

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
*Campus* DIVINÓPOLIS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Luana Ribeiro Gondim

PROJETO DE AFIADOR DE ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO  
AUTOMATIZADO PARA SOLDAGEM TIG.



Divinópolis  
2018

Luana Ribeiro Gondim

PROJETO DE AFIADOR DE ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO  
AUTOMATIZADO PARA SOLDAGEM TIG.

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheira Mecatrônica.

Eixo de Formação: Mecânica e Eletrônica.

Orientador: Wagner Custódio de Oliveira

Co-orientador: Cláudio Henrique Gomes dos Santos



Divinópolis  
2018

Luana Ribeiro Gondim  
Candidata a Engenheira Mecatrônica

CEFET/MG *Campus* Divinópolis

PROJETO DE AFIADOR DE ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO  
AUTOMATIZADO PARA SOLDAGEM TIG.

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Colegiado de Graduação em Enge-  
nharia Mecatrônica como parte dos requisitos exi-  
gidos para a obtenção do título de Engenheira Me-  
catrônica.

Eixo de Formação: Mecânica e Eletrônica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Carlos Oliveira  
CEFET/MG *Campus V*

Prof. Me. Juliano de Barros Veloso e Lima

Divinópolis  
2018

DEDICO ESTRE TRABALHO A MI-  
NHA ALMA GÊMEA, MINHA MÃE.  
OBRIGADA POR SER MINHA PAZ,  
MEU PORTO SEGURO E ME GUIAR  
PARA O CAMINHO DA LUZ.

# Agradecimentos

Agradeço,

- primeiramente ao Espírito Santo, pela graça recebida, na qual finalmente pude encontrar o meu verdadeiro caminho.
- a minha mãe, Eliana, pelo amor e carinho, pelo exemplo de garra, fazendo-se sempre presente sendo meu suporte nos momentos mais difíceis.
- a minha irmã, Camila, por ser a luz da minha vida, dando-me razão para seguir em frente.
- ao meu pai, Adriano, por todo amor dedicado a mim.
- ao Jovino, por acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava. Pelo carinho, incentivo e correção textual.
- ao Prof. Mestre Juliano de Barros Veloso e Lima, pela disponibilidade em ajudar, pelas sugestões e orientações.
- ao Prof. Doutor Wagner Custódio de Oliveira, pela orientação.
- ao Prof. Doutor Cláudio Santos pelo suporte no decorrer do trabalho.
- ao Prof. Doutor Rodrigo Alves pela revisão ortográfica e gramatical do texto.
- ao Prof. Doutor Luís Felipe pela revisão de adequação do trabalho para com as normas acadêmicas.
- aos meus grandes amigos, pelo apoio durante essa árdua caminhada, proporcionando forças e ânimo para seguir em frente.
- aos colegas de graduação, pelo suporte e pelos ótimos momentos em conjunto.
- e todos que, de alguma forma, contribuíram com o meu progresso como aluna e como ser.

Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.

Nikola Tesla

# Resumo

A indústria, hoje em dia, procura por processos de qualidade, bom rendimento e baixo custo. Em virtude disso, o mercado metalúrgico está cada vez mais exigente na tentativa de atingir essas metas. Nesse contexto, no processo de soldagem GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), ou simplesmente TIG (*Tungsten Inert Gas*) como é mais conhecido no Brasil, a afiação do eletrodo de tungstênio é tão importante na qualidade final da solda quanto a escolha do tipo de eletrodo a ser utilizado. Isso porque o ângulo de afiação do eletrodo influencia diretamente nos resultados como, por exemplo, no formato do arco elétrico, na geometria do cordão de solda, na profundidade de penetração e na vida do eletrodo. Assim, o presente trabalho tem como objetivo a realização de um projeto de afiador elétrico de eletrodos automatizado. Para isso, a metodologia consistirá na elaboração de um projeto, no qual será necessário o dimensionamento mecânico e elétrico, bem como definir os parâmetros, medidas e materiais que serão utilizados. Através da automatização do protótipo, será possível definir ângulos de ponta para o eletrodo na soldagem TIG mais precisos, que serão inseridos pelo usuário, diferentes dos que estão disponíveis no mercado, que já possuem ângulos pré-definidos. A realização deste projeto envolverá as áreas de mecânica e eletrônica. O projeto do dispositivo poderá ser utilizado para a construção de um protótipo, no qual poderá ser utilizado em aulas e em trabalhos futuros no laboratório de soldagem. Uma vez que, nas aulas práticas do Curso de Engenharia Mecatrônica do CEFET-MG Divinópolis, os eletrodos são afiados manualmente em um esmeril, o que não garante boa precisão na afiação, e a medição do ângulo é aferida com um o uso de um goniômetro.

**Palavras-chave:** soldagem TIG, afiador de eletrodos, aços-carbono.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Definição do problema . . . . .	1
1.2 Motivação . . . . .	2
1.3 Objetivos . . . . .	2
1.3.1 Objetivo Geral . . . . .	2
1.3.2 Objetivos Específicos . . . . .	2
1.3.3 Organização do trabalho . . . . .	2
<b>2 Revisão Bibliográfica</b>	<b>3</b>
2.1 Estado da Arte . . . . .	3
2.2 Revisão de Literatura . . . . .	5
2.3 Fundamentação Teórica . . . . .	6
2.3.1 Soldagem . . . . .	6
2.3.2 Classificação dos aços . . . . .	17
2.3.3 Motores elétricos . . . . .	18
2.3.4 Reguladores de tensão . . . . .	21
2.3.5 Engrenagens . . . . .	22
<b>3 Metodologia</b>	<b>28</b>
<b>4 Desenvolvimento</b>	<b>30</b>
4.1 <i>Softwares</i> . . . . .	30
4.2 Materiais . . . . .	30
4.2.1 Projeto Mecânico . . . . .	30
4.2.2 Projeto Eletrônico . . . . .	33
4.2.3 L298n . . . . .	33
4.3 Métodos . . . . .	36
4.3.1 Projeto Conceitual - Esboço do Projeto . . . . .	36

4.3.2	Desenvolvimento do projeto . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Comentários Finais e Trabalhos Futuros</b>	<b>48</b>
6.1	Trabalhos Futuros . . . . .	48
<b>A</b>	<b>Códigos</b>	<b>1</b>
<b>B</b>	<b>Desenhos técnicos do projeto</b>	<b>1</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>6</b>

# Lista de Figuras

2.1	Fatores que influenciam o formato da poça de fusão sob um arco de tungstênio com proteção gasosa (Paris [1986]) . . . . .	3
2.2	Afiador Carbografite . . . . .	4
2.3	Afiador Neutrix . . . . .	4
2.4	Afiador Soldas Brasil . . . . .	5
2.5	Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão, de acordo com a patente de Bernardos (Modenesi 2005) . . . . .	5
2.6	Soldagem por pressão (Modenesi e Marques, 2000) . . . . .	7
2.7	Soldagem por fusão (Modenesi e Marques, 2000) . . . . .	7
2.8	Representação esquemática do processo TIG (Modenesi e Marques, 2000) . . . .	9
2.9	Representação básica de equipamentos para soldagem TIG (Modenesi e Marques, 2005) . . . . .	10
2.10	Tocha para soldagem TIG (DBC-Oxigenio [2014]) . . . . .	11
2.11	Gerador de alta frequência para ignição do arco (DBC-Oxigenio [2014]) . . . . .	11
2.12	Fonte eletrônica de uso industrial(DBC-Oxigenio [2014]) . . . . .	12
2.13	Importância de uma correta preparação da ponta do eletrodo (Peixoto [2016]) .	16
2.14	Parâmetros para afiação do eletrodo (Key [1980]) . . . . .	17
2.15	Comparação entre a afiação de eletrodos (Key [1980]) . . . . .	17
2.16	Diagrama simplificado de uma máquina CC (Chapman, 2013) . . . . .	19
2.17	Campo magnético de uma máquina CC (Chapman, 2013) . . . . .	19
2.18	Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação com tensão de saída reguladaWendling 2009 . . . . .	21
2.19	Tensão reguladorWendling 2009 . . . . .	21
2.20	CI reguladores de tensãoWendling 2009 . . . . .	22
2.21	Engrenagem cilíndrica de dentes retos, Shigley [2011] . . . . .	23
2.22	Nomenclatura para dentes de engrenagens cilíndricas de dentes retos, Shigley [2011]	23
2.23	Antunes, 2003 . . . . .	25
2.24	Shigley [2011] . . . . .	25
2.25	Shigley [2011] . . . . .	26
2.26	Antunes, 2003 . . . . .	26
2.27	Antunes, 2003 . . . . .	27

3.1	Ilustração do Modelo X para desenvolvimento de sistemas mecatrônicos (Pereira [2016]) . . . . .	28
4.1	Motor CA (Nascimento [2011]) . . . . .	31
4.2	Motor PM55-048 (fil) . . . . .	31
4.3	Motor CC (fil) . . . . .	32
4.4	Rolamento . . . . .	32
4.5	Disco diamantado 4,5"x2mm (Rev) . . . . .	33
4.6	Arduíno Micro (ard) . . . . .	34
4.7	Módulo de ponte H dupla l298n (fil) . . . . .	34
4.8	Chave de fim de curso (Nascimento [2011]) . . . . .	34
4.9	Display LCD fil . . . . .	35
4.10	Placa de fenolite (usi) . . . . .	35
4.11	CI 7805 Wendling, 2009 . . . . .	36
4.12	Conectores para ligações eletrônicas . . . . .	36
4.13	Esboço do pinhão e cremalheira . . . . .	38
4.14	Cremalheira pela vista superior . . . . .	40
4.15	Desenho técnico do motor de passo . . . . .	41
4.16	Desenho técnico do motor CC . . . . .	42
4.17	Desenho técnico do motor CA . . . . .	42
4.18	Projeto afiador realizado SolidWORKS . . . . .	43
4.19	Esquema de funcionamento do afiador . . . . .	43
4.20	Comparativos entre 78XX e 79XX, Wendling 2009 . . . . .	45
4.21	Circuito de regulador de tensão . . . . .	45
5.1	Projeto de afiador de eletrodos . . . . .	47
B.1	Desenho técnico do projeto de afiador de eletrodo . . . . .	1
B.2	Desenho técnico da barra roscada . . . . .	2
B.3	Desenho técnico da cremalheira . . . . .	3
B.4	Desenho técnico da haste para suporte do eletrodo . . . . .	4
B.5	Desenho técnico da cremalheira cortada . . . . .	5

# Lista de Tabelas

2.1	Resumo da história da soldagem (Marques [2010]) . . . . .	6
2.2	Processos de soldagem por fusão (Modenesi, 2005) . . . . .	8
2.3	Vantagens, limitações e aplicações principais do processo GTAW (Modenesi e Marques, 2012) . . . . .	10
2.4	Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem de diferentes ligas (Weman [2012]) . . . . .	13
2.5	Comparativo entre eletrodos de tungstênio (DBC-Oxigenio [2014]) . . . . .	15
2.6	Relação do tipo de eletrodo com o material a ser soldado (DBC-Oxigenio [2014])	15
2.7	Relação do diâmetro do eletrodo com a corrente (DBC-Oxigenio [2014]) . . . . .	16

# Introdução

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente. Este método de união, considerado em conjunto com a brasagem, tem importante aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de navios e outras estruturas com centenas ou milhares de toneladas de peso. [MODENESI e MARQUES, 2005].

A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (*Gas Tungsten Arc Welding* - GTAW) é um processo no qual a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento e fusão destas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, não consumível, e as peças a unir, a saber, Kou [2003])

Os fatores que determinam o processo de formação da poça fundida em soldagem por fusão são muito numerosos, tais como as características do metal base (parâmetros geométricos, condutividade térmica, composição química, etc.) e parâmetros de soldagem (comprimento de arco, corrente, etc.). Entretanto, muitas vezes, não se consideram fatores que têm uma influência significativa sobre o processo de soldagem e sobre a penetração da solda, como, por exemplo, o ângulo de afiação do eletrodo e sua variação durante o processo de soldagem. Como é sabido, Paris, 1986, a mudança do ângulo de afiação do eletrodo altera as características do arco, a distribuição da energia e pressão do arco. Por sua vez, estas características do arco influenciam na geometria, na penetração e na largura do cordão.

## 1.1 Definição do problema

Cada vez mais, o mercado metalúrgico busca por processos mais práticos, com bom rendimento e eficientes. Nesse contexto, o processo de soldagem TIG, para Modenesi e Marques, 2000, é o mais indicado para ligas de aços, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas devido à sua versatilidade e soldas de boa qualidade. Além disso, a afiação do eletrodo de tungstênio é tão importante na qualidade final da solda quanto na escolha do tipo de eletrodo a ser utilizado. A afiação com ponta fina proporciona uma facilidade na abertura do arco, porém possui instabilidade no arco, baixa penetração e menor vida útil do eletrodo. Já a afiação com ponta grossa, proporciona um arco estável e com maior penetração, além de maior vida útil do eletrodo, porém apresenta dificuldade na abertura do arco. Sendo assim, é possível perceber como o ângulo de afiação do eletrodo influencia diretamente nos resultados como dito anteriormente.

## 1.2 Motivação

Analisando o contexto atual do cenário da soldagem TIG, a criação de um protótipo automatizado irá aumentar a precisão na afiação do eletrodo, bem como sua vida útil, obtendo uma redução nos custos e visando a melhoria na qualidade da solda.

## 1.3 Objetivos

São objetivos do trabalho aqui proposto:

### 1.3.1 Objetivo Geral

Projetar um afiador automatizado de eletrodos de tungstênio para soldagem TIG.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar estudos sobre as tecnologias relacionadas ao tema proposto;
- Definir os materiais utilizados na construção do afiador;
- Desenhar o afiador de eletrodos de tungstênio na plataforma SolidWorks;

### 1.3.3 Organização do trabalho

O trabalho final de curso está estruturado em seis capítulos. No presente capítulo, é apresentada uma breve introdução sobre os assuntos abordados no trabalho.

No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a soldagem, na qual se encontra a contextualização atual sobre o tema, além de um breve histórico cronológico. Já o referencial teórico irá conter um detalhamento sobre os conceitos pertinentes ao trabalho.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia utilizada durante todo o processo de desenvolvimento.

No Capítulo 4, é relatado o desenvolvimento do projeto.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão, que contém os resultados obtidos através da afiação dos eletrodos.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta os comentários finais e propostas para trabalhos futuros.

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 Estado da Arte

Kou [2003] afirma que, devido à necessidade de disponibilidade de processos eficientes de soldagem para materiais difíceis, como o alumínio e magnésio, notadamente na indústria da aviação no começo da Segunda Grande Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento nessa área. A partir daí, segundo Modenesi e Marques, 2000, a soldagem GTAW é mais utilizada para aços ligados, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas por sua qualidade.

Antes da década de 80, Paris [1986] relata que pouco se atentava para o ângulo de afiação da ponta do eletrodo de tungstênio no processo de soldagem TIG. Sendo assim, seus efeitos ainda eram desconhecidos, principalmente na influência na formação do cordão de solda. Com o tempo, percebeu-se que o ângulo influenciava no cordão de solda e que, ao apontar a extremidade do eletrodo, aumentava-se a penetração do cordão de solda, além de intervir no formato do arco elétrico, na geometria do cordão de solda e na vida do eletrodo, Figura 2.1, a saber. Assim foram surgindo técnicas de afiação manuais realizada de modo aleatório e sem um padrão.

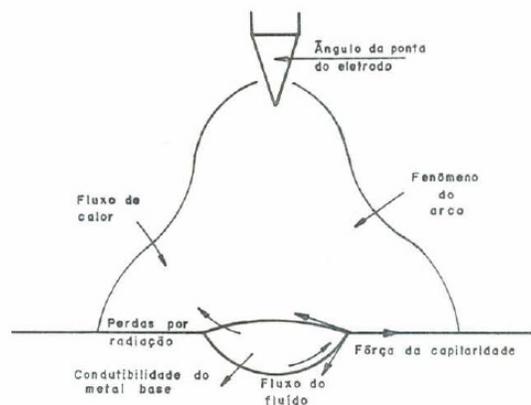


Figura 2.1: Fatores que influenciam o formato da poça de fusão sob um arco de tungstênio com proteção gasosa (Paris [1986])

Percebendo-se a necessidade de padronização de afiação dos eletrodos de tungstênio, surgiram os afiadores elétricos, que possuem precisão para realizar a tarefa.

A partir de então, pouco se inovou nessa área. Até o presente momento, afiadores elétricos de eletrodos de tungstênio estão disponíveis no mercado, porém ainda é necessário um conhecimento prévio do usuário de técnicas de afiação.

Em uma pesquisa de mercado, separaram-se três tipos de afiadores, a título de comparação.

