 os eletrodos possuem um diâmetro de 15/32 in que equivale à aproximadamente 11,906 mm e um raio de curvatura de 75 mm, para deixar os eletrodos conforme o formato visto na Figura (20) foi utilizado um torno mecânico.

O primeiro passo foi realizar um faceamento para deixar a superfície plana e posteriormente deixar o mesmo com um raio de 75 mm (Figura 40-a), após isso foi realizado um furo na parte traseira do eletrodo onde entrarão os cabos de transmissão de energia (Figura 40-b), depois com o auxílio da furadeira de bancada foi feito um furo para a passagem do parafuso para prender o cabo no corpo do eletrodo, a rosca do furo foi feita com um macho (Figura 40-c).

Figura 40. Eletrodo usinado: a. eletrodo usinado; b. realização do furo para passagem do cabo; c. Confecção de rosca para parafuso de fixação.



Fonte: Autoria própria.

3.3.6 Ligação elétrica

A parte do sistema do controle que ficará responsável pelo controle de tempo e da energização da máquina foi projetada para que os seus componentes ficassem dentro da estrutura da máquina evitando assim a exposição de fios, para isso foi utilizada uma caixa de passagem com proteção antichama (Figura 41).

Figura 41. Caixa de passagem com proteção antichama.

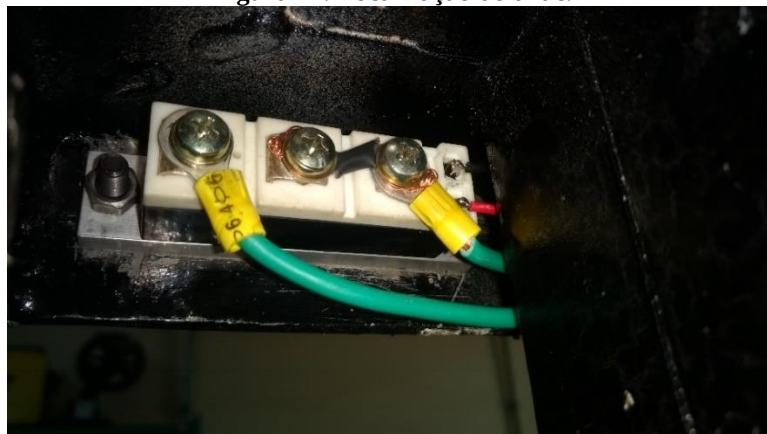


Fonte: Autoria própria.

Os cabos de energia utilizados para levar a corrente elétrica do transformador até os eletrodos localizados nas pinças foram de 35 mm^2 . Foram realizados cortes na tampa da mesma com o intuito de deixar apenas os botões dos componentes eletrônicos para fora, feito isso os componentes foram acoplados na tampa utilizando parafusos e porcas e as próprias fixações de alguns dos componentes.

O triac não pôde ficar dentro da caixa de passagem devido a um possível aquecimento e ao fato de sua parte inferior necessitar ficar ligada à estrutura metálica para dissipação de calor e correntes parasitas geradas no circuito, como mostra a Figura 42 o mesmo foi fixado em uma parte não visível da estrutura próximo a pinça inferior evitando um possível contato do operador.

Figura 42. Localização do triac.



Fonte: Autoria própria.

Após o término da montagem do sistema de controle e dos seus componentes o mesmo foi fixado na máquina juntamente com as etiquetas para identificação dos botões conforme visto na Figura 43.

