

**UnRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE MÁQUINA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE SOLDAGEM  
GMAW TIPO RADIAL PARA ALOJAMENTOS**

**TIAGO PARREIRA DOS SANTOS  
Orientador: Prof. EDSON ROBERTO DA SILVA**

**RIO VERDE - GOIÁS  
2014**

**UniRV – UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE MÁQUINA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE SOLDAGEM  
GMAW TIPO RADIAL PARA ALOJAMENTOS**

**TIAGO PARREIRA DOS SANTOS**

**Orientador: Prof. EDSON ROBERTO DA SILVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**RIO VERDE - GOIÁS**

**2014**

Santos, Tiago Parreira

Projeto de Máquina para Auxiliar o Processo de soldagem GMAW Tipo Radial para Alojamentos.

/ por Tiago Parreira dos Santos. 2014.

61f.; 29.7cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Rio Verde – GO

“Orientador: Prof. Edson Roberto da Silva”.



**UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**

CRENCIADA PELO DECRETO Nº 5.971 DE 02 DE JULHO DE 2004

Fazenda Fontes do Saber  
Campus Universitário  
Rio Verde - Goiás

Cx. Postal 104 - CEP 75901-970  
CNPJ 01.815.216/0001-78  
I. E. 10.210.819-6 / I.M. 021.407

Fone (64) 3620-2200  
e-mail fesurv@fesurv.br  
www.fesurv.br

**UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO DE MÁQUINA PARA AUXILIAR O PROCESSO DE SOLDAGEM  
GMAW TIPO RADIAL PARA ALOJAMENTO**

**TIAGO PARREIRA DOS SANTOS**

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA na Área de Manutenção e aprovada em sua forma final.

---

**Prof. Dr. Edson Roberto da Silva  
Orientador**

Banca Examinadora:

---

**Prof. Alex Anderson de Oliveira Moura**

---

**Prof. Diogo Batista Fernandes**

---

**Prof. Ms. João Pires de Moraes  
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica**

**RIO VERDE - GOIÁS  
2014**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais que acreditaram em mim, e me incetivaram. Aos meus irmãos que me apoiaram muito em todos os momentos. Todos aqueles que me ajudaram com incentivos.

Ao professor Warley Augusto Pereira e meu orientador Edson Roberto da silva pela competência e dedicação.

## RESUMO

SANTOS.T.P. **Projeto de Máquina para Auxiliar no Processo de Solda GMAW Tipo Radial para Alojamentos.** 2014. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, UNIRV- Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014.<sup>1</sup>

O processo de soldagem GMAW tem se expandido ao longo do tempo, tornando cada vez mais necessário o aperfeiçoamento na sua utilização. A grande demanda se tornou um dos maiores aliados em sua expansão. Novos métodos que agilize sua capacidade de produção vem se tornando um grande desafio para equipes responsáveis por desenvolver máquinas que possa tornar cada vez menores o tempo de execução de soldagem. Neste projeto foi desenvolvida uma máquina que auxilia o processo de soldagem radial GMAW em alojamentos, com objetivo principal, a diminuição de tempo de trabalho e aumento da qualidade de deposição do material. A máquina foi projetada em meio a uma série de etapas sendo elas; usinagem na fabricação de engrenagens, eixos buchas, mancais, tendo também boa parte de soldagem na fabricação da caixa de avanço e caixa de giro, utilizando meios de fabricações comuns tornado o projeto com custo de fabricação mais baixo e viável. A máquina possui uma massa de aproximadamente 21 kg, comandada por um sistema CLP integrado aos motores que são responsáveis pelos movimentos de giro da tocha e avanço da mesma. Por meio de um sistema de automação é possível diminuir em até 3 vezes o tempo do processo de soldagem faz com que esse projeto se torne de extrema importância na prática da soldagem, sendo viável por ter um custo de fabricação considerado baixo em relação ao que esse máquina pode recuperar, peças que pode custar 10 vezes mais o seu valor.

## PALAVRAS-CHAVE

Automação, Soldagem, GMAW

<sup>1</sup> Banca Examinadora: Prof. Edson Roberto da Silva (Orientador); Prof. Diogo Batista Fernandes e Prof. Alex Anderson de Oliveira Moura - UniRV

## **ABSTRACT**

**SANTOS, T.P. Machine Project to Assist the Welding GMAW Process for Radial Type Accommodation.** 2014. 62 f. Moonograph (Graduation in Mechanical Engineering) - Faculty of Mechanical Engineering, UNIRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2014.<sup>2</sup>

The GMAW welding process has been extended at the right time, becoming increasingly necessary improvement in their use. Strong demand has become one of the biggest allies in its expansion, new methods to streamline their production capacity has become a big challenge for teams responsible for developing machines that can become increasingly smaller runtime welding. In this design a machine that aids the process of radial GMAW welding in lodgings, with main objective the reduction of working time and increasing the quality of deposition of the material was developed. The machine was designed amid a series of steps with them; machining in the manufacture of gears, bushings, shafts, bearings, and also much welding in the manufacture of feed box and rotating box using common media fabrications made the project with lower manufacturing cost and feasible. Machine that has a mass of approximately 21 kg, driven by a built engines that are responsible for turning the torch movements and forward the same PLC system. By means of an automation system decreased up to three times the time of the welding process which makes this design becomes extremely important in the practice of welding, and to have a viable manufacturing cost to be low relative to that machine recovering, pieces that can cost 10 times its value.

## **KEYWORDS**

Automation, Welding, GMAW.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Representação esquemática do processo GMAW.....	13
<b>FIGURA 2</b>	Principal Equipamento do Processo de Soldagem GMAW.....	14
<b>FIGURA 3</b>	Relação entre Velocidade do Arame e Corrente de Soldagem .....	15
<b>FIGURA 4</b>	Extensão do Eletrodo .....	16
<b>FIGURA 5</b>	Diagrama Simplificado de um Sistema de Controle.....	20
<b>FIGURA 6</b>	Esquema Básico do CLP.....	23
<b>FIGURA 7</b>	Inicialização e Ciclo de Varredura.....	23
<b>FIGURA 8</b>	Máquina para Auxiliar o Processo de Solda GMAW Tipo Radial para Alojamentos.....	25
<b>FIGURA 9</b>	Tocha de Soldagem GMAW.....	26
<b>FIGURA 10</b>	Motor de Passo.....	27
<b>FIGURA 11</b>	Conjunto de Engrenagens do Cabeçote Móvel.....	28
<b>FIGURA 12</b>	Nomenclatura Básica Engrenagem de dente Reto.....	28
<b>FIGURA 13</b>	Nomenclatura Coroa e Parafuso sem Fim.....	32
<b>FIGURA 14</b>	Parafuso sem Fim.....	33
<b>FIGURA 15</b>	Coroa de Bronze.....	34
<b>FIGURA 16</b>	Fator Geométrico J.....	46

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Principais tipos de eletros no processo de soldagem GMAW.....	18
TABELA 2	Metros por quilo de arame.....	19
TABELA 3	Propriedades mecânica dos aços.....	38
TABELA 4	Fatores de superfície ka para dentes de engrenagens retificados.....	40
TABELA 5	Fator de tamanho.....	42
TABELA 6	Fator de confiabilidade.....	42
TABELA 7	Fator de sobrecarga.....	44
TABELA 8	Fator de distribuição de carga.....	44
TABELA 9	Especificações técnicas do motor de passo.....	48
TABELA 10	Propriedades mecânicas.....	57
TABELA 11	Rendimento aproximado sem fim coroa.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>A</b>	Amperes
<b>B</b>	Largura do denteado
<b>CLP</b>	Comando Logico Programavel
<b>CPU</b>	Unidade Processamento
<b>D</b>	Diâmetro
<b>D<sub>ec</sub></b>	Diâmetro externo da coroa
<b>D<sub>fc</sub></b>	Diâmetro da Raiz da Coroa
<b>D<sub>ksf</sub></b>	Diâmetro externo do sem fim
<b>D<sub>oc</sub></b>	Diâmetro primitivo da Coroa
<b>D<sub>osf</sub></b>	Diâmetro Primitivo sem fim
<b>DP</b>	Diâmetro primitivo engrenagem dente reto
<b>Dr</b>	Diâmetro da Raiz
<b>D<sub>t</sub></b>	Diâmetro Total
<b>GMAW</b>	Gás Metal Arc Welding
<b>H</b>	Horas
<b>HK</b>	Altura da cabeça
<b>I</b>	Relação de Transmissão
<b>J</b>	Fator geometrico
<b>KG</b>	Kilograma
<b>KV</b>	Fator de Velocidade
<b>KW</b>	Kilo Watts
<b>M</b>	Metros
<b>M</b>	Módulo
<b>MAG</b>	Metal Active Gas
<b>M<sub>i</sub></b>	Momento Ideal
<b>MIG</b>	Metal Inert Gas
<b>Min</b>	Minuto
<b>Mn</b>	Módulo Normal

<b>MPA</b>	Mega Pascal
<b>Mr</b>	Momento Fletor
<b>Mt</b>	Torque
<b>N<sub>esf</sub></b>	Número de entradas do sem fim
<b>Nmm</b>	Newton Milimetro
<b>P</b>	Potência
<b>PT</b>	Passo frontal
<b>RPM</b>	Rotações por minutos
<b>V</b>	Velocidade
<b>V</b>	Volts
<b>W</b>	Watts
<b>Wm</b>	Potência do motor
<b>WT</b>	Carga transmitida
<b>Z</b>	Números de dentes
<b><math>\delta_{fadm}</math></b>	Tensão Admissivel
<b><math>\sigma</math></b>	Sigma
<b><math>\delta</math></b>	Delta
<b><math>\pi</math></b>	PI

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo.....	143
<b>2 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW.....</b>	<b>14</b>
2.1 Corrente de soldagem.....	16
2.2 Extensão do eletrodo.....	17
2.3 Tensão de soldagem.....	18
2.4 Arames de solda.....	18
2.5 Taxa de deposição.....	20
<b>3 AUTOMAÇÃO NA SOLDAGEM GMAW.....</b>	<b>21</b>
<b>4 DEFINIÇÃO DOS CLPS.....</b>	<b>23</b>
4.1 Princípio de Funcionamento.....	22
<b>5 COMPONENTES MECÂNICOS E ELETROMECAÂNICOS.....</b>	<b>24</b>
5.1 Motores de Passo.....	25
5.2 Conjunto de Engrenagens do Cabeçote Móvel.....	26
5.3 Eixos e Eixos-Árvores.....	30
5.4 Conjunto de Engrenagens Cabeçote Fixo.....	31
<b>6 DIMENSIONAMENTO DO ENGRENAMENTO DA CAIXA DE GIRO.....</b>	<b>38</b>
6.1 Dimensionamento de Eixos Árvores.....	49
6.1.1 Potência Útil das Árvores.....	49
6.1.2 Diâmetro nas árvores.....	49
<b>7 DIMENSIONAMENTO DO ENGRENAMENTO CAIXA DE AVANÇO ..</b>	<b>51</b>
7.1 Dimensionamento do sem Fim.....	51
7.2 Dimensionamento da Coroa.....	54
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>62</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Na indústria metal-mecânica um dos principais objetivos é a busca da maior produtividade com o menor custo de fabricação. Neste âmbito, na área de soldagem têm sido utilizados vários processos dentre os quais, tem-se destacado o processo GMAW (Gás Metal Arc Welding).