- Afiador Carbografite

Consiste em um afiador, disponível em 127V e 220V, no qual o usuário escolhe o ângulo de afiação manualmente, como visto na Figura 2.2.



Figura 2.2: Afiador Carbografite

- Afiador Neutrix

Esse produto proporciona uma afiação segura no trato do resíduo gerado no processo, retendo o pó do eletrodo em um filtro descartável, evitando-se o descarte no ambiente, Figura 2.3.



Figura 2.3: Afiador Neutrix

- Afiador Soldas Brasil

Este afiador tem como vantagem seu tamanho, não precisando o usuário afastar-se. Porém, existe uma limitação quanto ao diâmetro do eletrodo, como na Figura 2.4.



Figura 2.4: Afiador Soldas Brasil

Portanto, com a implementação deste protótipo, o processo de afiação será todo automatizado, refinando os parâmetros angulares, aumentando a precisão de afiação, além da realização da tarefa sem a interferência do usuário.

## 2.2 Revisão de Literatura

Para Modenesi, 2012, desde épocas mais remotas, temos processos como a brasagem e a soldagem por forjamento. Encontra-se, por exemplo, no Museu do Louvre, um pingente de ouro com indicações de ter sido soldado e que foi fabricado na Pérsia por volta de 400 AC.

Durante a idade média, a soldagem foi um processo secundário na tecnologia metalúrgica devido à escassez e ao alto custo do aço, abrindo espaço para a rebitagem e a parafusagem. Ela permaneceu assim, até o século XIX, segundo Weman [2012], a partir da descoberta do arco elétrico e do acetileno, a qual se tornou possível combinar e armazenar com segurança gases e produzir corrente elétrica que possibilitaram o aparecimento dos processos de soldagem por fusão.

De acordo com Weman [2012], Bernardos desenvolveu a soldagem a arco utilizando eletrodos de carbono, e posteriormente, o uso de hastes de aço, como visto na Figura 2.5. Porém a solda não estava protegida do ar, encontrando problemas na qualidade. Pensando neste problema, o sueco Oskar Kjellberg fez um grande avanço quando patenteou o eletrodo revestido, obtendo resultados surpreendentes.

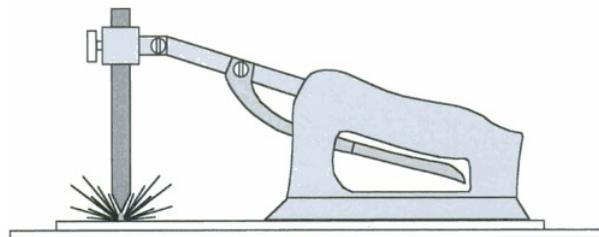


Figura 2.5: Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão, de acordo com a patente de Bernardos (Modenesi 2005)

Tabela 2.1: Resumo da história da soldagem (Marques [2010])

1801	Sir Humphrey descobre o fenômeno do arco elétrico.
1836	Edmund Davy descobre o acetileno.
1885	N. Bernardos e S. Olsewski depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico
1889	N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico
1901	Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica
1903	Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica
1907	O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido
1919	C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem
1926	H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico
1930	Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA
1935	Desenvolvimento dos processos de soldagem TIG e Arco Submerso
1948	H.F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG
1950	França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons
1953	Surgimento do processo MAG
1953	Primeiras aplicações do processo PLASMA convencional
1957	Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa
1958	Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória , na Rússia
1960	Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos EUA
1970	Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem

Os métodos básicos de soldagem por resistência, soldagem a gás e soldagem a arco foram desenvolvidos durante o período anterior à Primeira Guerra Mundial. Através da Tabela 2.1, tem-se o resumo cronológico da história da soldagem.

Atualmente, de acordo com Neris [2012], mais de 70 diferentes processos de soldagem têm alguma utilização industrial, sendo o mais importante método para a união permanente de metais. Eles geralmente são classificados pelo tipo de fonte de energia usada para produzir a fusão e união de peças, como será visto no referencial teórico. Para Modenesi, 2012, a importância é ainda mais evidenciada pela presença de processos de soldagem e afins nas mais diferentes atividades industriais e pela influência que a necessidade de uma boa soldabilidade tem no desenvolvimento de novos tipos de aços e outras ligas metálicas.

## 2.3 Fundamentação Teórica

### 2.3.1 Soldagem

Na literatura é possível encontrar diversas definições para o termo soldagem. Segundo Modenesi 2005, uma delas pode ser descrita como:

*”Processo de união de metais baseado no estabelecimento de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais, na região de ligação entre os materiais que estão sendo unidos.”*

Para Modenesi 2012, o sucesso da soldagem está associado a diversos fatores e, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional. Desta forma, é possível classificar esses processos em dois grupos, sendo eles soldagem por pressão, Figura 2.6 e soldagem por fusão, Figura 2.7.

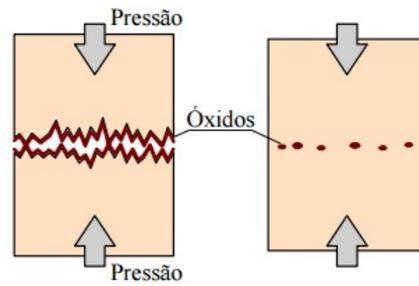


Figura 2.6: Soldagem por pressão (Modenesi e Marques, 2000)

O processo de soldagem por fusão divide-se em outros grupos, de acordo com o tipo de fonte de energia. Assim, segundo Modenesi e Marques, 2000, encontram-se processos, em sua maioria, que utilizam, como fonte de energia, o arco elétrico, que consiste numa descarga elétrica em um meio gasoso parcialmente ionizado.

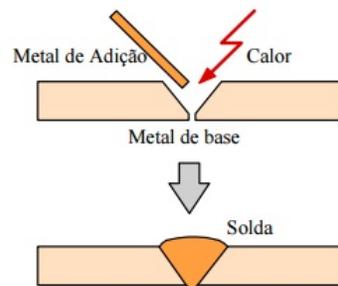


Figura 2.7: Soldagem por fusão (Modenesi e Marques, 2000)

Para Modenesi, 2005, o arco elétrico é a fonte de calor mais utilizada na soldagem por fusão de materiais metálicos, apresentando grande importância no mercado industrial, podendo ser utilizado na fabricação dos mais diversos componentes e estruturas mecânicas, além da recuperação de peças danificadas. Isso se deve a sua ótima combinação de características, concentração adequada de energia para a fusão localizada no metal base, facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento e um nível aceitável de riscos à saúde dos seus operadores.

De um modo geral, mostraram, em soldagem, que o eletrodo é fundido pelo arco e fornece metal de adição para a solda, caracterizando a soldagem com eletrodos consumíveis. Além disso, existem os processos em que o eletrodo - em geral, de tungstênio ou grafite - não se funde de forma apreciável, qualificando a soldagem com eletrodos não consumíveis. [Modenesi e Marques, 2000]

Na Tabela 2.2, podem observar-se os principais processos de soldagem por fusão e suas características.

Tabela 2.2: Processos de soldagem por fusão (Modenesi, 2005)

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR OU DE CORTE	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou Alternada	Escória	Automática/Mecanizada, Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco.	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, espessura >50mm. Soldagem de peças de grande espessura, eixos, etc.
Soldagem ao Arco Submerso	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/Mecanizada ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga. Espessura >10mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo.	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Escória de gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO <sub>2</sub> .	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático.	Soldagem de aços carbono com espessura >1mm. Soldagem de chapas.
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O <sub>2</sub> , Argônio + CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>	Automática/mecanizada ou semi-automática. O arame é sólido.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura >1mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição.
Soldagem a Plasma	Arco elétrico	Contínua. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arco é constrito por um bocal.	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5mm. Passes de raiz.
Soldagem TIG	Arco elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz de solda em tubulações.
Soldagem por Feixe Eletrônico	Feixe eletrônico	Contínua, Alta Tensão, Peça +	Vácuo ( )	Soldagem automática. Não há transferência de metal. Feixe de elétrons focalizado em um pequeno ponto.	Soldagem de todos os metais, exceto por casos de evolução de gases ou vaporização excessiva, a partir de 25mm de espessura. Indústria nuclear e aeroespacial.
Soldagem a Laser	Feixe de luz		Argônio ou Hélio	Como acima	Como acima. Corte de materiais não metálicos
Soldagem a Gás	Chama oxi-acetilénica		Gás ( )	Manual. Arame adicionado separadamente.	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro.

## Soldagem TIG

Nesse presente trabalho, foi abordado a soldagem a arco gás-tungstênio (*Gas Tungsten Arc Welding* - GTAW) ou, como é mais conhecida no Brasil, TIG (*Tungsten Inert Gas*), a qual é definida por Modenesi, 2012 da seguinte forma:

*”A soldagem GTAW é um processo no qual a união é obtida pelo aquecimento dos materiais por um arco estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça. A proteção do eletrodo e da zona da solda é feita por um gás inerte, normalmente o argônio, ou mistura de gases inertes (Ar e He). Metal de adição pode ser utilizado ou não.”*

Sendo considerado como um dos processos que permite um melhor controle das condições operacionais, tanto manual quanto mecanizada, permite a execução de soldas de alta qualidade e excelente acabamento, ideal para juntas de pequenas espessuras, Modenesi, 2012.

Como pode ser observado na Figura 2.8, para a realização da soldagem TIG, tem-se como equipamento básico uma fonte de energia (CC e/ou CA), tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência). Neris [2012] diz que a abertura do arco pode ser facilitada pela sobreposição de uma corrente de alta frequência, para evitar que se tenha de riscar a peça com o eletrodo de Tungstênio. O ignitor, obtido pela corrente de alta frequência, ioniza o meio gasoso, dispensando a necessidade de tocar o eletrodo na peça para a abertura do arco.

O equipamento para GTAW é mais caro do que o usado na soldagem com eletrodos revestidos (SMAW).

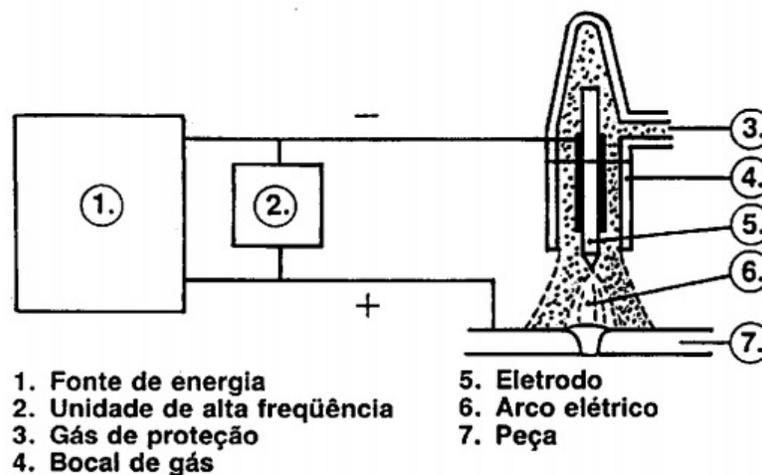


Figura 2.8: Representação esquemática do processo TIG (Modenesi e Marques, 2000)

Este processo, devido baixa penetração de solda e eficiente proteção contra contaminação, torna-se ideal para soldagem de chapas finas, apresentando ótimos resultados, produzindo soldas suaves, com boa aparência e acabamento, exigindo pouco ou nenhuma limpeza após a operação, Peixoto [2016].

De acordo com Modenesi e Marques, 2005, é aplicável à maioria dos metais e suas ligas, porém, devido ao seu alto custo, é utilizado principalmente em aços. A operação normalmente

Tabela 2.3: Vantagens, limitações e aplicações principais do processo GTAW (Modenesi e Marques, 2012)

VANTAGENS E LIMITAÇÕES	APLICAÇÕES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente controle da poça de fusão.</li> <li>- Permite soldagem sem o uso de metal de adição.</li> <li>- Permite mecanização e automação do processo.</li> <li>- Usado para soldar a maioria dos metais.</li> <li>- Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento.</li> <li>- Gera pouco ou nenhum respingo.</li> <li>- Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem.</li> <li>- Permite a soldagem em qualquer posição.</li> <li>- Produtividade relativamente baixa.</li> <li>- Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soldagem de precisão ou de elevada qualidade.</li> <li>- Soldagem de peças de pequena espessura e tubulações de pequeno diâmetro.</li> <li>- Execução do passe de raiz em tubulações.</li> <li>- Soldagem de ligas especiais, não ferrosas e materiais exóticos.</li> </ul>

é manual, em qualquer posição, mas a mecanização do processo é comum e fácil de ser implementada.

Analisando o custo-benefício da soldagem TIG, para Peixoto [2016], devido ao alto custo dos equipamentos e baixa produtividade, sua aplicação é direcionada em situações na qual a qualidade da solda é mais importante que a produtividade ou custo da operação

Através da Tabela 2.3, pode-se observar as vantagens e desvantagens do processo GTAW.

### Equipamentos para soldagem

Para Modenesi e Marques, 2005, são necessários os seguintes equipamentos para a soldagem TIG, como pode ser visto na Figura 2.9:

- Tocha de solda - incluindo eletrodo
- Gerador de alta frequência para a ignição do arco
- Fonte de energia
- Tubo de gás com regulador
- Equipamentos de controle

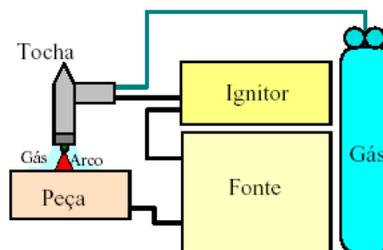


Figura 2.9: Representação básica de equipamentos para soldagem TIG (Modenesi e Marques, 2005)

**Tocha de solda:** as tochas que suportam o eletrodo e conduzem o gás de proteção até o arco. De acordo com Peixoto [2016], elas são classificadas quanto ao seu mecanismo de refrigeração: a ar ou água, Figura 2.10.



Figura 2.10: Tocha para soldagem TIG (DBC-Oxigenio [2014])

**Gerador de alta frequência para a ignição do arco:** segundo Weman [2012], um arco de soldagem TIG é geralmente inflamado com a ajuda de um gerador de alta frequência, cujo objetivo é produzir uma faísca que fornece o caminho de condução inicial necessário através do gás para a corrente de soldagem de baixa tensão. A frequência deste impulso inicial de ignição pode ser de vários MHz, em combinação com uma tensão de vários kV. No entanto isso produz forte interferência elétrica, que é a principal desvantagem do método, Figura 2.11



Figura 2.11: Gerador de alta frequência para ignição do arco (DBC-Oxigenio [2014])

**Fonte de energia:** para Peixoto [2016], são utilizadas fontes com valor de saída ajustável de acordo com a operação, Figura 2.12.



Figura 2.12: Fonte eletrônica de uso industrial(DBC-Oxigenio [2014])

**Equipamentos de controle:** são equipamentos auxiliares, como, por exemplo, posicionadores, dispositivos de deslocamento, controladores automáticos de comprimento de arco, alimentadores de arame, osciladores do arco de soldagem, temporizadores, afiadores de eletrodos, orbitais, que podem ser utilizados para facilitar a operação, Peixoto [2016].

### Gases de proteção

Durante a soldagem TIG são utilizados gases inertes de proteção, sendo eles o argônio, hélio, ou mistura destes. Existem também, misturas especiais de hidrogênio, usadas para a soldagem de aços inoxidáveis, e misturas de nitrogênio, para a soldagem de cobre e suas ligas, Weman [2012].

Além disso, as características dos gases influenciam diretamente no processo realizado. De acordo com Weman [2012], comparando o argônio e o hélio, têm-se:

- melhor estabilidade do arco com Ar que com He;
- menor consumo de Ar, por ser mais denso que o He;
- menores tensões de arco com Ar que com He;
- menor custo do Ar;
- maior penetração na soldagem com He que com Ar;
- maior facilidade na abertura do arco com Ar;
- melhor efeito de limpeza dos óxidos na soldagem com corrente alternada com Ar;
- possibilidade de uso de maiores velocidades de soldagem com He.

As misturas de gases apresentam propriedades em um meio termo. Assim, misturas 80%Ar/20%He, apresentam as melhores características comparadas aos gases isolados. Porém a escolha do gás a ser utilizado, se dá, de acordo com o material, como pode ser visto na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem de diferentes ligas (Weman [2012])

MATERIAL	ESPESSURA	GÁS DE PROTEÇÃO E TIPO DE CORRENTE	
		SOLDAGEM MANUAL	SOLDAGEM MECANIZADA
Alumínio e suas ligas	<3,2	Ar, CA	Ar, CA ou He, CC-
	>3,2	Ar, CA	Ar-He, CA ou He, CC-
Aço carbono	<3,2	Ar, CC-	Ar, CC-
	>3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou He, CC-
Aço inoxidável	<3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou Ar-H <sub>2</sub> , CC-
	>3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Níquel e suas ligas	<3,2	Ar, CC-	Ar-He, CC- ou Ar-He, CC-
	>3,2	Ar-He, CC-	He CC-
Cobre e suas ligas	<3,2	Ar-He, CC-	Ar-He, CC-
	>3,2	He, CC-	He CC
Titânio e suas ligas	<3,2	Ar, CC	Ar, CC- ou Ar-He, CC
	>3,2	Ar-He, CC-	He CC-

### Eletrodos de Tungstênio

O eletrodo não consumível, de acordo com Weman [2012], necessita de determinados requisitos, sendo eles:

- Baixa resistência elétrica;
- Ponto de fusão alto;
- Boa emissão de elétrons;
- Boa condutividade térmica.

