

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - CCET
Departamento de Engenharia Mecânica - DEMec

**PROJETO MECÂNICO DE UMA ESTAÇÃO BASE DE BAIXO
CUSTO PARA RASTREAMENTO DE SATÉLITES**

Orientador:
Alexandre Tácito Malavolta

Aluno:
Bruno Henrique Correa da Costa



São Carlos – SP – 2021



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEmec/CCET
Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905
Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 33/2021/CCEmec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso
Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNO HENRIQUE CORREA DA COSTA

PROJETO MECÂNICO DE UMA ESTAÇÃO BASE DE BAIXO CUSTO PARA RASTREAMENTO DE SATÉLITES

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 02 de dezembro de 2021

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Alexandre Tácito Malavolta
Membro da Banca 1	Sidney Bruce Shiki
Membro da Banca 2	Vitor Ramos Franco



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Tácito Malavolta, Docente**, em 02/12/2021, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sidney Bruce Shiki, Docente**, em 02/12/2021, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vitor Ramos Franco, Docente**, em 02/12/2021, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0541452** e o código CRC **810BBD2F**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.022735/2021-65

SEI nº 0541452

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET
Departamento de Engenharia Mecânica - DEMec

**PROJETO MECÂNICO DE UMA ESTAÇÃO BASE DE BAIXO
CUSTO PARA RASTREAMENTO DE SATÉLITES**

Bruno Henrique Correa da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de São Carlos, para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Tácito
Malavolta



São Carlos – SP – 2021

Costa, Bruno Henrique Correa da

Projeto mecânico de uma estação base de baixo custo para rastreamento de satélites / Bruno Henrique Correa da Costa -- 2021.
105f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Alexandre Tácito Malavolta

Banca Examinadora: Sidney Bruce Shiki, Vitor Ramos Franco

Bibliografia

1. Projeto Mecânico. 2. Estação Base de Rastreamento de Satélites. 3. Rotor de Azimute. I. Costa, Bruno Henrique Correa da. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, que encerra uma importante fase da minha vida e início de outra, às pessoas que mais me ajudaram a seguir em frente e superar todos os desafios: meu pai Antônio, minha mãe Margarete, meu irmão Pedro e minha namorada Pâmela. Sem eles, nada disso seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus pela graça da vida recebida, pela minha família, amigos e por todas as oportunidades que me foram concebidas ao longo da minha trajetória.

Aos meus pais, que, apesar da pouca formação acadêmica que tiveram, nunca deixaram faltar nada em nossa casa e sempre me incentivaram a buscar cada vez mais novos e maiores desafios, apesar de todas as dificuldades.

Agradeço também à minha namorada e melhor amiga Pâmela, por sempre estar ao meu lado, mesmo nos momentos de dificuldades, me amando, apoiando e fazendo com que a vida seja boa de ser vivida.

Aos meus amigos de curso, grandes companheiros desta jornada, meu agradecimento por todos os momentos vividos, pelas risadas que foram dadas, pelas lágrimas derramadas e também pelos ensinamentos e experiências adquiridas.

Aos meus professores, muito obrigado por toda a dedicação e pelos ensinamentos transmitidos. Vocês foram peças fundamentais para o meu crescimento pessoal e profissional.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente tiveram participação nessa jornada e que aqui não foram citados, meu muito obrigado.

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do universo, é um imenso prazer para mim dividir um planeta e uma época com você.”

Carl Sagan

RESUMO

Os avanços na área de telecomunicações por meio do uso de satélites, equipamentos artificiais que orbitam o planeta, acarretaram o surgimento de inovações tecnológicas que permitiram maior conectividade entre as pessoas e os equipamentos. O desenvolvimento de satélites de telecomunicações e da infraestrutura associada demandam elevados recursos técnicos e financeiros. Neste cenário, o presente trabalho possui como objetivo desenvolver um projeto mecânico de uma estação base de baixo custo para rastreamento, com foco no rotor e seus componentes eletromecânicos. Para isso, primeiramente foram levantadas as especificações técnicas e a busca literária sobre soluções existentes para posterior elaboração do projeto conceitual. Assim, foi realizada a seleção dos componentes, como motores de passo, drivers de controle, eixos, engrenagens e rolamentos, bem como a concepção de seus desenhos técnicos para fabricação. Desse modo, ao final do trabalho foi entregue o detalhamento necessário para auxiliar na construção futura de um protótipo, a fim de realizar testes de movimentação e controle e avaliar a possibilidade da configuração dos ângulos de posicionamento, para recebimento de telemetria de algum satélite selecionado em órbita, se configurando como uma solução viável e de baixo custo para uma estação de rastreamento, resultando em tecnologia brasileira de qualidade e desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial brasileiro.

Palavras-chave: Projeto Mecânico. Estação Base de Rastreamento de Satélites. Elevação sobre Posicionadores Azimute. Rotor de Azimute.

ABSTRACT

Advances in the telecommunications area through the use of satellites, an artificial equipment that orbit the planet, led to the emergence of technological innovations that allowed greater connectivity between people and equipment. The development of telecommunications satellites and the associated infrastructure requires high technical and financial resources. In this scenario, the present work aims to develop a mechanical design of a low cost base station for tracking, focusing on the rotor and its electromechanical components. For that, first the technical specifications and the literary search on existing solutions were raised for later elaboration of the conceptual project. Thus, the selection of components, such as stepper motors, control drivers, shafts, gears and bearings, was carried out, as well as the conception of their technical drawings for manufacturing. Thus, at the end of the work, the necessary details were delivered to assist in the future construction of a prototype, in order to carry out movement and control tests and evaluate the possibility of configuring the positioning angles, to receive telemetry from some selected satellite in orbit, configuring itself as a viable and low-cost solution for a tracking station, resulting in quality Brazilian technology and technological development in the Brazilian aerospace sector.

Keyword: Mechanic Project. Satellite Tracking Base Station. Elevation over Azimuth Positioners. Azimuth Rotor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estação terrena de Tanguá, Rio de Janeiro	16
Figura 2 – Brasilsat A1 e B1.	16
Figura 3 – Rotor Yaesu G-5500.	17
Figura 4 – Telescópio Hubble.	21
Figura 5 – Representação artística do satélite CBERS-4 em órbita.	21
Figura 6 – Representação simplificada das forças atuantes em um satélite.	23
Figura 7 – Representação da órbita geoestacionária.	24
Figura 8 – Estação Espacial Internacional (ISS).	25
Figura 9 – Configurações de CubeSats encontrados atualmente.....	26
Figura 10 – Relação percentual dos CubeSats mais utilizados atualmente.....	26
Figura 11 – NanoSatC-BR1: primeiro CubeSat brasileiro.	27
Figura 12 – Variações orbitais em função do tipo de satélite.....	28
Figura 13 – Funcionamento das comunicações via satélite.....	29
Figura 14 – Mecanismo proposto para o rastreamento.....	30
Figura 15 – Esquema do mecanismo proposto.....	30
Figura 16 – Representação dos ângulos de elevação e azimute.	31
Figura 17 – Rotor PELCO PT175-24P: vista externa.	32
Figura 18 – Rotor PELCO PT175-24P: vista interna.	32
Figura 19 – Exemplos de motores de passo encontrados atualmente.....	34
Figura 20 – Bobinas dentro de um motor de passo.	34
Figura 21 – Driver TB6600.	35
Figura 22 – Fonte chaveada 24V e 10A.	35
Figura 23 – Placas Arduino encontradas atualmente.....	36
Figura 24 – Eixo de um redutor vertical de velocidade de engrenagem sem-fim.	39
Figura 25 – Exemplos de rolamentos de esferas.	41
Figura 26 – Exemplos de rolamento de rolos cilíndricos.	41
Figura 27 – Rolamentos encontrados atualmente.....	41
Figura 28 – Exemplos de mancais de rolamentos.	41
Figura 29 – Fatores X, V e Y para mancais radiais.....	42
Figura 30 – Engrenagens primitivas.....	43
Figura 31 – Conjunto de cilindros externos.	43
Figura 32 – Conjunto de cilindros internos.	43
Figura 33 – Representação de um par de engrenagem.	44

Figura 34 – Relação fundamental de engrenamento para aumento de torque.....	44
Figura 35 – Relação fundamental de engrenamento para aumento da velocidade.....	44
Figura 36 – Exemplos de engrenagens encontradas atualmente.	46
Figura 37 – Motor de passo NEMA 23 TECMAF 13 kgf.cm.....	49
Figura 38 – Par de engrenagem do tipo coroa e rosca-fim para assadeiras de frango.....	50
Figura 39 – Eixo para o motor (APÊNDICE C).....	51
Figura 40 – Acoplamento flexível 8-10 mm.	51
Figura 41 – Coroa e rosca sem-fim (APÊNDICE D e H, respectivamente).	52
Figura 42 – Eixo para a base de giro do rotor (APÊNDICE E).....	52
Figura 43 – Mancal KP001 para o eixo do motor (ANEXO E).	52
Figura 44 – Mancal UCF-204 para o eixo da base (ANEXO G).	52
Figura 45 – Suporte 90° para motor de passo NEMA 23.....	52
Figura 46 – Suporte para o mancal KP001 (APÊNDICE I).....	52
Figura 47 – Sistema de transmissão do azimute: vista superior.	53
Figura 48 – Sistema de transmissão do azimute: vista inferior.	53
Figura 49 – Eixo para a elevação (APÊNDICE F).....	55
Figura 50 – Bucha do motor da elevação (APÊNDICE D).....	55
Figura 51 – Detalhe da fixação do motor da elevação na vertical.....	56
Figura 52 – Sistema de transmissão completo.....	56
Figura 53 – Sistema de movimentação dos motores: vista externa.	58
Figura 54 – Sistema de movimentação dos motores: vista interna.	59
Figura 55 – Sistema de movimentação dos motores: vista interna superior.	59
Figura 56 – Esquema elétrico de ligação dos componentes.	59
Figura 57 – Base do rotor em compensado de 10 mm (APÊNDICE J).	61
Figura 58 – Lateral do rotor em compensado de 10 mm (APÊNDICE K).	61
Figura 59 – Tampa do eixo da base de giro (APÊNDICE O).	62
Figura 60 – Tampa de fechamento do rotor em PETG 1 mm transparente.....	62
Figura 61 – Lateral da base de fixação da antena (APÊNDICE M).....	63
Figura 62 – Base de fixação da antena (APÊNDICE L).	63
Figura 63 – Tripé ET-690 para até 10 kg.	63
Figura 64 – Antena parabólica em alumínio com diâmetro de 750 mm.	63
Figura 65 – Montagem completa da carcaça do rotor.	64
Figura 66 – Montagem do rotor e da antena: vista frontal.	65
Figura 67 – Montagem do rotor e da antena: vista isométrica.	65
Figura 68 – Representação da EBRS com seus principais sistemas.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas dos principais aços encontrados.	38
Tabela 2 – Propriedades mecânicas de alguns aço-carbono.....	38
Tabela 3 – Informações técnicas do motor de passo NEMA 23 TECMAF 13 kgf.cm.	49
Tabela 4 – Informações técnicas do par de engrenagem coroa e rosca sem-fim utilizado.....	50
Tabela 5 – Resumo de componentes para o sistema de transmissão do azimute.	54
Tabela 6 – Resumo de componentes para o sistema de transmissão da elevação.	57
Tabela 7 – Resumo de componentes para o sistema de controle.....	60
Tabela 8 – Resumo de componentes para a carcaça do rotor.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Alternating Current
AEB	Agência Espacial Brasileira
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CAD	Computer Aided Design
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CLP	Controlador Lógico Programável
DC	Direct Current
EBRS	Estação Base de Rastreamento de Satélites
EMBRATEL	Empresa Brasileira de Telecomunicações
IDE	Integrated Development Environment
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISS	International Space Station
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 SATÉLITES ARTIFICIAIS	20
2.1.1 Princípios da Movimentação dos Corpos Celestes	22
2.1.2 Satélites com Órbita Geoestacionária	24
2.1.3 Satélites de Baixa Órbita	25
2.1.4 Satélites Heliossíncronos e Geossíncronos	27
2.2 ESTAÇÃO BASE DE RASTREAMENTO DE SATÉLITES	29
2.2.1 Sistema Irradiante	30
2.2.2 Sistema de Controle	31
2.2.3 Rotor	31
2.3 ELEMENTOS PARA PROJETO DE MÁQUINAS	33
2.3.1 Motores elétricos	33
2.3.1.1 Motor de passo	33
2.3.1.2 Sistema de controle para motor de passo	35
2.3.2 Sistemas de transmissão	37
2.3.2.1 Eixos de máquinas	37
2.3.2.3 Mancais de rolamentos	40
2.3.2.3 Engrenagens	42
3. SELEÇÃO DOS COMPONENTES DO ROTOR E DO SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DOS MOTORES	48
3.1 Sistema de transmissão de movimentos	48
3.1.1 Movimentação no sentido de azimute	51
3.1.2 Movimentação no sentido de elevação	55
3.2 Sistema de movimentação dos motores	58
3.3 Carcaça do rotor	61
3.4 Apresentação finalizada do rotor da EBRS	65
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICE A: Desenho Técnico – Eixo para o motor	73
APÊNDICE B: Desenho Técnico – Bucha do motor da elevação	74

APÊNDICE C: Desenho Técnico – Eixo da base de giro	75
APÊNDICE D: Desenho Técnico – Eixo da elevação	76
APÊNDICE E: Desenho Técnico – Engrenagem coroa.....	77
APÊNDICE F: Desenho Técnico – Engrenagem sem-fim.....	78
APÊNDICE G: Desenho Técnico – Suporte para o mancal KP001.....	79
APÊNDICE H: Desenho Técnico – Base do rotor	80
APÊNDICE I: Desenho Técnico – Lateral da carcaça do rotor	81
APÊNDICE J: Desenho Técnico – Base da antena.....	82
APÊNDICE K: Desenho Técnico – Lateral da antena.....	83
APÊNDICE L: Desenho técnico – Tampa do eixo da base de giro	84
ANEXO A – Datasheet Driver TB6600	85
ANEXO B – Datasheet Fonte Chaveada S-250-24	87
ANEXO C – Datasheet Arduino UNO	88
ANEXO D – Datasheet Motor de Passo TECMAF Nema 23 13 kgf.cm.....	96
ANEXO E – Rolamento AMI KP001	97
ANEXO F – Rolamento AMI KFL001	99
ANEXO G – Rolamento SKF UCF-204	101

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento tecnológico apresentado ao mundo no decorrer das últimas décadas alterou drasticamente a vida em sociedade da forma como era conhecida, em especial, com relação à comunicação. Atualmente, por meio de transmissões de sinal de rádio, televisão, telefonia móvel e a internet, informações vêm se tornando cada vez mais acessíveis, instantâneas e dependentes, em menor escala, de linhas de transmissão terrestre e da localização geográfica. A tudo isso se deve, principalmente, o desenvolvimento e utilização de satélites de telecomunicação.

Satélites de telecomunicação são equipamentos artificiais de avançada tecnologia que se movimentam ao redor do planeta Terra em diferentes configurações orbitais e possibilitam o compartilhamento de dados entre localidades diversas, praticamente em tempo real, amplificando o alcance, a velocidade, a quantidade e a qualidade da troca de informações. Este fato era considerado praticamente impossível até antes da década de 1960, quando as primeiras comunicações via satélite foram realizadas pelos Estados Unidos da América (ARROIO, 1995), difundindo-se, hoje, a nível global.

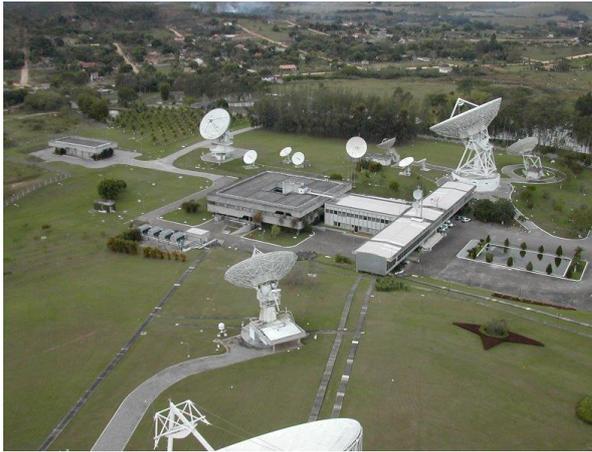
Mesmo através da conhecida importância que as comunicações via satélite apresentam, tanto para fins civis, como transmissão de sinais de rádio e televisão, voltados ao entretenimento, quanto para fins militares, como defesa contra possíveis ataques e monitoramento de inimigos, o Brasil ainda pouco se destaca no cenário aeroespacial. Segundo RUSSO (2013), até 2015 pouco mais de 40 satélites de telecomunicações estavam autorizados a operar em território brasileiro. Porém, todos eram controlados por empresas estrangeiras, significando um elevado risco do ponto de vista da segurança nacional, além de deixar o país totalmente dependente de países que possuem tal tecnologia.

Apesar desse cenário pouco favorável, ARROIO (1995) explica que o Brasil buscou, ao longo dos anos, se desenvolver e capacitar na área, por meio de pesquisas e incentivos, cada vez mais crescentes nas últimas décadas, em especial pelo governo federal. Assim, passos importantes no cenário aeroespacial nacional foram dados, como a construção da primeira estação de rastreamento (Figura 1), no final da década de 60 e a criação das agências reguladoras, como a EMBRATEL (Empresa Brasileira de Telecomunicações) e, posteriormente, ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações, que padronizaram e atuaram fortemente para a evolução do setor

Dessa forma, foi possível o desenvolvimento, em meados de 1980, dos primeiros

satélites geostacionários com tecnologia brasileira, o Brasilsat A1 e B1 (Figura 2), que possibilitaram a comunicação com maior qualidade e acessibilidade, principalmente ao Brasil e também países da América do Sul, bem como o fortalecimento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), referência global até hoje na área em que atua.

Figura 1 – Estação terrena de Tanguá, Rio de Janeiro.



Fonte: IIMA (2019).

Figura 2 – Brasilsat A1 e B1.



Fonte: ARAÚJO (2017).

De acordo com LEY (2009), os projetos envolvendo satélites artificiais são compostos pela junção de 3 subsistemas importantes; **i**) o espacial, composto principalmente pelo equipamento que será alocado em órbita bem como sua carga útil (sensores, por exemplo); **ii**) o segmento de transporte, responsável por levar os componentes da superfície terrestre até sua posição orbital e por fim, **iii**) o segmento solo, composto principalmente pela Estação Base de Rastreamento de Satélites (EBRS), cujo objetivo principal é realizar a comunicação, monitoramento e o controle do equipamento em órbita. Dessa forma, para que o sucesso da missão seja atingido, é imprescindível que todos os sistemas supracitados funcionem em conjunto, da melhor maneira possível.