Apesar de sua aparente simplicidade, a soldagem envolve uma gama bastante grande de conhecimento que são implicitamente empregados durante a execução de uma junta soldada. Assim, a Engenharia de Soldagem é, na verdade, um somatório de conhecimento que engloba as áreas das Engenharia Elétrica, Estrutural, Mecânica, Metalúrgica, Química e também física aplicada. O conhecimento de assuntos destas áreas é de fundamental importância para levar a bom termo as tarefas envolvidas no projeto e na execução de uma obra estrutural soldada, como o projeto da estrutura propriamente dito, a seleção dos processos de soldagem, a escolha dos materiais de consumo, o estabelecimento da sequência de soldagem e os procedimentos de inspeção e controle de qualidade (OKUMURA, 1982).

Com base neste tipo de conhecimento foi desenvolvida uma máquina para auxiliar no processo de soldagem radial em alojamentos que necessitam de reparos devido aos seus desgastes, tornando seu reparo mais rápido e com melhor qualidade e rapidez obtido através do sistema de automação, fazendo com que todos seus movimentos sejam efetuados de forma constante e uniforme.

A automação utiliza-se de um programa, que quando ligado a um sistema de movimentação é transmitido as coordenadas de programação. O dispositivo de movimentação do arco pode ser capaz de movimentar-se na direção longitudinal e em rotações nos sentidos horário e anti-horário da tocha de soldagem ao mesmo tempo, de forma sincronizada. O programa é armazenado em um controle numérico computadorizado (CLP), esta é uma automação com flexibilidade, e reduzirá a necessidade de peças para fixação e gabaritos.

A soldagem é realizada por um arco elétrico, estabelecido entre um arame nú, continuamente alimentado e a peça. A proteção do mesmo e da poça de fusão é

realizada por gás que flui pelo bocal, concentricamente com arame. Geralmente os gases utilizados são inertes, como argônio + CO<sub>2</sub>, ou argônio + O<sub>2</sub>, ou combinação desses três gases. A operação é semi-automática ou automática, sendo que podem ser soldadas ligas ferrosas e não ferrosas. O processo é adequado para robotização e automação. No Brasil, continua mais conhecido por MIG ou MAG (“METAL INERT GAS”, ou “METAL ACTIVE GAS”, respectivamente) (MACHADO, 1996).

A estrutura da máquina é composta por um cabeçote fixo um cabeçote móvel e um IHM (Interface Homem Máquina), conjugado ao CLP dito anteriormente. O cabeçote fixo é o responsável pelos movimentos longitudinais nas posições +X e -X, o cabeçote móvel é pelos movimentos no sentido horário e anti-horário da tocha de soldagem.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como principais objetivos:

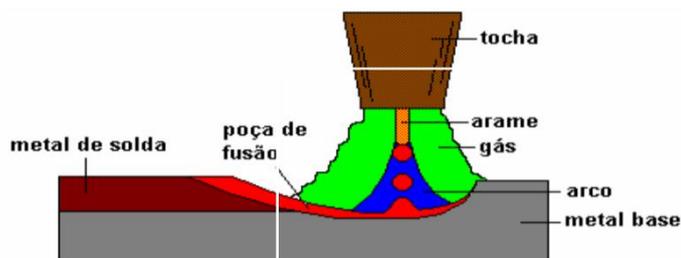
- Apresentar o dimensionamento de engrenagens e eixos para a construção de uma máquina para automação do processo de solda GMAW aplicada na soldagem radial;
- Apresentar um projeto de uma máquina de soldagem radial de modo a melhorar as técnicas de soldagem para o processo GMAW.

## 2 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

Soldagem com arco elétrico com gás de proteção, sigla em inglês GMAW (Gas Metal Arc Welding), mais conhecida MIG/MAG (MIG-Metal Inert Gas e MAG-Metal Active Gas), consiste em um arco elétrico que estabelecido entre a peça e o consumível na forma de um arame que pode ser encontrado em diversas medidas e variadas composições metálicas.

O metal de solda é protegido por um fluxo de gás inerte ou ativo, ou até mesmo os dois simultaneamente fazendo com a atmosfera não entre em contato com o processo, evitando uma contaminação (CATALOGO ESAB, 2005).

A FIGURA 1 representa de forma esquemática o processo de soldagem GMAW.



Fonte: Catálogo ESAB (2005)

FIGURA 1 - Representação esquemática do processo GMAW

A FIGURA 1 mostra claramente o que ocorre durante o processo de soldagem GMAW, o momento em que o arame sai da tocha, que em contato com o metal base gera um arco elétrico (região azul da figura), gerando uma poça de fusão que é protegida por um gás de proteção (região verde da figura), normalmente o tipo de proteção mais utilizado é a mistura Ar + CO<sub>2</sub> com o objetivo de evitar a contaminação da poça de fusão com o ar atmosférico. A contaminação é causada principalmente pelo

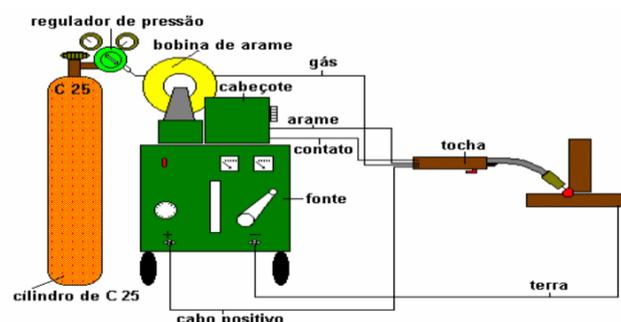
nitrogênio (N<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), e vapor de água (H<sub>2</sub>O) presentes na atmosfera (OKUMURA 1928).

Considerada uma soldagem de fácil manuseio por sua ampla variedade de parâmetros e diversos tipos de transfêrencias metálicas com grande variação de técnicas de soldagem, o eletrodo, que é o próprio arame, pode ser regulado em uma velocidade constante e ajustável, podendo ser soldado com uma corrente que varia de 50 A a 600 A com uma tensão entre 15 v a 50 v, ou seja, podendo ser possível soldar em diversas regulagens diferentes (MACHADO,1996).

A soldagem em si não é a parte mais complexa, quando se trata de qualidade do processo. A parte mais importante é saber em quais condições sera efetuado a solda, se a posição de trabalho está de acordo com os parâmetros da maquina. Pois se estiver em uma superfície plana, horizontal, vertical, ou sobrecabeça serão parâmetros diferentes. Sabendo o tipo de material empregado facilita a escolha do arame que varia em seu diâmetro e composição (CATALOGO ESAB, 2005).

Sabendo de todas essas informações o passo seguinte e a escolha do(s) gas(es) de proteção a serem utilizado(s) de forma que atinja o melhor aproveitamento de todos os parâmetros mencionados anteriormente. Depois de ter escolhido o arame o gas(es) de proteção para a soldagem as condições de operação devem ser escolhidas. Os quatro parâmetro mais importante são: corrente de soldagem, a extensão do eletrodo, tensão de soldagem e a velocidade de soldagem (OKUMURA, 1982).

Como esses fatores podem ser variados em uma faixa bem larga, são considerados ajustes primários em qualquer atividade de soldagem. Seus valores devem ser registrados para qualquer tipo de diferença de solda para permitir reprodutividade. A FIGURA 2 mostra esquematicamente os principais equipamentos utilizados no processo.



FONTE: Catalogo ESAB (2005).

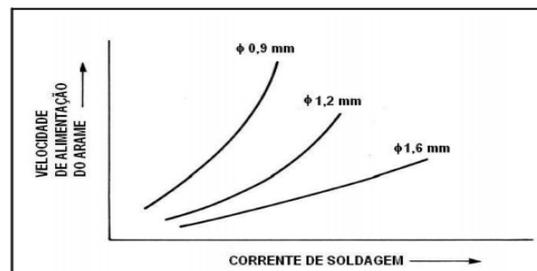
FIGURA 2 - Principais equipamentos do processo de soldagem GMAW

A tocha possui um contato elétrico deslizante (bico de contato), que transmite a corrente elétrica ao arame, orifícios para passagem de gás de proteção, bocal para dirigir o fluxo de gás e interruptor para acionamento do processo. O alimentador de arame é composto basicamente de um motor, sistema de controle da velocidade do motor e rolos para impulsão do arame.

O regulador de pressão se encontra fixado no cilindro destacado de laranja na figura 2, que é responsável por armazenar o gás de proteção. A máquina também dispõe de um cabo negativo que na hora da soldagem é fixado por garras de fixação na peça a ser soldada, cabo positivo onde se encontra a tocha de soldagem, uma fonte na parte interna da máquina, responsável por regular a corrente elétrica, através de uma manivela, que se girada no sentido horário aumenta-a, e se girada no sentido anti-horário a abaixa (CATALOGO ESAB, 2005).

## 2.1 Corrente de Soldagem

Segundo MACHADO (1996), a corrente de saída da fonte, quando a solda está sendo realizada, pode ser visível em um amperímetro disposto no equipamento. No processo GMAW corrente está diretamente relacionada à velocidade de alimentação do arame, quando a corrente é alterada a velocidade do arame segue o mesmo sentido e vice versa. A figura 3 mostra a relação entre a velocidade do arame e a corrente de soldagem.



Fonte: Catálogo ESAB (2005)

FIGURA 3 - Relação entre Velocidade do Arame e Corrente de Soldagem.

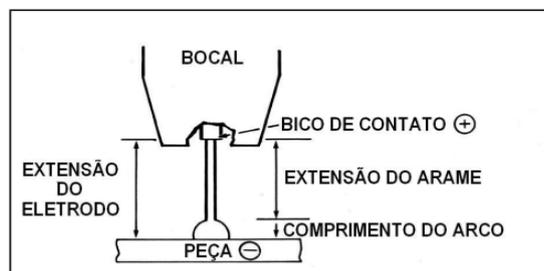
Segundo o CATALOGO Esab (2005), a FIGURA 3 mostra a relação típica entre a velocidade de alimentação do arame e a corrente de soldagem para diversos diâmetros de arame e a corrente de soldagem para diversos tipos de arames ER70S-3.