Associando todas as características, o material mais adequado é o tungstênio, chegando a um ponto de fusão de 3370 ° C e a condução de calor é quase igual do alumínio.

De acordo com DBC-Oxigenio [2014], um eletrodo de tungstênio é uma vareta do metal tungstênio, normalmente de 150mm ou 175mm de comprimento, sendo fabricados por um processo metalúrgico do mais alto nível, no qual o produto é feito a partir de pó. Este processo se aplica principalmente na produção de metais ultra puros, caso do eletrodo de tungstênio.

Entretanto existem eletrodos ligados a diversos elementos químicos que podem aumentar os seguintes benefícios, como afirma Neris [2012]:

- facilidade de abertura do arco;
- aumento da estabilidade do arco;
- aumento da capacidade de a corrente passar pelo eletrodo;
- reduzir riscos de contaminação na solda;

- aumentar a vida útil do eletrodo.

A adição dos óxidos metálicos ao eletrodo está entre 1% e 4%, podendo ser zircônio, tório, lantânio, irídio e cério. Cada composição possui características únicas. A seguir, será apontada cada uma delas, de acordo Neris [2012].

**Eletrodo puro (EWP) - Ponta verde:** O tipo de eletrodo mais comum e o mais barato do mercado, contendo 99% de tungstênio. Usado principalmente para ligas de alumínio e magnésio, oferecem uma boa estabilidade de arco quando utilizado em corrente alternada, para soldagem TIG DC outros eletrodos oferecem maior estabilidade. Seu formato forma uma pequena bola na ponta após ser utilizado.

**Eletrodo com tório (EW Th) - Ponta vermelha:** Sendo os eletrodos mais utilizados atualmente, contendo 97,3% de tungstênio e 1,7 - 2,2% de tório, possuem excelente vida útil e facilidade de uso. Isso se deve ao tório, que aumenta a qualidade de emissão de elétrons no arco. Além de possuir capacidade de condução mais elevada, cerca de 20% se comparada ao tungstênio puro. Sendo assim, a abertura para iniciar o arco se dá com facilidade, possuindo uma vida mais longa, devido ao pouco desgaste e baixo risco de contaminação. É o eletrodo ideal para soldagem de aço carbono, aço inoxidável, níquel e titânio e mantém uma configuração de ponta afiada durante a soldagem. Raramente são usados em corrente alternada pela dificuldade de manter a ponta arredondada.

**Eletrodo com cério (EW Ce) - Ponta cinza:** Contém no mínimo 97,30% de tungstênio e 1,80 - 2,2% de cério, possuindo a melhor eficácia em soldagem TIG DC em baixa amperagem, com ótima abertura do arco, sendo popular para soldagem de tubos, pequenas peças, materiais finos e delicados. Pode ser uma opção para substituir eletrodos com tório e pode ser usado em aços carbono, inoxidável e titânio. Também pode ser utilizado em soldagem TIG AC. Para substituir eletrodos com Tório, nos anos 80, o mercado americano introduziu os de cério, por não ser um elemento radioativo.

**Eletrodo com lantânio (EW La) - Ponta dourada e azul:** Contém, no mínimo, 97,8% de tungstênio e 1,30 - 1,70% de lantânio, sendo criado na mesma época do cério pelo mesmo motivo de não ser radioativo. Possui uma excelente abertura de arco, estabilidade e re-ignição do arco. Em aços inoxidáveis, usando fontes pulsadas, possui boa eficiência e, semelhante ao cério, está presente em soldagens tanto AC quanto DC.

**Eletrodo com zircônio (EW Zr) - Ponta marrom e branca:** Contém no mínimo 99,1% de tungstênio e 0,15 - 0,40% de zircônio, é ideal para soldagens TIG AC, mantendo a ponta resistente a contaminações, semelhante aos eletrodos de tório. Em nenhuma circunstância, ele é recomendado para soldagens TIG DC. A cor da ponta muda conforme o percentual de zircônio no eletrodo. Recomendado para soldagem de ferro, aço carbono e aços inoxidáveis.

**Eletrodo EWG:** Possuindo proporções diferentes daqueles com especificações, ele contém outros elementos de liga.

Tendo como referência as características específicas de cada eletrodo, é possível realizar um comparativo entre eles quanto a facilidade de abertura do arco, estabilidade do arco, durabilidade, resistência a contaminação e tipo de corrente, a fim de facilitar a escolha do eletrodo mais adequado no momento da soldagem, como pode se observar na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Comparativo entre eletrodos de tungstênio (DBC-Oxigenio [2014])

COR DA PONTA	CLASSE ANSI/AWS	TUNGSTÊNIO COM	FACILIDADE DE ABERTURA DO ARCO	ESTABILIDADE DO ARCO	ALTAS AMPERAGENS	DURABILIDADE	RESISTÊNCIA À CONTAMINAÇÃO	TIG DC	TIG CA
Verde	EWP	Puro 99,5%	+	+	+++	+	+	+	+++
Vermelho	EW Th-2	Tório 2%	++	++	++	+++	++	+++	+
Marrom	EW Zr-0,3	Zircônio 0,3%	+	++	++	++	+++	+	+++
Branco	EW Zr-0,8	Zircônio 0,8%	+	++	++	++	+++	+	+++
Cinza	EWCe-2	Cério 2%	+++	+++	+	+++	++	+++	++
Dourado	EWLa-1,5	Lantânio 1,5%	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++
Azul	EWLa-2	Lantânio 2%	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++

Outro fator, que é necessário observar, é o eletrodo utilizado para cada determinado tipo de material, Tabela 2.6.

Tabela 2.6: Relação do tipo de eletrodo com o material a ser soldado (DBC-Oxigenio [2014])

MATERIAL A SER SOLDADO	TIPO DE ELETRODO RECOMENDADO	CA	CC	DC+
Alumínio e ligas	Puro, Zircônio, Lantânio	+++	+	não
Alumínio e bronze	Puro	não	++	não
Magnésio e ligas	Puro	+++	não	+
Níquel e ligas	Puro	+++	+	+
Aço carbono	Tório, Cério, Lantânio	não	+++	não
Aço inox	Tório, Cério, Lantânio	não	+++	não
Cobre	Tório, Cério, Lantânio	+	+++	não
Bronze	Tório, Cério, Lantânio	+	+++	não
Titânio	Tório, Cério, Lantânio	+	+++	não

De acordo com a Tabela 2.7, há outro parâmetro para a escolha do eletrodo a ser utilizado. Através dela é possível perceber que, quanto maior o diâmetro do eletrodo, maiores poderão ser os valores da corrente, porém mais difícil a abertura do arco. Além disso, diâmetros maiores são mais resistentes a eletroerosão e assim, mais duráveis, DBC-Oxigenio [2014].

### Contaminação do eletrodo

Segundo a DBC-Oxigenio [2014], um dos problemas que comprometem o processo de soldagem é a contaminação do eletrodo, podendo diminuir a qualidade, além de baixo desempenho do equipamento, bem como a falta de penetração. Porém algumas medidas podem ser feitas para minimizar tais efeitos, sendo elas:

- Preparar-se bem o eletrodo de tungstênio;
- Usar o eletrodo adequado ao material de soldagem;
- Usar o eletrodo com o diâmetro correto para a corrente;

Tabela 2.7: Relação do diâmetro do eletrodo com a corrente (DBC-Oxigenio [2014])

DIÂMETRO DO ELETRODO		TIG DC (AMPS)		TIG AC (AMPS)	
		POLARIDADE DIRETA	POLARIDADE REVERSA	ONDA INSTÁVEL	ONDA ESTÁVEL
POLEGADA	mm	DCEN	DCEP		
1/16	1,6	70-150	10-20	70-150	60-120
3/32	2,4	150-250	15-30	140-235	100-180
1/8	3,2	250-400	25-40	225-325	160-250
5/32	4,0	400-500	40-55	300-400	200-320
3/16	4,8	500-750	55-80	400-500	290-390
1/4	6,4	750-1000	80-125	500-630	340-525

- Usar o Gás *After Flow* (Pós vazão);
- Usar eletrodos de tungstênio de qualidade.

### Preparação para uso de um eletrodo de tungstênio

Peixoto [2016] diz que o preparo adequado da ponta do eletrodo é fundamental para obter um bom resultado. Na Figura 2.13 é possível observar a posição correta da afiação.



Figura 2.13: Importância de uma correta preparação da ponta do eletrodo (Peixoto [2016])

Como pode observar-se pela Figura 2.14 e Figura 2.15, o ângulo e o diâmetro de ponta do eletrodo determinam a geometria da coluna de arco, e assim a pressão que o arco exerce na poça

influi na sua largura e no perfil da penetração, Key [1980].

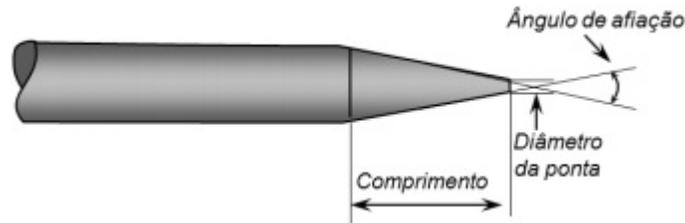


Figura 2.14: Parâmetros para afiação do eletrodo (Key [1980])

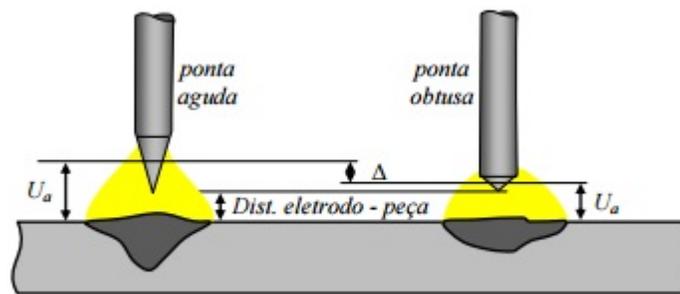


Figura 2.15: Comparação entre a afiação de eletrodos (Key [1980])

### 2.3.2 Classificação dos aços

De acordo com Aço-Brasil [2015], a produção acumulada de aço bruto somou 30,2 milhões de toneladas em 2015, o que representa uma redução de 9,2% na comparação com 2014. A produção de laminados somou 20,9 milhões de toneladas, uma queda de 7,7% na mesma base de comparação. Isso se dá devido a gama de aços disponíveis no mercado. Eles podem ser classificados quanto as formas ou ao tipo.

**Quanto ao tipo de aço:** Os aços podem ser classificados da seguinte forma:

- Aços Carbono: São aços ligados ao carbono ou com baixo teor de liga, de composição química definida em faixas amplas.
- Aços Ligados / Especiais: São aços ligados ou de alto carbono, de composição química definida em estreitas faixas para todos os elementos e especificações rígidas.
- Aços de construção mecânica: São aços ligados ao carbono e de baixa liga para forjaria, rolamentos, molas, eixos, peças usinadas, etc.
- Aços para ferramental: São aços de alto carbono ou de alta liga, destinados à fabricação de ferramentas e matrizes, para trabalho a quente e a frio, inclusive aços rápidos.

**Quanto à forma geométrica:** Outra forma de classificação adicional do aço é quanto à forma geométrica. As categorias são:

- **Semiacabados:** Produtos oriundos de processo de lingotamento contínuo ou de laminação de desbaste, destinados a posterior processamento de laminação ou forjamento a quente.
- **Produtos Planos:** Produtos siderúrgicos, resultado de processo de laminação, cuja largura é extremamente superior a espessura, e são comercializados na forma de chapas e bobinas de aços carbono e especiais.
- **Produtos Longos:** Produtos siderúrgicos, resultado de processo de laminação, cujas seções transversais têm formato poligonal e seu comprimento é extremamente superior à maior dimensão da seção, sendo ofertados em aços carbono e especiais.

### 2.3.3 Motores elétricos

Segundo Nascimento [2011], um motor é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica rotativa. Para isso é conectado à rede elétrica através de um sistema de acionamento. O sistema de acionamento pode ser um comando elétrico, uma chave de partida manual, uma chave de partida eletrônica, inversor de frequência ou uma combinação de sistemas.

#### Motores CC

Segundo Chapman,2013, o motor de corrente contínua é dividido em duas estruturas magnéticas:

- **Estator (enrolamento de campo ou ímã permanente)**, o qual é composto de uma estrutura ferromagnética com polos salientes aos quais são enroladas as bobinas que formam o campo, ou de um ímã permanente;
- **Rotor (enrolamento de armadura)** é representado por uma bobina que é alimentada pelo comutador em que circula uma corrente.

Eles são motores elétricos que são alimentados por corrente contínua, Figura 2.16. Seu funcionamento se dá quando um condutor de corrente é colocado em um campo magnético, gerando um torque e tendo uma tendência a se mover. Se a direção da corrente no fio for invertida, o sentido de rotação também será invertido. Quando o campo magnético e a corrente elétrica interagem, eles produzem uma força mecânica e, com base nisso, o princípio de funcionamento do motor de corrente contínua é estabelecido.

Na presença de um campo magnético, por Chapman 2013, a fórmula da força é dada pela Equação 2.1:

$$F = i(L * B) \quad (2.1)$$

Sendo:

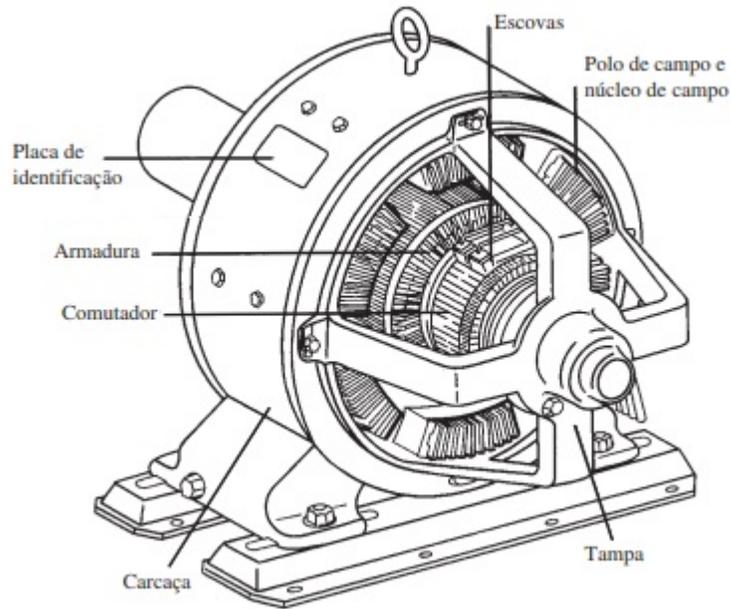


Figura 2.16: Diagrama simplificado de uma máquina CC (Chapman, 2013)

$\mathbf{F}$  = força do fio no condutor;

$i$  = valor da corrente no condutor;

$\mathbf{L}$  = comprimento do condutor no campo magnético;

$\mathbf{B}$  = densidade de fluxo magnético.

Como pode ser visto na Figura 2.17, o campo magnético é gerado entre os polos do ímã e possui um sentido partindo do norte para o sul. O torque vai impulsionar a bobina e, por sua vez, o rotor. A densidade de fluxo magnético é chamada aqui de  $B$ .

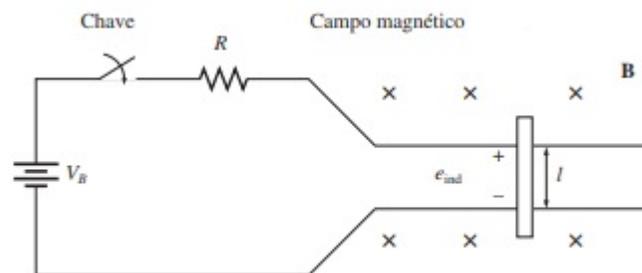


Figura 2.17: Campo magnético de uma máquina CC (Chapman, 2013)

### Especificações de um motor CC

De acordo com Silveira [2016], é necessário analisar três fatores para a escolha de um Motor CC, a fim de saber que motor e fabricante atenderá melhor suas necessidades. São elas:

- velocidade;
- torque;
- tensão.