Com relação a EBRS, RODRIGUEZ (2016) menciona que ela é constituída, basicamente, por três conjuntos importantes: **i**) o sistema irradiante, composto pela antena juntamente com suas interfaces, responsáveis pelo envio e recebimento das informações, por meio de ondas eletromagnéticas, ao satélite; **ii**) o sistema de controle, responsável por administrar a movimentação do conjunto e garantir o correto apontamento, em tempo real, entre a antena e o equipamento orbital, evitando perdas de sinal; e **iii**) o rotor, cuja função é sustentar a antena e proporcionar sua movimentação nas direções necessárias, com a precisão desejada.

Para que o rastreamento seja feito, portanto, de maneira assertiva, é imprescindível que

todos esses elementos estejam projetados adequadamente, especialmente o rotor da estação, sistema composto por componentes eletromecânicos, dimensionados para transmitir o movimento das fontes motoras de forma controlada, por meio de sistemas de transmissão, como engrenagens e eixos, para a antena, de modo que os ângulos desejados de posicionamento sejam atingidos.

Atualmente, alguns rotores comerciais podem ser encontrados para aquisição, porém, geralmente são importados e possuem custo elevado. Na Figura 3 pode-se visualizar, como exemplo, o rotor G-5500, fabricado pela empresa japonesa Yaesu, com preço médio em torno de £ 700,00, correspondendo a aproximadamente R\$ 5.200,00, sem contar taxas de importação.

Figura 3 – Rotor Yaesu G-5500.



Fonte: YAESU (2015).

Dessa forma, em virtude do elevado preço desses equipamentos, optou-se por buscar soluções à um custo mais acessível. Visto que os componentes presentes nos rotores, como motores e sistemas de transmissão de movimentos, possuem interfaces diretas com algumas das teorias apresentadas por disciplinas do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), optou-se por realizar, por meio desse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), o seu projeto mecânico, a fim de possibilitar, futuramente, sua construção e utilização em uma EBRS, para telemetria com satélites de baixa órbita (LEO, do inglês, *Low Earth Orbit*), além de novas pesquisas acadêmicas e desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial brasileiro.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a concepção de um projeto mecânico que se configure como uma solução viável, tanto técnica, quanto econômica, para uma EBRS de baixo custo, com foco principal no rotor e em seus componentes, para que assim, seja possível realizar, futuramente, a construção de um protótipo funcional que garanta o correto apontamento e rastreamento de satélites do tipo LEO.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, buscou-se entender as particularidades da dinâmica da movimentação de satélites do tipo LEO para que assim seja possível selecionar todos os componentes necessários, tanto elétricos quanto mecânicos, que devam estar presentes no rotor da estação, para que a mesma cumpra seu objetivo principal: ser uma solução viável e de baixo custo. Entre os principais componentes selecionados, temos:

- Sistemas de geração de potência, tanto elétrica, como fontes de energia, quanto mecânica, como os motores de passo.
- Componentes, como rolamentos, eixos e engrenagens, responsáveis por realizar a transmissão de potência e, conseqüentemente, movimentar a antena.
- Elementos para controle dos motores utilizados, fazendo com que a movimentação se dê da forma desejada.
- Projeto da estrutura física do rotor, na qual estarão alocados todos os itens anteriores.
- Modelagem 3D, via software CAD (*Computer Aided Design*), dos componentes selecionados.
- Detalhamento técnico necessário do projeto.

Além disso, registrar todo o processo com base em documentação apropriada, possibilitando que, em uma próxima etapa do trabalho, o protótipo possa ser construído, testado e, ajustado, caso necessário, contribuindo assim para a continuação do projeto da EBRS, visando utilização acadêmica, especialmente por pesquisadores da UFSCar.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho apresenta a seguinte divisão de capítulos:

- Capítulo 1 – Introdução: seção responsável por apresentar o escopo principal do trabalho, bem como a contextualização acerca do assunto e as motivações para realização do mesmo.
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: abordados os principais fundamentos teóricos necessários para elaboração do projeto, tanto relacionados aos sistemas de telecomunicações, quanto aos principais componentes elétricos e mecânicos presentes em um rotor.
- Capítulo 3 – Seleção dos Componentes do Rotor e do Sistema de Movimentação dos Motores: apresenta a etapa de seleção dos principais componentes necessários ao rotor, como eixos, engrenagens e motores, bem como a seleção dos drivers para possibilitar a movimentação do conjunto.
- Capítulo 4 – Considerações Finais e Conclusão: seção na qual são apresentadas as principais conclusões sobre o trabalho realizado, objetivos que foram atingidos, limitações e sugestões para projetos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para um melhor entendimento dos assuntos que serão tratados nesse trabalho, a seguir são apresentados os principais fundamentos teóricos acerca do tema.

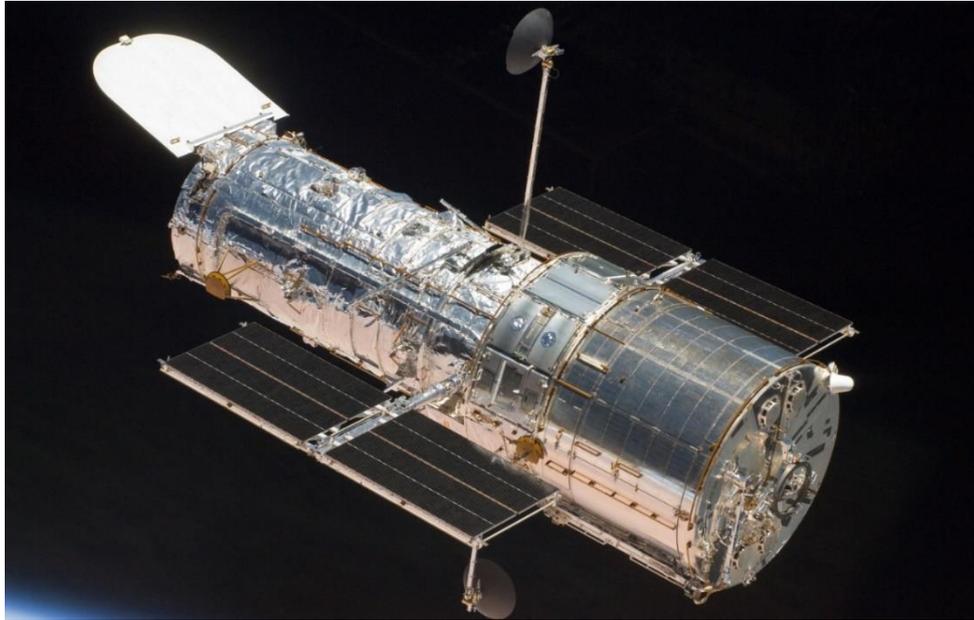
2.1 SATÉLITES ARTIFICIAIS

Os satélites artificiais são equipamentos projetados pelo homem cuja função está em orbitar algum corpo celeste, como o planeta Terra e transmitir dados diversos, possibilitando o acesso às principais tecnologias e informações que existentes nos dias atuais. Segundo o INPE (2017), esses equipamentos são classificados em 6 principais categorias, sendo elas:

- **Comunicação:** é o tipo mais conhecido de satélite, responsável por distribuir sinais de telefonia, internet e televisão e proporcionar o acesso à informação.
- **Navegação:** utilizados para orientação terrestre. Como principal exemplo, tem-se o Sistema de Posicionamento Global, GPS (do inglês, *Global Positioning System*), formado por uma constelação de 24 satélites com altitude média de 20.000 km acima do globo e controlado pelos Estados Unidos da América.
- **Meteorológico:** possuem função de monitorar o tempo e o clima na Terra, extraindo dados como a formação de nuvens, queimadas, efeitos de poluição entre outros.
- **Militar:** equipamentos utilizados principalmente para reconhecimento de territórios inimigos. Possuem sistemas embarcados de elevada precisão, como câmeras que conseguem fotografar possíveis alvos e que também funcionam no infravermelho, possibilitando identificações em períodos noturnos.
- **Exploração do Universo:** são os satélites que carregam equipamentos para observações e explorações astronômicas. Entre eles, o mais famoso é o telescópio Hubble, lançado em 1990 e que está acoplado à um satélite, proporcionando imagens do universo incríveis e únicas desde então.
- **Observação da Terra:** instrumentos com objetivo principal de monitorar o território terrestre. Para isso, também são equipados com acessórios de elevado desempenho, como câmeras e sensores. Um famoso satélite para esse fim é o CBERS, sigla para *China-Brazil Earth Resources Satellite*, desenvolvido em uma parceria Brasil-China e lançado em 07 de dezembro de 2014.

Nas Figuras 4 e 5 é possível visualizar alguns exemplos desses satélites para melhor compreensão.

Figura 4 – Telescópio Hubble.



Fonte: NASA (2009).

Figura 5 – Representação artística do satélite CBERS-4 em órbita.



Fonte: TECNODEFESA (2016).

Em virtude das possíveis aplicações, conforme supracitado, diferentes configurações orbitais para tais equipamentos são encontradas. Desse modo, na sequência serão apresentadas informações acerca desse assunto, bem como os princípios da movimentação dos satélites.

2.1.1 Princípios da Movimentação dos Corpos Celestes

Ao se tratar da cinemática e dinâmica das movimentações de objetos no espaço, entre eles os satélites artificiais, devem ser mencionados os importantes trabalhos desenvolvidos por dois grandes estudiosos: Johannes Kepler (1571 - 1630) e Isaac Newton (1643 - 1727).

Conforme OLIVEIRA e SARAIVA (2004) mencionam em seu trabalho, toda trajetória descrita por corpos celestes deve obedecer necessariamente às 3 Leis de Kepler do movimento planetário, sendo elas:

- **1ª Lei:** A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita.
- **2ª Lei:** A reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais, significando que a velocidade orbital não é uniforme e varia com a distância.
- **3ª Lei:** Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância. Assim, sendo P o período orbital, a o semieixo maior da órbita e K uma constante, a 3ª lei é expressa por:

$$P^2 = Ka^3 \quad (1)$$

Vale ressaltar também que, apesar das leis acima mencionarem a movimentação de planetas ao redor do Sol, elas são válidas e podem ser aplicáveis para descreverem a cinemática da movimentação de satélites artificiais ao entorno da Terra.

Ademais, com relação à dinâmica dessa movimentação, de forma geral, são encontradas duas componentes principais atuantes nos corpos: a força da atração gravitacional (F_g), descrita primeiramente por Isaac Newton (1687) em seu livro *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* e a força centrípeta (F_c), existente durante trajetórias curvilíneas. Com relação à primeira, têm-se que

$$F_g = \frac{GMm}{r^2} \quad (2)$$

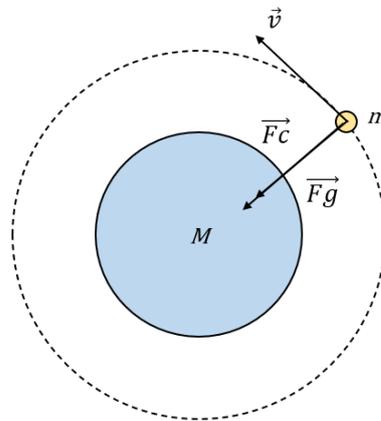
em que G , constante da gravitação universal, é igual à $6,673 \times 10^{-20} \text{ km}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$, M é a massa do planeta Terra, de $5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$, m a massa do satélite em questão e r é a distância entre o centro dos dois corpos. Além disso, tal força atuante no satélite está direcionada ao centro do

corpo em que ele orbita, no caso, a Terra. Já a força centrípeta (F_c) é dada por

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (3)$$

em que m é a massa do corpo em movimento enquanto sua aceleração é dada pela razão entre o quadrado da velocidade linear (v) e a distância entre o centro dos corpos (r). Nesse caso, a direção de atuação dessa força se dá ao centro de giro do movimento. Na Figura 6 é possível identificar, simplificadamente, as duas forças mencionadas.

Figura 6 – Representação simplificada das forças atuantes em um satélite.



Fonte: Próprio autor.

Além disso, para que um dado satélite permaneça em sua configuração orbital, se faz necessário que o somatório das forças atuantes no corpo seja igual a F_g . Dessa forma, têm-se a seguinte relação.

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad (4)$$

Por fim, da equação (4) calcula-se a velocidade mínima necessária para que um dado equipamento permaneça em órbita, dada por

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (5)$$

Atualmente, devido a crescente capacidade tecnológica e embasados pelos avanços científicos proporcionados pelas teorias anteriores, é possível alocar os satélites artificiais em diferentes configurações orbitais, cada uma delas escolhidas em virtude da função desejada e da área do planeta que se deseja se cobrir (ALAM; ISLAM; MANSOOR; (2018)).

De modo geral, as órbitas mais utilizadas são as geoestacionárias (GEO, do inglês, *Geostationary Orbit*) e as de baixa órbita (LEO, do inglês, *Low Earth Orbit*). Apesar disso, outras configurações também são encontradas e serão melhor apresentadas na sequência.

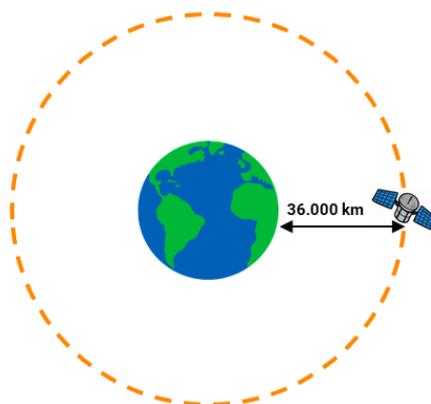
2.1.2 Satélites com Órbita Geoestacionária

Segundo RODDY (2001), as órbitas geoestacionárias permitem com que o satélite permaneça aparentemente imóvel no céu em relação à um ponto fixo da Terra. Para satisfazer essa condição, três requisitos principais devem ser atendidos:

- **1º requisito:** o equipamento deve se mover com velocidade translacional ao redor do planeta de valor igual à de rotação da Terra, além de se movimentar no mesmo sentido (oeste para leste).
- **2º requisito:** deriva diretamente da 2ª Lei de Kepler e pré-estabelece a necessidade de uma órbita circular.
- **3º requisito:** o ângulo de inclinação orbital, em relação ao equador, deve ser zero graus.

Assim, a única possibilidade para uma órbita geoestacionária é a que está presente no plano equatorial, com distância em relação a superfície do globo terrestre de aproximadamente 36.000 km. Na Figura 7 é apresentada uma representação dessa configuração orbital.

Figura 7 – Representação da órbita geoestacionária.



Fonte: Próprio autor.

Devido suas características, são amplamente utilizadas para serviços de comunicação global, como telefonia móvel e fornecimento de dados de internet, por exemplo. Isso se dá devido sua presença fixa em uma posição do espaço em relação à Terra, o que facilita o cobertura de grandes regiões de forma integral, sem perdas ou interrupção de sinal, fator extremamente necessário para a aplicação mencionada, além de não haver necessidade constante de correção do apontamento das antenas das estações terrestres.

2.1.3 Satélites de Baixa Órbita

Outro tipo importante de satélite encontrado hoje são os de baixa órbita (tipo LEO). PELTON (2012) explica que esses equipamentos se encontram em altitudes compreendidas entre 500 até 1200 km acima da superfície do globo. Devido à proximidade, movem-se em velocidades elevadas, com revoluções completas ao globo em períodos inferiores a 90 minutos. Em virtude disso, permanecem aproximadamente 10 minutos sobre uma dada região, antes de perder comunicação.

Dada essa característica, se faz necessária uma composição de vários equipamentos para garantir transferência de dados à um certo local sem interrupções, com números estimados que podem variar de 40 até 80 satélites (PELTON (2012)). Assim, são bastante utilizados para telefonia móvel e sistemas de monitoramento da superfície terrestre. Outro exemplo bastante conhecido desse tipo de satélite é a ISS, Estação Espacial Internacional (do inglês, *International Space Station*), que orbita nosso planeta em altitudes que variam de 330 até 420 km (Figura 8).

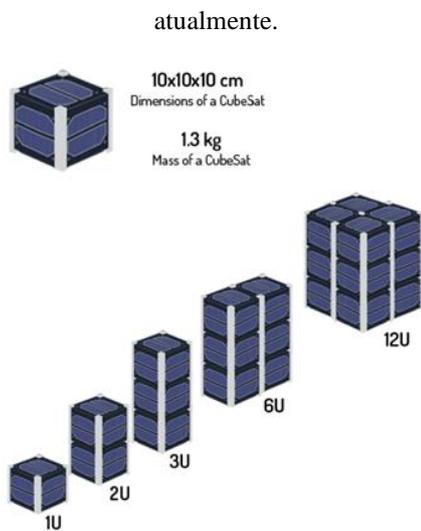
Figura 8 – Estação Espacial Internacional (ISS).



Fonte: NASA (1998).

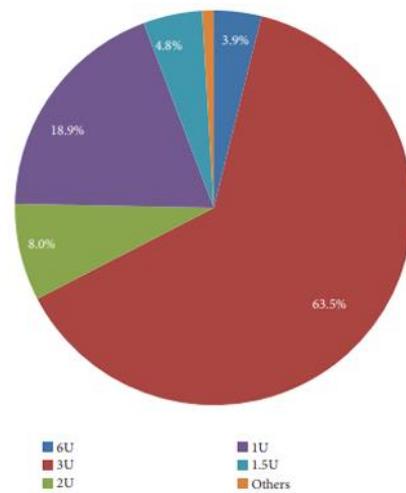
Ainda com relação à essa configuração orbital, uma classe de satélites muito utilizada são os CubeSats. Segundo VILLELA, THYRSO e BRANDÃO (2016), o termo CubeSat deriva da junção da palavra cubo, que descreve sua geometria, com o início da palavra satélite. Dessa forma, esses equipamentos são constituídos por formas cúbicas, com arestas medindo 10 cm e massa de até 1,3 kg. Ainda, cada unidade é denominada por 1U, podendo ser encontradas em outras configurações, melhor detalhadas nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Configurações de CubeSats encontrados



Fonte: VILLELA, et al. (2019).

Figura 10 – Relação percentual dos CubeSats mais utilizados atualmente.

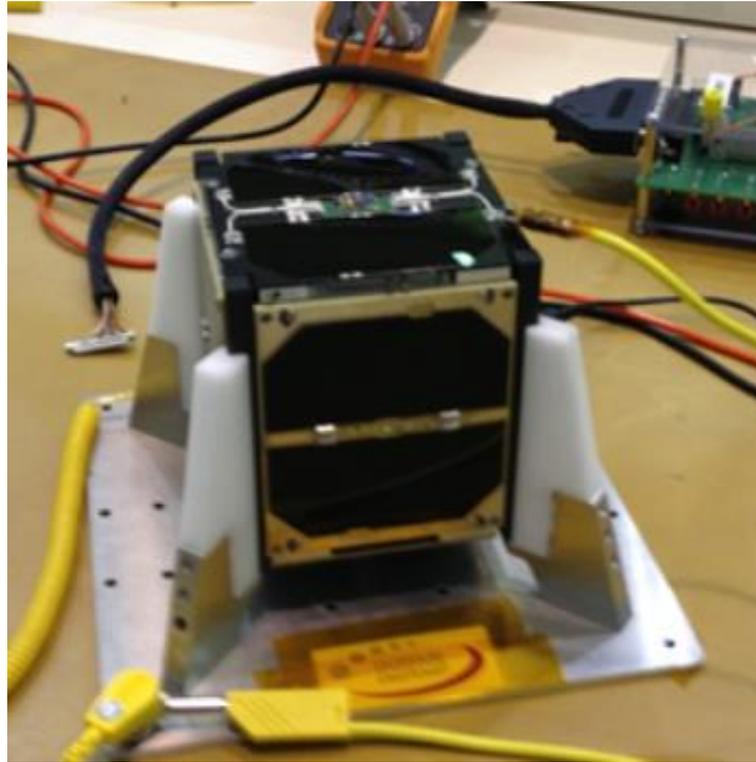


Fonte: VILLELA, et al. (2019).