Essa relação é normalmente denominada característica de queima. O gráfico também mostra que quando o diâmetro do arame aumenta ou diminui respectivamente, a corrente de soldagem aumenta ou diminui. Cada tipo de arame (aço, alumínio, etc.) tem uma característica de queima diferente.

Um fato importante que deve ser observado na figura 3 é a forma de cada curva de queima. Sob correntes mais baixas para qualquer diâmetro de arame a curva é quase linear. Em outras palavras, para cada aumento de corrente de soldagem, ocorre um aumento proporcional (e constante) na queima. No entanto, a maiores correntes de soldagem, particularmente com arames de diâmetros pequenos, a curva de queima torna-se não linear. Nessa região, correntes de soldagem mais altas, causam maiores aumentos na queima. Isso é devido ao aquecimento pela resistência à passagem da corrente elétrica na extensão do eletrodo além do bocal. Esse aquecimento resistivo é conhecido como efeito joule ( $I^2R$ ), e quanto maior a corrente de soldagem, maior o aquecimento resistivo (MACHADO, 1996).

## 2.2 Extensão do Eletrodo

É a distância entre o último ponto de contato elétrico, normalmente a extremidade de contato do bico e a peça de trabalho. É nessa região que acontece o efeito joule, transformando energia elétrica em energia térmica, basicamente quando essa distância é aumentada, o aquecimento devido ao efeito joule aumenta e a corrente de soldagem necessária para fundir o arame é diminuída e vice versa. A FIGURA 4 mostra a extensão do eletrodo.



Fonte: Catálogo ESAB

FIGURA 4 - Extensão do Eletrodo.

### **2.3 Tensão de Soldagem**

Deve ser bem enfatizado que o ajuste da tensão de soldagem controla diretamente o comprimento do arco. Além disso, é necessária certa distancia para manter a estabilidade do arco a qualquer nível de corrente de soldagem.

De acordo com Machado (1996) “como a tensão é proporcional ao comprimento do arco, sendo esse excessivamente longo a atmosfera pode contaminar a poça de fusão”. Nos aços ao carbono e baixas ligas, isso provoca oxidação da poça; formação de nitreto e consequente redução de tenacidade da junta; além de porosidade. Nos aços inoxidáveis, o aumento do nitrogênio (proveniente do ar) pode provocar, redução no conteúdo de ferrita no metal de solda, o que aumenta a sua tendência à trinca de pós soldagem.

De acordo com Machado (1996b, p.178) um aumento de tensão resulta num cordão mais largo. Com a tensão excessivamente alta, pode ocorrer aumento do salpico e cordão irregular. A redução deste parâmetro altera a geometria do cordão, tornando-o convexo. Uma excessiva redução desse parâmetro pode extinguir o arco, ou permitir que o eletrodo “mergulhe” na poça de fusão, tocando o metal base não fundido sob a mesma, com graves consequências sobre as propriedades mecânico/metalúrgicas da junta e geometria do cordão.

### **2.4 Arames de Solda**

A escolha do arame influenciará na qualidade da soldagem, por isso é um dos mais importantes fatores a serem considerados na soldagem GMAW, que em conjunto com gás de proteção determinará as propriedades físicas e mecânicas da solda. Arames de solda estão classificados em: ferrosos e não ferrosos. A TABELA I mostra os principais tipos de eletrodos utilizados na soldagem GMAW.

Tabela 1. Principais Tipos de Eletrodos no Processo de Soldagem GMAW.

Metal Base		Eletrodo	
Tipo	Classificação	Classificação	Norma AWS
alumínio e ligas de alumínio	1100 3003.3004 5052.5454 5083,5086,5456 6061.6063	ER 4043 ER 5356 ER5554,ER5556 ou ER5183 ER5556 ou ER5356 ER4043 ou ER5356	A5.10
magnésio e ligas de magnésio	AZ10A AZ31B,AZ61A, AZ80A ZE10A ZK21A AZ63A,AZ81A,AZ91C AZ92A,AM100A HK31A,HM21A,HM31A LA141A	ERAZ61A,ERAZ92A ERAZ61A,ERAZ92A ERAZ61A,ERAZ92A ERAZ92A EREZ33A EREZ33A EREZ33A EREZ33A	A5.19
cobre e ligas de cobre	cobre latão ligas Cu-Ni manganes bronze alumínio bronze bronze	ERCu ERCuSi-A, ERCuSn-A ERCuNi ERCuAl-A2 ERCuAl-A2 ERCuSn-A	A5.7
níquel e ligas de níquel	níquel ligas Ni-Cu ligas Ni-Cr-Fe	ERNi ERNiCu-7 ERNiCrFe-5	A5.14 / A5.14M
titânio e ligas de titânio	titânio Ti-6 AL-4V Ti-0.15Pd Ti-5Al-2.5Sn Ti-13V-11Cr-3AL	ERTi-1,-2,-3,-4 ERTi-6Al-4V ERTi-0.2Pd ERTi-5Al-2.5Sn ERTi-13V-11Cr-3AL	A5.16
aços inoxidáveis austeníticos	tipo 201 tipos 301,302,304 e 308 tipo 304L tipo 309 tipo 310 tipo 316 tipo 321 tipo 347	ER308 ER308 ER308L ER309 ER310 ER316 ER321 ER347	A5.9
aços carbono	laminados a quente e a frio	ER70S ER70S-2,ER70S-4 ER70S-5C,ER70S-6C ER70S-7 E70C-3X,E70C-6X	A5.18
aços baixa liga LR>70 ksi	temperado e revenido laminação controlada normalizado	ER80S-X ER90S-X ER100S-1 ER100S-2 ER110S-1 ER110S-2	A5.28

Fonte: Catálogo ESAB, 2005.

## 2.5 Taxa de Deposição

Descreve o quanto de metal será depositado numa hora de arco aberto, com o processo GMAW e muito eficiente, pois uma pequena quantidade de metal de solda perdida em forma de respingos. A taxa de deposição para qualquer tipo de arame é obtida pela equação 1 (OKUMURA, 1982).

$$\text{Taxa de deposição} = \frac{\text{vel. de alimentação do arame} \left( \frac{\text{m}}{\text{min}} \right) \times 60 \text{min/h}}{\frac{\text{m}}{\text{kg}} \text{ de arame}} \quad (1)$$

A TABELA 2 informa a quantidade de metros por quilo de arame de diversos tipos e diâmetros de arame.

**Tabela 2.** Metros por Quilo de Arame.

Diâmetro Material	0,76 mm	0,80 mm	0,89 mm	1,00 mm	1,14 mm	1,18 mm	1,20 mm	1,58 mm	2,38 mm
Aço doce	276,9	250,9	203,9	160,4	122,7	-	111,5	64,4	28,8
Aço inoxidável (3XX)	272,2	-	200,5	-	120,7	-	-	63,7	28,2
Alumínio	805,3	-	592,1	-	-	358,1	-	188,4	83,8
Cobre	243,4	-	178,4	-	108,0	-	-	57,0	24,1
Bronze ao silício	256,8	-	188,4	-	114,0	-	-	59,7	26,8

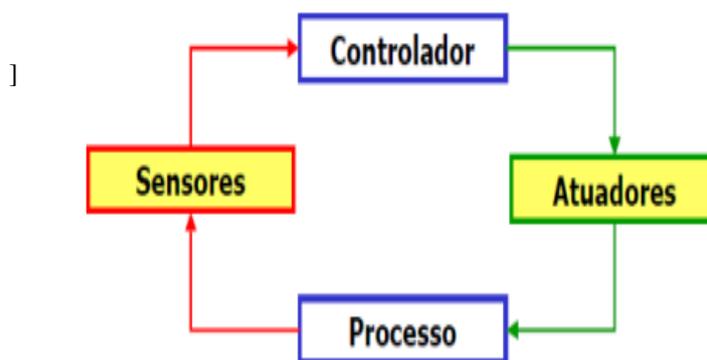
Fonte: catalogo ESAB, 2005.

### 3 AUTOMAÇÃO NA SOLDAGEM GMWA

A palavra automação está diretamente ligada ao controle automático, ou seja, ações que não dependem da intervenção humana (SILVA, 2005).

O conceito filosófico para o surgimento da automação é muito antigo, remontando da época de 3500 e 3200 a.c., com a utilização da roda. O objetivo era sempre o mesmo, o de simplificar o trabalho do homem, de forma a substituir o esforço braçal por outros meios e mecanismos, liberando o tempo disponível para outros afazeres, valorizando o tempo útil para as atividades do intelecto, das artes, lazer ou simplesmente entretenimento (SILVA, 2005).

Entende-se por automação qualquer sistema apoiado em microprocessadores que substitua o trabalho humano. Para começar a entender os conceitos apresentados neste texto é necessário saber como é um controlador lógico programável, o que é um controle, quais são seus elementos básicos e quais são os seus principais tipos. Uma planta para ser controlada deve dispor dos seguintes componentes básicos: processo, sensor, controlador e atuador. Para o entendimento de que é um controle é necessário o conhecimento destes componentes. A figura 5 mostra o diagrama de um sistema de controle (SILVA, 2005).



Fonte: APOSTILA CLP (2005).

**FIGURA 5** - Diagrama Simplificado de um Sistema de Controle.

- Processo: operação que evolui progressivamente e que se constitui por uma série de ações controladas objetivando um resultado particular;
- Sensor: mede o desempenho do sistema de automação ou uma propriedade particular de algum de seus componentes. Exemplos: termômetros e velocímetros;
- Controlador: opera presença de distúrbios e tende a reduzir a diferença entre a saída de um sistema e a entrada de referência;

#### **4 DEFINIÇÃO DOS CLPS**

Os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) podem ser definidos, segundo a norma ABNT, como um equipamento eletrônico-digital compatível com aplicações industriais.

O primeiro CLP, data-se de 1968 na divisão de hidramáticos da General Motors. Surgiu como evolução aos antigos painéis elétricos, cuja lógica fixa tornava impraticável qualquer mudanças extra do processo.

A tecnologia dos CLPs só foi possível com o advento dos chamados Circuitos Integrado e da evolução da lógica digital (SILVA, 2005).