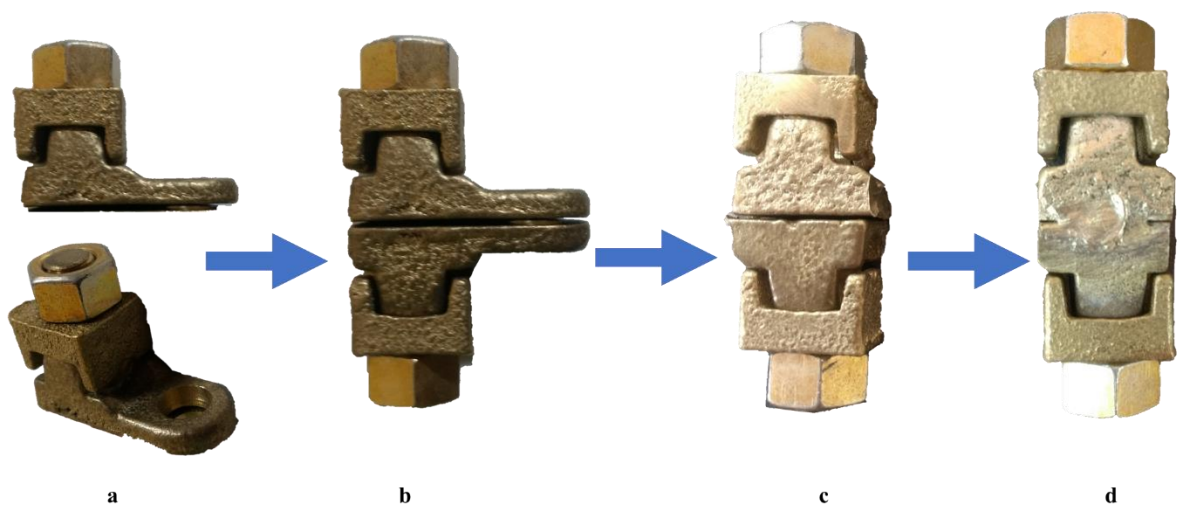
Figura 43. Sistema de controle.



Fonte: Autoria própria.

Considerando uma possível troca do sistema elétrico (Transformador) visando que a máquina poderá trabalhar com potências maiores do que as atuais, foi construído conector para unir os cabos que vem do sistema elétrico com os cabos que vão para as pinças. Este foi construído utilizando terminais de bronze (Figura (44 – a)) unidos de maneira a formar o conector da Figura (44 – b/c), essa união foi realizada utilizando o processo de soldagem TIG (Tungstênio Inerte Gás), após a soldagem o mesmo ficou com a forma da Figura (44 – d).

Figura 44. Conector dos cabos: a. peças separadas; b. peças posicionadas; c. peças cortadas; d. peças soldadas.



Fonte: Autoria própria.

O conector foi fixado à máquina na parte traseira, mais precisamente no suporte dos cabos, visando impedir o contato do conector com a estrutura da máquina podendo levar durante o funcionamento o curto na estrutura da máquina ao invés dos eletrodos, foi construído um suporte para os conectores em acrílico (Figura (45 – a)) com as dimensões 40 x 80 mm e fixo a máquina através de parafusos (Figura (45 – b)).

Figura 45. Suporte dos conectores: a. peças usinadas; b. peças fixadas.



Fonte: Autoria própria.

Ao final de da construção, montagem do sistema de controle e parte elétrica o processo de construção foi dado por completo deixando a máquina pronta para o uso, a mesmo pode ser visualizada na Figura 46.

Figura 46. Máquina completa.

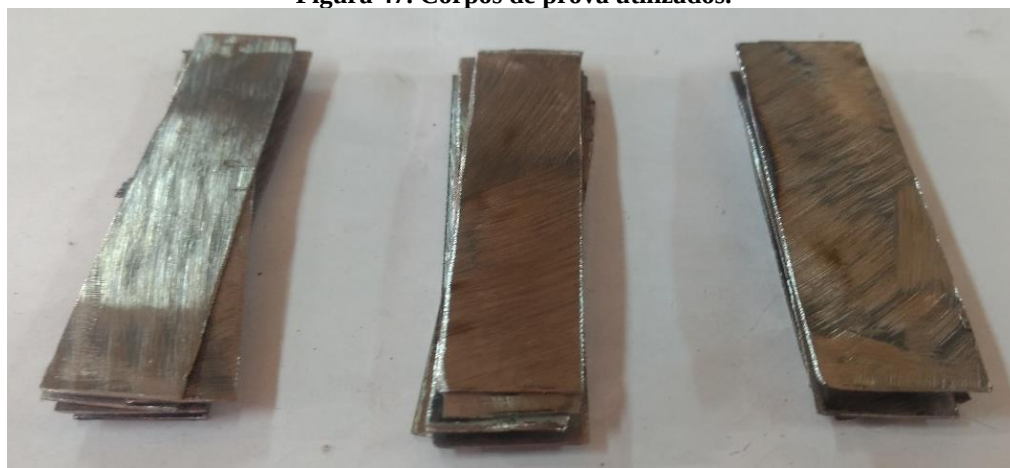


Fonte: Autoria própria.