Inicialmente, esses equipamentos foram desenvolvidos para fins acadêmicos e de pesquisa e acabaram se configurando como uma solução mais viável economicamente quando comparada à satélites maiores. VILLELA, THYRSO e BRANDÃO (2016) ainda descrevem em seu trabalho que, dependendo da aplicação, o projeto e construção desses satélites podem ser realizados em períodos de até 18 meses, custando menos de US\$ 100 mil.

Com relação ao Brasil, VILLELA, THYRSO e BRANDÃO (2016) também mencionam o crescente número de pesquisas e desenvolvimentos na área. Entre as principais organizações, tem-se o INPE, Agência Espacial Brasileira (AEB), o Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) e também algumas instituições acadêmicas, como a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Na Figura 11 observa-se o NanoSatC-BR1, primeiro CubeSat brasileiro, desenvolvido por pesquisadores de diversas organizações brasileiras e lançado em 2014.

Figura 11 – NanoSatC-BR1: primeiro CubeSat brasileiro.



Fonte: INPE (2014).

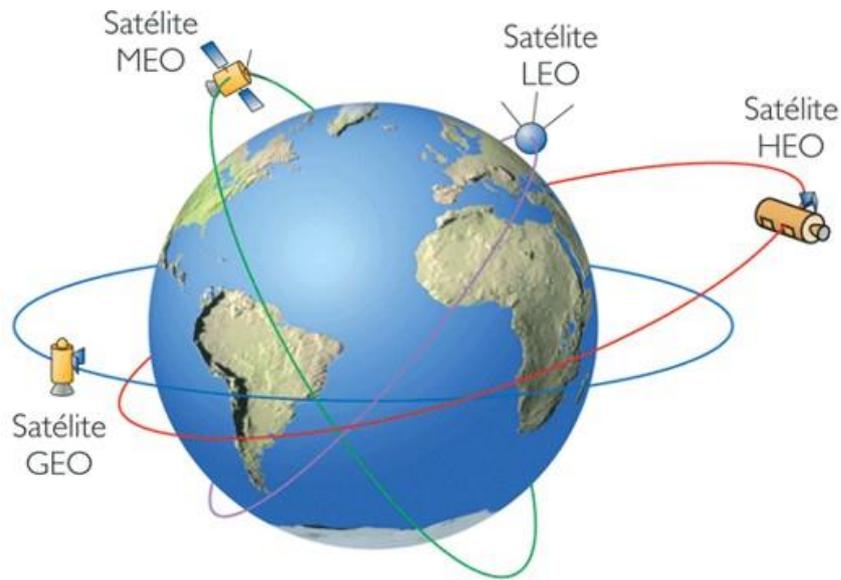
2.1.4 Satélites Heliossíncronos e Geossíncronos

Além disso, outras possibilidades também são encontradas, como as órbitas heliossíncronas (do inglês, *Sun-synchronous Earth Orbit*) e também as geossíncronas (do inglês, *Geosynchronous Earth Orbit*). Em relação à primeira, o equipamento se move em sincronia com o Sol, de tal forma que a incidência solar sobre o mesmo não se altera ao longo do tempo. É bastante utilizada em satélites de sensoriamento terrestre e de verificação das condições climáticas, como os meteorológicos.

Já em relação às órbitas geossíncronas, os satélites se movem em sincronia com o planeta, com a mesma velocidade que a da Terra, semelhante aos geostacionários. A diferença se encontra no plano orbital, que não é o mesmo do equador. São bastante utilizados também em aplicações de transmissão de sinais de televisão e para comunicação via telefonia.

A Figura 12 sintetiza, de forma geral, todas as configurações orbitais mencionadas anteriormente, bem como outras possibilidades que podem ser encontradas.

Figura 12 – Variações orbitais em função do tipo de satélite.



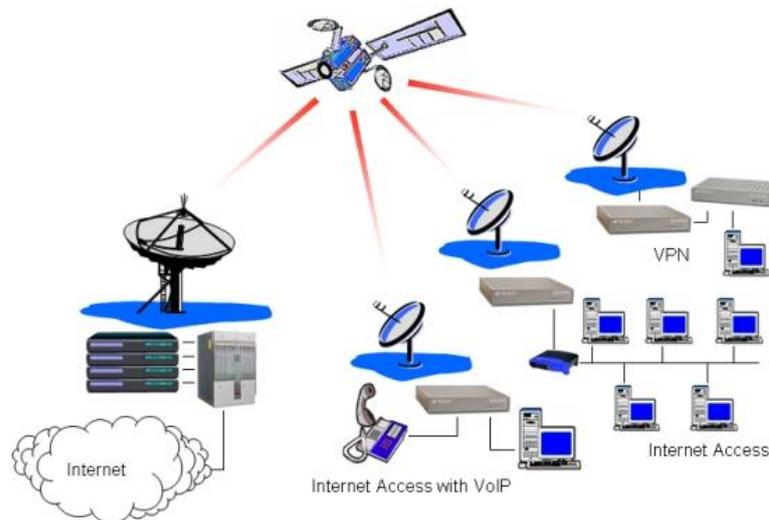
Fonte: ADÃO (2020).

Ainda sobre o assunto orbital, é importante salientar a existência da necessidade constante de ajustes na movimentação do satélite para que o mesmo cumpra, a todo momento, a movimentação para o qual foi projetado. Isso provém dos desvios gravitacionais, resultantes da proximidade da Lua e do Sol e também da variação no formato da Terra e da sua concentração de massa, que não é perfeitamente uniforme (RODDY (2001)). Além disso, devido à proximidade com o planeta, forças de arrasto na estrutura do equipamento se fazem presentes, o que também contribui para a variação orbital e, conseqüentemente, reforça a necessidade já informada.

2.2 ESTAÇÃO BASE DE RASTREAMENTO DE SATÉLITES

De modo geral, a comunicação via satélite acontece da seguinte forma: uma Estação Base de Rastreamento de Satélites (EBRS), localizada na Terra, controla e transmite informações por meio de ondas eletromagnéticas para algum satélite selecionado, no qual através de um receptor e um transmissor, o equipamento coleta os dados e os envia para alguma localização desejada, disponibilizando-os posteriormente. A Figura 13 exemplifica melhor essa metodologia de funcionamento.

Figura 13 – Funcionamento simplificado das comunicações via satélite.



Fonte: SANTOS (2011).

PELTON (2012) descreve a importância que o rastreamento e a comunicação possuem para o sucesso de uma missão espacial. Basicamente, os sistemas de rastreamento são projetados para serem capazes de acompanhar, automaticamente, a movimentação do satélite durante sua trajetória sobre a região da EBRS, de modo a não perder a conexão.

Para que isso seja possível, com base em informações de posicionamento do satélite, denominadas por Coordenadas Keplerianas (RODRIGUEZ (2016)), o sistema em questão, composto simplificada pelos elementos irradiantes, rotor e o controlador, realiza o apontamento para a localização desejada no céu e, com o auxílio de um algoritmo de computacional, movimenta-se em conformidade com o satélite, permanecendo-se alinhado mesmo em eventuais choques que venham a ocorrer, garantindo a telemetria e o controle.

MRAK, KUHAR e VILHAR (2015) descrevem em seu trabalho um projeto de baixo custo para um sistema de rastreamento de satélites com órbita geossíncrona. O mesmo pode ser

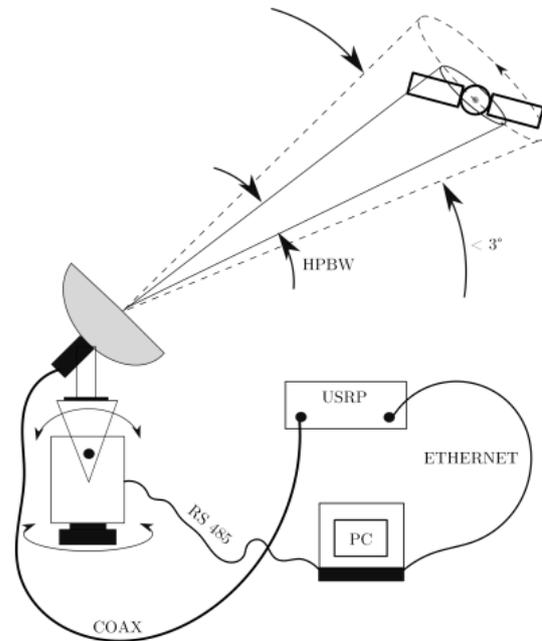
melhor visualizado com base nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 – Mecanismo proposto para o rastreamento.



Fonte: MRAK, KUHAR e VILHAR (2015).

Figura 15 – Esquema do mecanismo proposto.



Fonte: MRAK, KUHAR e VILHAR (2015).

De acordo com RODDY (2001), quanto maior for o alinhamento entre a fonte transmissora e a receptora, maior será a eficiência e a qualidade da comunicação estabelecida. Além disso, segundo KUGA, RAO e CARRARA (2011), desvios da ordem de $0,5^\circ$ já implicam em perda de sinal, fator extremamente prejudicial para o sucesso da missão.

Dessa forma, a existência de um sistema de rastreamento eficaz nas estações se faz necessário em virtude das características de funcionamento já apresentadas. Portanto, os sistemas mencionados apresentam grande aplicabilidade, pois garantem o apontamento dos equipamentos com precisão e baixa ocorrência de erros, proporcionando elevada qualidade na transmissão de dados.

Dado o exposto, os tópicos a seguir possuem o objetivo de descrever, brevemente, a composição e o funcionamento dos três principais sistemas presentes em uma EBRS, com foco principal ao rotor da estação.

2.2.1 Sistema Irradiante

RODRIGUEZ (2016) apresenta em seu trabalho que o sistema irradiante de uma EBRS

é composto basicamente por dois componentes principais: a antena, condutor responsável por transmitir e receber energia por meio de ondas eletromagnéticas; e o transceptor, componente responsável por gerar a energia que será enviada ao satélite e, ao mesmo tempo, receber a energia do mesmo e direcioná-la para uma central de processamento.

2.2.2 Sistema de Controle

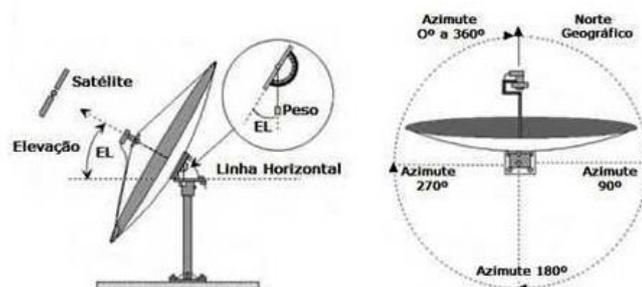
O sistema de controle é parte fundamental para o correto funcionamento de uma EBRS. Basicamente, é constituído por um controlador, como um computador ou ainda um microcontrolador, além de uma interface para o usuário utilizar. De modo geral, através da inserção de coordenadas de posicionamento de algum satélite no software de controle, são transmitidos os comandos elétricos necessários para os motores da estação de modo que seja realizado o apontamento da antena e, conseqüentemente, o rastreo, em tempo real, do equipamento em órbita.

2.2.3 Rotor

O rotor de uma EBRS é o sistema responsável por realizar a movimentação controlada dos componentes do sistema irradiante, como a antena, em duas direções principais: a direção de azimute e também a de elevação.

ESTEVES (1980) explica que o azimute é ângulo formado entre o ponto em que se localiza a EBRS, no plano horizontal, e o círculo vertical que contempla o satélite em questão, medindo-se sempre no sentido horário. Já o ângulo de elevação é medido entre o plano horizontal da estação e a direção apontada pela antena, na vertical. Tais informações podem ser melhor visualizadas na Figura 16.

Figura 16 – Representação dos ângulos de elevação e azimute.



Fonte: ESTEVES (1980).

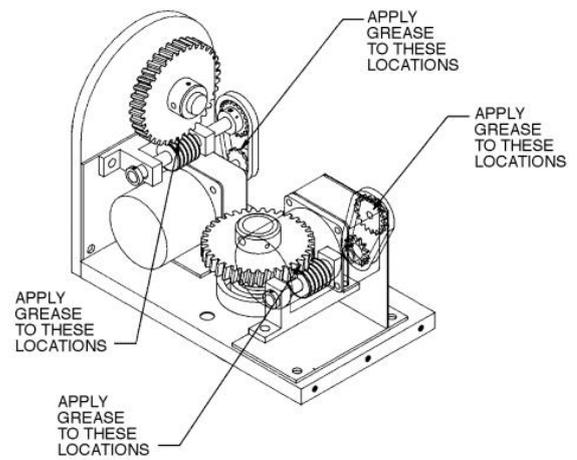
Embora o rotor possa ser encontrado em configurações de menor ou maior proporção, para estações amadoras e profissionais, respectivamente, basicamente são compostos por componentes elétricos e mecânicos, como motores de passo, drivers de controle, eixos, rolamentos e engrenagens, que realizam a movimentação desejada. Nas Figuras 17 e 18 tem-se como exemplo de sistema de menor escala o rotor modelo PT175-24P, fabricado pela PELCO, projetado para antenas de até 9 kg.

Figura 17 – Rotor PELCO PT175-24P: vista externa.



Fonte: PELCO (1998).

Figura 18 – Rotor PELCO PT175-24P: vista interna.



Fonte: PELCO (1998).

2.3 ELEMENTOS PARA PROJETO DE MÁQUINAS

Conforme apresentado anteriormente, o rotor de uma EBRS é um sistema composto principalmente por componentes eletromecânicos, como as fontes de alimentação de energia, os motores elétricos e também os sistemas de transmissão. Dessa forma, serão descritos, simplificada e, o funcionamento dos principais componentes que serão empregados no projeto do rotor, bem como alguns conceitos teóricos necessários.

2.3.1 Motores elétricos

Segundo PATSKO (2006), motores elétricos são equipamentos que transformam energia elétrica em energia mecânica rotacional, por meio da utilização de ímãs e indutores em seu interior. Podem ser projetados tanto para serem utilizados em tensão contínua (DC, do inglês, *Direct Current*) como em tensão alternada (AC, do inglês, *Alternating Current*) e são encontrados em diferentes tamanhos e configurações, possibilitando sua aplicação em uma infinidade de projetos diversos. Um dos motores elétricos de maior importância atualmente são os motores de passo, que serão melhor apresentados na sequência.

2.3.1.1 Motor de passo

BRITES e SANTOS (2008) descrevem os motores de passo como sendo dispositivos capazes de converterem pulsos de energia elétrica em energia mecânica, realizando movimentos angulares no eixo de saída do componente, em pequenos incrementos, denominados “passos”, para serem utilizados. Além disso, são encontrados em diferentes configurações de tamanho e força e amplamente utilizados em projetos de máquinas, como impressoras 3D e fresadoras CNC.

Devido ao fato de a energia ser utilizada na forma de pequenos pulsos, são dispositivos que apresentam elevada precisão em seus movimentos, com erros não cumulativos e que não ultrapassam a ordem de 5%. De modo geral, cada pulso corresponde a um giro de $1,8^\circ$ do eixo do motor, valor esse que pode ser diminuído configurando-se o driver de controle.

Assim, podem ser aplicados nas mais diversas situações, especialmente naquelas que requerem elevados padrões de qualidade para serem atingidos, como no rotor de uma EBRS, no qual pequenas variações no posicionamento podem acarretar em perda de comunicação. Na Figura 19 observam-se alguns exemplos para melhor entendimento.

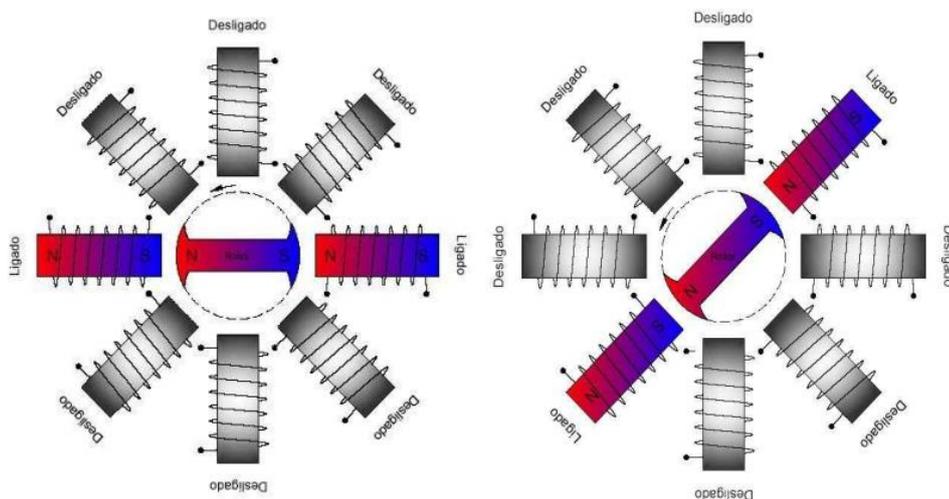
Figura 19 – Exemplos de motores de passo encontrados atualmente no mercado.



Fonte: CASUN (2021).

Em seu interior, são encontradas bobinas alocadas ao entorno do eixo de saída, que, quando energizadas, geram um campo magnético (PATSKO (2006)). Assim, em virtude da existência de ímãs permanentes nesse eixo do motor, obtém-se, portanto, movimento rotativo entre os componentes, ilustrado pela Figura 20.

Figura 20 – Bobinas dentro de um motor de passo.



Fonte: PATSKO (2006).

Devido suas características construtivas, podem ser facilmente programados para executarem movimentos de acordo com o desejado. Para isso, é necessário a utilização de sistemas semelhantes à um CLP (Controlador Lógico Programável). Como alternativa à um

custo menor para esse controle, tem-se o driver TB6600 que pode ser utilizado em conjunto com algum microcontrolador, como o Arduino Uno. Na sequência serão apresentadas as características dessa composição, seu funcionamento, pontos positivos e fatores limitantes para projetos.

2.3.1.2 Sistema de controle para motor de passo

Conforme mencionado anteriormente, se faz necessário a utilização de um sistema eficiente para controlar a movimentação do motor de passo. Assim, diversos controladores são encontrados hoje no mercado, entre eles, o driver TB6600, utilizado em conjunto com o microcontrolador Arduino.