Trouxe consigo as principais vantagens:

- Fácil diagnóstico durante o projeto;
- Economia de espaço devido ao seu tamanho reduzido;
- Não produzem faíscas;
- Podem ser programados sem interromper o processo produtivo;
- Possibilidade de criar um banco de armazenamento de programas;
- Baixo consumo de energia;
- Necessita de uma reduzida equipe de manutenção;
- Tem a flexibilidade para expansão do número de entradas e saídas;
- Capacidade de comunicação com diversos equipamentos, entre outras.

##### **4.1 Princípio de Funcionamento**

Um CLP pode ser representado basicamente por três partes que são: os módulos de entradas, unidade de processamento (CPU) e o módulo de saída a FIGURA 6 mostra esquematicamente as três partes (SILVA, 2005).



Fonte: APOSTILA CLP (2007).

FIGURA 6 - Esquema Básico do CLP.

De acordo com Silva (2005) durante o seu funcionamento o CLP realiza uma sequência de operações denominadas de ciclos de varreduras. Quando o CLP é ligado um programa semelhante a BIOS de um computador faz a verificação geral de vários itens tais como reconhecimentos dos módulos de entradas e saídas ligados ao CLP, estado de memória (verifica se existe um programa de usuário instalado). A este processo é dado o nome de inicialização. Se todo o hardware (parte física do CLP) está em condições e se existe um programa de usuário instalado o programa de inicialização inicia o programa de usuário e a partir daí, começa a realizar um ciclo repetitivo, denominado ciclo de varredura que consiste em verificar o estado das entradas e saídas, armazenar esta leitura na memória (imagem das entradas e saídas), fazer a comparação desta imagem com o programa do usuário e atualizar as saídas caso a imagem esteja diferindo do programa, a figura 7 mostra de maneira esquemática o ciclo de varredura.

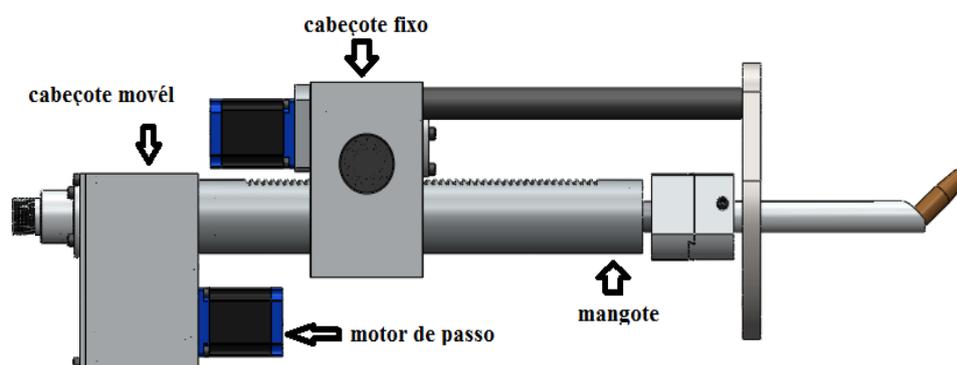


Fonte: APOSTILA CLP (2007).

FIGURA 7 - Inicialização e Ciclo de varredura.

## 5 COMPONENTES MECÂNICOS E ELETROMECCÂNICOS

Para tornar possíveis os movimentos radiais citados anteriormente, e necessário aplicar um serie de conhecimentos na construção da máquina que auxiliará o processo de soldagem GMAW, componentes mecânicos com movimentos auxiliados por automação CLP. Máquina constituída por duas partes sendo uma delas fixa no alojamento a ser recuperado, que transmitirá o movimento longitudinal em X e – X, e a parte móvel realizando movimentos radiais no sentido horário e anti-horário em sincronismo com eixo X, A FIGURA 8 mostra claramente as partes que compõem a máquina.



Fonte: Próprio autor (2014).

FIGURA 8 - Máquina para auxiliar o processo de solda GMAW tipo radial para alojamentos.

Podemos observar acima os principais componentes que constituem o projeto mecânico, onde todos os componentes foram estrategicamente posicionados no intuito de compactar a forma estrutural, de modo a facilitar sua montagem no local de operação.

Passando pelo interior do mangote, o eixo rotativo realiza movimentos no sentido horário e anti-horário, onde sua ponta localizada na parte externa, onde será

instalada uma tocha de soldagem GMAW. A FIGURA 9 mostra os componentes da tocha de soldagem.



Fonte: Apostila ESAB (2005).

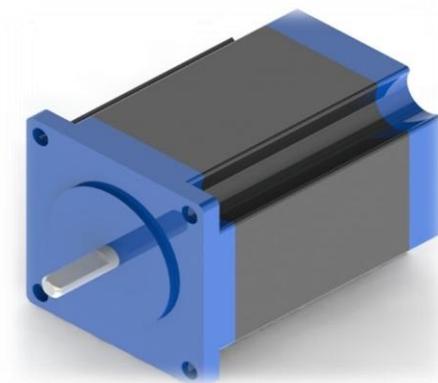
FIGURA 9 - Tocha de Soldagem GMAW.

O bico de contato é fabricado em cobre e é utilizado para conduzir a energia de soldagem até o arame bem como dirigir o arame até a peça, o bocal direciona um fluxo de gás até a região de soldagem.

## 5.1 Motores de Passo

Os motores de passo são dispositivos eletromecânicos que convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos, que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste (BRITES *et al*, 2008).

A rotação de tais motores é diretamente relacionada aos impulsos elétricos que são recebidos, bem como a sequência a qual tais pulsos são aplicados, refletem diretamente na direção a qual o motor gira. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados. A FIGURA 10 mostra o modelo do motor (SANTOS *et al*, 2008).



Fonte: Próprio autor (2014).

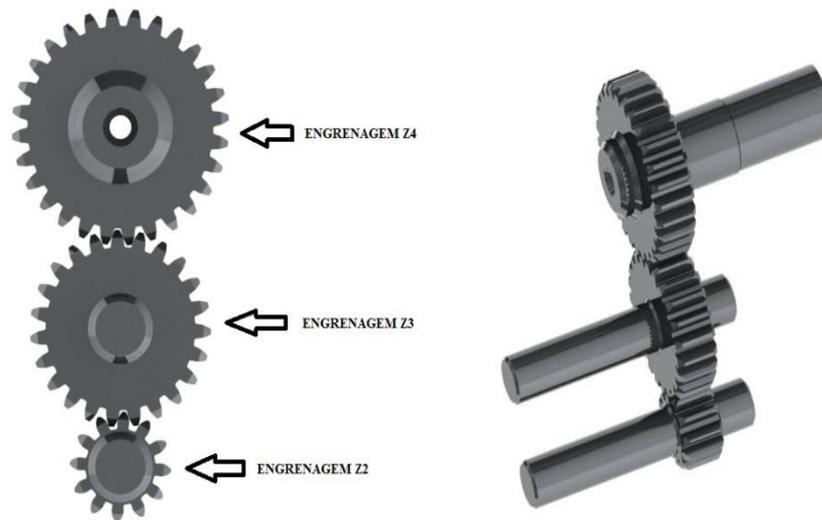
FIGURA 10 - Motor de passo.

Um motor de passo pode ser uma boa escolha sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores, tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. O ponto forte de um motor de passo não é seu torque, tampouco sua capacidade de desenvolver altas velocidades, ao contrário da maioria dos outros motores elétricos; mas sim a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Por conta disso este é amplamente usado em impressoras, scanners, robôs, câmeras de vídeo, brinquedos, automação industrial entre outros dispositivos eletrônicos que requerem precisão (BRITES *et al*; 2008).

A FIGURA 10 mostra o tipo de motor de passo utilizado no projeto. Lembrando que tanto o motor de passo, do cabeçote fixo e cabeçote móvel foram adotada as mesmas especificações de potencia.

## 5.2 Conjunto de Engrenagens do Cabeçote Móvel

Sendo o cabeçote móvel composto por três engrenagens formando um conjunto de engrenamento de redução de velocidade com relação de transmissão 2:1. Cada engrenagem foi projetada em um eixo que será responsável pelo apoio das extremidades alojadas em rolamentos. As engrenagens serão construídas em aço 1045 com dentes retos, sendo a engrenagem Z2 a motora com 12 dentes, a engrenagem Z3 é a intermediária com 23 dentes, e a engrenagem Z4 é a movida com 28 dentes. A FIGURA 11 mostra o conjunto de engrenagens do cabeçote móvel.



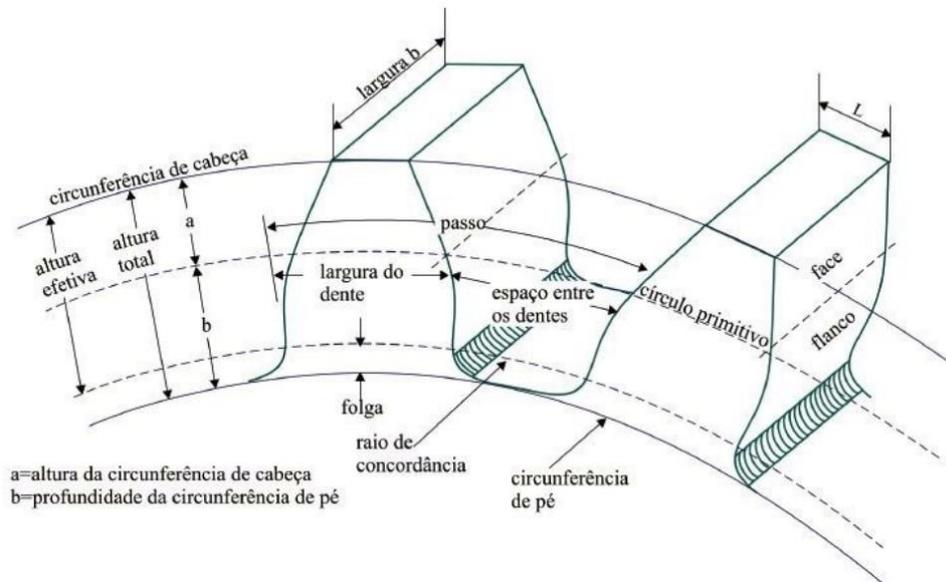
Fonte: Próprio autor (2014).

FIGURA 11 - Conjunto de Engrenagens do Cabeçote Móvel.

Engrenagens são elementos rígidos utilizados na transmissão de movimentos rotativos entre eixos. Consistem basicamente de dois cilindros nos quais são fabricados dentes. A transmissão se dá através do contato entre os dentes. Como são elementos rígidos, a transmissão deve atender a algumas características especiais, sendo que a principal é que não haja qualquer diferença de velocidades entre pontos em contato, quando da transmissão do movimento. Eventuais diferenças fariam com que houvesse perda do contato ou o travamento, quando um dente da engrenagem motora tenta transmitir velocidade além da que outro dente da mesma engrenagem em contato transmite (MELCONIAN, 2005).