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização dos testes foi realizado o corte de uma chapa com 0,5 mm de espessura com a finalidade de formar os corpos de prova utilizados no processo. Os mesmos foram lixados para retirar o seu revestimento o qual este um isolante elétrico prejudicaria a soldagem, estes possuem as dimensões 30 x 50 mm e podem ser visualizados na Figura 44.

Figura 47. Corpos de prova utilizados.



Fonte: Autoria própria.

Levando em consideração que a corrente de soldagem que o transformador é capaz de fornecer é 0,9 kA e que conforme visto na Figura 24 para chapas com espessura de 0,5 mm necessita-se de uma corrente em torno de 2 kA e um tempo de 0,3 s optou-se por soldar corpos de prova com um tempo 3 vezes maior para compensar a baixa corrente.

Os mesmos foram soldados de maneira a unir duas das chapas para formar um corpo só. O processo foi realizado seguindo o ciclo de trabalho da Figura 8 e os parâmetros de soldagem da Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros de soldagem.

PARÂMETROS DE SOLDAGEM		
TESTE 1	Corrente (KA)	0,8
	Tempo (s)	0,9
	Força (KN)	1,6
	DIÂMETRO DO ELETRODO (mm)	R=75
TESTE 2	Corrente (KA)	0,8
	Tempo (s)	7
	Força (KN)	1,6
	DIÂMETRO DO ELETRODO (mm)	R=75
TESTE 3	Corrente (KA)	0,8
	Tempo (s)	7
	Força (KN)	1,6
	DIÂMETRO DO ELETRODO (mm)	1,5

Fonte: Autoria própria.

Depois de realizadas as soldas de todos os corpos de prova, os mesmos foram submetidos ao ensaio de arrancamento, cujo procedimento foi explicado no item 2.9.1 do presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As soldas realizadas no teste 1 não se mostraram promissoras por haver fusão incompleta do ponto, identificada após o ensaio de arrancamento, o que levou à realizar o teste 2 com tempos superiores. A Figura 48 mostra os corpos de prova soldados pós ensaio e com tempo de 7 s, sendo este o tempo máximo utilizado visando evitar o superaquecimento do circuito secundário pois o mesmo não foi projetado para esta finalidade.

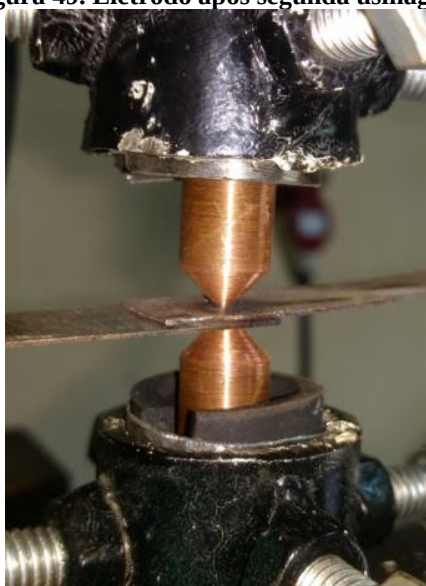
Figura 48. Corpos de prova primeiro teste.



Fonte: Autoria própria.

Após realizadas as soldas com o tempo máximo e mesmo assim o ponto continuar com fusão incompleta optou-se por usinar o eletrodo novamente para diminuir a superfície de contato visando aumentar a densidade de corrente com o intuito de gerar mais calor entre as chapas. O teste 3 foi feito após a usinagem onde os eletrodos ficaram com o diâmetro da ponta de 1,5 mm e formato indicado na Figura 49. Feito esse procedimento foram utilizados 10 corpos de prova com a mesma espessura dos anteriores (0,5 mm).