- **Driver TB6600:**

O driver TB6600 é um componente muito utilizado em trabalhos em que se faz necessário realizar o controle de motores de passo. Além disso, é compatível com os principais microcontroladores existentes no mercado, como o Arduino. Com relação à sua alimentação, operam em tensões contínuas variando entre 9 – 40V. Além disso, são projetados para controlar motores que necessitem de corrente de até 4 amperes. Para informações mais detalhadas, pode-se consultar o ANEXO A. Nas Figuras 21 e 22 é apresentado o driver mencionado, bem como uma fonte chaveada de 24V e 10A, que pode ser utilizada para sua alimentação.

Figura 21 – Driver TB6600.



Fonte: AUTOCORE ROBÓTICA (2021).

Figura 22 – Fonte chaveada 24V e 10A.



Fonte: BAÚ DA ELETRÔNICA (2021).

- **Microcontrolador Arduino:**

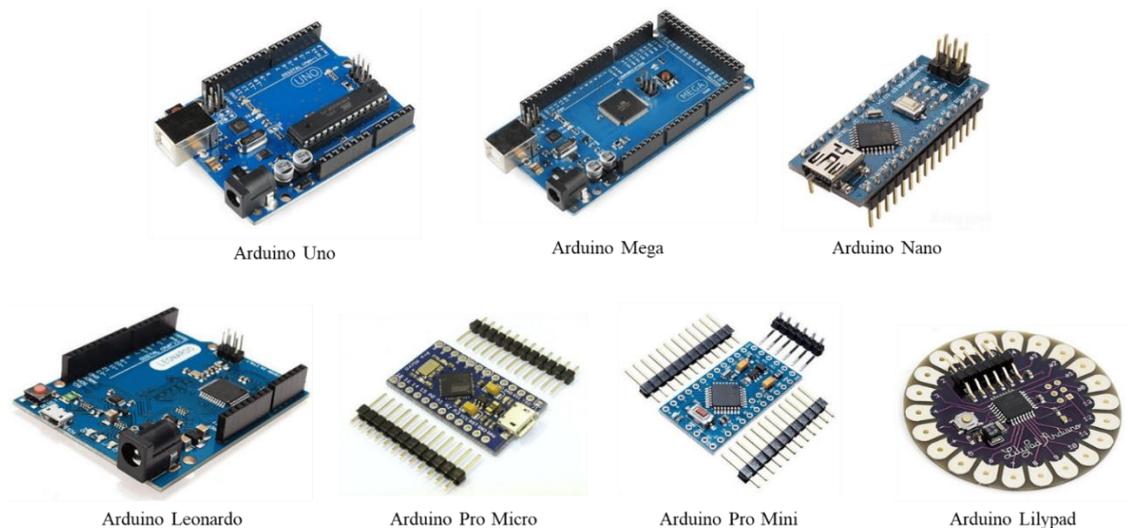
De acordo com EVANS, NOBLE e HOCHENBAUM (2013), o Arduino foi inventado na cidade de Ivrea, na Itália, em 2005, no *Interaction Design Institute*, por Massimo Banzi e David Cuartilles, professores universitários que na época procuravam alguma solução para que seus alunos pudessem encontrar alguma forma barata de trabalharem com tecnologia.

LOUSADA (2021) explica que as placas Arduino são capazes de lerem entradas diversas, como por exemplo o pressionamento de um botão e, a partir disso, transformá-las em sinais de saída, como o controle de um motor. Para que isso ocorra, o microcontrolador deve ser programado em uma linguagem específica, em seu próprio software chamado IDE (do inglês, *Integrated Development Environment* ou, Ambiente de Desenvolvimento Integrado).

Segundo MCROBERTS (2018), a grande vantagem que o Arduino possui em relação aos demais microcontroladores encontrados atualmente é a sua facilidade de utilização, que permite com que pessoas diversas, sem conhecimento técnico específico, consigam aprender conceitos básicos em um curto período de tempo. Além disso, existe uma grande comunidade de pessoas utilizando o dispositivo e compartilhando seus códigos, para que novas pessoas os copiem, modifiquem e aumentem a comunidade.

Atualmente, diversas versões de placas são encontradas, com diferentes tamanhos e também capacidade de processamento, possibilitando a utilização em projetos diversos. Entre elas, temos o Uno, Mega, Nano, Pro Micro, Pro Mini, Lilypad e Leonardo, que são apresentadas na Figura 23.

Figura 23 – Placas Arduino encontradas atualmente.



Fonte: LOUSADA (2021).

2.3.2 Sistemas de transmissão

Os sistemas de transmissão de movimento existentes em máquinas são compostos por diversos componentes mecânicos, como eixos, engrenagens e mancais de rolamentos, dimensionados para trabalharem em conjunto e proporcionar a correta transferência de torque e rotação, desempenhando, posteriormente, uma ação específica.

Atualmente, diversas referências já consagradas são capazes de fornecerem uma base teórica sólida para realização do dimensionamento desses componentes. Entre os autores referências no assunto, cita-se Robert Norton, com seu livro *Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada*, Richard Budynas e J. Nisbett, com a obra intitulada *Elementos de Máquinas de Shigley* e também Robert Juvinall e Kurt Marshek, com o livro *Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas*.

Com base nos conhecimentos por eles apresentados, essa seção tem o objetivo de apresentar, brevemente, os principais componentes presentes em um sistema de transmissão de movimentos, suas características, especificidades e aplicações, além de alguns equacionamentos simplificados para elucidar melhor o tema. Para maiores detalhes e aprofundamento teórico com relação ao projeto desses elementos, recomenda-se consultar as referências supracitadas.

2.3.2.1 Eixos de máquinas

NORTON (2013) apresenta em seu livro intitulado *Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada* que os eixos são componentes fundamentais que se fazem presentes em máquinas rotativas, sendo responsáveis, basicamente, por transmitir rotação e torque de uma posição para outra.

De modo geral, o eixo é conectado, por meio de acopladores específicos, à uma fonte motora que, em muitos casos, podem ser motores elétricos ou à combustão interna. Além disso, muitas vezes possuem componentes fixados em sua estrutura, como engrenagens, volantes, manivelas e polias, por exemplo, responsáveis por transmitir o movimento rotativo.

Em virtude das aplicações em que são empregados, os eixos são, geralmente, fabricados de materiais metálicos, como as ligas ferrosas, para suportar os esforços solicitados. Entre as mais utilizadas, temos os diferentes tipos de aço-carbono. Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as principais propriedades mecânicas desses materiais, utilizados no dimensionamento e fabricação dos componentes citados.

Tabela 1 – Propriedades físicas dos principais aços encontrados.

Material	Módulo de elasticidade E		Módulo de rigidez G		Coeficiente Poisson ν	Densidade em peso	Densidade em massa
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	Mg/m ³
Aço, carbono	30	206,8	11,7	80,8	0,28	0,28	7,8
Aço, ligas	30	206,8	11,7	80,8	0,28	0,28	7,8
Aço, inoxidável	27,5	189,6	10,7	74,1	0,28	0,28	7,8

Fonte: Adaptado de NORTON (2013).

Tabela 2 – Propriedades mecânicas de alguns aço-carbono.

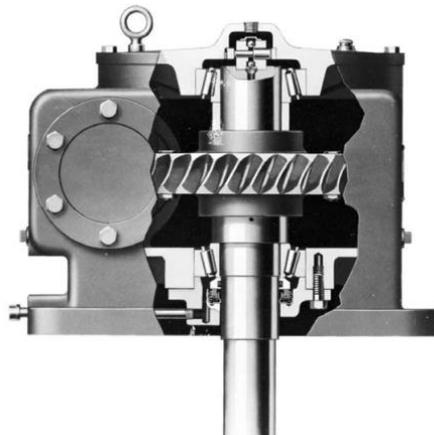
Número SAE AISI	Condição	Resistência de escoamento em tração		Resistência máxima em tração		Elongação corpo ensaio	Dureza a Brinell
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	(%)	-HB
1010	laminado a quente	26	179	47	324	28	95
	laminado a frio	44	303	53	365	20	105
1020	laminado a quente	30	207	55	379	25	111
	laminado a frio	57	393	68	469	15	131
1030	laminado a quente	38	259	68	469	20	137
	normalizado a 1650°F	50	345	75	517	32	149
	laminado a frio	64	441	76	524	12	149
	temperado e revenido a 1000°F	75	517	97	669	28	255
	temperado e revenido a 800°F	84	579	106	731	23	302
	temperado e revenido a 400°F	94	648	123	848	17	495
	1035	laminado a quente	40	276	72	496	18
	laminado a frio	67	462	80	552	12	163
	1040	laminado a quente	42	290	76	524	18
	normalizado a 1650°F	54	372	86	593	28	170
	laminado a frio	71	490	85	586	12	170
	temperado e revenido a 1200°F	63	434	92	634	29	192
	temperado e revenido a 800°F	80	552	110	758	21	241
	temperado e revenido a 400°F	86	593	113	779	19	262
	1045	laminado a quente	45	310	82	565	16
	laminado a frio	77	531	91	627	12	179
	1050	laminado a quente	50	345	90	621	15
	normalizado a 1650°F	62	427	108	745	20	217
	laminado a frio	84	579	100	689	10	197

	temperado e revenido a 1200°F	78	538	104	717	28	235
	temperado e revenido a 800°F	115	793	158	1089	13	444
	temperado e revenido a 400°F	117	807	163	1124	9	514
1060	laminado a quente	54	372	98	676	12	200
	normalizado a 1650°F	61	421	112	772	18	229
	temperado e revenido a 1200°F	76	524	116	800	23	229
	temperado e revenido a 800°F	97	669	140	965	17	277
	temperado e revenido a 400°F	111	765	156	1076	14	311
1095	laminado a quente	66	455	120	827	10	248
	normalizado a 1650°F	72	496	147	1014	9	13
	temperado e revenido a 1200°F	80	552	130	896	21	269
	temperado e revenido a 800°F	112	772	176	1213	12	363
	temperado e revenido a 400°F	118	814	183	1262	10	375

Fonte: Adaptado de NORTON (2013).

Segundo BUDYNAS e NISBETT (2011), a geometria de um eixo assemelha-se à um corpo cilíndrico composto por seções escalonadas, com aumento e reduções no diâmetro geralmente da ordem de 20%. Esse fator possui objetivo de auxiliar na disposição axial dos componentes, bem como facilitar o travamento dos mesmos. Na Figura 24 observa-se como exemplo um eixo presente em um redutor de velocidades com engrenagens sem-fim.

Figura 24 – Eixo de um redutor vertical de velocidade de engrenagem sem-fim.



Fonte: BUDYNAS e NISBETT (2011).

BUDYNAS e NISBETT (2011) explicam também que os eixos são mantidos em sua posição através da utilização de mancais com rolamentos. Além disso, é preferível distribuir componentes condutores de carga, como engrenagens ou polias, entre os mancais de rolamentos, para garantir o correto funcionamento do sistema. Caso não seja possível, recomenda-se que esses componentes estejam o mais próximo possível do ponto de apoio, de modo a diminuir as flexões no eixo.

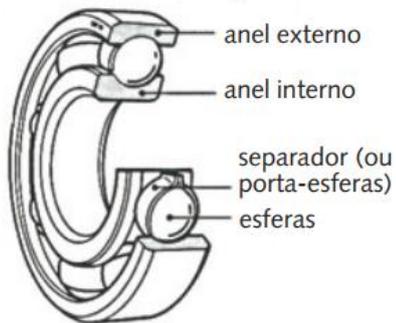
Geralmente, são encontrados três tipos principais de esforços solicitantes em um eixo de máquinas, entre eles: os esforços de torção, em virtude do torque transmitido pelas engrenagens ou polias; esforços de flexão, devido às forças de cisalhamento e aos momentos fletores existentes; e as tensões axiais, advindas da utilização de engrenagens helicoidais, por exemplo, ou ainda devido à desalinhamentos dos componentes. Esses esforços podem ser obtidos conhecendo-se as cargas aplicadas às engrenagens e aos mancais de apoio, através do Diagrama de Corpo Livre (DCL) e, posteriormente, com base na realização dos diagramas de esforços internos ao eixo.

O processo de dimensionamento de um eixo não é uma tarefa das mais simples. Para isso, além da necessidade se ter o conhecimento de diversos fatores de carregamento, conforme citado anteriormente, outras informações são fundamentais, como as dimensões axiais máximas e mínimas possíveis de serem empregadas no projeto, o material disponível para fabricação dos eixos, além do tipo de máquina e operação em que será utilizado. Para um maior aprofundamento teórico acerca do assunto, recomenda-se a leitura das referências citadas nessa seção.

2.3.2.3 Mancais de rolamentos

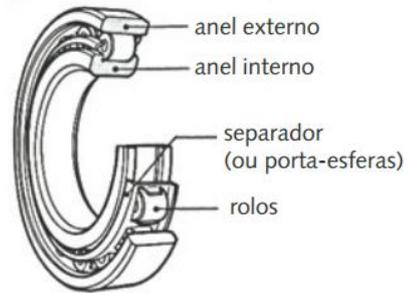
NORTON (2013) explica que os mancais de rolamentos são componentes de máquinas utilizados para possibilitar o movimento rotativo entre 2 elementos. Para que isso ocorra da forma desejada, devem ser constituídos de elementos rolantes, como esferas ou rolos, sempre lubrificados com graxas ou algum óleo específico. Além disso, mancais de rolamentos podem resistir à esforços axiais, radiais, ou uma combinação deles, a depender de cada projeto. São muito utilizados em eixos de máquinas, em virtude das características mencionadas e por reduzir o atrito entre os componentes, possibilitando a transmissão dos movimentos. Nas Figuras 25 à 28 vemos exemplos encontrados no mercado.

Figura 25 – Exemplos de rolamentos de esferas.



Fonte: NORTON (2013).

Figura 26 – Exemplos de rolamento de rolos cilíndricos.



Fonte: NORTON (2013).

Figura 27 – Rolamentos encontrados atualmente.



Fonte: SKF (2021).

Figura 28 – Exemplos de mancais de rolamentos.



Fonte: SKF (2021).

NORTON (2013) também nos explica que, para que a seleção de um mancal de rolamento para um dado projeto se dê da forma mais assertiva, se faz necessário o cálculo de sua vida em fadiga. Para isso, utilizam-se informações técnicas fornecidas pelos fabricantes dos componentes, disponíveis em seus catálogos, bem como as equações (6) e (7) a seguir, responsáveis pelo cálculo da vida em fadiga para rolamentos de esferas e de rolos, respectivamente.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (6)$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} \quad (7)$$

em que L_{10} expressa a vida em fadiga, em milhões de revoluções, P é a carga constante aplicada ao mancal e C é a carga dinâmica básica de classificação do componente, fornecida pelo fabricante.

Vale ressaltar também que, caso o mancal seja solicitado apenas por componentes radiais, então basta utilizar o valor dessa força diretamente na variável P da equação. Porém, caso existam componentes axiais carga, provenientes de engrenagens helicoidais, por exemplo, então uma força resultante deve ser calculada com base na equação (8).

$$P = XV F_r + Y F_a \tag{8}$$

onde P é a carga equivalente, F_r é a componente radial, F_a a componente axial, X é um fator radial, V é o fator de rotação e Y fator axial, que podem ser consultados pela Figura 29.

Figura 29 – Fatores X, V e Y para mancais radiais.

Tipo de mancal			Em relação à carga o anel interno está:		Mancais de fila única 1)		Mancais de fila dupla 2)				e	
			Rodan-do	Estacio-nário	$\frac{F_a}{V F_r} > e$		$\frac{F_a}{V F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{V F_r} > e$			
			V	V	X	Y	X	Y	X	Y		
Mancais de esferas de ranhura de contato radial	(3)	(4)	(5)									
		$\frac{F_a}{C_0}$	$\frac{F_a}{i Z D_w^2}$									
		0,014 0,028 0,056	25 50 100									
		0,084 0,11 0,17	150 200 300	↑ 1 ↓	↑ 1,2 ↓	↑ 0,56 ↓	2,30 1,99 1,71 1,55 1,45 1,31	↑ 1 ↓	↑ 0 ↓	↑ 0,56 ↓	2,30 1,99 1,71 1,55 1,45 1,31	0,19 0,22 0,26 0,28 0,30 0,34
		0,28 0,42 0,56	500 750 1000	↓	↓	↓	1,15 1,04 1,00	↓	↓	↓	1,15 1,04 1,00	0,38 0,42 0,44
		20° 25° 30° 35° 40°		↑ 1 ↓	↑ 1,2 ↓	0,43 0,41 0,39 0,37 0,35	1,00 0,87 0,76 0,66 0,57	↑ 1 ↓	1,09 0,92 0,78 0,66 0,55	0,70 0,67 0,63 0,60 0,57	1,63 1,44 1,24 1,07 0,93	0,57 0,68 0,80 0,95 1,14
Mancais de esfera de autoalinhamento			1	1	0,40	0,4 cot α	1	0,42 cot α	0,65	0,65 cot α	1,5 tg α	
Mancais de rolos cônicos de autoalinhamento			1	1,2	0,40	0,4 cot α	1	0,45 cot α	0,67	0,67 cot α	1,5 tg α	

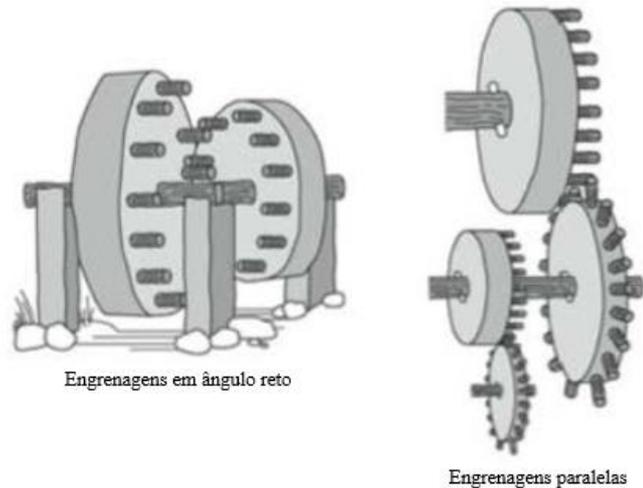
Fonte: NORTON (2013).

2.3.2.3 Engrenagens

JUVINALL e MARSHEK (2016) descrevem as engrenagens como sendo componentes dentados cujo objetivo principal está em transmitir movimento rotativo de um eixo para outro. Estão entre as invenções mais antigas do homem, com registros de utilização

que datam do ano 2600 a.C. pelos chineses, em uma carruagem composta por um trem de engrenagens. Na Figura 30 é possível verificar como eram essas engrenagens antigamente.

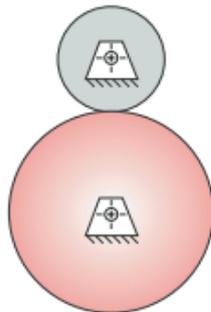
Figura 30 – Engrenagens primitivas.



Fonte: JUVINALL e MARSHEK (2016).