A FIGURA 11 mostra o tipo mais comum de engrenagem, chamada de engrenagem cilíndrica de dentes retos, em inglês “*spur gear*”. O termo engrenagem, embora possa ser empregado para designar apenas um dos elementos, normalmente é empregado para designar a transmissão. Uma transmissão por engrenagens é composta de dois elementos ou mais. Quando duas engrenagens estão em contato, chamamos de pinhão a menor delas e de coroa a maior. A denominação não tem relação com o fato de que um elemento é o motor e outro é o movido, mas somente com as dimensões (MELCONIAN, 2005). Com a possibilidade de controlar a velocidade nos motores em geral, a função de redução de velocidades deixou de ser tão importante. Um redutor,

desprezadas as perdas no engrenamento, é capaz de prover um torque tantas vezes maior que o do motor. Motores menores podem ser utilizados, permitindo a partida dos dispositivos mecânicos graças à disponibilidade de torque adicional (ZAMPESE, 1980).



Fonte: MELCONIAN (2005).

FIGURA 12 - Nomenclatura Básica Engrenagem de Dente Reto.

$$DP = M \times Z \quad (2)$$

Onde:

DP= Diâmetro primitivo

M= Módulo

Z= Números de dentes

- Circunferência Primitiva ( $d_p$ ): é uma circunferência teórica sobre a qual se baseiam todos os cálculos. As circunferências primitivas de um par de engrenagens acopladas são tangentes.

- Módulo ( $m$ ): é a razão entre o diâmetro primitivo e o número de dentes ( $z$ ), expresso em mm. O módulo indica o tamanho do dente no Sistema Internacional (SI).

- Passo Frontal (pt): é o comprimento do arco da circunferência primitiva, compreendido entre dois flancos homólogos consecutivos. Assim, o passo frontal é igual à soma da espessura frontal e do vão frontal.

Obtido pela formula:

$$PT = M \times \pi \quad (3)$$

Largura do denteado (b): é a medida de face a face da engrenagem. Deste modo, b obtêm-se pela equação.

$$b = \frac{WT}{\delta \cdot Kv \cdot J \cdot M} \quad (4)$$

Onde:

$WT$  = carga transmitida (N);

$\delta$  = Tensão de fadiga no pé do dente (MPa);

$Kv$  = Fator de velocidade;

$J$  = Fator geométrico.

A carga transmitida e definida pela seguinte equação:

$$WT = \frac{60 \cdot P}{V} \quad (5)$$

Onde:

$P$  = Potência requerida (KW);

$V$  = Velocidade na circunferência primitiva (m/min);

A velocidade na circunferência primitiva é obtida pela equação:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{1000} \quad (6)$$

Onde:

$d$  = Circunferência primitiva;

$N$  = RPM da engrena.

### 5.3 Eixos e Eixos-Árvores

Eixos são elementos de construção mecânica, que se destinam a suportar outros elementos de construção (polias, engrenagens, rolamentos etc.), com a finalidade de transmitir movimentos.

São classificados em dois tipos:

- Eixos (trabalham fixos). Exemplo: o eixo dianteiro de um veículo com tração traseira.
- Eixos-árvores (trabalham em movimento) Exemplo: eixos que compõem a caixa de mudança de um veículo (MELCONIAN, 2005).

Para o dimensionamento dos eixos-árvores foram adotadas as seguintes formulas.

$$D = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{P}{N * \tau}} \quad (7)$$

Onde:

$W_m$  = potência do motor (W);

$N$  = rotação do motor (RPM);

$dr$  = diâmetro da raiz (mm)

É com a equação abaixo e possível obter o momento ideal.

$$M_i = \sqrt[3]{M_{r_{max}}^2 + \left(\frac{a}{2} * Mt\right)^2} \quad (8)$$

Onde:

$M_r$  = momento fletor resultante (Nmm);

$a$  = coeficiente de Bach (adimensional);

$Mt$  = torque na árvore (Nmm).

Sendo o torque na árvore obtido através da equação.

$$Mt = \frac{P_{\acute{u}til} * 30}{N * \pi} \quad (9)$$

Onde:

$P_{\acute{u}til}$  = potência útil (W)

$N$  = rotação na árvore (RPM)

Sabendo que através da equação abaixo se obtém potência útil na árvore.

$$P_{\acute{u}til} = P_{motor} * \eta_{mancais} \quad (10)$$

Onde:

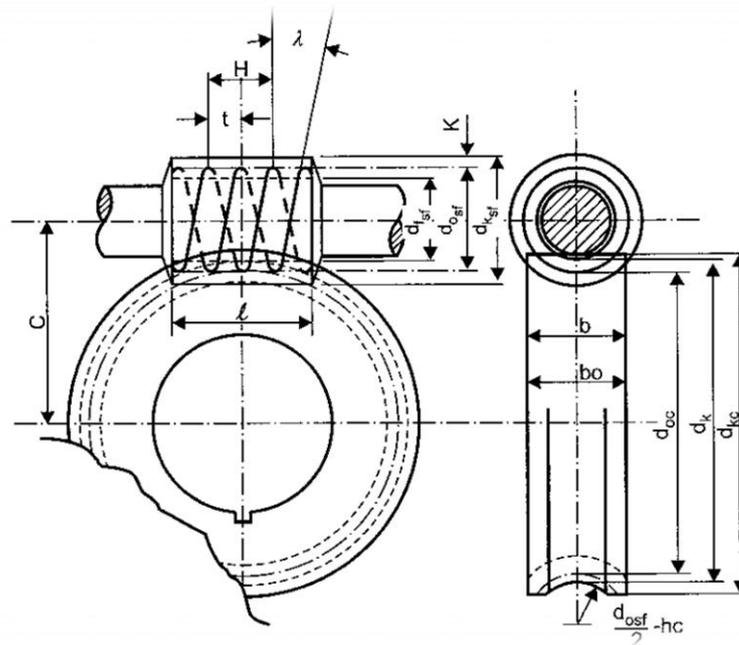
$P_{motor}$  = potência do motor (W);

$\eta_{mancais}$  = rendimento por par de mancais;

#### 5.4 Conjunto de Engrenagens Cabeçote Fixo

Composto por duas engrenagens de maior complexidade foi adotado o sistema sem fim, pela necessidade de se obter um maior torque. Sendo ele o cabeçote fixo responsável por movimentar a maior parte da estrutura, tendo a necessidade de um número maior de relação de transmissão, que no caso é de 15:1. Sendo o sem fim com uma entrada, construído em material aço 1045 e a coroa composta de 15 dentes e construída em bronze fundido em areia SAE-65, dando movimento ao conjunto sem

fim. Foi adotado o motor de passo citado anteriormente. A FIGURA 13 mostra a nomenclatura da coroa e parafuso sem fim.



Fonte: MELCONIAN (2004).

FIGURA 13 - Nomenclatura Coroa e Parafuso sem Fim.

Os redutores de parafuso sem fim são constantemente utilizados em guindastes, furadeiras radiais, pontes rolantes, elevadores etc. Nas altas reduções, a rosca possui um único filete, que torna o mecanismo irreversível, onde a rosca será a motora (MELCONIAN, 2004).



Fonte: Próprio autor (2014).

FIGURA 14 - Parafuso sem Fim.

Nota para dimensionar: o diâmetro externo ( $d_e$ ), deve se levar em consideração o diâmetro primitivo do parafuso ( $d_p$ ), pois este valor depende principalmente da resistência do parafuso sem fim. O diâmetro da raiz ( $d_r$ ) e determinado tendo como parâmetros a potência do motor em (W) e a rotação em (RPM) (SARKIS MELCONIAN, 2004).

Portanto com a equação 7 se obtém ( $d_r$ ).

$$d_r = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{P}{N * \tau}}$$

Onde:

$W_m$  = potência do motor (W);

$N$  = rotação do motor (RPM);

$d_r$  = diâmetro da raiz (mm).

O diâmetro primitivo é calculado logo de início, pois sem ele é praticamente impossível seguir a diante para um dimensionamento de esforços.

E através da equação 11 e encontrado o  $d_{osf}$  (SARKIS MELCONIAN, 2004).

$$d_{osf} = \frac{Mn \cdot N_{esf}}{SE\gamma} \quad (11)$$

Onde:

$D_{osf}$  = diâmetro primitivo do sem fim;

$Mn$  = módulo normal;

$N_{esf}$  = número de entrada do sem fim.

O diâmetro externo ( $d_e$ ), deve se levar em consideração o diâmetro primitivo do, este valor depende principalmente da resistência do parafuso sem fim.

O diâmetro externo é obtido através da equação 12 (SARKIS MELCONIAN, 2004).

$$d_{ksf} = d_{osf} + 2hk \quad (12)$$

Onde:

$d_{ksf}$  = diâmetro externo do sem fim

$d_{osf}$  = diâmetro primitivo

$hk$  = altura da cabeça do dente

Na fabricação das coroas, utiliza-se bronze fundido em areia, em coquilhas e centrifugados. A FIGURA 15 mostra a imagem da coroa de bronze que compõe a caixa de avanço.



Fonte: Próprio Autor (2014).

FIGURA 15 - Coroa de Bronze.

O número de dentes da coroa é determinado pela relação entre o número de entrada do sem fim e a relação de transmissão.

$$Z_c = N_{esf} \cdot i \quad (13)$$

Em que:

$Z_c$  = número de dentes da coroa;

$N_{esf}$  = número de entradas do sem fim;

$i$  = relação de transmissão.

De acordo com Melconian (SD), para calcular o diâmetro primitivo da coroa é obtido através da equação 14.

$$d_{co} = M \cdot Z_c \quad (14)$$

Onde:

$d_{oc}$  = diâmetro primitivo da coroa

$M$  = módulo

$Z_c$  = número de dentes da coroa

O diâmetro da raiz é um dos quatro diâmetro que integram a coroa sendo ele com o mesmo raio do diâmetro do sem fim, pois é necessário a concordância de raio entre eles. O diâmetro da raiz é obtido através da equação 15.

$$d_{fc} = d_{oc} - 2hf \quad (15)$$

Onde:

$d_{fc}$  = diâmetro da raiz ;

$d_{oc}$  = diâmetro primitivo da coroa;

$hf$  = altura do pé do dente.

Na construção dessas engrenagens, as dificuldades residem essencialmente no fato de se conseguir idênticas características geométricas do sem-fim e da ferramenta geradora dos dentes da coroa de bronze. É necessário operações de retificação com rebolos, na maioria dos casos. Este mecanismo é uma variante das engrenagens muito pequeno, com poucos dentes, assim chamado de parafuso sem-fim de uma só entrada. O parafuso sem-fim contém duas, três ou mais entradas (SARKIS MELCONIAN, 2004).