Figura 49. Eletrodo após segunda usinagem.



Fonte: Autoria própria.

O ensaio de arrancamento foi aplicado de maneira qualitativa, isso se deu ao fato de problemas recorrentes da falta de potência do equipamento que pode ser resolvido utilizando um transformador com maior potência, o que não pode ser feito neste trabalho devido aos custos de bobinamento do transformador. Os corpos de prova pós ensaio de arrancamento (Figura 50) se tornam inutilizados para outras soldas devido ao fato de possuírem um formato distorcido o que ocasionaria mal contato entre as superfícies (contato chapa-chapa) gerando um aumento descontrolado da resistência o que poderia gerar resultados distorcidos.

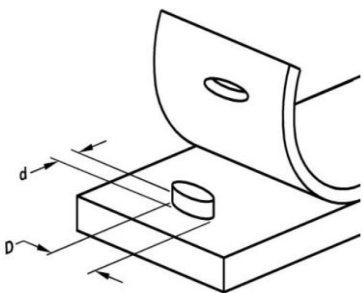
Figura 50. Corpos de prova após ensaio de arrancamento.



Fonte: Autoria própria.

Os resultados do ensaio de arrancamento, que dizem respeito ao diâmetro do ponto de solda são calculados utilizando a equação (3), como foram utilizadas 10 amostras o valor a ser considerado será o obtido a partir da média aritmética do diâmetro das amostras, estes estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7. Diâmetro do ponto de solda pós teste 3.

DIÂMETRO DO PONTO DE SOLDA			
	D (mm)	d (mm)	$(D+2)/2$ (mm)
CORPO DE PROVA 1	2,4	2,1	2,3
CORPO DE PROVA 2	2,5	2,2	2,4
CORPO DE PROVA 3	2,4	2,2	2,3
CORPO DE PROVA 4	2,6	2,4	2,5
CORPO DE PROVA 5	3,0	2,8	2,9
CORPO DE PROVA 6	2,5	2,3	2,4
CORPO DE PROVA 7	2,6	2,4	2,5
CORPO DE PROVA 8	2,7	2,4	2,6
CORPO DE PROVA 9	3,1	2,7	2,9
CORPO DE PROVA 10	2,9	2,6	2,8
MÉDIA	2,54		
DESVIO PADRÃO	0,08		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 1. Diâmetro do ponto de solda pós teste 3.

ESPESSURA DO MATERIAL		DIÂMETRO DA SOLDA	
Polegadas	Milímetros	Polegadas	Milímetros
0.015 - 0.024	0,38 - 0,62	0.12	3,0

Fonte: Autoria própria.

Segundo AWS (1987) chapas com espessura entre 0,38 e 0,62 mm quando soldadas através do processo de soldagem por resistência elétrica mais especificamente solda a ponto por resistência possuem um diâmetro do ponto de 3,0 mm conforme visto no segmento da tabela 1. Como visto na Tabela 7 o diâmetro médio do ponto de solda das amostras de 0,5 mm foi de

2,54 mm o que mostra uma diferença pequena, haja vista que a espessura especificada na norma vai até 0,62 mm. Essa diferença é aceitável levando em consideração os parâmetros utilizados no processo.

Foi realizado um orçamento em uma empresa produtora de máquinas de solda ponto de uma máquina de solda a ponto mecânica com capacidade para soldar chapas de até 2,0 mm e sem sistema de controle eletrônico tiristorizado, ou seja, trabalha com corrente alternada, o valor desta fora custos com frete é de R\$10.500,00.

O custo de produção da máquina de solda ponto deste trabalho foi de aproximadamente R\$ 600,00. Considerando que com o fornecimento atual de corrente a mesma esteja capaz de soldar peças de 0,5 mm a diferença de preços entre os produtos é considerável, evidenciando que a mesma possui um baixo custo de produção.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Com o valor de corrente que o transformador utilizado é capaz de fornecer a máquina é capaz de soldar chapas com espessura individual de 0,5 mm, podendo trabalhar com espessuras superiores caso seja utilizado em transformador com maior potência. O tempo de soldagem pode ser reduzido para valores da ordem de décimos de segundo caso a corrente de soldagem seja em torno de 2 kA, conforme mostrado por Machado (1996).