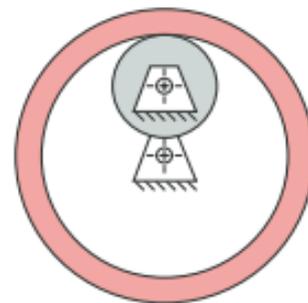
Segundo NORTON (2013), a forma mais fácil e eficaz de se transmitir movimento rotativo de um eixo para outro é através da movimentação de um par de cilindros rolando, podendo ser tanto externos quanto internos, conforme apresentado, respectivamente, pelas Figuras 31 e 32. Caso o atrito entre as superfícies seja suficiente, a transmissão de movimento poderá ocorrer de forma eficaz.

Figura 31 – Conjunto de cilindros externos.



Fonte: NORTON (2013).

Figura 32 – Conjunto de cilindros internos.

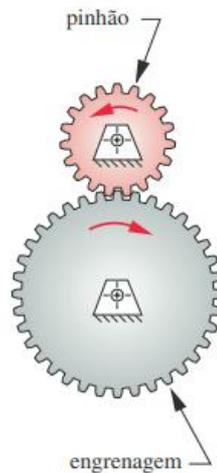


Fonte: NORTON (2013).

NORTON (2013) ainda explica que, para evitar possíveis escorregamentos entre as superfícies, são acrescentados dentes nas extremidades dos componentes, transformando-os, portanto, em pares de engrenagens, nos quais a de menor diâmetro é denominada por pinhão,

enquanto que a de maior diâmetro é denominada por coroa ou engrenagem. Caso a engrenagem motora (quem recebe diretamente o movimento, através de um motor, por exemplo) seja o pinhão, então tem-se um arranjo onde o torque transmitido será amplificado, ao passo que a velocidade angular será reduzida. Caso contrário, é obtido um aumento de velocidade e redução do torque. Na Figura 33 observa-se a representação de um par de engrenagens.

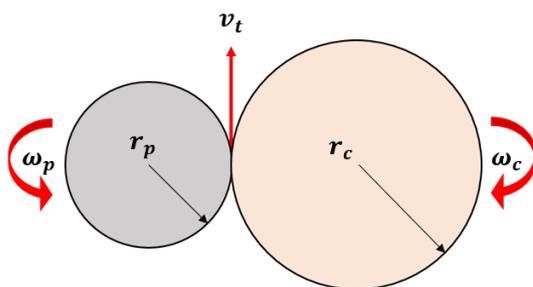
Figura 33 – Representação de um par de engrenagens.



Fonte: NORTON (2013).

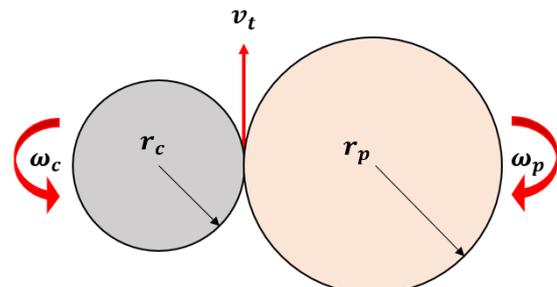
Basicamente, o equacionamento desses componentes começa através da relação fundamental de engrenamento. Imagine um par de engrenagens conectadas, na qual a circunferência em que ocorre o contato dos dentes, denominada por primitiva, apresenta raios do pinhão e da coroa como r_p e r_c , respectivamente. Suponha também que o pinhão apresente velocidade angular ω_p , enquanto que a coroa apresenta velocidade angular ω_c . Nas Figuras 34 e 35 tem-se o explicado.

Figura 34 – Representação de engrenamento para aumento de torque.



Fonte: Próprio autor.

Figura 35 – Representação de engrenamento para aumento da velocidade.



Fonte: Próprio autor.

Sabe-se também que a velocidade tangencial, v_t , é a mesma, em intensidade e direção, para ambas as engrenagens. Além disso, pode ser escrita, genericamente, por:

$$v_t = \omega \cdot r \quad (9)$$

Dessa forma, escrevendo para ambos os componentes:

$$\omega_p = \frac{v_t}{r_p} \quad (10)$$

$$\omega_c = \frac{v_t}{r_c} \quad (11)$$

Por fim, rearranjando os termos, visto que v_t é a mesma, obtêm-se que:

$$\omega_p \cdot r_p = \omega_c \cdot r_c \quad (12)$$

Portanto, a relação fundamental do engrenamento é obtida, na qual a velocidade angular da coroa é calculada através da relação de raios primitivos e também da velocidade angular do pinhão. A equação (12) também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{\omega_p}{\omega_c} = \frac{r_c}{r_p} \quad (13)$$

O mesmo equacionamento pode ser realizado com relação à transmissão de potência mecânica, P , entre os componentes. Assim, considerando-se um engrenamento perfeito, com 100% de rendimento, sabe-se que:

$$P = T \cdot \omega \quad (14)$$

em que T é o torque transmitido e ω a velocidade angular do componente. Dessa forma, têm-se também a seguinte correlação entre os torques nas engrenagens:

$$T_p \cdot \omega_p = T_c \cdot \omega_c \quad (15)$$

Substituindo a equação (13) na equação (15), é obtida, por fim, a seguinte relação:

$$\frac{T_c}{T_p} = \frac{r_c}{r_p} \quad (16)$$

Dessa forma, observa-se também que a relação entre torque transmitido e velocidade angular em um par de engrenagens é inversamente proporcional. Por exemplo, dado um sistema com relação de transmissão de 5:1, no qual observa-se um aumento em 5 vezes no torque transmitido, tem-se também uma redução de 5 vezes na velocidade rotacional.

Atualmente, são encontradas diferentes configurações de engrenagens para diferentes relações de transmissão. Como exemplos, são encontradas as cilíndricas de dentes retos e helicoidais, cônicas de dentes retos, helicoidais, hipoides e espirais, rosca sem-fim, planetária e cremalheira, cada uma delas com suas características e especificidades. A Figura 36 apresenta os modelos descritos.

Figura 36 – Exemplos de engrenagens encontradas atualmente.



Fonte: ABECOM (2020).

Com relação às engrenagens do tipo rosca sem-fim, NORTON (2013) explica que são muito utilizadas em situações onde se faz necessária a presença de elevada relação de transmissão, geralmente maiores que 30:1, apesar de poderem chegar em números ainda maiores, como 360:1, ao passo que os outros modelos encontrados, como as de dentes retos,

estão limitados em relações até 10:1. Além disso, esse tipo de engrenagem geralmente apresenta geometrias compactas e são montadas em eixos perpendiculares entre si. Por fim, outra característica interessante é a possibilidade de autotravamento do sistema, podendo serem empregadas em situações nas quais essa característica se faça necessária, como em elevadores automotivos, por exemplo.

Semelhante ao apresentado na subseção referente aos eixos, o projeto de sistemas de transmissão por engrenagens não é uma tarefa das mais simples, pois irá depender de diversos fatores, como o tipo de engrenagem selecionada, a aplicação e, conseqüentemente, as solicitações de carga, além é claro do material utilizado em sua fabricação. Para maiores orientações acerca do assunto, recomenda-se a leitura das referências citadas anteriormente.

3. SELEÇÃO DOS COMPONENTES DO ROTOR E DO SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DOS MOTORES

De posse das informações mencionadas anteriormente, esse capítulo tem o objetivo de apresentar a seleção e o dimensionamento dos componentes necessários ao rotor da EBRS, bem como o sistema de movimentação dos motores, com objetivo de entregar uma solução viável, tanto técnica, quanto econômica, para o problema em questão. Para isso, foram selecionados todos os componentes comerciais necessários ao projeto, como os motores, os drivers, engrenagens e os mancais de rolamentos, bem como o detalhamento técnico para dimensionamento dos demais, como os eixos e a carcaça do equipamento. Para isso, foi utilizado o software NX 12 (SIEMENS, 2017), para desenho 2D e 3D dos componentes e os mesmos serão apresentados na sequência.

3.1 Sistema de transmissão de movimentos

A seleção dos componentes para o rotor se iniciou buscando-se soluções que possibilitassem a movimentação da antena nas duas direções principais: azimute, no plano horizontal e elevação, no plano vertical. Assim, com base nas informações apresentadas nos capítulos anteriores, se deu início no processo de seleção dos componentes principais para o sistema de transmissão, como os motores, eixos, engrenagens e rolamentos.

Primeiramente, definiu-se quais seriam os dois motores utilizados no projeto, um para cada direção de movimentação. Apesar dos esforços solicitados ao motor de elevação serem maiores que o motor de azimute, devido à carga da antena, optou-se por utilizar apenas um modelo do componente. Em virtude das características que os motores de passo possuem, como elevada precisão e controle dos ângulos de posicionamento, optou-se por utilizá-los no protótipo. Dessa forma, selecionou-se o motor modelo NEMA 23, fabricado pela empresa brasileira TECMAF, com configuração de torque máximo de 13 kgf.cm, devido ao seu tamanho compacto e torque elevado.

Na Figura 37 é apresentada uma imagem do motor selecionado, ao passo que na Tabela 3 encontram-se as especificações técnicas do mesmo. Para maiores detalhes, recomenda-se consultar o ANEXO D, referente ao datasheet oficial do componente.

Figura 37 – Motor de passo NEMA 23 TECMAF 13 kgf.cm.



Fonte: TECMAF (2021).

Tabela 3 – Informações técnicas do motor de passo NEMA 23 TECMAF 13 kgf.cm.

Informação	Valor
Modelo / Desenho	TMA.MPHS.23013.04
Voltagem	5,7 VDC
Peso	0,69 kg
Corrente nominal	1,5 Amp
Diâmetro do eixo	8 mm
Torque	13 kgf.cm / 1,3 Nm
Resistência	3,8 OHMS
Indutância	12 mH
Número de fios	4
Precisão do ângulo do passo	± 5%
Precisão de resistência	± 10%
Precisão de indutância	± 20%
Ângulo do passo	1.8°
Temperatura máxima de trabalho	80 °C
Temperatura ambiente	De -20 à + 50 °C
Resistência de isolamento	100MO Min.500VDC
Força Dielétrica	500 VAC por um minuto

Fonte: TECMAF (2021).

Para transmitir o movimento gerado, optou-se por utilizar eixos acoplados ao motor, com um par de engrenagem do tipo coroa e rosca sem-fim em cada. Selecionou-se esse tipo de engrenagem em virtude de seu tamanho compacto, facilidade em encontrar modelos disponíveis no mercado e também elevada relação de transmissão, possibilitando, posteriormente, a utilização do rotor com diversos modelos de antenas, das mais leves até as mais pesadas.

Após pesquisa de mercado, encontrou-se um par de engrenagem utilizada em

máquinas de assar frangos, fabricadas pela empresa ROMEPH. Assim, o mesmo foi selecionado para o projeto em virtude do preço acessível, de aproximadamente R\$ 60,00, disponibilidade comercial, facilidade de instalação nos eixos, através de parafusos de pressão e pela relação de transmissão elevada, de 28:1. Esse componente pode observado pela Figura 38, bem como suas informações técnicas apresentadas pela Tabela 4.

Figura 38 – Par de engrenagem do tipo coroa e rosca-fim para assadeiras de frango.



Fonte: ROMEPH (2021).

Tabela 4 – Informações técnicas do par de engrenagem coroa e rosca sem-fim utilizado.

Informações técnicas: Coroa		Informações técnicas: Sem-fim	
Marca	ROMEPH	Marca	ROMEPH
Modelo	Assadeiras	Modelo	Assadeiras
Material	Poliacetil	Material	Aço 1020
Número de dentes	28	Número de entradas	1
Módulo	2 mm	Ângulo de pressão (ϕ)	20°
Diâmetro externo	60 mm	Ângulo de hélice (β)	16°
Diâmetro primitivo	56 mm	Módulo normal	2 mm
Largura da face	16 mm	Módulo axial	2,08 mm
Adendo	2 mm	Diâmetro externo	35 mm
Dedendo	2,5 mm	Diâmetro primitivo	31 mm
Diâmetro do furo	16 mm	Diâmetro do furo	16 mm
Ângulo de pressão (ϕ)	20°	Altura	33 mm
		Passo axial	6,53 mm
		Passo da hélice	6,53 mm
Relação de transmissão do conjunto		28:1	

Fonte: Próprio autor.

Em seguida, foi realizada a seleção dos eixos do rotor. Essa etapa também se deu em conjunto com o processo de seleção dos mancais de rolamentos. Basicamente, foram necessários ao todo quatro eixos para o rotor, sendo dois deles para auxiliar na movimentação no sentido de azimute, enquanto outros dois para a elevação. Na sequência será apresentado o processo realizado.

3.1.1 Movimentação no sentido de azimute

Para movimentação do sistema nesse sentido, um eixo posicionado na horizontal foi conectado diretamente ao motor, através de um acoplamento flexível 8-10 mm. O motor foi fixado na base de giro através de um suporte 90° para motor de passo NEMA 23, encontrado comercialmente. Além disso, foram utilizados também dois mancais de rolamentos modelo KP001 (para maiores informações, consultar o ANEXO E), fixados em um suporte em alumínio e este deverá ser fixado na base da carcaça do rotor.

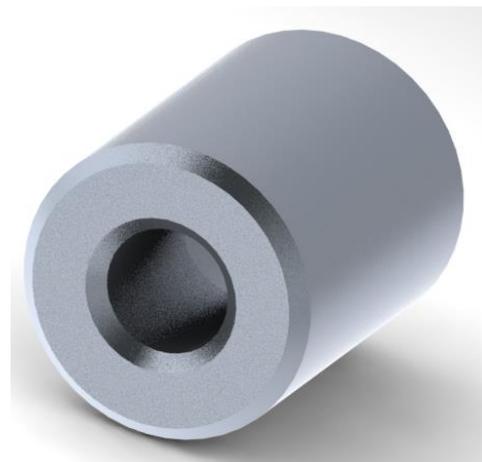
Além disso, no centro desse eixo foi fixada uma engrenagem rosca sem-fim, que irá transmitir o movimento para a coroa fabricada em poliacetal, que estará fixada em um segundo eixo, disposto na vertical, responsável por realizar o giro da base do rotor, através da utilização do mancal UCF-204 (consultar ANEXO G). Nas Figuras 39 a 46 são apresentados os desenhos separados desses componentes, via software NX 12.

Figura 39 – Eixo para o motor (APÊNDICE C).



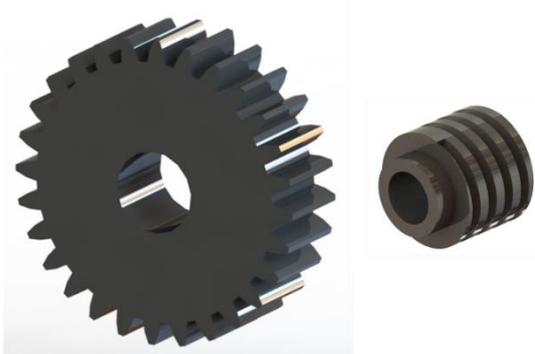
Fonte: Próprio autor.

Figura 40 – Acoplamento flexível 8-10 mm.



Fonte: Próprio autor.

Figura 41 – Coroa e rosca sem-fim (APÊNDICE D e H, respectivamente).



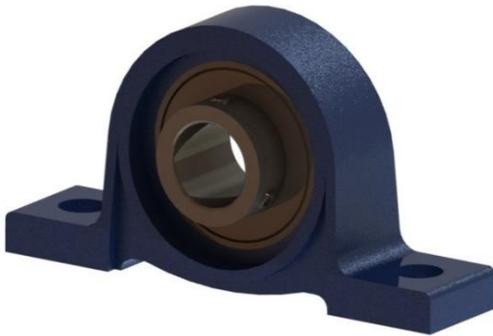
Fonte: Próprio autor.

Figura 42 – Eixo para a base de giro do rotor (APÊNDICE E).



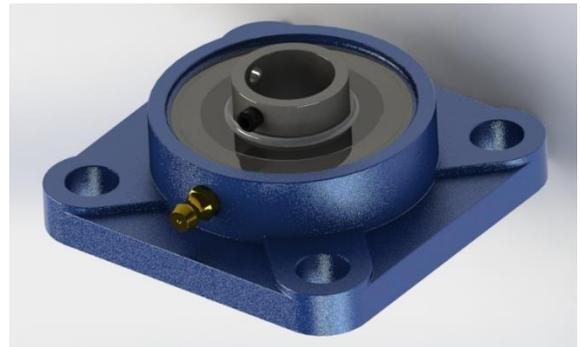
Fonte: Próprio autor.

Figura 43 – Mancal KP001 para o eixo do motor (ANEXO E).



Fonte: Próprio autor.

Figura 44 – Mancal UCF-204 para o eixo da base (ANEXO G).



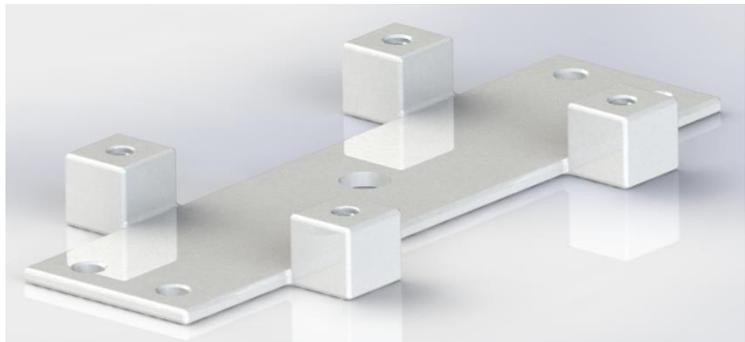
Fonte: Próprio autor.

Figura 45 – Suporte 90° para motor de passo NEMA 23.



Fonte: Próprio autor.

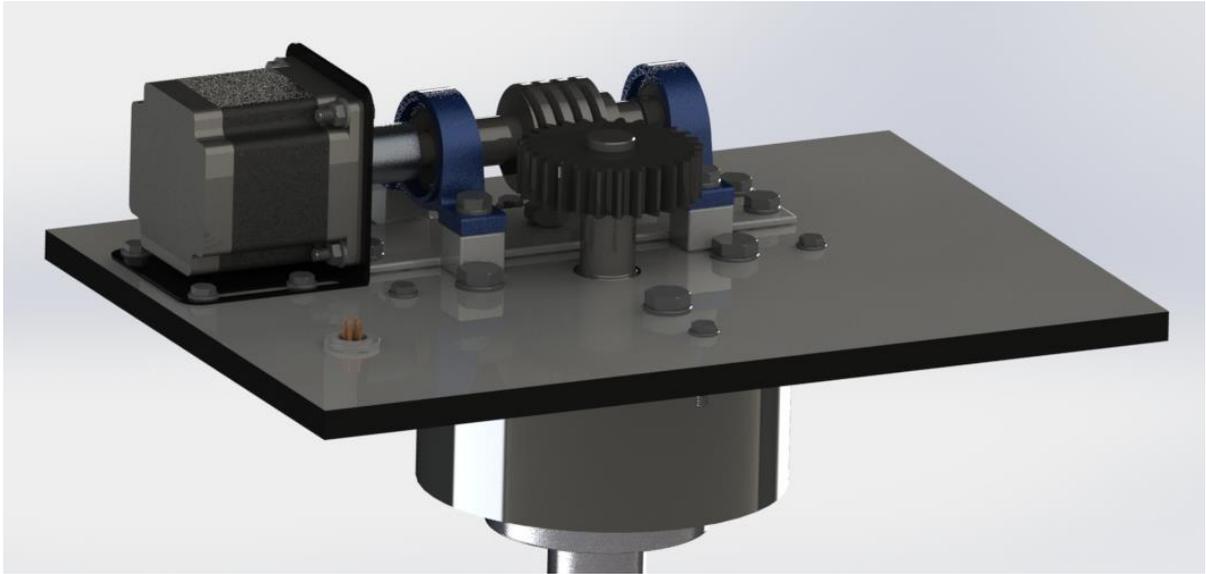
Figura 46 – Suporte para o mancal KP001 (APÊNDICE I).