Engrenagem que consiste de quatros diferentes tipos de diâmetros sendo o diâmetro externo obtido pela equação 16.

$$d_{ec} = d_{oc} + (2 \cdot Mn) \quad (16)$$

Onde:

$d_{ec}$  = diâmetro externo da coroa;

$d_{oc}$  = diâmetro primitivo da coroa;

$Mn$  = módulo normal.

E por último, encontra o diâmetro total obtido através da equação 17.

$$d_t = d_{ec} + (1,3 \cdot Mn) \quad (17)$$

Onde:

$d_t$  = diâmetro total da coroa;

$d_{ec}$  = diâmetro externo da coroa;

$Mn$  = módulo normal.

## 6 DIMENSIONAMENTO DO ENGRENAMENTO DA CAIXA DE GIRO

O dimensionamento dos componentes presentes neste projeto tem como objetivo certificar a exatidão e o comportamento de cada peça empregada na máquina, sendo utilizadas fórmulas para definir em suas dimensões. O dimensionamento será iniciado pela caixa responsável pelo movimento circular da tocha de soldagem.

Onde se encontra um jogo de engrenagem dente reto com módulo 2mm, composto por três jogo de engrenagens, sendo elas, Z2 com 12 dentes, Z3 com 23 dentes e Z4 com 28 dentes, construídas em aço carbono 1045, com tensão admissível a torção de 48 MPA.

A norma ABNT diz que a largura da engrenagem deve estar entre 3 a 5 vezes o valor do passo normal, já que está sendo utilizado um modulo 2 mm o passo normal e obtido através da equação 2.

$$P = M * \pi$$

$$P = 2 * \pi$$

$$P = 6,2831 \text{ mm}$$

Onde:

$$L1 = 3 * P \tag{18}$$

$$L1 = 3 * 6,2831$$

$$L1 = 18,8494 \text{ mm}$$

$$L2 = 5 * P$$

$$L2 = 5 * 6,2831$$

$$L2 = 31,4155 \text{ mm}$$

A largura da engrenagem tem estar no intervalo de L1 e L2 (18,8494 - L - 31,4155) foi adotado uma media desses valores que é  $L = 25,4\text{mm}$ .

**Tabela 3.** Propriedades Mecânicas dos Aços.

Número UNS	Estado	Limite de Escoamento $S_e$ (kpsi) <sup>2</sup>	Tensão Máxima de Tração $S_{Tt}$ (kpsi) <sup>2</sup>	Alongamento em 2 pol ou 50,8 mm (%)	Estricção (%)	Dureza Brinell HB
G10100	LQ	26	47	28	50	95
	EF	44	53	20	40	105
G10150	LQ	27	50	28	50	101
	EF	47	56	18	40	111
G10180	LQ	32	58	25	50	116
	EF	54	64	15	40	126
G10350	LQ	39	72	18	40	143
	EF	67	80	12	35	163
	Estirado a 427°C	81	110	18	51	220
	Estirado a 538°C	72	103	23	59	201
	Estirado a 649°C	62	91	27	66	180
G10400	LQ	42	76	18	40	149
	EF	71	85	12	35	170
	Estirado a 538°C	86	113	23	62	235
G10500	LQ	49	90	15	35	179
	EF	84	100	10	30	197
	Estirado a 316°C	180	220	10	30	450
	Estirado a 482°C	130	155	18	55	310
	Estirado a 649°C	80	105	28	65	210
G15216 <sup>3</sup>	LQ <sup>4</sup>	81	100	25	57	192
G41300	LQ <sup>4</sup>	60	90	30	45	183
	EF <sup>4</sup>	87	98	21	52	201
	Estirado a 538°C	133	146	17	60	293
G41400	LQ <sup>4</sup>	63	90	27	58	187
	EF <sup>4</sup>	90	102	18	50	223
	Estirado a 538°C	131	153	16	45	302
G43400	LQ <sup>4</sup>	69	101	21	45	207
	EF <sup>4</sup>	99	111	16	42	223
	Estirado a 316°C	234	260	12	43	498
	Estirado a 538°C	162	182	15	40	363
G46200	Núcleo <sup>5</sup>	89	120	22	55	248
	Estirado a 427°C	94	130	23	66	256
G61500	LQ <sup>4</sup>	58	91	22	53	183
	Estirado a 538°C	132	155	15	44	302
G87400	LQ <sup>4</sup>	64	95	25	55	190
	EF <sup>4</sup>	96	107	17	48	223
	Estirado a 538°C	129	152	15	44	302
G92550	LQ <sup>4</sup>	78	115	22	45	223
	Estirado a 538°C	160	180	15	32	352

Fonte: MELCONIAN (2005).

Usando a TABELA 3 encontra se a resistência à tração  $S_{rt} = 83$  Kpsi, utilizado a constante transformando para Mpa.

$$S_{rt} = 83 * 6,895$$

$$S_{rt} = 572,2850 \text{ Mpa}$$

Tensão máxima de tração.

Com o resultado  $S_{rt}$  é possível obter o  $S'_n$ , que é o limite de resistência à fadiga do corpo de prova do teste de flexão rotativa (Mpa).

$$S'_n = S_{rt} * 0,5 \tag{19}$$

$$S'_n = 572,2850 * 0,5$$

$$S'_n = 286,1425 \text{ Mpa}$$

Dispõe-se de certas simplificações no cálculo dos limites de resistência à fadiga para engrenagens de aço e, assim, usa-se a equação 20.

$$S_n = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_n \tag{20}$$

Onde:  $S_n$  = limite de resistência à fadiga do dente da engrenagem ( Mpa)

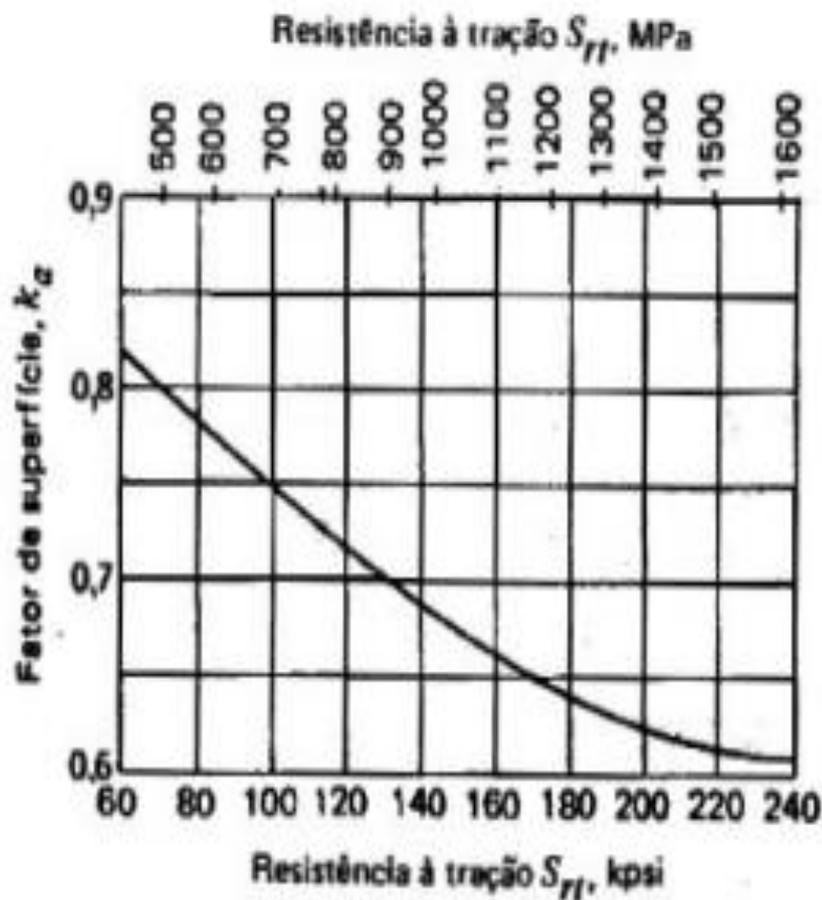
$S'_n$  = limite de resistência à fadiga do corpo de prova do teste de flexão rotativa (MPa).

- $K_a$  = Fator de Superfície
- $K_b$  = Fator de Tamanho
- $K_c$  = Fator de Confiabilidade
- $K_d$  = Fator de Temperatura
- $K_e$  = Fator de Concentração de Tensões
- $K_f$  = Fator de Efeitos diversos
- $K_o$  = Fator de Correção de Sobrecarga
- $K_m$  = Fator de Distribuição de Carga para Engrenagem Cilíndrica Reta.

• Acabamento Superficial: O fator de superfície  $k_a$  deve sempre corresponder a um acabamento usinado mesmo quando o flanco do dente for retificado ou polido. A razão disto é que o fundo do dente usualmente não é retificado, provavelmente devido a

efeitos de enfraquecimento. A tabela 4 mostra os fatores de superf. (MELCONIAN, 2004).

Tabela 4. Fatores de Superfície  $K_a$  para Dentes de Engrenagens Usinados, Polidos e Retificados.



Fonte: SHIGLEY (2004).

$$K_a = 0,77$$

De acordo com Shigley (2004) o fator de tamanho  $K_b$  depende do elemento sob consideração ser maior ou menor que o corpo de prova padrão de teste rotativo. Para dente de engrenagem esta ocorre a um passo diametral de 5 dentes/pol. Portanto usa – se:

**Tabela 5:** Fator de tamanho

$$K_B = \begin{array}{|c|} \hline 1,00 \quad P > 5 \\ \hline 0,85 \quad P \leq 5 \\ \hline \end{array}$$

Fonte: SHIGLEY (2004)

Portanto sendo expresso pela equação 21.

$$P = \frac{25.4}{M} \quad (21)$$

$$P = \frac{25.4}{2}$$

$$P = 6,2832 \text{ mm}$$

$$P > 5$$

Utiliza o  $k_b = 1,00$  da tabela 5

Os fatores de confiabilidade estão dispostos na tabela 6:

Tabela 6. Fatores de Confiabilidade.

Confiabilidade	0,50	0,90	0,99	0,999	$0,999 \times 10^9$	$0,999 \times 10^{99}$
Fator	1,000	0,897	0,814	0,753	0,702	0659

Fonte: SHIGLEY (2004).

$$K_c = 0,814$$

A temperatura do lubrificante ou da engrenagem é frequentemente um fator de projeto de engrenagem, e foi adotada a seguinte expressão (SHIGLEY, 2004).