Os resultados do ensaio de arrancamento obtidos das amostras atendeu o que é indicado pela norma AWS D8.7-88, respeitando as etapas do ciclo de trabalho e os procedimentos experimentais exigidos.

A estrutura e os materiais utilizados na construção resistiram aos esforços de operação exigidos no processo dando confiabilidade aos métodos aplicados para o dimensionamento da estrutura. Com as devidas modificações a mesma poderá operar tanto em caráter didático quanto experimental proporcionando a geração de conhecimento para comunidade científica.

Os sistemas mecânico e de controle projetados para a máquina responsáveis respectivamente pela aplicação de força e controle de tempo atenderam aos requisitos de projeto exigidos. A máquina atendeu ao seu propósito de auxiliar de maneira didática os alunos à assimilarem os conhecimentos práticos da área de soldagem, de maneira a consolidar o conhecimento teórico da sala aula e ficará disponível de maneira funcional no Laboratório de Soldagem da Faculdade de Engenharia Mecânica do CAMTUC à disposição dos professores e alunos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a execução deste trabalho surgiram algumas dúvidas principalmente com o desejo de relacionar alguns fenômenos com os efeitos estudados no mesmo e de contribuir com o conhecimento na área de soldagem por resistência, tendo isso em mente, segue algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Melhorar o sistema elétrico proporcionando um fornecimento de corrente maior utilizando um transformador mais potente e com corrente na ordem 3 kA;
- Avaliar a influência da alteração dos parâmetros corrente e tempo na geometria do ponto de solda;
- Realizar a soldagem em outros materiais como: aços galvanizados e aço inox

REFERÊNCIAS

AURES, J.E.V. **Estudo da formação, geometria e resistência do ponto na soldagem por resistência: uma abordagem estatística**. 2006. 164 f. Dissertação (Mestrado em sistemas mecatrônicos) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília.

AWS (American Welding Society), D8.7-88 **Recommended Practices for Automotive Weld Quality—Resistance Spot Welding**. American Welding Society, Miami, FL, 1987.

BRACARENSE, Alexandre. **Processo de soldagem por resistência**. Belo Horizonte: 2000.

BRANCO, H.L.O. **Avaliação de capas de eletrodos utilizadas na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

INFOSOLDA, O portal brasileiro da soldagem. **Soldagem por resistência - Tipos de soldagem por resistência**. Disponível em: < <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/185-soldagem-por-resistencia-tipos-de-soldagem-por-resistencia.html> >. Acesso em: 14 de fevereiro de 2017.

INTERESSANTE, SUPER. **Por que existem canhotos?**. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/cultura/por-que-existem-canhotos/>> . Acessado em: 05 de janeiro de 2018.

LOUREIRO, C. **Elaboração de um procedimento para qualificação do processo de soldagem por resistência**. 2016. 48 f. Monografia (bacharelado em engenharia de produção) – Faculdade Horizontina, Horizontina.

MACHADO, I. G. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre, 1996. 477p.

MARIMAX, Máquinas de solda por resistência. **Solda por resistência**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABDd4AL/apostila-solda?part=8>. Acessado em 15 de outubro de 2017.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem**. Belo horizonte: 2012. 209p.

MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. Belo horizonte: Editora UFMG, 2009, 363p.

NASCIMENTO, V.C. **Seleção de parâmetros de soldagem a ponto por resistência, baseado na medição da resistência elétrica entre chapas**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em materiais e processos de fabricação) – Faculdade de engenharia mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PENTEADO, K. M. **Otimização da solda de pontos por resistência elétrica na liga de alumínio 5052-H32 através do projeto e análise de experimentos (DOE)**. 2011. 107 f.

Dissertação (Mestrado em engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

REGULAMENTADORA, N. 17. **Ergonomia**. 1978. Ministério do trabalho.