Fonte: Próprio autor.

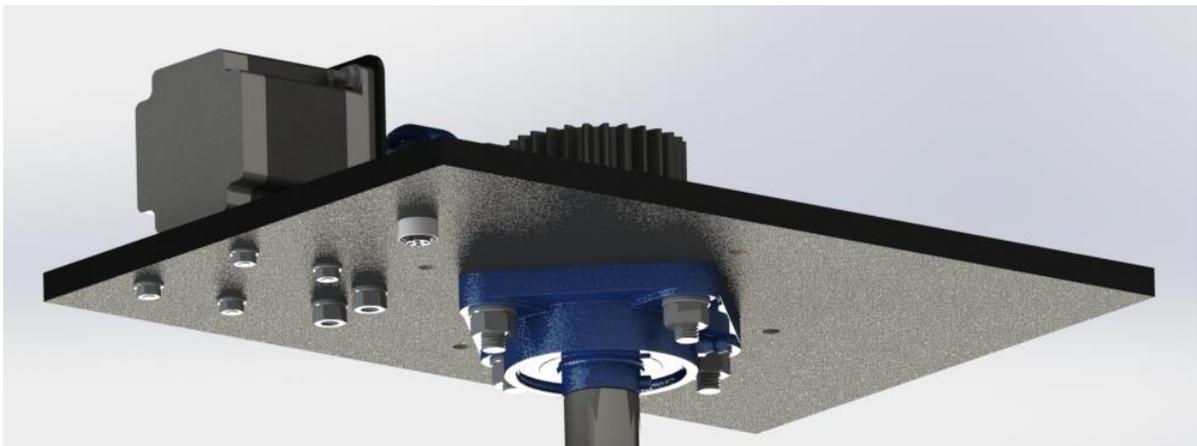
Por fim, observa-se pelas Figuras 47 e 48 a montagem de todos os componentes citados anteriormente.

Figura 47 – Sistema de transmissão do azimute: vista superior.



Fonte: Próprio autor.

Figura 48 – Sistema de transmissão do azimute: vista inferior.



Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar também que a base na qual os componentes estão fixados, por meio de parafusos sextavados, porcas e arruelas, foi dimensionada para ser fabricada em chapa de compensado de madeira, com espessura de 10 mm. Maiores informações e detalhamento técnico acerca da mesma e da carcaça do rotor como um todo serão apresentados na seção 3.3 deste trabalho.

Portanto, através da rotação controlada do motor, será transmitido movimento para a engrenagem rosca sem-fim, e, conseqüentemente, para a base de giro da estrutura, realizando a rotação desejada no plano horizontal. A tabela 5 sintetiza todos os materiais aqui utilizados, bem como uma perspectiva financeira e também de massa dos componentes.

Tabela 5 – Resumo de componentes para o sistema de transmissão do azimute.

Qtnd.	Item	Massa (g)	Custo unitário	Custo total
1	Motor de passo Nema 23 13kgf.cm TECMAF	690	R\$ 179,00	R\$ 179,00
1	Suporte motor de passo Nema 23 - 90°	100	R\$ 20,00	R\$ 20,00
1	Suporte em alumínio para o mancal KP001 OBS.: Fabricar em algum centro de usinagem a partir de um bloco de alumínio	40	R\$ 100,00	R\$ 100,00
1	Conjunto coroa e rosca sem-fim para máquinas de assar frangos, relação 28:1	200	R\$ 61,90	R\$ 61,90
2	Mancal com rolamento KP001 para eixos de 12mm	150	R\$ 47,30	R\$ 94,60
1	Mancal tipo flange com rolamento UCF-204 para eixos de 20mm	570	R\$ 50,00	R\$ 50,00
1	Acoplamento flexível para motor de passo 8 x 10 mm	100	R\$ 42,29	R\$ 42,29
1	Eixo para a base de giro do rotor OBS.: Deverá ser fabricado a partir de um tarugo retificado com 25 mm x 200 mm, aço SAE 1045	270	R\$ 56,07	R\$ 56,07
1	Eixo para o motor OBS.: Deverá ser fabricado a partir de um tarugo retificado com 16 mm x 200 mm, aço SAE 1045	300	R\$ 74,43	R\$ 74,43
8	Parafuso sextavado M4 x 16 com porca e arruela OBS.: Para fixar os motores em seus suportes e os suportes na base principal	18	R\$ 1,00	R\$ 8,00
4	Parafuso sextavado M6 x 30 com porca e arruela OBS.: Para fixar os mancais do eixo do motor em seu suporte	34	R\$ 1,25	R\$ 5,00
4	Parafuso sextavado M6 x 60 com porca e arruela OBS.: Para fixar suporte do mancal na base de giro	66	R\$ 1,50	R\$ 6,00
4	Parafuso sextavado M8 x 35 com porca e arruela OBS.: Para o mancal da mesa de giro	72	R\$ 2,00	R\$ 8,00
Total (g)		2609,84	Total (R\$)	R\$ 705,29

Fonte: Próprio autor.

Portanto, ao final da seleção dos componentes necessários para o sistema de transmissão no sentido de azimute, chegou-se ao custo total de pouco mais R\$ 705,00 e uma massa aproximada de 2600 g. Na sequência serão apresentados os componentes presentes no sistema de transmissão para a elevação da antena, bem como a montagem final dos mesmos.

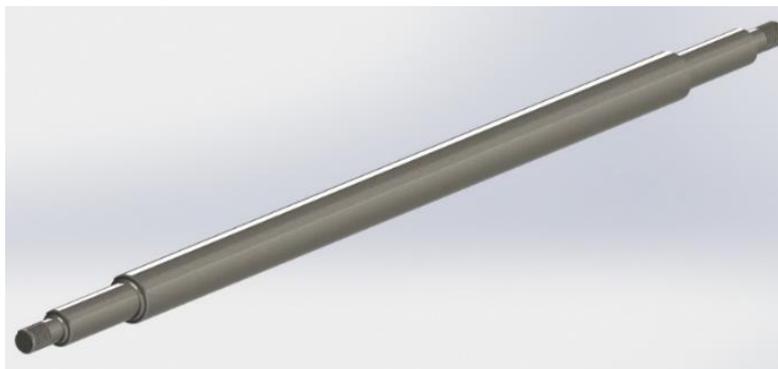
3.1.2 Movimentação no sentido de elevação

Para que a movimentação da antena no sentido da elevação seja realizada corretamente, utilizou-se também um motor de passo de mesmo modelo ao anterior, porém, o mesmo foi fixado, por meio de suportes comerciais para motor de passo, na vertical.

Na sequência, colocou-se um eixo pequeno, semelhante à uma bucha, ao acoplamento 8-10 mm e, em seguida, conectou-se à engrenagem rosca sem-fim no mesmo. Aqui não foram utilizados mancais para sustentação do eixo pois seu comprimento foi reduzido afim de se evitar grandes esforços de flexão.

Em seguida, uma engrenagem fabricada em poliacetal deverá foi fixada em outro eixo, sustentado por dois mancais KFL001, fixos na estrutura lateral do rotor. Além disso, o braço de fixação da antena foi instalado junto a esse eixo maior. Dessa forma, quando esse sistema se movimentar, o mesmo acontecerá com a antena. Nas Figuras 49 a 52 são apresentados os componentes mencionados bem como a montagem dos mesmos.

Figura 49 – Eixo para a elevação (APÊNDICE F).



Fonte: Próprio autor.

Figura 50 – Bucha do motor da elevação (APÊNDICE D).



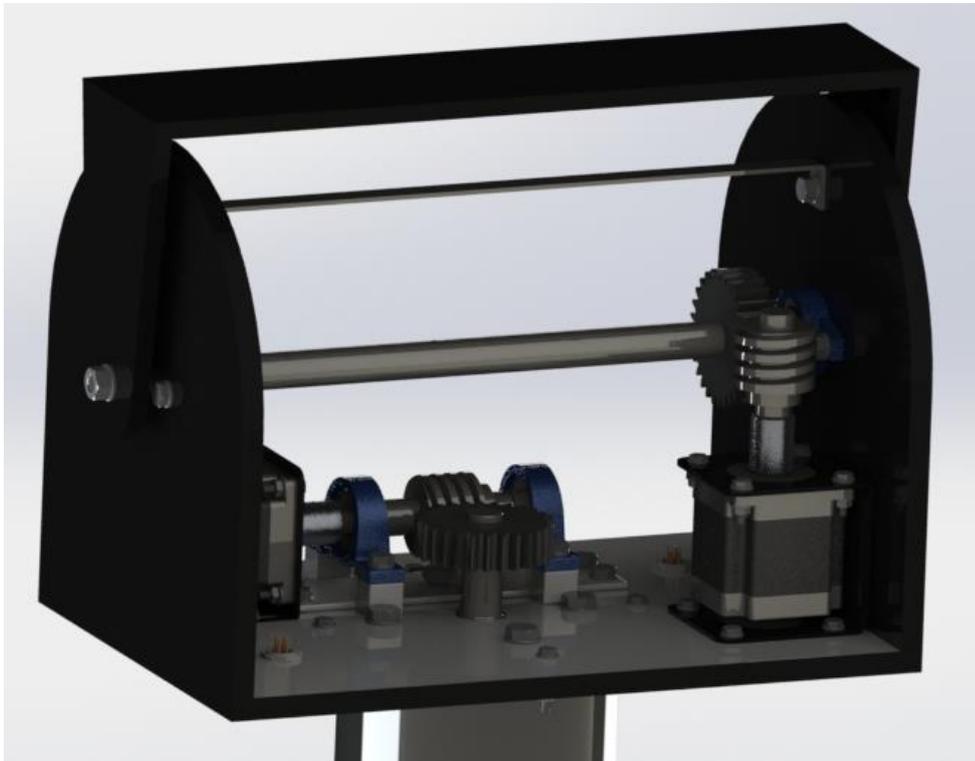
Fonte: Próprio autor.

Figura 51 – Detalhe da fixação do motor da elevação na vertical.



Fonte: Próprio autor.

Figura 52 – Sistema de transmissão completo.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, a Tabela 6 sintetiza todos os materiais aqui utilizados, bem como uma perspectiva financeira e a estimativa de massa dos mesmos.

Tabela 6 – Resumo de componentes para o sistema de transmissão da elevação.

Qtnd.	Item	Massa (g)	Custo unitário	Custo total
1	Motor de passo Nema 23 13kgf.cm TECMAF	690	R\$ 179,00	R\$ 179,00
2	Suporte motor de passo Nema 23 - 90°	200	R\$ 20,00	R\$ 40,00
1	Conjunto coroa e rosca sem-fim para máquinas de assar frangos, relação 28:1	200	R\$ 61,90	R\$ 61,90
2	Mancal com rolamento KFL001 para eixos de 12mm	150	R\$ 25,00	R\$ 50,00
1	Acoplamento flexível para motor de passo 8 x 10 mm	100	R\$ 42,29	R\$ 42,29
1	Bucha para motor de elevação OBS.: Deverá ser fabricado a partir de um tarugo retificado com 16 mm x 200 mm, aço SAE 1045	80	R\$ 74,43	R\$ 74,43
1	Eixo para a elevação OBS.: Deverá ser fabricado a partir de um tarugo retificado com 16 mm x 400 mm, aço SAE 1045	490	R\$ 78,21	R\$ 78,21
1	Barra de aço em formato de "U" para reforço das laterais do rotor, aço SAE 1020. Fixação por parafuso.	60	R\$ 20,00	R\$ 20,00
12	Parafuso sextavado M4 x 16 com porca e arruela OBS.: Para fixar os motores em seus suportes e os suportes na base principal	27,12	R\$ 1,00	R\$ 12,00
2	Parafuso sextavado M6 x 20 com porca e arruela OBS.: Para fixar a barra de reforço na lateral do rotor	16	R\$ 1,00	R\$ 2,00
4	Parafuso sextavado M6 x 25 com porca e arruela OBS.: Para fixar os mancais do eixo da elevação na lateral do rotor	32	R\$ 1,25	R\$ 5,00
2	Porca M8 com arruela OBS.: Para fixar o braço da antena na ponta do eixo da elevação.	10	R\$ 1,00	R\$ 2,00
Total (g)		2055,12	Total (R\$)	R\$ 566,83

Fonte: Próprio autor.

Análogo ao realizado anteriormente, tem-se que os componentes necessários para o sistema de transmissão no sentido de elevação apresentam um custo total de aproximadamente

R\$ 567,00, ao passo de uma massa de 2055 g.

Na sequência serão apresentados os componentes presentes no sistema de movimentação dos motores, bem como a montagem final dos mesmos e uma tabela sintetizando as informações necessárias.

3.2 Sistema de movimentação dos motores

Para que seja possível realizar a movimentação dos motores de passo utilizados, se faz necessária a presença de um sistema, conforme apresentado anteriormente na seção 2.3.1.2. Basicamente, os componentes principais adotados nesse projeto foram o microcontrolador Arduino Uno R3, muito utilizado em protótipos para testes, uma fonte chaveada de energia de 24V e 10A, para conversão de tensão alternada em tensão contínua, 2 drivers TB6600 para controle dos motores de passo e outros componentes auxiliares, como fios elétricos.

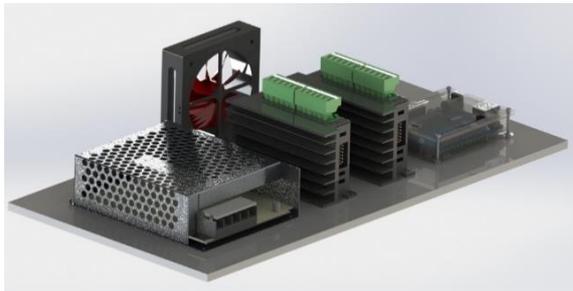
Com relação ao driver TB6600, o mesmo foi selecionado em vista da sua facilidade de implementação, em conjunto com o Arduino, além do controle fornecido aos motores. Apesar disso, caso após a construção do protótipo identifique-se que o mesmo não esteja desempenhando conforme solicitado, um controlador PID (Controlador Proporcional, Integral e Derivativo) deverá ser projetado para tal fim. Nas Figuras 53 a 55 é possível verificar o detalhamento via CAD realizado para os componentes aqui citados.

Figura 53 – Sistema de movimentação dos motores: vista externa.



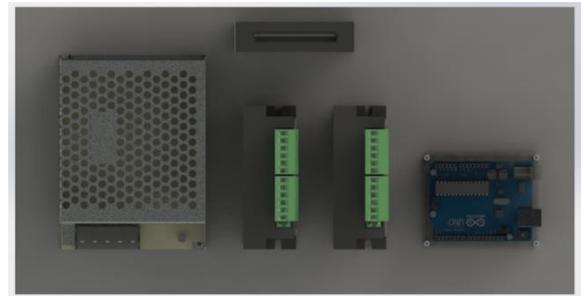
Fonte: Próprio autor.

Figura 54 – Sistema de movimentação dos motores:
vista interna.



Fonte: Próprio autor.

Figura 55 – Sistema de movimentação dos motores:
vista interna superior.

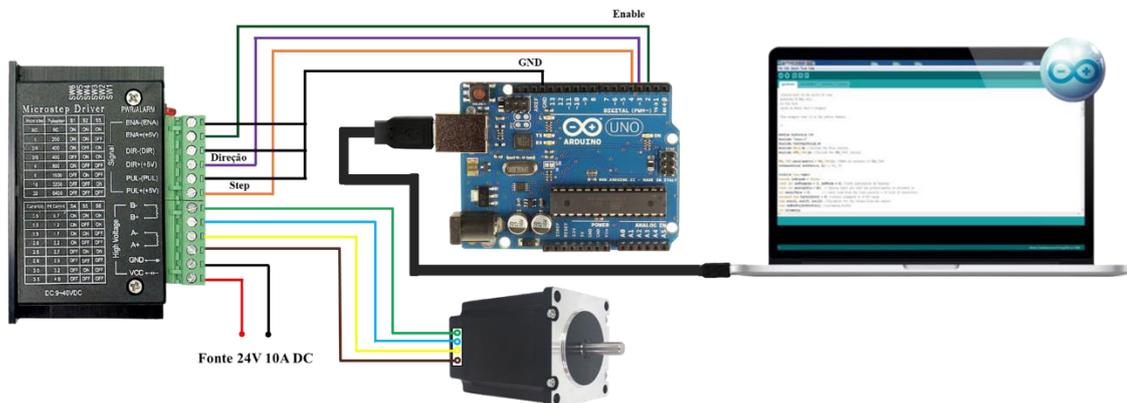


Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar também que, para esse projeto, optou-se pela utilização do Arduino Uno R3 em virtude do seu custo acessível bem como pela ampla gama de trabalhos encontrados com relação a esse microcontrolador, sendo um dos mais utilizados atualmente. Além disso, outra característica interessante é a possibilidade de conexão à internet via Wi-Fi, utilizando-se placas específicas disponíveis no mercado, fator que pode ser explorado durante o processo de construção do protótipo. Apesar disso, outras opções interessantes para microcontrolador também podem ser implementadas, como o ESP-32, ficando a critério do desenvolvedor selecionar o que possuir melhor custo benefício.

Com relação ao esquema elétrico de ligação dos componentes, KOYANAGI (2021) apresenta um sistema de controle para motor de passo com o driver TB6600 e o microcontrolador Arduino Due, ao invés do Uno R3. Apesar de não ser o microcontrolador selecionado para esse projeto, sua montagem é semelhante. Dessa forma, tomando-se como base o apresentado pelo autor, na Figura 56 é apresentado como deverão ser realizadas essas conexões para o projeto em questão.

Figura 56 – Esquema elétrico de ligação dos componentes.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, na Tabela 7 são apresentados todos os componentes necessários ao sistema de movimentação dos motores do rotor, bem como uma expectativa de custos e também da massa aproximada dos mesmos. Fios e conectores para realização das ligações elétricas também foram selecionados nessa etapa. Apesar disso, vale ressaltar que pequenas alterações podem ser necessárias futuramente, durante a etapa de implementação.

Tabela 7 – Resumo de componentes para o sistema de controle.