As especificações de velocidade do eixo geralmente se referem quando não há torque aplicado, ou seja, no caso de não haver carga. Nesse caso, o motor atinge sua velocidade máxima. Silveira [2016] afirma que o motor CC aplica uma tensão ( $V$ ) para rodar um eixo a uma velocidade de rotação proporcional ( $\omega$ ), que são medidas em rad/s ou em rotações por minuto ( $RPM$ ). A Fórmula 2.2 evidencia a relação entre elas.

$$\omega_{rad/s} = \omega_{rpm} * \frac{2\pi}{60} \quad (2.2)$$

Para um motor CC ideal, sendo aquele que não possui perdas, a velocidade rotacional é proporcional à tensão fornecida, como mostra na Equação 2.3:

$$\omega = J * V \quad (2.3)$$

Sendo que:

$J$  é uma constante de proporcionalidade, dada em  $rad/(s.V)$

O torque é caracterizado pela força de rotação do eixo, a qual pode ser de dois tipos: partida ou contínuo. O torque de partida consiste na velocidade do eixo zero, ou seja, quando o motor está parado. Já o contínuo é o maior valor de  $\tau$  em condições normais de funcionamento. Pela Equação 2.4, o torque ( $\tau$ ) de um motor CC é proporcional à corrente de indução ( $I$ ), sendo que neste caso temos a constante de torque ( $k$ ), Silveira [2016].

$$\tau = k * I \quad (2.4)$$

Para um determinado torque, o qual é proporcional à velocidade, um valor alto de  $k$  limita a corrente a um valor baixo. Esta é uma medida de eficiência, uma vez que um menor consumo de corrente significa menor dissipação de energia. Conhecendo a constante de torque e o torque produzido, podemos calcular a corrente através da armadura.

### Considerações de dimensionamento

Silveira [2016] afirma que a configuração do eixo determina como o motor é montado e conectado ao sistema que ele irá acionar e é essencial sua correta seleção de forma com que ele seja compatível com o sistema. A seleção ideal do eixo aumenta a eficácia e pode economizar tempo e custo durante a montagem. As configurações podem incluir tipos côncavos, redondos, quadrados, sextavados, ranhurados, em degrau ou parafusos.

A redução é usada no motor CC para aumentar ou reduzir a velocidade do eixo mecanicamente. Utilizando o redutor, o motor tende a ter volume ou peso menor. Os tipos de redutores que são usados em motores elétricos de corrente contínua podem incluir redutores de engrenagem, planetários, sem-fim ou cônicos, Chapman, 2013).

### 2.3.4 Reguladores de tensão

Segundo Wendling 2009, um regulador de tensão é um dispositivo no qual mantém a tensão de saída de um circuito elétrico. Sua estrutura é composta por semicondutores, tais como diodos e circuitos integrados, sendo incapazes de gerar energia. A tensão de entrada deve ser sempre superior à sua tensão de regulagem nominal, Figura 2.18.

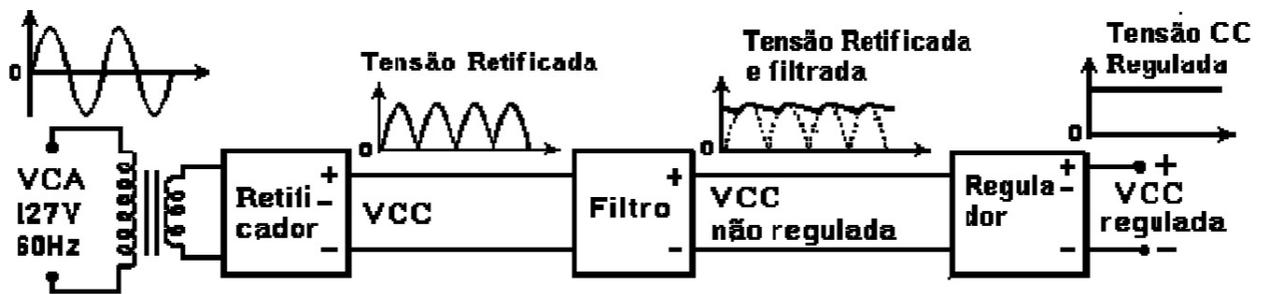


Figura 2.18: Diagrama de blocos de uma fonte de alimentação com tensão de saída reguladaWendling 2009

A Figura 2.19 mostra o funcionamento do regulador em que a entrada pode ter variações, mas a saída se mantém constante.

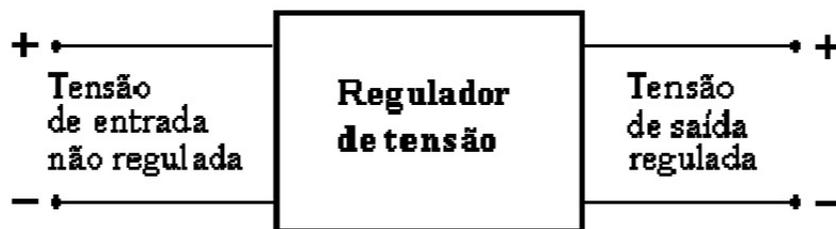


Figura 2.19: Tensão reguladorWendling 2009

Eles podem ser projetados com componentes discretos ou podem ser adquiridos na forma de circuitos integrados (CI). Estes por sua vez são mais precisos e ocupam menor espaço por serem mais compactos.

Há vários tipos de reguladores de tensão no mercado atualmente. Entre eles podem citar-se os circuitos integrados da série 78XX, que são utilizado para tensões positivas, e os da série 79XX, que são utilizados para tensões negativas, Instruments [2004].

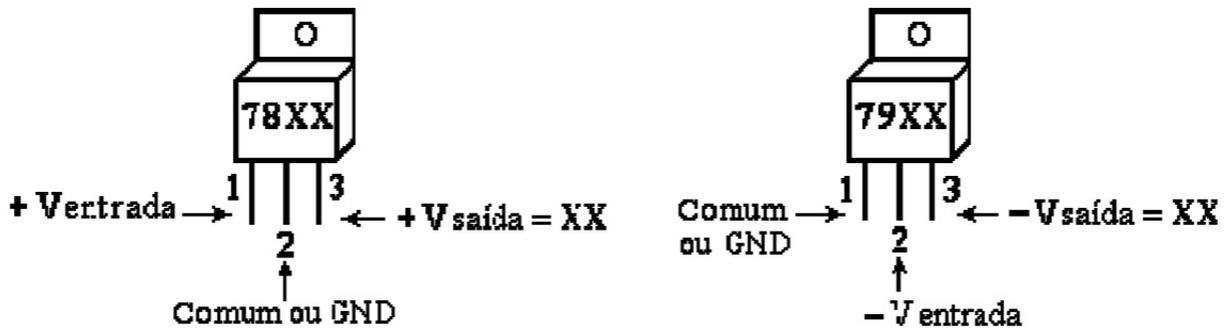


Figura 2.20: CI reguladores de tensão Wendling 2009

Pela Figura 2.20, pode-se perceber que, nos reguladores 78XX, o pino 1 é a entrada e o pino 2 é o comum. Já nos 79XX, o pino 2 é a entrada e o 1 é o pino ligado ao terra. Em ambos, o pino 3 é a saída.

Através do *datasheet*, Instruments [2004], é possível encontrar as características dos reguladores 78XX, sendo elas:

- Máxima tensão de entrada: 35V;
- Tensão mínima de entrada: 3V acima da tensão de saída;
- Máxima corrente de saída: 1A;
- Máxima potência dissipada: 15W.

De acordo com Halliday, 2000, a potência dissipada pode ser calculada pela Equação 2.5:

$$P_{dissipada} = (V_{IN} - V_{OUT}) * I_L \quad (2.5)$$

onde:

$V_{IN}$  é a tensão de entrada do circuito (volt);

$V_{OUT}$  é a tensão de saída do circuito integrado (máximo de 40 V para os de 24 V e 35 V para os de 5 a 18 V);

$I_L$  é a intensidade da corrente de carga.

### 2.3.5 Engrenagens

Antunes 2003 afirma que engrenagens são elementos rígidos utilizados na transmissão de movimentos rotativos entre eixos.

Engrenagens cilíndricas de dentes retos, Figura 2.21, é o tipo mais simples, sendo utilizado para relações cinemáticas primárias. Ela consiste em dentes paralelos ao eixo de rotação e são utilizadas para transmitir movimento de um eixo a outro, como descreve Shigley [2011].

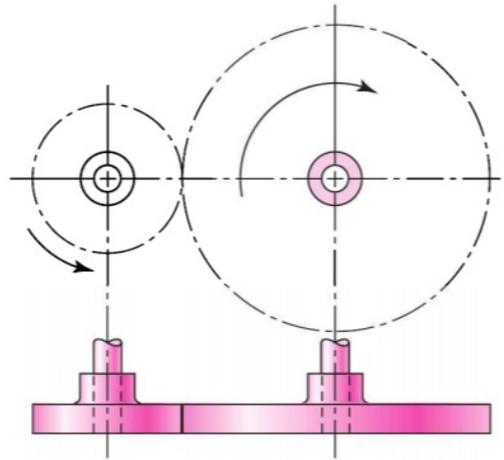


Figura 2.21: Engrenagem cilíndrica de dentes retos, Shigley [2011]

### Nomenclatura

A Figura 2.22 ilustra dentes retos de engrenagens cilíndricas e suas devidas nomenclaturas. Ei-las, com as respectivas definições:

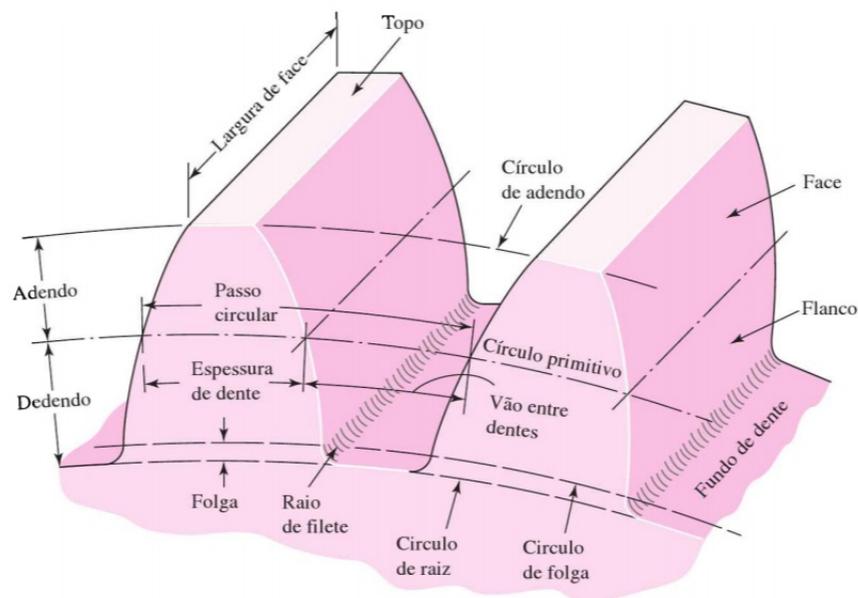


Figura 2.22: Nomenclatura para dentes de engrenagens cilíndricas de dentes retos, Shigley [2011]

- Círculo primitivo é um círculo teórico no qual os cálculos se fundamentam, tendo com diâmetro, o diâmetro primitivo. Em um par de engrenagens, eles são tangentes entre si, sendo o pinhão o condutor e a coroa a força motriz.
- Passo circular é a distância entre o ponto de um dente a outro, medida no círculo primitivo.

- Módulo corresponde a razão entre o passo diametral e o número de dentes.
- Passo diametral é a razão entre o número de dentes da engrenagem e o diâmetro primitivo.
- Adendo é a distância radial entre topo do dente e o círculo primitivo.
- Dedendo é a distância radial do fundo do dente ao círculo primitivo.
- Altura completa é a soma do adendo e dedendo.
- Círculo de folga é um círculo tangente ao círculo de adendo da engrenagem par.
- Folga é a quantidade pela qual o dedendo, em dada engrenagem, excede o adendo.
- Recuo é a quantidade pela qual a largura do espaço entre dentes excede a espessura do dente.

A partir desses conceitos, é possível estabelecer relações entre eles, como afirma Shigley [2011], através das Equações 2.6, 2.7, 2.8, 2.9.

$$P = \frac{N}{d} \quad (2.6)$$

$$m = \frac{d}{N} \quad (2.7)$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \quad (2.8)$$

$$pP = \pi \quad (2.9)$$

onde

- $P$  = passo diametral;
- $N$  = número de dentes;
- $d$  = diâmetro primitivo;
- $m$  = módulo;
- $p$  = passo circular.

### Tensões de Flexão no pé do dente

Segundo Antunes 2003, as tensões no pé do dente podem ser de tração ou compressão, como mostrado na Figura 2.23. Assim, pode-se observar que a força aplicada no filete da direita é de tração, e no da esquerda compressão.

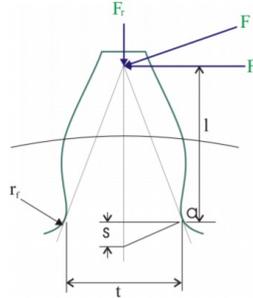


Figura 2.23: Antunes, 2003

O cálculo das tensões no pé do dente pode ser descrito pela Equação 2.10, baseado na proposição de *Lewis*. Ele propõe um modelo simplificado no qual avalia a carga aplicada na ponta do dente, distribuição uniforme na largura do dentado, sem concentrações de tensões e ainda desprezando cargas radiais e deslizamentos Antunes 2003.

$$\sigma = \frac{F_t}{m \cdot b \cdot J} \cdot K_v \cdot K_o \cdot K_m \quad (2.10)$$

sendo:

- $J$  o fator geométrico obtido a partir do fator de *Lewis* original, com a inclusão da concentração de tensões para o raio de concordância recomendado, dado por  $b$ , bem como a o número médio de dentes, dado por  $m$ , determinado através da Figura 2.24.

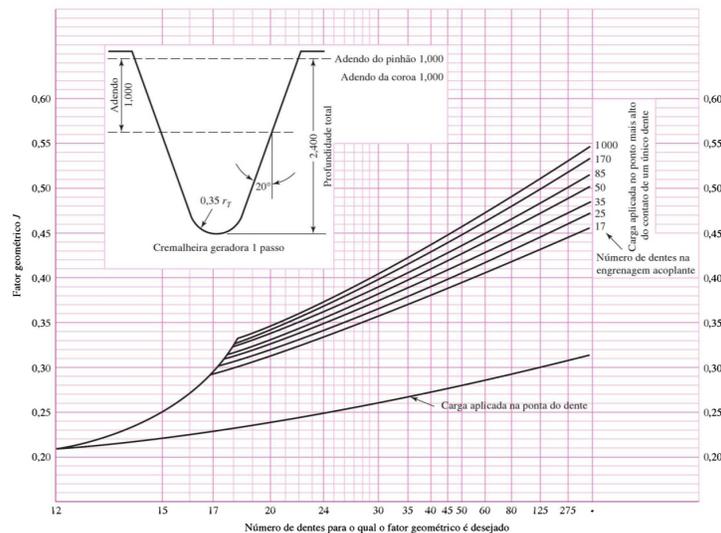


Figura 2.24: Shigley [2011]

- $K_v$  é o fator de impacto ou de velocidades, sendo aplicado para considerar tolerâncias de fabricação nos choques sofridos pelos dentes devido às diferenças dimensionais determinado pela Figura 2.25.

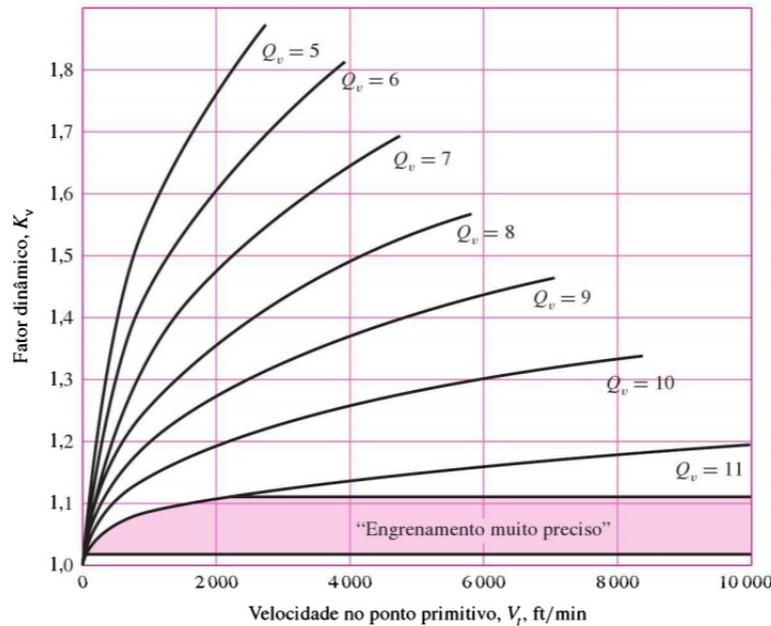


Figura 2.25: Shigley [2011]

- $K_o$  é o fator de sobrecarga, que corresponde a choques decorrentes da fonte de acionamento e da carga. Ele é considerado a partir da Figura 2.26.