$K_d = 1,00$  pra  $T \leq 70$  graus celsius

$$k_d = \begin{cases} 1,00 & T \leq 70^\circ C \\ \frac{344}{273 + T} & T > 70^\circ C \end{cases}$$

Tendo conhecimento que a temperatura não atinge uma temperatura superior a 70 graus foi utilizado o valor 1,00. A concentração de é representada pelo  $k_e$ , que tem o valor 1 para engrenagens.

$K_e = 1$

As engrenagens podem trabalhar com efeitos combinados podendo executar movimentos repetidos ou alternados, nesse caso é utilizado o  $k_f$  que é o fator de flexão alternada e repetida. Alternado é quando as engrenagens giram tanto em sentido horário ou anti-horário, ou quando as engrenagens são intermediárias; e repetida quando giram sempre no mesmo sentido, neste caso será utilizado movimentos alternados.

$K_f = 1,00$

Fator de segurança NG para engrenagens expressadas pela equação 22.

$$NG = k_o * k_m * n \tag{22}$$

Nesta fórmula o  $k_o$  é o fator de sobrecarga, os valores recomendados pela AGMA estão na tabela 8. O fator  $k_m$  é um fator de distribuição de carga relativo á possibilidade da força no dente não ser distribuída uniformemente em toda a largura do

denteado, para o km usa-se a tabela 6. O fator n é o fator de segurança usual. A AGMA recomenda o uso de n maior ou igual a 2 para carga de fadiga.

**Tabela 7.** Fator de Sobrecarga.

Fator de Potência	Máquinas Acionadas		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1,00	1,25	1,75
Choque leve	1,25	1,50	2,00
Choque médio	1,50	1,75	2,25

Fonte: SHIGLEY (2004).

**Tabela 8.** Fator de Distribuição de Carga.

Características do apoio	Largura do denteado (mm)			
	0 a 50	51 a 152	153 a 228	229 a 406 em diante
Montagens precisas, pequenas folgas nos mancais, deflexão mínima, engrenagens de precisão	1,3	1,4	1,5	1,8
Montagens menos rígidas, engrenagens menos precisas, contato em toda a largura do denteado	1,6	1,7	1,8	2,2
Montagem e precisão tais que o contato não ocorre em toda a largura do denteado		Maior que 2,2		

Fonte: SHIGLEY (2004).

Utilizando a equação 22 é obtido o fator de segurança NG.

Onde :

$$NG = K_o * K_m * N$$

$$NG = 1 * 1,3 * 2$$

$$NG = 2,8$$

Com a equação 21 expressada da seguinte forma é obtido o limite de resistência a fadiga.

$$S_n = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_n$$

$$S_n = 0,77 * 1 * 0,814 * 1 * 1 * 1,4 * 286,1425$$

$$S_n = 251,1425 \text{ MPA}$$

A tensão de fadiga no pé do dente é expressa pela equação 24.

$$\sigma = \frac{S_n}{NG} \quad (23)$$

$$\sigma = \frac{251,1425}{2,8}$$

$$\sigma = 89,7 \text{ MPA}$$

Para dar continuidade será necessário obter os diâmetros primitivos do engrenamento utilizando a fórmula 2.

Onde:

$$D_{p2} = M * Z_2$$

$$D_{p2} = 2 * 12$$

$$D_{p2} = 24 \text{ mm}$$

$$D_{p3} = M * Z_3$$

$$D_{p3} = 2 * 23$$

$$D_{p3} = 46 \text{ mm}$$

$$D_{p4} = M * Z_4$$

$$D_{p4} = 2 * 28$$

$$D_{p4} = 56 \text{ mm}$$

A velocidade primitiva é obtida através da equação 6, sendo ela em m/min.

$$V = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

$$V = \frac{\pi * 24 * 3,53}{1000}$$

$$V = 0,266 \text{ m/min}$$

Onde:

D = diâmetro primitivo (mm)

N = rotação (rpm)

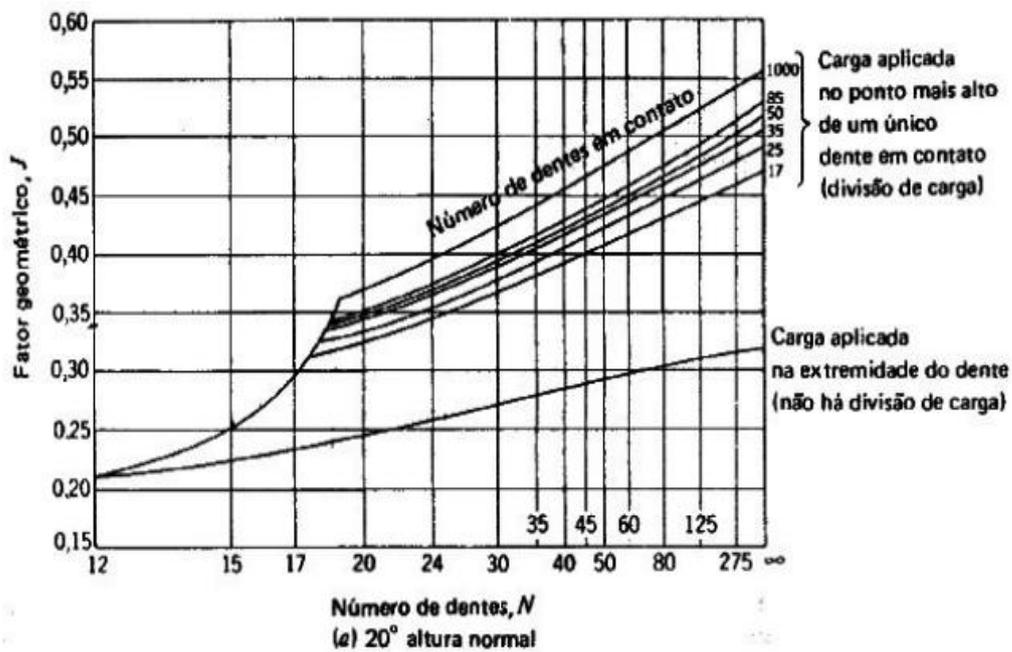
Para engrenagens retas cujos dentes têm acabamento com fresa caracol, ferramenta pinhão ou ferramenta cremalheira, a AGMA recomenda a equação 25.

$$Kv = \frac{27,575}{27,575 + \sqrt{V}} \quad (24)$$

$$Kv = \frac{27,575}{27,575 + \sqrt{0,266}}$$

$$Kv = 0,982$$

Como a concentração de tensão depende da geometria do dente, o fator J é obtido através da figura 16 que é relacionado com a quantidade de dente da engrenagem.



Fonte: SHIGLEY (2004).

**FIGURA 16** – Fator Geométrico J.

Como a engrenagem analisada tem 12 dentes o fator geométrico J é:

$$J = 0,22$$

Com base nas especificações técnicas fornecidas pelo fabricante do motor de passo NEMA 23 foi possível obter a potência de trabalho do motor através da equação 12, a tabela 9 mostra mais detalhes.

**Tabela 9.** Especificações Técnicas do Motor de Passo.

NEMA	Conexão	Holding torque (kgf.cm)	Corrente (A/fase)	Tensão (V/fase)	Resistência ( $\Omega$ /fase)	Indutância (mH/fase)
23	Bipolar - série	15.0	2.1	4.2	2.0	8.0

Fonte: ESAB (2005).

Obtida pela equação 26:

Onde:

$$P = A * V \quad (25)$$

$$P = 2.1 * 4.2$$

$$P = 8.82 \text{ w}$$

Em que:

P = Potência ( watts )

A = Corrente

V = Tensão

Carga tangencial transmitida obtida pela equação 27 expressada da seguinte maneira.

$$wt = \sigma * kv * b * J * M \quad (26)$$

$$wt = 89,67 * 0,982 * 25,4 * 0,22 * 2$$

$$wt = 984,11 \text{ N}$$

## 6.1 Dimensionamento de Eixos Árvores

Eixo árvores, quando giram com o elemento de transmissão.

### 6.1.1 Potência Útil nas Árvores

- Árvore 2

$$P.\acute{u}til\ 2 = P.motor * Ne^2 * Nm^2 \quad (27)$$

$$P.\acute{u}til\ 2 = 8,82 * 0,98^2 * 0,99^2$$

$$P.\acute{u}til\ 2 = 8,30\ w$$

- \u00c1rvore 3

$$P.\acute{u}til\ 3 = 8,30 * 0,98^3 * 0,99^3$$

$$P.\acute{u}til\ 3 = 7,57\ w$$

Onde:

Ne = Rendimento por par de engrenagem – 0,98

Nm = rendimento por par de rolamento – 0,99

### 6.1.2 Diâmetros nas Árvores

$$D2 = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{P}{N*\tau}} \quad (28)$$

$$D2 = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{8,82}{3,53 * 48 * 10^6}}$$

$$D2 = 13,63 \text{ mm}$$

$$D3 = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{8,30}{1,84 * 48 * 10^6}}$$

$$D3 = 16,59 \text{ mm}$$

$$D4 = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{7,57}{1,51 * 48 * 10^6}}$$

$$D4 = 17,18 \text{ mm}$$

Onde:

P = Potência (w)

N = Rotação (rpm)

$\tau$  = tensão admissível á torção

## 7 DIMENSIONAMENTO DO ENGRENAMENTO CAIXA DE AVANÇO

A caixa de avanço é responsável pelo deslocamento longitudinal fazendo com que o cordão de solda se movimente em espiral com passo desejado que no caso é de 5 mm. Lembrando que o movimento em espiral só é possível com a atuação da caixa de giro ambas em sincronia. Composta por um eixo sem fim de 1 entrada construído em aço carbono 1045 com rotação 1,215 rpm e uma coroa construída em bronze SAE 65 com 15 dentes e inclinação de 6 graus na hélice com rotação 0,081 rpm.