Qtnd.	Item	Massa (g)	Custo unitário	Custo total
1	Microcontrolador Arduino Uno R3	25	R\$ 84,98	R\$ 84,98
1	Cabo extensor USB 2.0 macho x macho 1 metro	50	R\$ 31,19	R\$ 31,19
1	Conector USB metal fêmea x fêmea	50	R\$ 49,41	R\$ 49,41
2	Driver TB6600 para motor de passo	240	R\$ 99,65	R\$ 199,30
1	Fonte chaveada estabilizadora 24V 10A 240W bivolt	900	R\$ 77,16	R\$ 77,16
1	Ventilador cooler 80 x 80 x 38 mm bivolt para auxiliar na refrigeração do Arduino	100	R\$ 55,00	R\$ 55,00
1	Case em acrílico para Arduino Uno R3	30	R\$ 34,10	R\$ 34,10
1	Cabo PP 4 x 1,5 mm - 10 Metros - Para os motores de passo	300	R\$ 90,55	R\$ 90,55
4	Conector Mike 4 vias macho / fêmea	200	R\$ 15,00	R\$ 60,00
1	Conector barra sindal 12 posições 6mm - 5A	50	R\$ 46,80	R\$ 46,80
1	Tomada C14 com interruptor e cabo de força de 10A	50	R\$ 50,71	R\$ 50,71
1	Kit termo retrátil	20	R\$ 32,71	R\$ 32,71
1	Kit ferro de solda profissional 60W com estanho e pasta de solda	-	R\$ 58,41	R\$ 58,41
1	Caixa em MDF para o sistema de controle, com dimensões: 380 x 280 x 110 mm	200	R\$ 48,30	R\$ 48,30
4	Borracha para pé de apoio com adesivo	10	R\$ 7,00	R\$ 28,00
1	Base em compensado 380 x 280 x 6 mm (para servir de fundo na caixa e ajudar na fixação dos componentes).	255	R\$ 5,32	R\$ 5,32
Total (g)		2480	Total (R\$)	R\$ 951,94

Fonte: Próprio autor.

Portanto, foram apresentados os componentes necessários para o sistema de

movimentação dos motores, com um custo total de aproximadamente R\$ 952,00 e uma massa de 2480 g. Na sequência serão apresentados os elementos da carcaça do rotor, bem como a montagem final dos mesmos.

3.3 Carcaça do rotor

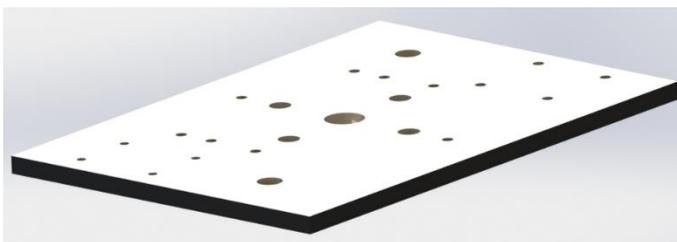
Nesta seção serão apresentados os principais componentes que se fazem presentes na carcaça do rotor, bem como seus desenhos em 3D, detalhamento de materiais utilizados, estimativa de custos e também massa aproximada. Além disso, componentes que necessitarem serem fabricados terão suas folhas de desenho técnico completas apresentadas na seção de apêndices.

Primeiramente, projetou-se a base e as duas laterais da carcaça do rotor, nas quais estarão fixados todos os componentes dos sistemas de transmissão, como os motores, suportes e mancais de rolamentos. Vale ressaltar também que, a fim de facilitar a fabricação e reduzir custos de uma implementação futura, os componentes foram dimensionados para serem confeccionados através de chapas de compensado de madeira com 10 mm de espessura.

Com relação à base, calculou-se a dimensão mínima necessária para distribuir todos os elementos de modo que exatamente no centro esteja um furo de 25 mm de diâmetro, através do qual irá passar o eixo de giro, para realizar a movimentação no sentido azimute. Todas as demais marcações para fixação dos componentes também foram realizadas.

Já com relação à lateral do rotor, um furo com diâmetro 12 mm foi projetado, próximo ao topo da mesma, pois será o local por onde irá passar a ponta do eixo de elevação, para posterior fixação no braço de elevação da antena. Maiores detalhes podem ser consultados nas Figuras 57 e 58 na seção de apêndices do trabalho.

Figura 57 – Base do rotor em compensado de 10 mm (APÊNDICE J).



Fonte: Próprio autor.

Figura 58 – Lateral do rotor em compensado de 10 mm (APÊNDICE K).

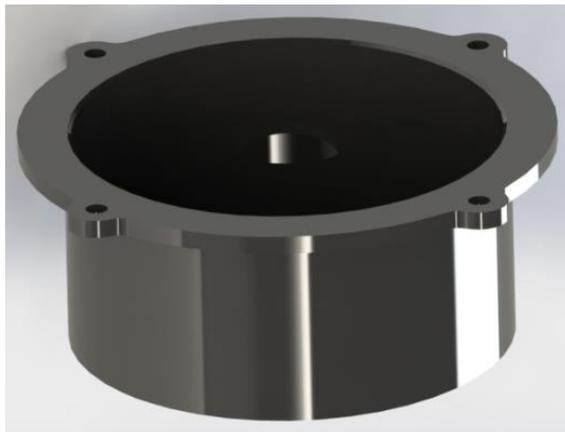


Fonte: Próprio autor.

Na parte inferior do rotor, está localizado o mancal flangeado UCF-204. A fim de fornecer um melhor acabamento ao projeto, dimensionou-se também uma tampa para que o mesmo não fique à mostra. Esse componente deverá ser fabricado por meio de impressão 3D, utilizando-se algum polímero para tal, como o ABS. Ainda, será fixado na base do rotor através de parafusos sextavados com porcas e arruelas.

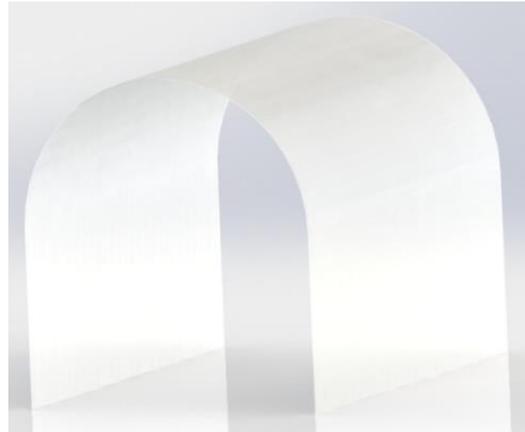
Por fim, para realizar o fechamento da parte principal da estrutura do rotor, optou-se por utilizar uma chapa de PETG transparente, com espessura de 1 mm, devido sua maleabilidade. A mesma será fixada na estrutura do rotor por meio de parafusos para madeira e possibilitará que o usuário tenha visão dos componentes internos em funcionamento. As Figuras 59 e 60 representam o mencionado.

Figura 59 – Tampa do eixo da base de giro (APÊNDICE O).



Fonte: Próprio autor.

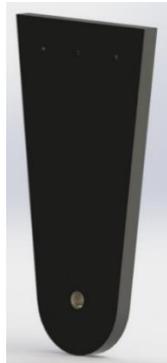
Figura 60 – Tampa de fechamento do rotor em PETG 1 mm transparente.



Fonte: Próprio autor.

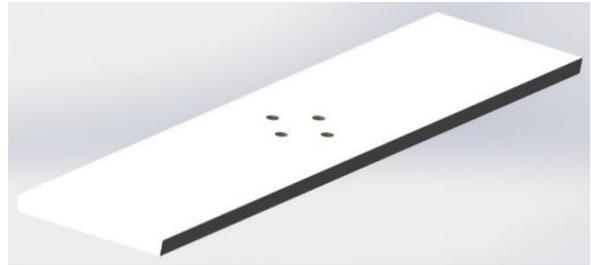
Posteriormente, foi realizado o dimensionamento do braço no qual estará fixada a antena do rotor. Novamente, visando reduzir custos e facilitar a fabricação, será confeccionada em chapas de compensado, porém, nesse caso, com espessura de 8 mm. Basicamente, será constituído por duas laterais e uma base principal, na qual estará instalada a antena. Visando garantir a fixação dos componentes entre si, poderão ser utilizados parafusos para madeira, além de cantoneiras para montagem de móveis, para aumentar o reforço estrutural. As Figuras 61 e 62 representam os componentes supracitados.

Figura 61 – Lateral da base de fixação da antena (APÊNDICE M).



Fonte: Próprio autor.

Figura 62 – Base de fixação da antena (APÊNDICE L).



Fonte: Próprio autor.

Para garantir a sustentação dos componentes, selecionou-se um tripé fotográfico. Para isso, levou-se em consideração as estimativas de massa da carcaça e também dos componentes para a transmissão dos movimentos, cujo valor ficou em aproximadamente 5870 g. Dessa forma, selecionou-se um tripé projetado para cargas de até 10 kg e um coeficiente de segurança de 1,25, possibilitando a utilização de antenas com massa de até 3100 g. O tripé selecionado, modelo ET-690, bem como o desenho de uma antena parabólica com diâmetro de 750 mm fabricada em alumínio, utilizada apenas à título de exemplo no dimensionamento do projeto e na montagem final do rotor, podem ser visualizados, respectivamente, pelas Figuras 63 e 64.

Figura 63 – Tripé ET-690 para até 10 kg.



Fonte: MUNDOWARE (2021).

Figura 64 – Antena parabólica em alumínio com diâmetro de 750 mm.



Fonte: Próprio autor.

Por fim, na Figura 65 é apresentada a montagem completa da carcaça do rotor, com todos os componentes anteriormente citados, bem como a lista de elementos presentes nesse

sistema apresentada pela Tabela 8.

Figura 65 – Montagem completa da carcaça do rotor.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 – Resumo de componentes para a carcaça do rotor.

Qtnd.	Item	Massa (g)	Custo unitário	Custo total
1	Tripé fotográfico profissional em alumínio para até 10 kg	1160	R\$ 281,90	R\$ 281,90
1	Base principal em compensado de madeira com espessura de 10 mm	210	R\$ 3,15	R\$ 3,15
2	Lateral do rotor em compensado de madeira com espessura de 10 mm	260	R\$ 2,10	R\$ 4,20
1	Chapa PETG transparente com 100 x 50 cm e espessura de 1mm	30	R\$ 55,97	R\$ 55,97
1	Tampa para o eixo da base de giro (impressa em 3D, material ABS)	125	R\$ 50,00	R\$ 50,00
1	Base de fixação da antena em compensado de madeira com 8 mm	70	R\$ 1,32	R\$ 1,32
2	Base lateral de fixação da antena em compensado de madeira com 8 mm	50	R\$ 0,60	R\$ 1,20
2	Tampa lateral para o mancal do eixo de elevação KFL001 (impressa em 3D, material ABS)	50	R\$ 25,00	R\$ 50,00
1	Barra de reforço em aço 1020 para as laterais do rotor	60	R\$ 10,00	R\$ 10,00
40	Parafuso Chipboard Flangeado Para Madeira 3,0 x 10 mm	200	-	R\$ 15,00
1	Cantoneiras para madeira.	150	-	R\$ 10,00
Total (g)		2365	Total (R\$)	R\$ 482,74

Fonte: Próprio autor.

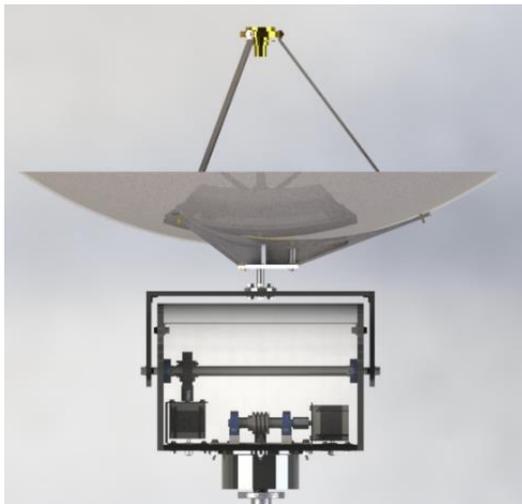
Portanto, obtêm-se os componentes necessários para a carcaça do rotor (sem levar em

consideração à antena), os quais representam um custo total de aproximadamente R\$ 483,00 e uma massa de 2365 g.

3.4 Apresentação finalizada do rotor da EBRS

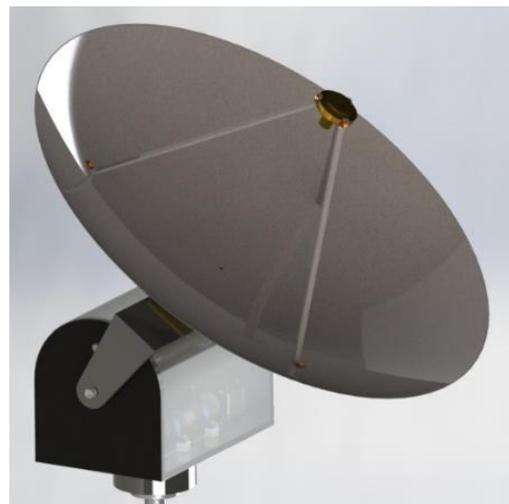
Por fim, de posse de todas as informações apresentadas anteriormente, chegou-se ao final do dimensionamento e seleção dos componentes para o rotor da EBRS, onde foram analisados os principais sistemas constituintes do mesmo, como os sistemas de transmissão de movimentos, sua carcaça e também o sistema de movimentação dos motores. Dessa forma, as Figuras 66 e 67 apresentam os resultados finais obtidos com o projeto, ilustrando com boa confiabilidade como será o protótipo, quando o mesmo for construído, em um momento futuro.

Figura 66 – Montagem do rotor e da antena: vista frontal.



Fonte: Próprio autor.

Figura 67 – Montagem do rotor e da antena: vista isométrica.



Fonte: Próprio autor.

Além das figuras apresentadas anteriormente, também foram utilizados os recursos gráficos do NX 12 que possibilitaram a disposição dos sistemas em um fundo com paisagem, simulando o que será encontrado na prática. Por fim, vale ressaltar novamente que, a título de exemplo, foi utilizada uma antena parabólica com diâmetro de 750 mm, fabricada em alumínio, para um melhor entendimento do projeto. Futuramente, quando implementado, os componentes do sistema irradiante devem ser corretamente projetados e selecionados, respeitando-se o limite de massa da antena aqui estabelecido, de 3100g. Por fim, a Figura 68 apresenta o projeto finalizado.

Figura 68 – Representação da EBRS com seus principais sistemas.



Fonte: Próprio autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Conforme apresentado anteriormente pelos capítulos desse trabalho, foi possível identificar a importância que os satélites artificiais, especialmente os de telecomunicações, possuem hoje no cenário global. Além disso, devido as características diversas encontradas, tanto com relação à aplicação, tamanhos e órbitas, identificou-se a necessidade da presença das EBRS, cujo objetivo principal é proporcionar o correto rastreamento e troca de dados com os equipamentos em órbita, tanto para recebimento de suas informações quanto para controle do mesmo no céu.

Ainda com relação à EBRS, foi apresentado que tanto as instalações de maior complexidade, para fins comerciais, como para as de menor escala, para radioamadorismo e pesquisas científicas, por exemplo, são compostas por três sistemas importantes, como o sistema irradiante, o sistema de controle e o rotor, sendo que o último é responsável por realizar de fato a movimentação da antena em conformidade com o satélite, a fim de não perder a comunicação.

Além disso, no início da monografia foram apresentados os objetivos do trabalho, sendo que o principal deles seria de apresentar o dimensionamento e a seleção dos componentes para o projeto mecânico do rotor de uma EBRS, de menor escala, voltada para o rastreamento de satélites do tipo LEO, que se configurasse como uma solução viável, tanto técnica, quanto econômica, para o problema em questão. Dessa forma, seria possível garantir com que trabalhos futuros pudessem ser realizados na mesma vertente, a fim de finalizar o dimensionamento completo da estação e, posteriormente, a construção de um protótipo para realização de testes e validação do apresentado.

Dessa forma, com base nos estudos acerca do tema e também nos pré-requisitos necessários ao projeto, foi realizado o dimensionamento e a seleção de todos os componentes do rotor, como o sistema de transmissão, responsável pela movimentação nos ângulos de azimute e elevação, o sistema de movimentação dos motores, composto por drivers e microcontroladores e, por fim, a carcaça do equipamento, responsável por sustentar todos os componentes em suas posições pré-fixadas.

Assim, apresentou-se detalhadamente o processo de seleção dos componentes de cada sistema em específico. Para isso, utilizou-se como apoio o software NX 12, responsável por auxiliou nas etapas de desenho e montagem dos sistemas. Optou-se preferencialmente pela escolha de componentes comerciais, facilmente encontrados no mercado, a fim de facilitar o

processo futuro de aquisição e montagem, além de redução de custos. Vale ressaltar também que alguns terão a necessidade de serem fabricados, como os componentes da carcaça e também os eixos do rotor. Dessa forma, na seção de APÊNDICES ao final do trabalho, todos os desenhos técnicos de fabricação necessários para realização do projeto estão apresentados.

Por fim, chegou-se aos valores finais do projeto, com todos os componentes selecionados para o rotor e o sistema de movimentação dos motores, representando um custo aproximado de R\$ 2.220,00, valor cerca de 57% menor quando comparado aos rotores comerciais de menor escala que estão disponíveis no mercado, facilitando assim o acesso a esse tipo de tecnologia.

Além disso, outro ponto positivo alcançado foi com relação à facilidade de construção do projeto apresentado, muito em virtude da utilização de componentes comerciais, facilmente encontrados ou fabricados sem maiores dificuldades, o que possibilitará a criação de um protótipo para testes sem a necessidade de um conhecimento aprofundado no assunto ou utilização de ferramentas específicas.

Outro ponto importante para ser levantado é com relação à estimativa de massa dos componentes do rotor, que foi realizada com auxílio do software de modelagem que possibilita a atribuição de material aos componentes e obtenção de diversas informações físicas dos mesmos. Dessa forma, obteve-se um valor de aproximadamente 5870 g, o que possibilitará a utilização de antenas com até 3100 g, visto que o tripé selecionado é dimensionado para cargas de até 10 kg, apresentando um coeficiente de segurança de 1,25 nessa etapa.

Apesar de não ter sido possível realizar a construção do protótipo nesse momento, para realização dos testes de funcionamento e validação da ideia, acredita-se que, em vista do apresentado, os objetivos principais do trabalho foram atendidos e o mecanismo proposto irá atender às necessidades, se configurando como uma solução viável e de baixo custo.

Dessa forma, em vista do apresentado, foram levantadas algumas sugestões para trabalhos futuros, a fim de finalização do dimensionamento completo da EBRS, como:

- Realizar a construção do protótipo do rotor, para verificação de seu funcionamento e realização de ajustes, caso necessário;
- Caso o driver TB6600 não consiga realizar a movimentação conforme desejado, deverá ser implementado um controlador PID, com base na modelagem dos componentes utilizados;
- Implementação de uma interface de comunicação, que possibilite com que o usuário insira informações de posicionamento de um dado satélite e que o sistema se

movimente em conformidade com o mesmo;

- Seleção de todos os componentes do sistema irradiante, como a antena e também os transreceptores, responsáveis por receber e transmitir as informações ao satélite.