<b>Choques Gerados pela Carga</b>			
<b>Fonte de Potência</b>	<i>Uniformes</i>	<i>Moderados</i>	<i>Intensos</i>
Uniformes	1,00	1,25	1,75
Leves	1,25	1,50	2,00
Médios	1,50	1,75	2,25

Figura 2.26: Antunes, 2003

- $K_m$  é o fator de correção para precisão da montagem. Utilizado para incluir o efeito de alinhamento ou outras condições do arranjo que não permitam o contato em toda a extensão do dentado, Figura 2.27

Características da Montagem e do Dispositivo	Largura da Face (mm)			
	0 a 50,8	Até 152	Até 228	Até 407
Montagens precisas, pequena folga nos mancais, deflexões mínimas e engrenagens de precisão.	1,3	1,4	1,5	1,8
Montagens não tão cuidadosas, engrenagens com fabricação não tão precisas, contato ao longo de toda a largura do dente	1,6	1,7	1,8	2,2
Montagem e Precisão de forma a que não haja contato ao longo de toda a largura do dente	Acima de 2,2			

Figura 2.27: Antunes, 2003

- $F_t$  é a força máxima.
- $\sigma$  é a tensão de flexão.

### Projeto de Redutores por engrenagens

De acordo com Shigley [2011], ao se realizar um projeto de redutores por engrenagens, o objetivo é obter um conjunto de dimensões adequadas para suportar as cargas que se deseja transmitir. Sendo assim, é necessário um conjunto de decisões. No que se refere a engrenagens cilíndricas e helicoidais, é fundamental conhecer as condições do problema, sendo elas a magnitude da carga, as velocidades de entrada e saída, características do acionamento e carregamento, condições de uso, por exemplo.

Antunes, 2003 recomenda fabricar o pinhão com dureza superior da coroa, uma vez que sua vida útil será menor. Sendo assim, quanto a dureza superficial, que define a resistência à fadiga de contato, deve-se adotar um valor 10 a 15% superior ao da coroa. Ele afirma também que, quanto maior a dureza dos dentes, maior o custo de fabricação.

## Metodologia

De acordo com Pereira [2016], para se obterem resultados eficazes e eficientes na realização de projetos mecatrônicos, os quais integram áreas de forma completa e consistente, é necessária a implementação de uma metodologia sinérgica entre os eixos.

Adotando o modelo prescritivo, definido por MARIBONDO [2000] como sendo aqueles caracterizados por prescrever como o processo de projeto deve ocorrer é possível enumerar maneiras de trabalhar durante o projeto. Através de procedimentos algorítmicos e sistemáticos, é possível criar um plano de trabalho coeso e consiste, a fim de obter melhores resultados.

A metodologia prescritiva aplicada neste presente trabalho consiste no Modelo X, Figura 3.1, apresentado por Pereira [2016].

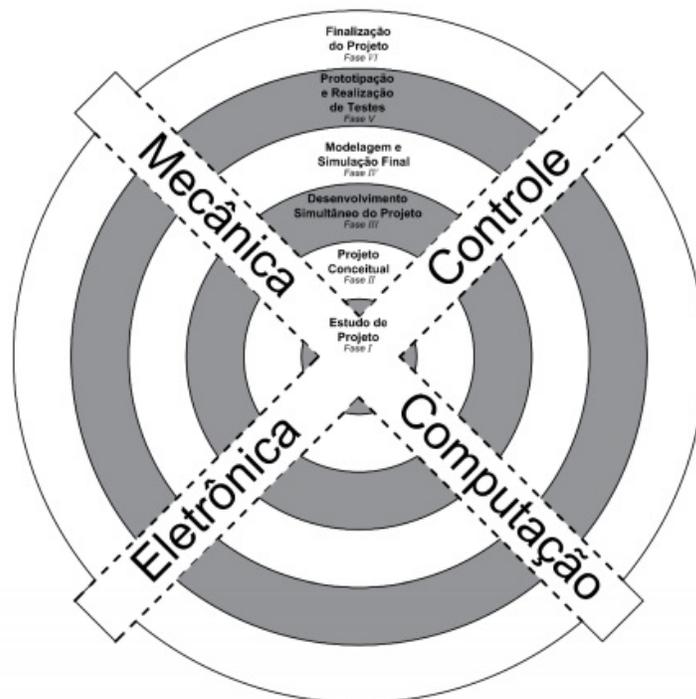


Figura 3.1: Ilustração do Modelo X para desenvolvimento de sistemas mecatrônicos (Pereira [2016])

O projeto é dividido em seis partes, sendo elas:

- **Estudo de projeto:** busca das principais informações para o desenvolvimento do projeto;
- **Projeto Conceitual:** esboço do sistema;
- **Desenvolvimento simultâneo do projeto:** avaliar, dimensionar e definir seus componentes para o desenvolvimento do projeto;
- **Modelagem e simulação final:** modelar e analisar o sistema, a fim de desenvolver o controlador e avaliar seu desempenho;
- **Prototipação e realização de testes:** verificação dos parâmetros e realização de testes;
- **Finalização do projeto:** por fim, após todas as etapas serem atendidas, formalização da documentação.

Sendo assim, a partir das etapas identificadas e adaptando ao projeto proposto, têm-se:

**Primeira fase - Estudo de projeto:** O protótipo em questão busca refinar os parâmetros de afiação para ângulos mais precisos sem a interferência do usuário. Com isso, proporciona uma afiação de melhor qualidade, levando a soldas mais limpas e suaves. Devido ao elevado custo da soldagem TIG, sua aplicação é direcionada para atividades nas quais a qualidade da solda é um fator relevante no processo.

**Segunda fase - Projeto Conceitual:** O conceito do projeto é baseado em afiadores elétricos já existentes no mercado, implementando a automatização. Para isso, o usuário irá informar os parâmetros desejados em um sistema de malha aberta. A partir disso, é possível explicar a ideia do projeto criando esboços 2D e 3D.

**Terceira fase - Desenvolvimento simultâneo do projeto:** A partir das duas primeiras fases é necessário integralizar o projeto de forma geral, caracterizado pelo sensoriamento, atuação, processamento de dados, algoritmos de controle e conectividade. Sendo assim, como será adotado um sistema em malha aberta, não será necessário a utilização de sensores. Para converter o sinal de controle em energia, o tipo de atuador utilizado será um motor CA, associado a um motor de passo e um motor CC. A unidade central de processamento será feita a partir de uma plataforma de desenvolvimento com microcontrolador, um Arduíno. Logo após definidos esses primeiros critérios, será necessária uma fonte para alimentação do Arduíno, *drivers* para o motor de passo, além de um *display* e um botão, com o objetivo de criar a interface/comunicação entre os componentes da arquitetura de controle estabelecida. A seguir, será realizado o projeto mecânico, quando os componentes serão dimensionados, considerando-se as especificações definidas inicialmente. Finalmente, será projetado o *software*, ou seja, as linhas de código para o microcontrolador, as quais definirão o controle do ângulo de afiação desejado.

**Quarta fase - Representação final do projeto:** Com materiais definidos a partir de cálculos matemáticos, será realizada a simulação em plataformas computacionais CAE/CAD de forma fiel ao projeto.

**Quinta fase - Finalização do projeto:** Como fase final, serão documentados de forma precisa e argumentada todos os componentes, materiais, desenhos, circuitos e programas necessários para a elaboração do protótipo, especificadas no projeto.

## Desenvolvimento

Neste capítulo é apresentado o projeto de construção do protótipo. Primeiramente, são apresentados os softwares necessários para o desenvolvimento, em seguida, serão mostrados os materiais utilizados. Logo após, os métodos para definir os parâmetros do projeto.

### 4.1 *Softwares*

#### **SolidWorks**

O SolidWorks é uma ferramenta baseada em computação paramétrica, utilizada para modelagem de formas geométricas elementares. Amplamente usada para o desenvolvimento de esboços 2D e 3D, foi utilizada para a elaboração do esboço conceitual e do projeto final do protótipo.

#### **PSpice**

Sendo um simulador digital de circuitos eletrônicos, foi utilizado para emular os comportamentos do circuito acionador certificando que o projeto proposto poderia ser implementado.

### 4.2 **Materiais**

Os materiais foram divididos em duas categorias, sendo uma para o projeto mecânico e a outra para o eletrônico.

#### 4.2.1 **Projeto Mecânico**

Para a construção do projeto mecânico, foram necessários os seguintes materiais:

#### **Motor CA**

Caracteriza-se por motores de alimentação em corrente alternada, nos quais são utilizado para converter energia elétrica em mecânica produzindo trabalho. Especificamente, a energia rotacional é produzida a partir da força de campos magnéticos induzidos pela corrente alternada

que flui através de bobinas elétricas. São constituídos por um estator e um rotor, Nascimento [2011].

Uma das diferenças entre um motor CC e CA, além da fonte de alimentação, é o método do controle da velocidade. Em motores CC, a velocidade varia com base na tensão aplicada e essa relação é relativamente linear, tornando o controle de velocidade e cálculos bem mais simples.

Já em motores de CA, Figura 4.1, a velocidade é determinada pela frequência da tensão e corrente, e a velocidade pode ser ajustada somente através de um variador de frequência que é capaz de alterar a frequência da potência de entrada fornecida. Sendo assim, para aplicações nas quais é necessária uma velocidade o motor CA é mais indicado.



Figura 4.1: Motor CA (Nascimento [2011])

### Motor de Passo

Motores de passo, de acordo com Nascimento [2011], são controlados por campos eletromagnéticos ativados e desativados eletronicamente, sendo empregados em situações que demandam um posicionamento preciso ou rotação em um ângulo exato. Além disso, sua escolha dá-se pelo fácil acesso e baixo custo, Figura 4.2. No que se refere ao projeto, ele será utilizado para o controle do ângulo inserido pelo usuário.

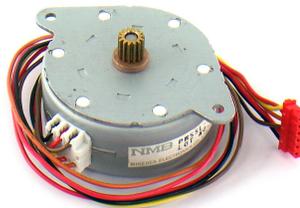


Figura 4.2: Motor PM55-048 (fil)

## Motor CC

Um motor CC, Figura 4.3, são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e ímãs permanentes. Ele pode ser controlado apenas variando a sua tensão, diferentemente de um motor elétrico de corrente alternada (CA), cuja a velocidade é variada pela frequência, Chapman. Ele será utilizado com o objetivo de rotacionar o eletrodo para a afiação.



Figura 4.3: Motor CC (fil)

## Aço

As peças projetadas foram usinadas em aço 1040. Ele é um aço com alto teor de carbono que pode ser tratado termicamente para atingir uma resistência mecânica de até 250 ksi. Ele é muito utilizado para peças forjadas, barra de distribuição, biela, eixo, haste de amortecedor, alavanca de freio, parafuso de ancoragem.

## Rolamento

Os rolamentos são peças cujo movimento de rolamento torna quase todos os movimentos mais fáceis e ajudam a reduzir a fricção. Eles transferem movimento, isto é, suportam e guiam componentes que giram um em relação ao outro, Figura 4.4. Eles foram dimensionadas de acordo com a norma NBR 14220-1.



Figura 4.4: Rolamento

## Barra roscada

Foi colocado um eixo de diâmetro de 5 mm por 150 mm de comprimento para evitar que a estrutura sofra torção no momento de realizar o movimento.

### Disco diamantado

Durante a afiação, é importante a utilização de um material de desbaste adequado. A pedra do esmeril, segundo Rev, causa ranhuras no tungstênio, prejudicando o transporte do feixe de energia, causando constante instabilidade do arco elétrico. Sendo assim, a utilização de um disco diamantado, Figura 4.5, proporciona uma afiação limpa e sem contaminação ao eletrodo.

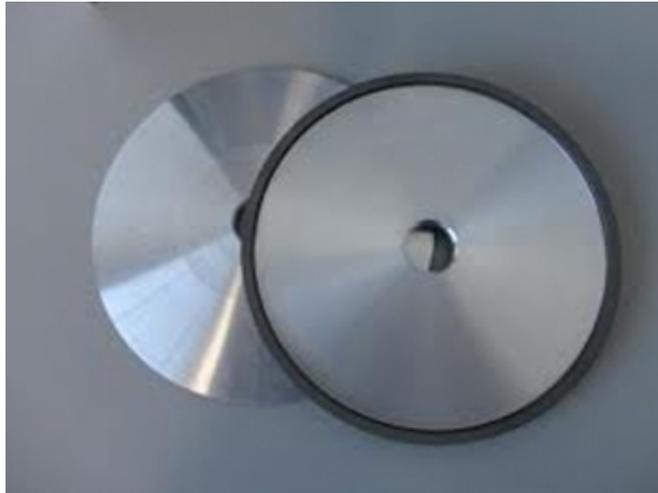


Figura 4.5: Disco diamantado 4,5"x2mm (Rev)

### Madeira

Para a base do protótipo, será adotada uma base de madeira, a fim de reduzir custos e diminuir vibrações provocadas pelo motor, em relação a outros materiais.

#### 4.2.2 Projeto Eletrônico

Para a elaboração do projeto eletrônico, foram necessários os seguintes materiais:

##### Arduíno Micro

O Arduíno Micro, Figura 4.6, é uma placa de microcontrolador baseada no ATmega328P. Para sua inicialização, é necessário conectá-lo a um computador através de um cabo USB. Ele possui 20 pinos de entrada e saída digitais - sendo que 7 podem ser utilizados como saídas PWM, 12 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia, um cabeçalho ICSP e um botão de reinicialização, de acordo com ard.

##### 4.2.3 L298n

Para controlar no Arduíno componentes que exigem maior tensão ou corrente, como leds de alta potência, relés, motores DC unidirecionais, é necessário recorrer a intermediários capazes de fazer a ligação entre a baixa capacidade de tensão e corrente do Arduíno e as demandas do circuito que está sendo controlado. Esse *driver* proporciona o controle de cargas indutivas, como



Figura 4.6: Arduíno Micro (ard)

relés, solenoides, motores CC e de passo. Com ele é possível controlar, independentemente a velocidade e rotação de dois motores CC ou um motor de passo, Figura 4.7.

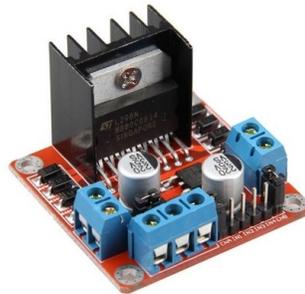


Figura 4.7: Módulo de ponte H dupla l298n (fil)

### Chave de fim de curso

Sensores de fim de curso, Figura 4.8, são dispositivos eletromecânicos que tem como função indicar que um motor ou a estrutura ligada ao seu eixo chegaram ao fim do seu campo de movimento. São sensores simples de trabalhar, principalmente na programação, já que funcionam como um interruptor de comandos elétricos.



Figura 4.8: Chave de fim de curso (Nascimento [2011])

## Display LCD

Um display de cristal líquido é um painel fino usado para exibir informações por via eletrônica, como texto, imagens e vídeos, Figura 4.9.



Figura 4.9: Display LCD fil

## Placa de fenolite

A placa de fenolite, Figura 4.10, consiste em uma placa virgem baseada em um componente denso, termofixo e isolante, o fenolite. Foi desenvolvida para projetos de circuitos impressos. Ela possui propriedades isolantes entre os terminais, com uma camada de cobre sobre sua superfície, apresentando altas propriedades condutivas, auxiliando em seus projetos e agregando maior segurança e praticidade para seu projeto, usi.



Figura 4.10: Placa de fenolite (usi)

## CI7805

O circuito integrado 7805, Figura 4.11, consiste num regulador de tensão, que mantém a tensão de saída constante mesmo havendo variações na tensão de entrada ou na corrente de saída, Wendling, 2009. Ele mantém a tensão fixa para 5 V fornecendo uma saída de 5 V sob corrente até 1 A.



Figura 4.11: CI 7805 Wendling, 2009

## Conectores macho/fêmea

São necessários para conexões eletrônicas de componentes em placas eletrônicas, conhecidos como *jumperes*, visto na Figura 4.12.



Figura 4.12: Conectores para ligações eletrônicas

## 4.3 Métodos

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto de protótipo para afiador de eletrodos de tungstênio automatizado para soldagem TIG. Para a realização do trabalho, foi realizado um esboço, e a partir dele o projeto final, no qual foi dividido em projeto mecânico e eletrônico.