### 7.1 Dimensionamento do Sem Fim

Com a equação 29 calculado o diâmetro da raiz do sem fim (drs):

$$drs = 3,65 * \sqrt[3]{\frac{8,82}{1,215 * 48 * 10^6}}$$

$$drs = 19,5 \text{ mm}$$

- Passo frontal do sem fim :

$$Pt = \frac{M}{\cos \beta} \tag{29}$$

$$Pt = \frac{2}{\cos 6}$$

$$Pt = 2,011$$

Onde:

$P_t$  = módulo axial (mm)

$M$  = módulo normal

$\beta$  = inclinação da hélice

Passo Circunferencial ( $P_c$ ) do sem fim:

$$P_c = \frac{M}{\text{sen } \beta} \quad (30)$$

$$P_c = \frac{2}{\text{sen } 6}$$

$$P_c = 19,14 \text{ mm}$$

- Passo norma ( $P_n$ ) do sem fim

$$P = M * \pi$$

$$P = 2 * \pi$$

$$P = 6,283 \text{ mm}$$

Altura da cabeça do dente (a) é igual ao valor do módulo normal:

$$A = M = 2 \text{ mm}$$

- Altura do pé do dente (b) :

$$b = 1,167 * M \quad (31)$$

$$b = 1,167 * 2$$

$$b = 2,334 \text{ mm}$$

- Altura do dente (h):

$$h = a + b \quad (32)$$

$$h = 2 + 2,334$$

$$h = 4,334 \text{ mm}$$

- Folga no pé do dente (C):

$$c = b - a \quad (33)$$

$$c = 2,334 - 2$$

$$c = 0,334 \text{ mm}$$

- Diâmetro primitivo do sem fim (dpsf):

$$dpsf = drsf + ( 2 * b ) \quad (34)$$

$$dpsf = 19,5 + ( 2 * 2,334 )$$

$$dpsf = 24,17 \text{ mm}$$

- Diâmetro externo do sem fim ( desf ):

$$desf = dpsf + ( 2 * h ) \quad (35)$$

$$desf = 24,17 + ( 2 * 2 )$$

$$\text{desf} = 28,17 \text{ mm}$$

- Comprimento da rosca sem fim:

$$b = Pn * \left(4,5 + \frac{zsf}{50}\right) \quad (36)$$

$$b = 6,283 * \left(4,5 + \frac{1}{50}\right)$$

$$b = 28,4 \text{ mm}$$

## 7.2 Dimensionamento da Coroa

- Passo normal (Pn) expressado pela equação 3:

$$P = \pi * M$$

$$P = \pi * 2$$

$$P = 6,2831 \text{ mm}$$

- Passo frontal (Pt) pode-se usar a equação 38:

$$Pt = \frac{Pn}{\cos \beta} \quad (37)$$

$$Pt = \frac{6,2831}{\cos 6}$$

$$Pt = 6,3176 \text{ mm}$$

- Passo axial ( $P_x$ ) pode-se usar a equação 39:

$$P_x = \frac{P_t}{\operatorname{tg} \beta} \quad (38)$$

$$P_t = \frac{6,3176}{\cos 6}$$

$$P_t = 60,11 \text{ mm}$$

- Módulo frontal ( $M_f$ ) expressado pela equação 40:

$$M_f = \frac{M_n}{\cos \beta} \quad (39)$$

$$M_f = \frac{2}{\cos 6}$$

$$M_f = 2,01 \text{ mm}$$

A circunferência primitiva localizada entre o diâmetro externo e o diâmetro interno é de extrema importância que seu resultado seja o mais exato possível, pois é a partir desse resultado que é realizado a maioria dos cálculos de dimensionamento. Portanto pode-se usar a fórmula 41.

$$D_p = Z_p * M_n \quad (40)$$

$$D_p = 15 * 2,01$$

$$D_p = 30,15 \text{ mm}$$

- Diâmetro externo ( $D_e$ ) pode-se usar a equação 42:

$$D_e = D_p + (2 * M) \quad (41)$$

$$De = 30,15 + (2 * 2)$$

$$De = 34,15 \text{ mm}$$

- Diâmetro da raiz ou interno (Dr) pode ser expressa através da fórmula 43:

$$Dr = De - (2 * a + b) \quad (42)$$

$$Dr = De - (2 * 2 + 2,5)$$

$$Dr = 25,15 \text{ mm}$$

Através da tabela 10 pode-se determinar o limite de tensão máxima a torção (Srt) MPA, bronze SAE 65.

Denominação	Liga ASTM/UNS	Formato	Têmpera	Limite de Resistência à Tração (kgf/mm <sup>2</sup> )	Limite de escoamento (kgf/mm <sup>2</sup> )	Alongamento Mínimo "50,80 mm" (%)	Dureza Brinell (HB)
Bronze Fosforoso	C51000	Bobinas, chapas, tiras	Duro	58	53	10	150
			Extra	67	56	6	164
			Duro				
Bronze Fosforoso	C51100	Bobinas, chapas, tiras	Duro	56	52	7	142
			Extra	65	-	4	156
			Duro				
Bronze Fosforoso	C52100	Bobinas, chapas, tiras	Duro	65	51	10	166
			Extra	73	56	4	172
			Duro				
Bronze SAE 65	C90700	Buchas, tarugos barras retangulares	-	25	13	10	95
Bronze Bz 12	C90800	Buchas, tarugos barras retangulares	-	32	17	15	100
Bronze Bz 14	C91000	Buchas, tarugos barras	-	25	17	5	110

**Tabela 10.** Propriedades Mecânicas.

Fonte: CATÁLOGO FAG (1999).

O limite de tensão máxima retirado da tabela é utilizado na equação 19.

$S_{rt} = 25 \text{ kgf/mm}^2$  que passando para MPA fica;

$$S_{rt} = 25 * 9,81$$

$$S_{rt} = 245,1663 \text{ Mpa}$$

Limite de resistência a fadiga do corpo de prova do teste de flexão rotativa (Mpa), pode-se usar a equação 19.

$$S'_n = 245,1663 * 0,5$$

$$S'_n = 122,5832 \text{ Mpa}$$

$$K_a = 0,83$$

$$K_b = 1$$

$$K_c = 0,814$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1$$

$$K_f = 1$$

$$K_o = 1$$

$$K_m = 0,84$$

O rendimento aproximado do sem fim demonstrado na tabela 11:

**Tabela 11.** Rendimento Aproximado.

Número de Entradas do Sem Fim	Rendimento Aproximado
1	0,7 – 0,75
2	0,75 – 0,82
3 a 4	0,82 – 0,92

Fonte: SHIGLEY (2004).

O número de entrada do sem fim é 1, portanto foi adotado o valor 0,75, usa-se a equação 44 para adquirir a potência útil.

$$P_{\text{útil}} = P_{\text{motor}} * 0,75 \quad (43)$$

$$P_{\text{útil}} = 8,82 * 0,75$$

$$P_{\text{útil}} = 6,615 \text{ w}$$

Velocidade linear do sem na superfície primitiva da coroa ( $V_s$ ) expressada pela fórmula 45.

$$V_s = \frac{\pi * d * n}{1000} \quad (44)$$

$$V_s = \frac{\pi * 30,15 * 0,081}{1000}$$

$$V_s = 0,00767 \text{ m/min}$$

Fator de velocidade ( $k_v$ ), para dentes polidos ou retificados, de alta precisão e sujeito a cargas dinâmicas, o fator dinâmico da AGMA será expressada pela fórmula 46:

$$K_v = \sqrt{\frac{42}{42 + \sqrt{V}}} \quad (45)$$

$$K_v = \sqrt{\frac{42}{42 + \sqrt{0,00767}}}$$

$$Kv = 0,999$$

$$J = 0,23$$

Torque no sem fim expressado pela fórmula 47, sendo:

$$Mtsf = \frac{30}{\pi} * \frac{P}{n} \quad (46)$$

$$Mtsf = \frac{30}{\pi} * \frac{8,82}{1,215}$$

$$Mtsf = 69,32 \text{ Nm}$$

Torque na coroa expressado pela equação 48, usa-se:

$$Mtc = Mtsf * i * 0,75 \quad (47)$$

$$Mtc = 69,32 * 15 * 0,75$$

$$Mtc = 779,85 \text{ Nm}$$

Largura da coroa (bc) expressada pela equação 49, usa-se:

$$bc = \frac{Mtc}{\sigma * kv * J * M} \quad (48)$$

$$bc = \frac{779,85}{76,25 * 0,999 * 0,23 * 2}$$

$$bc = 22,26 \text{ mm}$$

## 8 CONCLUSÃO

Ao decorrer dos anos o foco maior das indústrias de segmento metal / mecânica é a produtividade em proporções adequadas para atender o mercado exigente. Neste âmbito, na área de soldagem têm sido utilizados vários processos dentre os quais, tem-se destacado o processo GMAW (Gás Metal Arc Welding). Para se obter uma análise mais precisa, este trabalho monográfico investigou os processos GMAW verificando a suas propriedades metalúrgicas e soldabilidade, além de verificar a eficiência da automação de um processo de soldagem, que se realizado de forma manual tem um tempo elevado, melhorar as técnicas de soldagem radial para o processo de solda GMAW, a redução de custo com menor tempo de soldagem e conseqüentemente aumentar a qualidade e lucros.

Este método de solda é bastante versátil, o que o torna muito vantajoso durante diversos processos produtivos, pois é de fácil uso, propicia ótimos níveis de produtividade. A soldagem pode ser realizada em várias posições, possibilita grande taxa de deposição do metal de solda. O tempo total de execução de soldas é menor em comparação a outros processos, além de diversos listados no decorrer do trabalho.

Deste modo, foi desenvolvida uma máquina para contribuir no processo de soldagem radial em alojamentos, que precisam de reparos por consequência de seus desgastes. E com apoio da automação tornar este processo de reparo mais eficaz e ágil, além de boa qualidade.

Diante deste cenário, este é um processo interessante há ser explorado, pois é possível constatar que este é um método bastante utilizado devido ao alto rendimento em relação a outros processos convencionais.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- CAMPOS, G. O. N. **Engrenagens**. São Paulo: Editora da USP, 1975.
- CUNHA, L B. **Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas**. Porto Alegre: 1996.
- MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: 6ª Edição, 2005.
- MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: 3ª Edição, 2009.
- NIEMANN, G.E. **Elementos de Máquinas**. São Paulo, 1971.
- OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações** . Rio de Janeiro: LTC Editora, 1982.
- ROLAMENTOS FAG. **Catálogo FAG WL 41 520/3 PB**, Schweinfurt, 1999.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. **Mechanical Engineering Design**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- SCHWEDERSKY, M.B. **Estudo da Eficiência e Produtividade dos Principais Processos de Soldagem a Arco**. Florianópolis, 2011.
- VILLARES. **Aços para Construção Mecânica**. São Paulo, 2001.
- ZAMPESE, B. **Manual de Elementos de Construção de Máquinas**. São Paulo: Escola Politécnica, USP, 1980.
- \_\_\_\_\_, Apostila ESAB, 2005.
- \_\_\_\_\_, Apostila Controladores Programáveis, 2007.
- \_\_\_\_\_, Apostila Automação Industrial, 2005.
- \_\_\_\_\_, Catálogo ESAB. **Soldagem MIG/MAG**. 2005, 135 p.