RUIZ, D.C. **Contribuição ao desenvolvimento de processos de montagem e soldagem de carrocerias automotivas**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante em engenharia automotiva) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, W. A. **Estudo da influência dos parâmetros de regulação em soldagem por resistência na indústria automobilística**. 2013. 40 f. Monografia (Especialização em engenharia de soldagem) – Centro universitário do instituto de Mauá, Escola de engenharia Mauá, São Caetano do Sul.

SEGUNDO, A. K. R.; RODRIGUES, C. L. C. **Eletrônica de potência e acionamentos elétricos**. 2015. 130 f. Apostila – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Ouro Preto.

VILMA, V. **Indústria química sem neura**. Disponível em: < <http://valeriavilmaindustria.blogspot.com.br/2011/09/processos-de-soldagem-parte-1.html> >. Acesso em: 14 de fevereiro de 2017.

WAINER, E.; BRANDI, S.D.; MELLO, F.D.H. **Soldagem processos e metalurgia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1992, 506p.

APÊNDICE I

GASTOS COM A CONSTRUÇÃO			
ITEM	VALOR	QUANTIDADE	VALOR TOTAL
DISCO DE CORTE 7x1/16x7/8"	R\$ 3,50	3	R\$ 10,50
DISCO DE DESBASTE 7x1/16x7/8"	R\$ 5,00	2	R\$ 10,00
BARRA REDONDA ROSQUEADA 3/8" X 1300 mm	R\$ 5,50	1	R\$ 5,50
PORCA 3/8"	R\$ 0,20	16	R\$ 3,20
PARAFUSOS 3/8"	R\$ 0,30	16	R\$ 4,80
TEMPORIZADOR AJUSTÁVEL (0-9999 s)	R\$ 81,90	1	R\$ 81,90
PARAFUSO 3/4" x 180 mm	R\$ 2,00	1	R\$ 2,00
BARRA REDONDA DE CuCrZr 200mm x 19,05 mm	R\$ 114,00	1	R\$ 114,00
MÓDULO DE POTÊNCIA TRIAC 190 AMPÉRES	R\$ 122,90	1	R\$ 122,90
SERRA COPO 1"	R\$ 6,95	1	R\$ 6,95
BROCA 9 mm	R\$ 9,00	1	R\$ 9,00
PARAFUSO RP 3/8" COM PORCA	R\$ 1,90	2	R\$ 3,80
CANTONEIRA 7/8" x 1400 mm	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
ZARCÃO BRANCO 900 ml	R\$ 16,00	1	R\$ 16,00
CAIXA DE PASSAGEM 13x15 cm	R\$ 18,10	1	R\$ 18,10
TINTA SPRAY VERDE BRILHANTE	R\$ 13,20	1	R\$ 13,20
TINTA SPRAY PRETO BRILHANTE	R\$ 14,25	1	R\$ 14,25
DISCO FLAP LSK 180	R\$ 7,50	2	R\$ 15,00
LIXA D'ÁGUA P/FERRO 220	R\$ 1,30	1	R\$ 1,30
ARRUELAS 7/16	R\$ 0,15	20	R\$ 3,00
CHAVE MOTOR BIVOLT 20 AMPERES	R\$ 39,00	1	R\$ 39,00
TERMINAL COMP. 70 mm	R\$ 1,90	1	R\$ 1,90
TERMINAL C/PRESSÃO Cu COMP. 50 mm	R\$ 2,20	4	R\$ 8,80
CABO 750 V 35 mm (1,4m)	R\$ 20,63	1	R\$ 20,63
FITA ISOLANTE 18mmx20m	R\$ 3,25	1	R\$ 3,25
CHAVE FIM DE CURSO	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
PARAFUSO 4mm C/PORCA	R\$ 0,25	8	R\$ 2,00
PUSH BOTTON VERDE CIRCULAR	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
CONECTOR DE CABOS	R\$ 3,50	2	R\$ 7,00
TOMADA PAINEL INCLINADA 16 A VERMELHA	R\$ 22,37	1	R\$ 22,37
PLUG / TOMADA INCLINADA 16 A	R\$ 16,00	1	R\$ 16,00
TOTAL	R\$		600,35

APÊNDICE II