### 4.3.1 Projeto Conceitual - Esboço do Projeto

Seguindo a metodologia proposta, foi feito um estudo sobre os temas necessários para o desenvolvimento do dispositivo. Com isso, percebendo-se as necessidades de mercado e a viabilidade do protótipo, foi possível criar um esboço sobre a ideia proposta.

O esboço foi dividido em partes, sendo elas:

1. A base do produto, servindo de sustentação para todo o resto. O material escolhido para isso foi madeira, com o intuito de reduzir os custos do projeto final, além de minimizar vibrações causadas pela rotação do motor.
2. A peça de suporte do eletrodo e dos motores, que farão tanto o controle do ângulo, quanto a rotação do eletrodo.
3. O disco diamantado, acoplado ao motor, responsável pela afiação, que será energizado pela rede elétrica.

O projeto conceitual é necessário para definir como tudo estará interligado dentro de uma arquitetura apropriada.

### 4.3.2 Desenvolvimento do projeto

Nesta etapa são mostrados os cálculos utilizados para definir os parâmetros do protótipo, tanto na mecânica, quanto na eletrônica do trabalho.

#### Projeto mecânico

Para um projeto mecânico, a melhor forma de representação é através de desenhos técnicos. Eles especificam todas as medidas e formas dos objetos, como pode ser visto no Apêndice B. Sendo assim, foi realizado um projeto e os elementos que compõe esse produto foram dimensionados e escolhidos segundo procedimentos ou critérios pré-estabelecidos, afim de unir aplicações do projeto para um conjunto de transmissão composto por um redutor de engrenagens. A rotina de trabalho foi dividida em:

1. Dimensionamento da redução fixa entre pinhão e cremalheira;
2. Dimensionamento das engrenagens para o mecanismo proposto;
3. Projeto do suporte de forma que satisfaça as dimensões desejadas;
4. Projeto da haste para a sustentação do eletrodo.

#### Cremalheira e Pinhão

A cremalheira e o pinhão tem o objetivo de modificar o torque e a velocidade angular. As mudanças são feitas com o uso de rodas de transmissão com diâmetro diferentes, chamado de redutor.

Através da Figura 4.13, é possível observar a relação entre o raio do pinhão e da cremalheira. A partir dela, será dimensionado o mecanismo das engrenagens.

A redução é dada pela relação de torque entre a entrada e saída, Equação 4.1.

$$i_a = \frac{z_c}{z_p} \quad (4.1)$$

Onde:

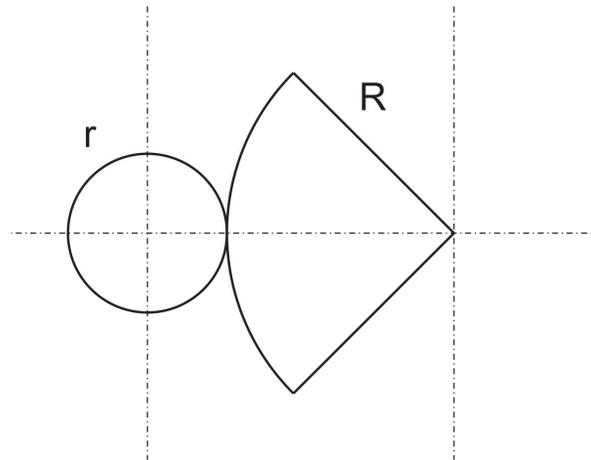


Figura 4.13: Esboço do pinhão e cremalheira

- $i_a$  = é a redução;
- $z_c$  = número de dentes da cremalheira;
- $z_p$  = número de dentes do pinhão.

Para definir os dentes da coroa, usou-se a redução do torque, Equação 4.9, e fixou-se um  $R = 17mm$  para o pinhão.

Sendo assim, como visto na Equação 4.2, tem-se:

$$z_c = 2,86 * 17 \approx 50 \quad (4.2)$$

Foi realizado o cálculo do torque, ou seja, momento torsor, dado pela Equação 4.3:

$$M_T = \frac{716200 * N}{n} = 29,908Kgf.mm \quad (4.3)$$

Onde:

- $\phi = 0,01mm$ ;
- $N = V * i = 24 * 0,8 = 19,2W = 0,0261cv$ ;
- $v = \pi\phi n = 0,0196m/s$ ;
- $n = 625rpm$ .

A partir disso, foi calculado o dimensionamento pela resistência dos dentes. Primeiramente, foi realizado o dimensionamento do módulo estático, dado pela Equação 4.4.

$$m = \sqrt[3]{\frac{2M}{\tau.z.k.\pi.y}} \quad (4.4)$$

Como se trata de uma aplicação leve, têm-se:

- $K = 6$ ;
- $y = 0,117$ ;
- $z = 17$ ;
- $\tau = 210MPa = 21,414Kgf/mm^2$

Sendo assim, tem-se, Equação 4.5:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 * 29,908}{21,414 * 17 * 6 * 0,117}} = 0,616mm \quad (4.5)$$

Em seguida, foi realizado o dimensionamento do módulo dinâmico, dado pela Equação 4.6:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2M_T * K_T * K_I}{Kzy\sigma K_A C_v}} \quad (4.6)$$

Sendo:

- $K = 6$ ;
- $K_T = 1,4$ ;
- $K_S = 3,6$ ;
- $K_I = 1,25$ ;
- $C_v = 1,0327$ .

Tem-se, visto na Equação 4.7:

$$m \geq \sqrt[3]{\frac{2 * 29,908 * 1,4 * 1,25}{6 * 17 * 0,117 * 21,414 * 1,0327}} = 0,7347mm \quad (4.7)$$

Como  $m_s \geq m_e$ , o usado será o  $m_s$ . O módulo de desgaste não foi calculado por se tratar de um protótipo, e assim não foi determinado uma vida útil para as engrenagens, usando um módulo comercial igual a 1.

Depois dos cálculos realizados, foi possível definir os parâmetros da engrenagem.

Para as dimensões do pinhão, têm-se:

- $\phi_p = m * z_p = 16mm$ ;
- $l = 6mm$  ;
- $b = 1,16mm$ ;
- $c = 1$ ;
- $h = 2,16mm$ .

Já para as dimensões da coroa, tem-se:

- $\phi_p = m * z_p = 50mm$ ;
- $l = 6mm$  ;
- $b = 1,16mm$ ;
- $c = 1$ ;
- $h = 2,16mm$ .

A partir disso, foi possível desenhar a cremalheira, Figura 4.14, no *software* de simulação.

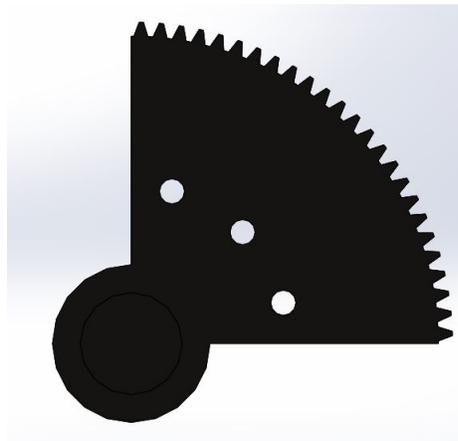


Figura 4.14: Cremalheira pela vista superior

Engrenagens podem falhar basicamente devido à tensão normal, e a que ocorre no pé do dente, devido a flexão causada pela carga transmitida. A fadiga no pé do dente causa a quebra do dente, o que não é comum em conjuntos de transmissão bem projetados. Geralmente, a falha que ocorre primeiro é a por fadiga de contato, Antunes, 2003.

### Motor de Passo

O motor de passo utilizado foi o PM55-48. Ele é um motor de passo 5V, que possui ângulo de  $7,5^\circ$  de giro e necessita de 48 passos para realizar uma volta completa.

Uma das grandes vantagens para sua escolha dá-se devido ao funcionamento por lógicas digitais, pois é através do acionamento em sequência das bobinas que se consegue adquirir movimento. Outro fator consiste em o motor posicionar-se através de ângulos, sendo fácil definir qual deverá ser seu posicionamento, tornando-se assim mais preciso.

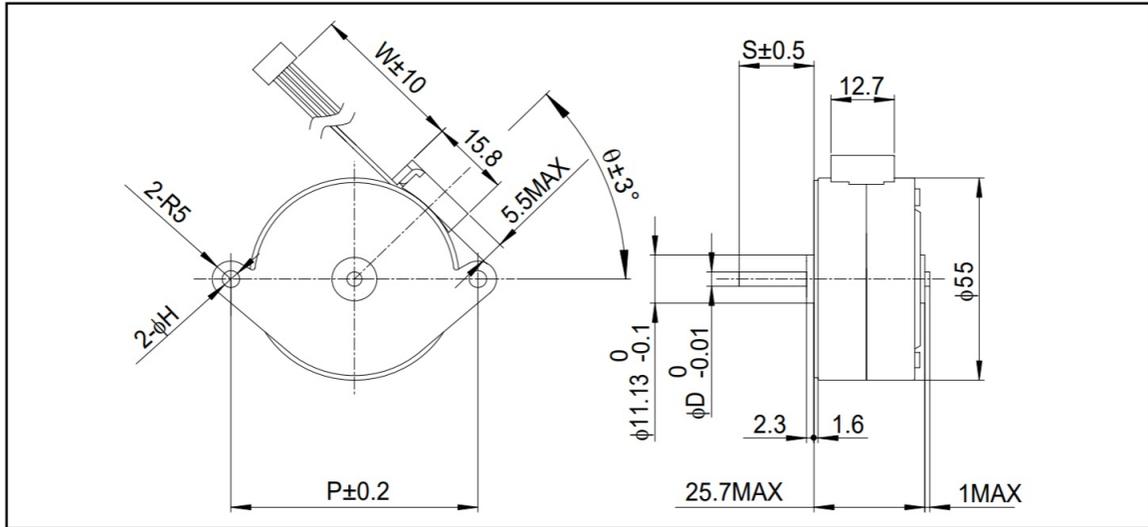


Figura 4.15: Desenho técnico do motor de passo

### Motor CC

Para a rotação do eletrodo durante a afação, foi definido o uso de motor CC a partir do que foi apresentado em capítulos anteriores. Ele possui alto torque na partida e em baixas rotações, facilidade em controlar a velocidade, além do pequeno tamanho dos conversores. Outro fator foi pelo baixo custo, e pela baixa complexidade da tarefa.

O Motor escolhido foi RF-300C, sendo um motor compacto do tipo CC, tendo como especificações:

- Tensão de operação: 3 a 5V;
- RPM: 3000 (sem carga);
- Consumo de corrente: 58 mA (com carga);
- Temperatura de operação: -10 a 60°C;
- Dimensões do motor: 24.5 x 12.5 mm;
- Dimensões do eixo: 6.5 x 2 mm.

De acordo com as especificações para motor CC, foi possível encontrar a velocidade de eixo do motor em radianos/s, através da Equação 4.8. Pelo datasheet do motor, encontramos seu torque máximo de 1,91Nmm.

$$\omega_{rad/s} = \omega_{rpm} * \frac{2\pi}{60} = 3000 * \frac{2\pi}{60} = 1130973,335rad/s \quad (4.8)$$

Suas dimensões podem ser vistas pela Figura 4.16.

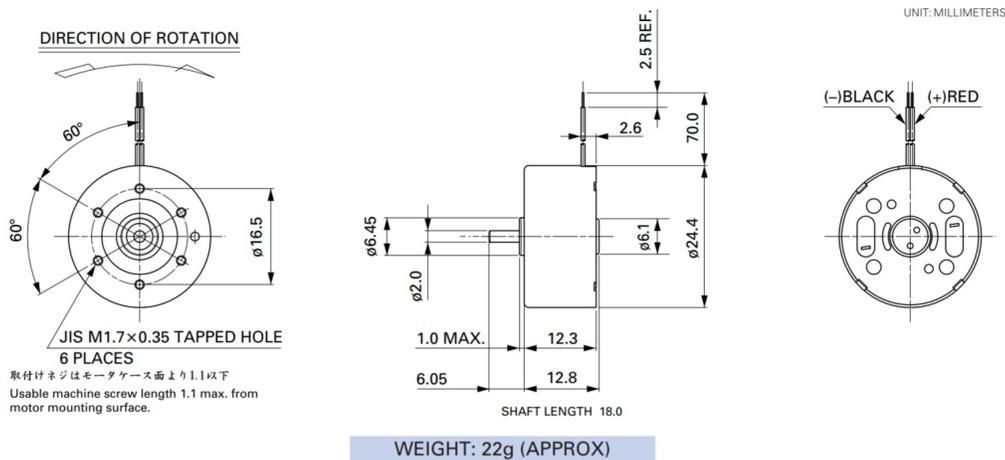


Figura 4.16: Desenho técnico do motor CC

### Motor CA

O disco diamantado será acoplado no eixo do motor CA, a fim de realizar a rotação do disco. Logo para dimensionar o motor a ser utilizado, basta calcular o torque gerado pela carga a ser movimentada. Ele é dado pela multiplicação da força de necessária pela afiação pelo raio do eletrodo.

O motor escolhido foi o W22 IR2, Figura 4.17. Com carcaça de ferro fundido, flexibilidade de forma construtiva, pés maciços e inteiriços e níveis de ruído e temperatura de operação reduzidos, os motores W22 IR2 são perfeitamente adequados para as mais diversas aplicações industriais.

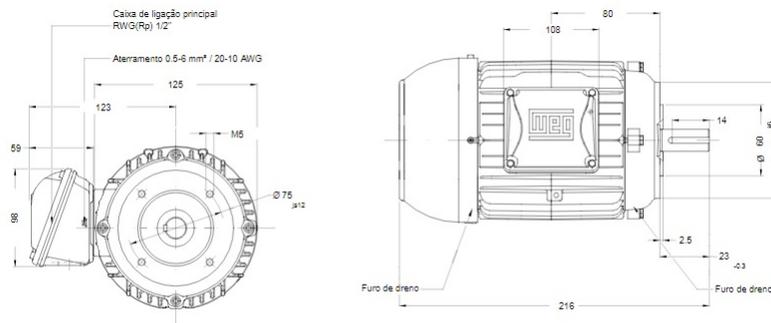


Figura 4.17: Desenho técnico do motor CA

Os softwares possibilitam projetar e visualizar de forma completa o projeto como um todo e em detalhes. Essas plataformas de projetos envolvem desde a parte mecânica até a integração eletrônica. Além disso, é possível prever eventuais colisões e a resistência mecânica gerada por cargas e esforços. Sendo assim, o mecanismo de afiação foi desenvolvido, como pode ser visto na Figura 4.18.

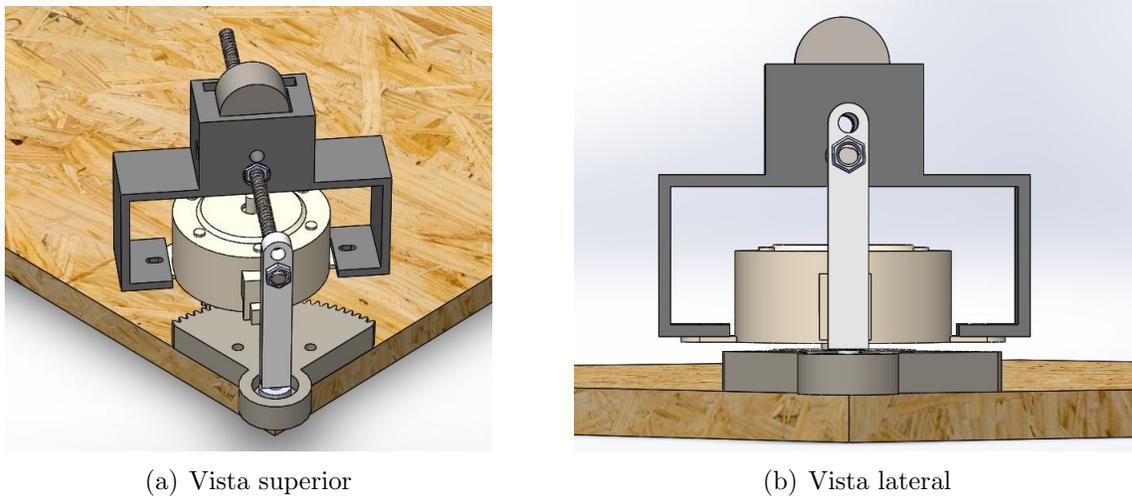


Figura 4.18: Projeto afiador realizado SolidWORKS

### Projeto Eletrônico

O fluxograma do projeto eletrônico para o afiador pode ser visto na Figura 4.19.

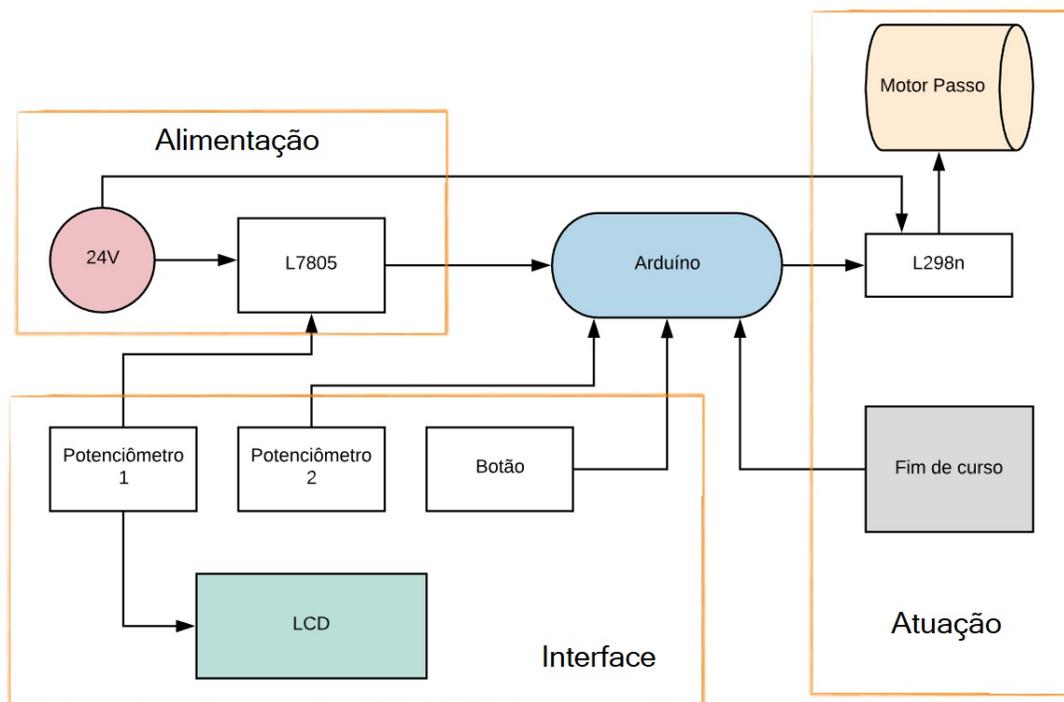


Figura 4.19: Esquema de funcionamento do afiador

A rotina de funcionamento baseia-se em:

1. Ler potenciômetro e converter medida;
2. Exibir ângulo no display;

3. Esperar botão ser apertado;
4. Mover motor anti-horário até fim do curso (ângulo 0);
5. Mover motor para ângulo selecionado;
6. Esperar fim da afiação.

O potenciômetro 2 está ligado na entrada analógica do microcontrolador, que tem uma resolução de 10 bits (valores de 0 a 1023). A partir disso, é possível converter o valor de tensão de entrada, ou seja, de 0 a 5v para um valor de ângulo.

Esse valor é mostrado em um display LCD, que possibilita a interação por parte dos usuários. Para a exibição do ângulo, é necessário o uso de um potenciômetro (1), com a finalidade de controlar o brilho da tela permitindo uma definição mais adequada de visibilidade para o visor.

Por conseguinte, o usuário aperta o botão que está ligado na porta digital do Arduíno, inicializando o procedimento de afiação.

Para realizar o controle do motor de passo, é necessário uso de um *driver*, ou seja, um conversor de sinal de comando para sinal de potência. O circuito integrado utilizado foi L298n.

O motor de passo é ligado no sentido anti-horário, até que o chave de fim de curso seja acionada. Esse procedimento serve para verificar a posição do motor, uma vez que não é possível saber qual sua posição anterior.

Por fim, é preciso converter o ângulo para a quantidade de pulsos necessários para se chegar a posição desejada. Para se estabelecer esta conversão, é necessário encontrar a relação entre o número de dentes da cremalheira com o pinhão, Equação 4.9.

$$K = \frac{D_{cremalheira}}{D_{pinhao}} = \frac{50}{17} = 2,86 \quad (4.9)$$

sendo

- $D_{cremalheira}$ : número de dentes da cremalheira;
- $D_{pinhao}$ : número de dentes do pinhão.

Em seguida, é preciso dividir o valor encontrado pelo ângulo de cada passo do motor, 7,5 no caso, Equação 4.10.

$$N_{passo} = \frac{7,5}{2,86} = 2,622 \quad (4.10)$$

onde

- $N_{passo}$  consiste na relação de dentes entre a cremalheira e o pinhão.

Sendo assim, cada passo do motor equivale à variação de 2,622 do ângulo  $\theta$ .

### Circuito regulador de tensão

Para a construção de alimentação do afiador, foi projetado um regulador de tensão com o intuito de fixar a tensão de saída. Através da Figura 4.20, é possível obter o comparativo entre as tensões de entrada e saída, bem como a corrente máxima de saída. O componente escolhido foi L7805, uma vez que o microcontrolador utilizado aceita no máximo 5V.

Reguladores de tensão 78XX – 79XX				
Código		Tensão máxima a aplicar na entrada (E)	Tensão de saída (S) regulada	Corrente máxima na saída
Positivo	Negativo			
7805	7905	35V	5V	1A
7806	7906	35V	6V	1A
7810	7910	35V	10V	1A
7812	7912	35V	12V	1A
7815	7915	35V	15V	1A
7818	7918	35V	18V	1A
7824	7924	40V	24V	1A

Figura 4.20: Comparativos entre 78XX e 79XX, Wendling 2009

A simulação foi feita no software PSpice, sendo o circuito mostrado na Figura 4.21. O *datasheet* do L7805, Instruments [2004], recomenda o uso de capacitores, a fim de eliminar ruídos. A carga de 25Ω foi colocada para simular a corrente necessária para alimentar o circuito.

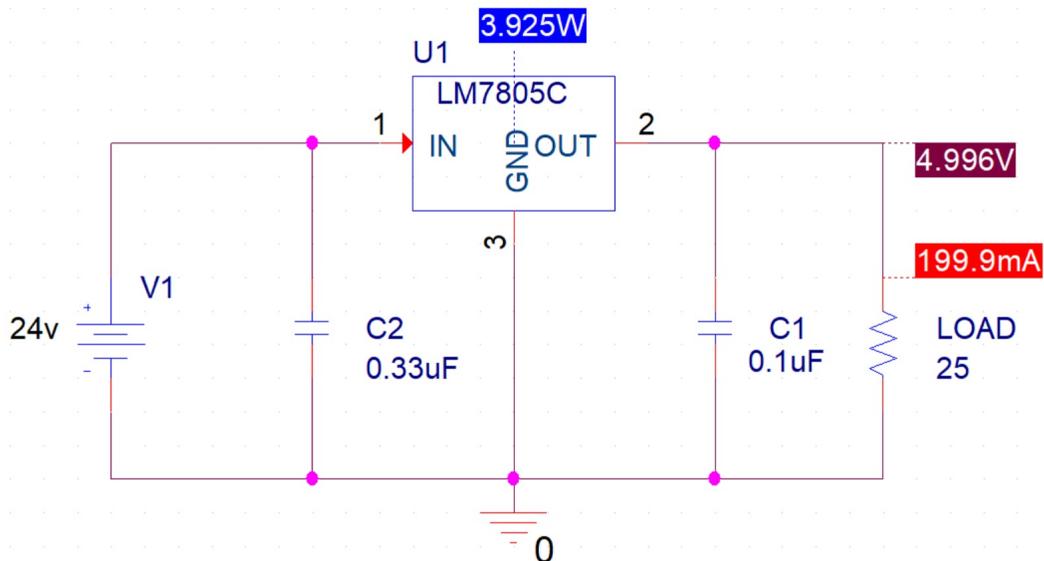


Figura 4.21: Circuito de regulador de tensão

É possível observar a potência dissipada evidenciada pelo *software*, no valor de 3,925W.

## Resultados

Após ser finalizado todo o projeto mecânico foi utilizado um software de desenho, Figura 5.1, para fazer a montagem do sistema. Foi escolhido um motor de passo, responsável pelo controle do ângulo. Ele necessita de *drivers* para o controle da velocidade e rotação, que foi feito pelo L298N. Ainda foi necessário conectar o *driver* ao Arduíno, que executará o programa. Além disso, também foi conectado um botão para a inserção do ângulo pelo usuário, que será mostrado por um display de LCD. Para a alimentação do Arduíno, foi utilizado uma fonte de 24V. A programação desenvolvida satisfaz todas as demandas do projeto.

Para afiação, será utilizado um eletrodo de tungstênio torinado, um dos mais utilizados atualmente, é ideal para soldagens de aço carbono e alimentado em corrente contínua. Apesar de ser um material radioativo, suas características são mais satisfatórias comparadas ao Cério, que possui propriedades parecidas. Os componentes individuais podem ser visualizados no Apêndices B.

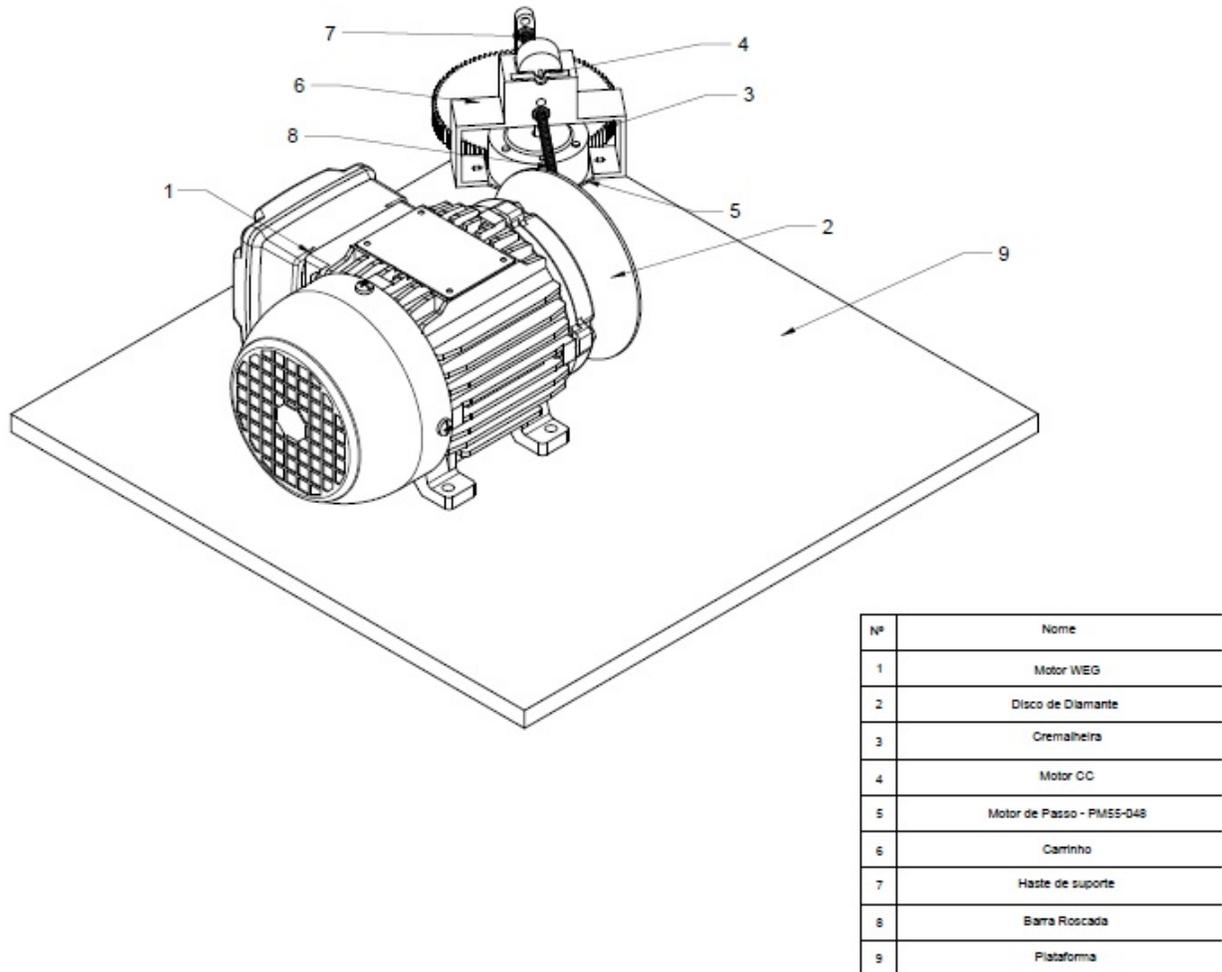


Figura 5.1: Projeto de afiador de eletrodos

## Comentários Finais e Trabalhos Futuros

O trabalho até aqui apresentado conseguiu satisfazer os objetivos propostos, sendo feito um projeto mecânico e elétrico, interligados em uma interface desenvolvida em Arduíno.

Ao se automatizar o processo há uma diminuição do contato do usuário com o dispositivo, além de uma melhoria no ângulo de afiação. Com isso, a qualidade dos produtos oriundos das atividades tende a aumentar. Por fim, o trabalho aqui exposto apresenta grande potencial de melhoria e pode ser estudado por outros alunos, afim de torná-lo ainda melhor.

### 6.1 Trabalhos Futuros

Podem ressaltar-se como possíveis trabalhos futuros:

- Melhorias mecânicas do protótipo;
- Construção do protótipo;
- Realização de uma análise metalográfica do cordão de solda, a partir da afiação de eletrodos, através do protótipo.

# Apêndice **A**

## Códigos

Código em Arduíno para escolha do ângulo de afiação.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Stepper.h>

LiquidCrystal lcd(12,11,7,6,5,4); //declarando objeto LCD
Stepper passo(48,8,9,10,13); //declarando objeto servo motor

//definição de constates

#define button 2
#define fimcurso 3
#define pot 14
#define CC 15
#define conv 0.088 //fator de conversão ângulo

void setup()
{
pinMode(pot, INPUT);
pinMode(button, INPUT);
pinMode(fimcurso, INPUT);
pinMode(CC, OUTPUT);
lcd.begin(16, 2); //iniciando objeto lcd
passo.setSpeed(60); //iniciando servo com velocidade rpm
}

//Declaração variáveis globais

float anguloREF;
void loop()
{
anguloREF = Interface();
```

```
if(anguloREF == 0 || anguloREF >= 91)
{
lcd.clear(); //limpar escrita LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("ANGULO INVALIDO!");
loop();
}
Zerar();
delay(500);
Afiar();
}
float Interface()
{
while(!button) //Enquanto o botão nao for clicado
{
lcd.clear(); //limpar escrita LCD
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("ANGULO ENTRADA:"); //Exibir mensagem
lcd.setCursor(6, 1);
anguloREF = analogRead(pot)*conv;
lcd.print((float)anguloREF); //Exibir angulo de referência
delay(30);
}
return anguloREF;
}
void Zerar()
{

passo.setSpeed(10); //Redefinir velocidade
lcd.clear(); //Reescrever mensagem
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Definindo Posicao");
while(!fimcurso) //Enquanto o curso não chegar no final
{
passo.step(-48); //Retornar motor
}

lcd.clear(); //Reescrever mensagem
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Posição zerada");
delay(2000);
lcd.clear(); //Reescrever mensagem
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Iniciando afiação");
}
void Afiar()
{
```

---

```
passo.setSpeed(45);
passo.step((int)anguloREF); //Vai para referência
delay(500);
lcd.clear(); //Reescrever mensagem
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Afiando...");
digitalWrite(CC,HIGH);
delay(10000);
lcd.clear(); //Reescrever mensagem
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Finalizado");
delay(10000);
}
```



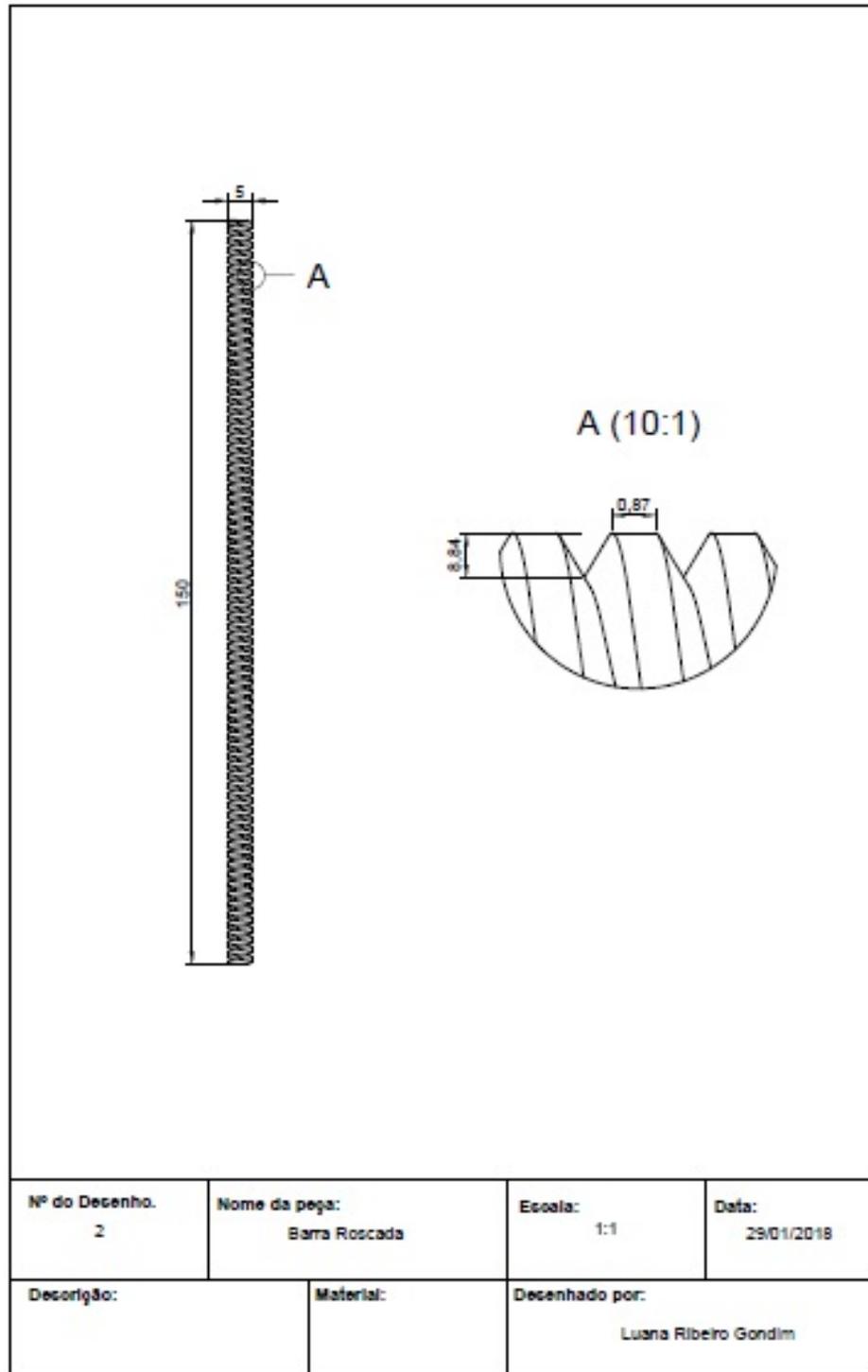


Figura B.2: Desenho técnico da barra roscada

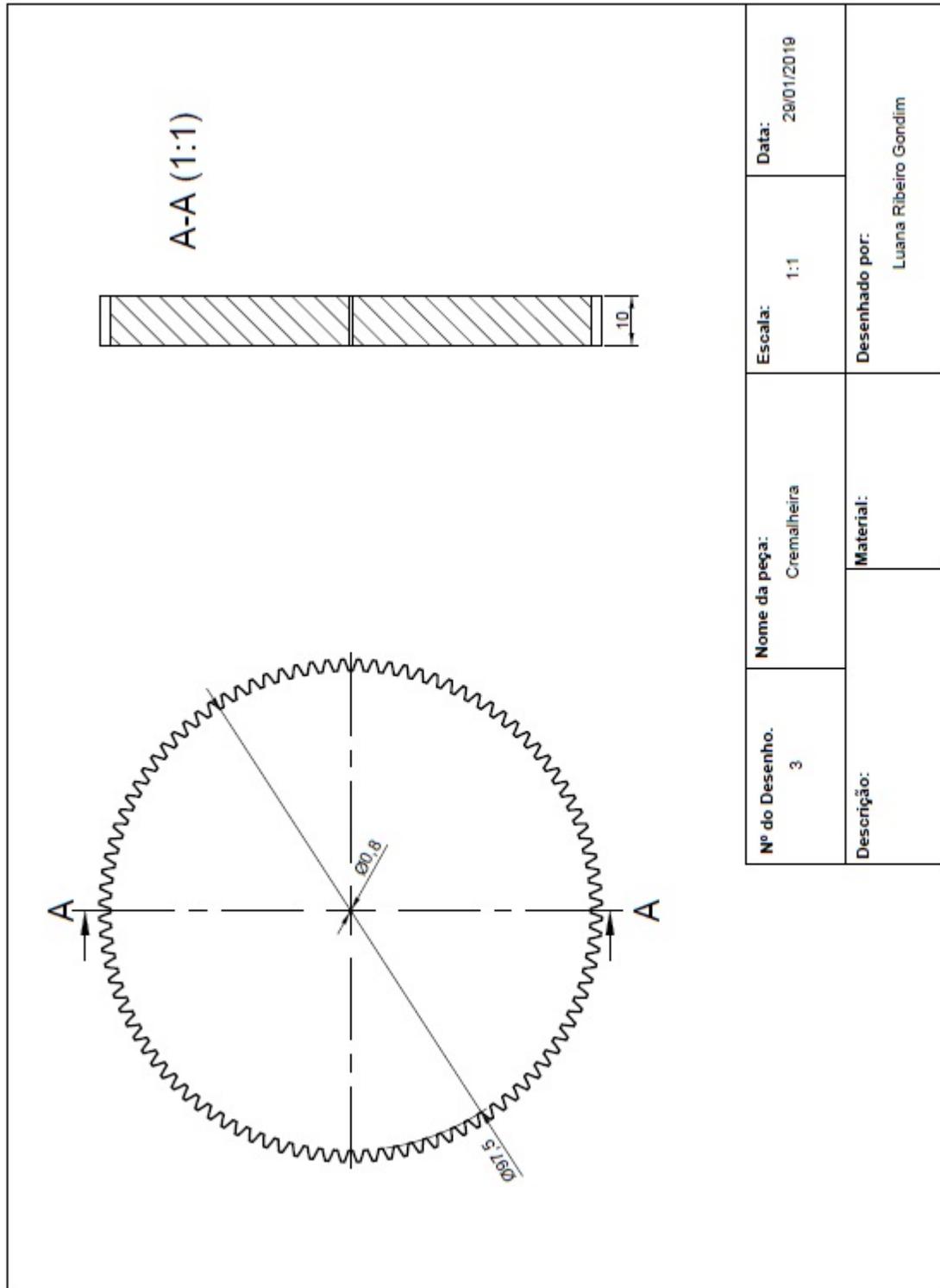


Figura B.3: Desenho técnico da cremalheira

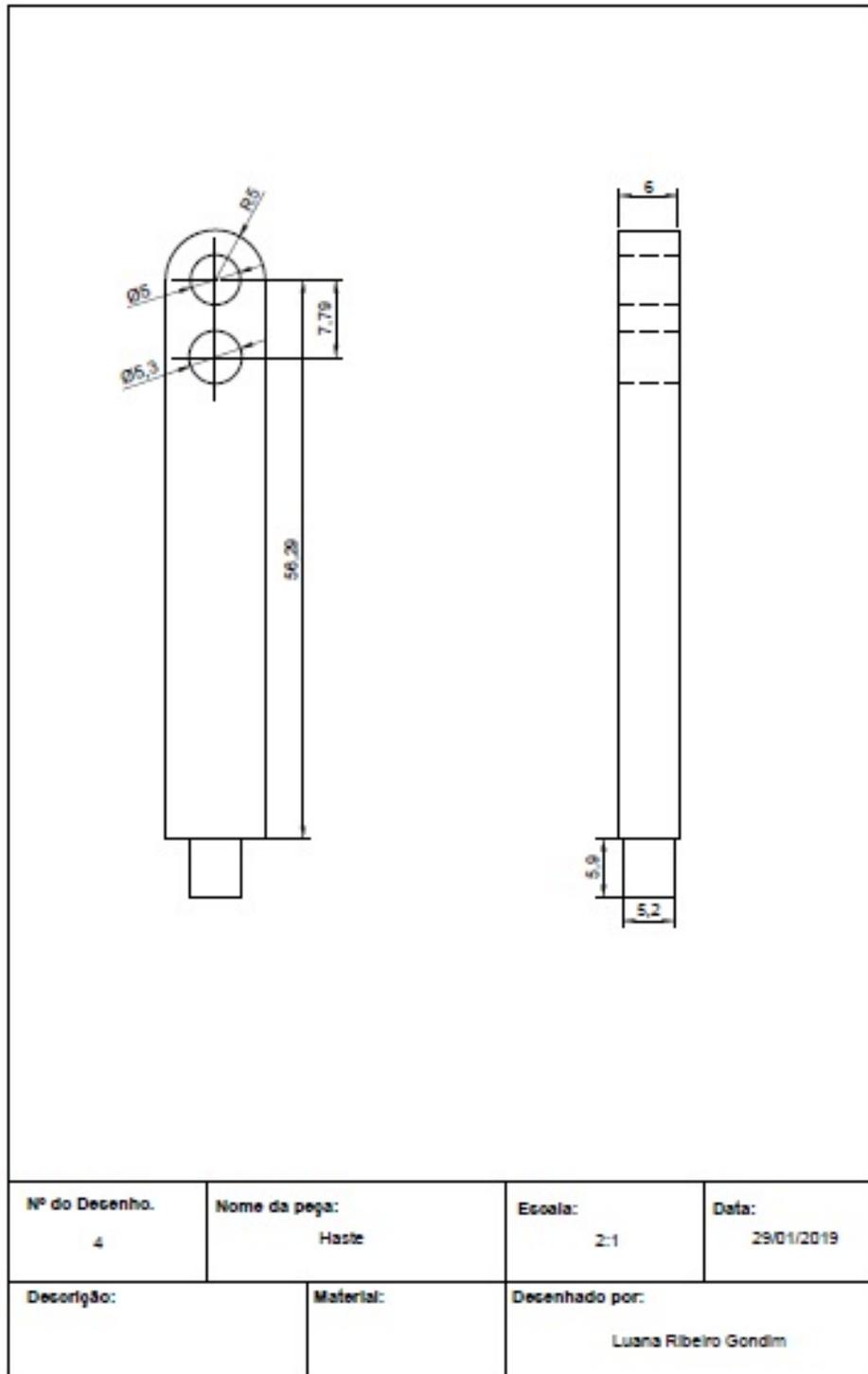


Figura B.4: Desenho técnico da haste para suporte do eletrodo

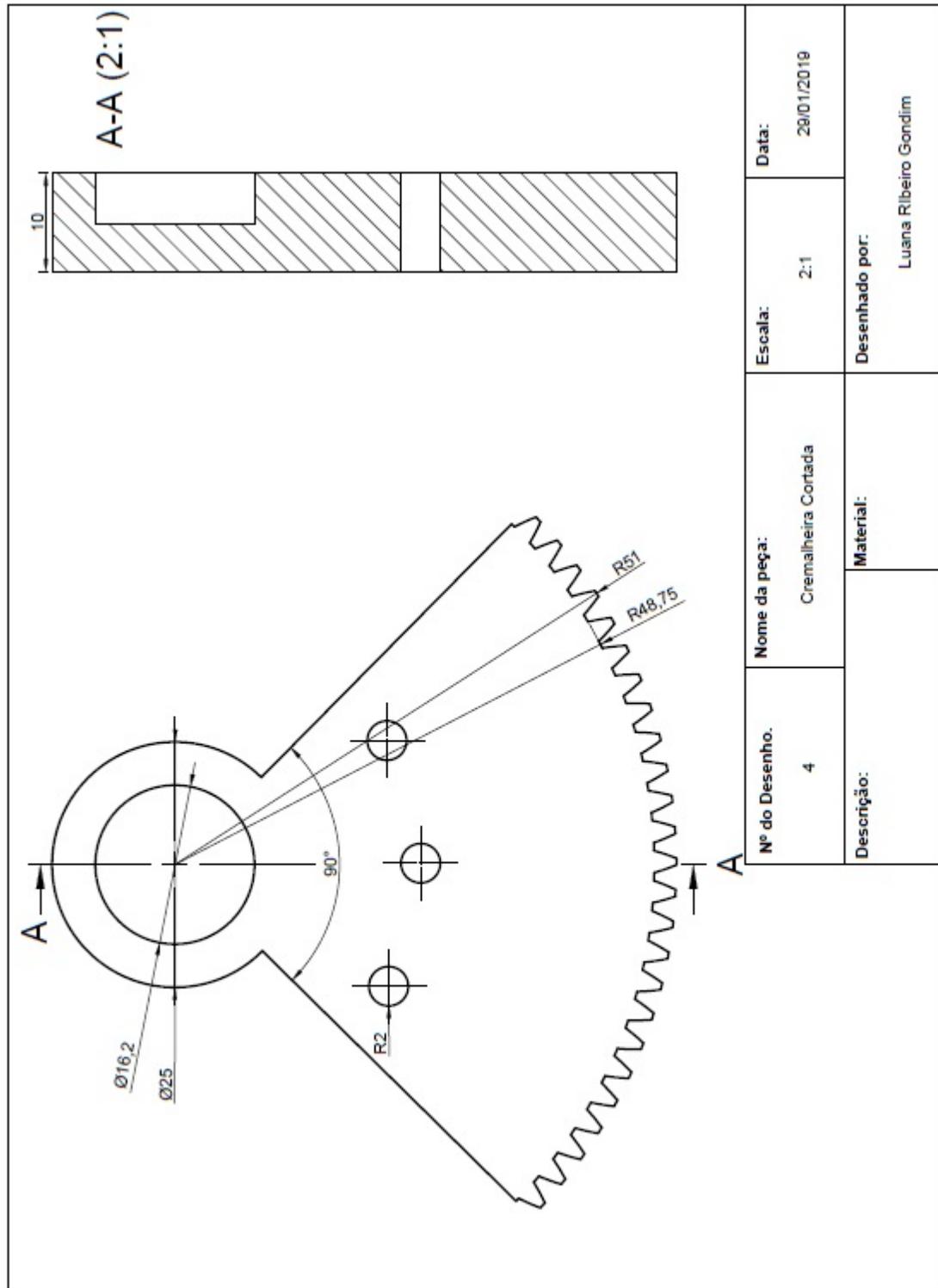


Figura B.5: Desenho técnico da cremalheira cortada

# Bibliografia

Auteliano Antunes. *Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos*.

Aço-Brasil. Instituto nacional do aço, 2015. URL <http://www.acobrasil.org.br/site2015/oaco.html>.

Stephen J. Chapman. *Fundamentos de maquinas eletricas*.

DBC-Oxigenio. Eletrodos de tungstenio, 2014. URL <http://guias.oxigenio.com/guia-de-soldagem-do-processo-tig-acdc-e-dc>.

David Halliday, Robert Resnick, and Kenneth S Krane. *Física. Vol. 3*. Grupo Gen-LTC, 2000.

Texas Instruments. 7805, 2004. URL <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>. original document from Harris Semiconductor.

JF Key. Anode/cathode geometry and shielding gas interrelationships in gtaw. *Weld J.*, 59(12): 364, 1980.

Sindo Kou. *Welding Metallurgy*. John Wiley & Sons, 2003.

J. D. F. MARIBONDO. Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidade de processamento de resíduos sólidos domiciliares. 2000.

MARcelo Fernando de Sousa Marques. Aplicação da soldagem na manutenção industrial. 2010.

Paulo J Modenesi and Paulo Villani Marques. Soldagem - introdução aos processos de soldagem. *Belo Horizonte*, 2000.

Paulo J Modenesi, Paulo V Marques, and Dagoberto B Santos. Introdução à metalurgia da soldagem. *Belo Horizonte: UFMG*, 2012.

- Paulo José Modenesi, Paulo Villani Marques, and Alexandre Queiroz Bracarense. *Soldagem-fundamentos e tecnologia*. Editora UFMG, 2005.
- G Nascimento. Comandos elétricos: Teoria e atividades. *São Paulo: Érica*, 2011.
- Manoel Messias Neris. Soldagem. 2012.
- Aleir Antonio Fontana de Paris. Relacao entre o angulo da ponta do eletrodo e a geometria do cordao de solda no processo de soldagem tig. 1986.
- Arildomá Lobato Peixoto. Soldagem. 2016.
- Jean Carlos Pereira. Metodologia de projeto aplicada à concepção de sistemas mecatrônicos a partir da elaboração de um modelo prescritivo de desenvolvimento. 2016.
- Louis Nashelsky Robert L. Boylestad. *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. Pearson Prentice Hall, 11th edition, 2013. ISBN 9788564574212.
- Joseph Edward Shigley. *Elementos de Máquinas, V.2, 3rd ed.* 2011. ISBN 8521603711.
- Cristiano Bertulucci Silveira. Motores cc. *Recuperado em* <http://https://www.citisystems.com.br/motor-cc/> Womack, JP, 2016.
- Sedra Smith. *Microeletronica*.
- Klas Weman. *Welding processes handbook*. Woodhead Publishing, second edition edition, 2012. ISBN 0857095102,9780857095107.
- Marcelo Wendling. Ci reguladores de tensão.