Assim, seguindo-se esses próximos passos teremos ao final do trabalho o projeto completo de uma EBRS de baixo custo, com todos os componentes necessários, possibilitando sua utilização em novas pesquisas acadêmicas e contribuindo para inovações no setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Engrenagem: veja os principais tipos e aplicações, saiba qual usar e como especificar a sua. **ABECOM**, 2020. Disponível em: <<https://www.abecom.com.br/engrenagem-tipos-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 15 out. 2021.
- ADÃO, M. **Qual é a altitude mínima que um satélite pode orbitar a Terra?** Disponível em: <<https://pt.quora.com/Qual-é-a-altitude-mínima-que-um-satélite-pode-orbitar-na-Terra>>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ALAM, M. M.; ISLAM, M. M.; MANSOOR, A. T. **Fully Automated Satellite Tracking System for Directional Antenna**. Bangladesh: BRAC University, 2018.
- ARAÚJO, N. M. **Primeiro Satélite Geoestacionário Brasileiro: BRASILSAT A1**. Disponível em: <<http://ceurbano.blogspot.com/2017/05/primeiro-satelite-geoestacionario.html>>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- ARROIO, A. C. M. **A Política externa e o sistema brasileiro de telecomunicações por satélite**. Contexto Internacional, v. 17, n. 1, p. 61–88, 1995.
- AUTOCORE ROBÓTICA. **Módulo Driver Motor de Passo TB6600 4A**. 2021. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/modulo-driver-motor-de-passo-tb6600-4a>>. Acesso em: 01 set. 2021.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica**. 8ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 1084 p.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. **Fonte Chaveada 240W 24V 10A**. 2021. Disponível em: <<https://www.baudaelectronica.com.br/fonte-chaveada-240w-24v-10a.html>>. Acesso em: 01 set. 2021.
- CASUN. **Fude Electronic: Stepper Motor Manufacturer from China**. 2021. Disponível em: <<https://www.casunsteppermotor.com/fude-electronic-stepper-motor-manufacturer-from-china/>>. Acesso em: 01 set. 2021.
- ESTEVES, L. C. **Antenas – Teoria Básica e Aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. **Arduino em ação**. Novatec Editora, 2013.
- IIMA. **Embratel comemora 50 anos da Estação Terrena de Tanguá**. Disponível em: <<https://docmanagement.com.br/02/28/2019/embratel-comemora-50-anos-da-estacao-terrena-de-tangua/>>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- INPE. **NanoSatc-BR1**. 2014. Disponível em: <<http://www.inpe.br/sul/nanosat/>>. Acesso em 06 dez. 2021.
- JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 586 p.
- KOYANAGI, F. Motor de passo Nema 23 com driver TB6600 e Arduino Due. **FernandoKTecnologia**, 2021. Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/01/motor-de-passo-nema-23-com-driver.html>>. Acesso em: 25 set. 2021.
- KUGA, H. K.; RAO, K. R.; CARRARA, V. **Satélites artificiais: Movimento orbital**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011.
- LEY, W.; WITTMANN, K.; HALLMANN, W. **Handbook of Space Technology**. 2.

Singapore: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. 906 ISBN (978-0- 470-69739-9).

LOUSADA, R. Tipos de placas Arduino: Conheça as principais. **Blog Eletrogate**, 2021. Disponível em: < <https://blog.eletrogate.com/tipos-de-placas-arduino/> >. Acesso em: 20 set. 2021.

MCROBERTS, M. **Arduino básico**. Novatec Editora, 2018.

MRAK, S.; KUHAR, U.; VILHAR, A. **Low-Cost System Design for Tracking Satellites in Geosynchronous Orbit**. Antennas and Propagation (EuCAP), 2015.

Tripé profissional ET-690 em alumínio para cargas de até 10 kg. **MUNDOWARE**, 2021. Disponível em: <<https://www.mundoware.com.br/tripe-profissional-aluminio-10kg-170cm-et690>>. Acesso em: 15 set. 2021.

OLIVEIRA, K.; SARAIVA, M. F. **Astronomia e astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/index.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

PATSKO, L. **Tutorial Controle Motor de Passo**. Maxwell Bohr - Instrumentação Eletrônica, 2006.

NASA. **International Space Station (ISS)**. 1998. Disponível em: <<https://images.nasa.gov/details-9802669>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

NASA. **The Hubble Space Telescope**. 2009. Disponível em: < <https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/hubble/multimedia/wallpaper.html> >. Acesso em: 15 ago. 2021.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

SIEMENS. **NX 12 para Windows 10**, 2017.

SKF. **Catálogo online**. 2021. Disponível em: <<http://www.skf.com/br/products/product-tables/index.html>>. Acesso em: 01 out. 2021.

PELCO. **PT175-24P Light Duty Pan/Tilt**. Installation / Operation Manual. 1998. Disponível em: <https://manualzz.com/doc/27584041/pelco-pt175-24p-light-duty-pan_tilt_manual>. Acesso em: 10 jul. 2021.

PELTON, J. N. **Satellite Communications**. New York: Springer, 2012.

RODDY, D. **Satellite Communications**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

RODRIGUEZ, J. E. O. **Processo de Referência para Desenvolvimento da Arquitetura de uma Estação Terrena para Pico e Nanosatélites**. INPE. São José dos Campos, São Paulo, Brasil. 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LDAGLL>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ROMEPEH. **Engrenagem poliacetal e rosca sem-fim para máquina assar frangos**. 2021. Disponível em: <>. Acesso em: 10 set. 2021.

RUSSO, W. **Satélite brasileiro geostacionário de defesa e comunicações**. Ciência e Cultura, v. 65, n. 4, p. 4–5, 2013.

SANTOS, G. **Redes de Acesso**. Disponível em: <<http://accesogjsl.blogspot.com/2011/07/redes-vsats.html>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

SIEMENS. **NX 12 para Windows 10**, 2017.

TECNODEFESA. **Brasil e China desenvolverão o satélite CBERS-4A**. 2016. Disponível em: < <https://tecnodefesa.com.br/brasil-e-china-desenvolverao-o-satelite-cbers-4a/> >. Acesso

em: 01 set. 2021.

TECMAF. **Motor de passo NEMA 23 13 kgf.cm.** 2021. Disponível em:
<<https://componentes.tecmaf.com.br/motor-de-passo-nema23-13kgf/>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

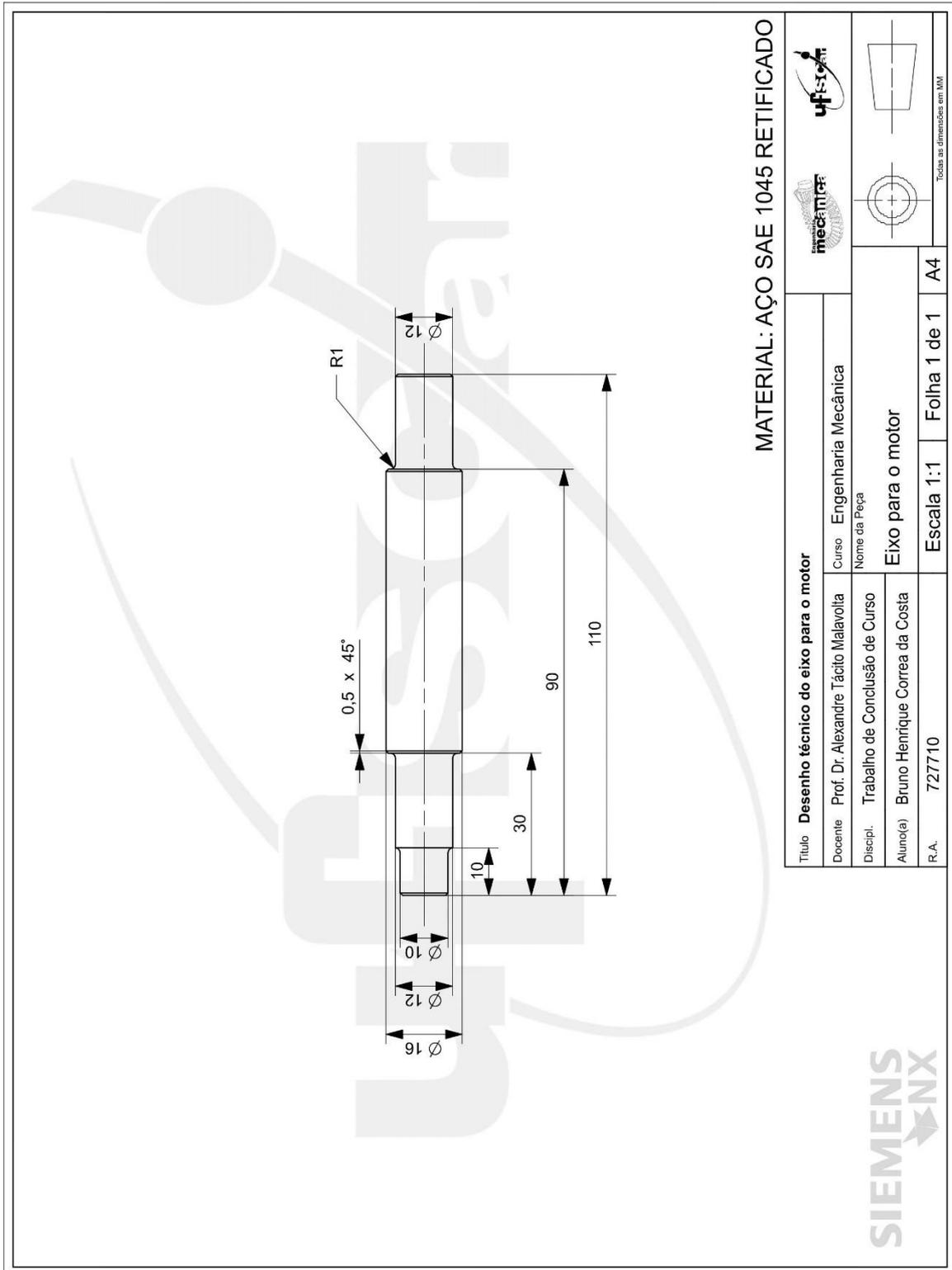
VILLELA, T.; BRANDÃO, A.; LEONARDI. Cubesats e oportunidades para o setor espacial brasileiro. **Parcerias Estratégicas**, v. 21, n. 42, p. 91-114, 2016.

VILLELA, T. et al. **Towards the Thousandth CubeSat: A Statistical Overview.** [S.l.]: International Journal of Aerospace Engineering, 2019.

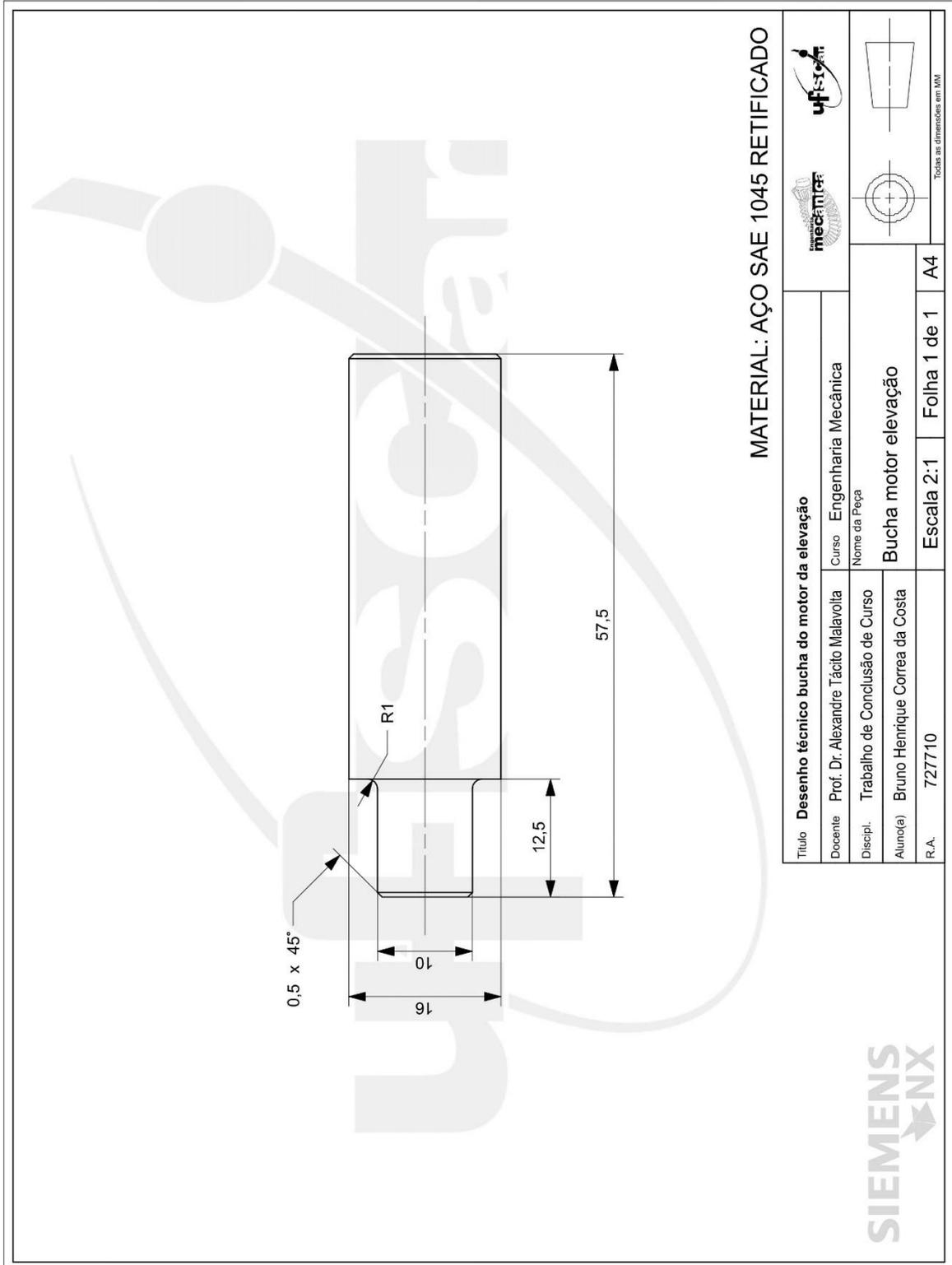
YAESU, M. C. **Instruction Manual G-5500: Antenna Azimuth-Elevation Rotators & Controller.** Japan, 2015. Disponível em:

<<https://www.yaesu.com/indexVS.cfm?cmd=DisplayProducts&ProdCatID=104&encProdID=79A89CEC477AA3B819EE02831F3FD5B8>>. Acesso em: 30 jul. 2021.

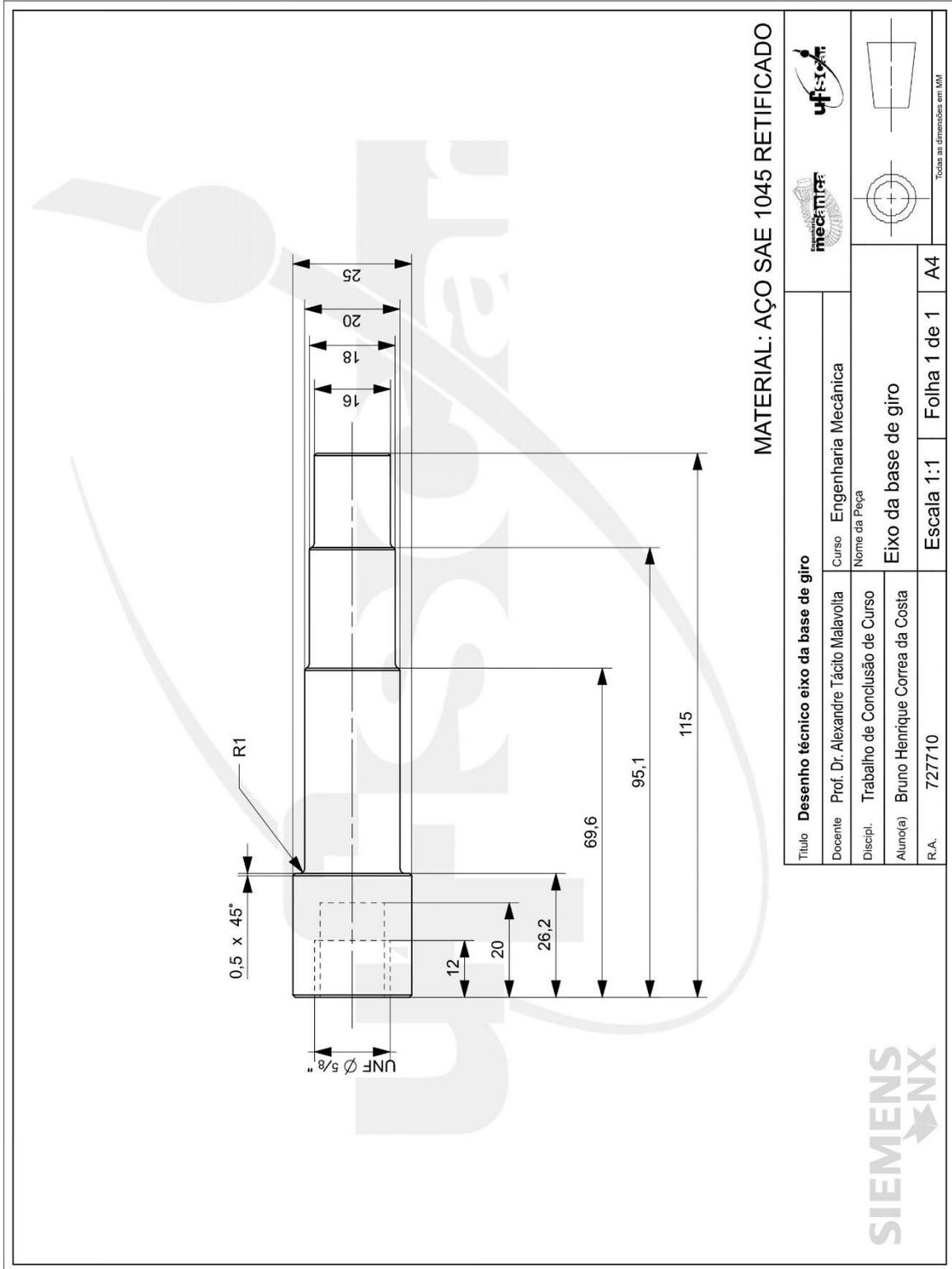
APÊNDICE A: Desenho Técnico – Eixo para o motor



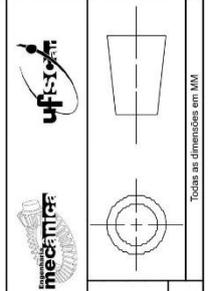
APÊNDICE B: Desenho Técnico – Bucha do motor da elevação



APÊNDICE C: Desenho Técnico – Eixo da base de giro

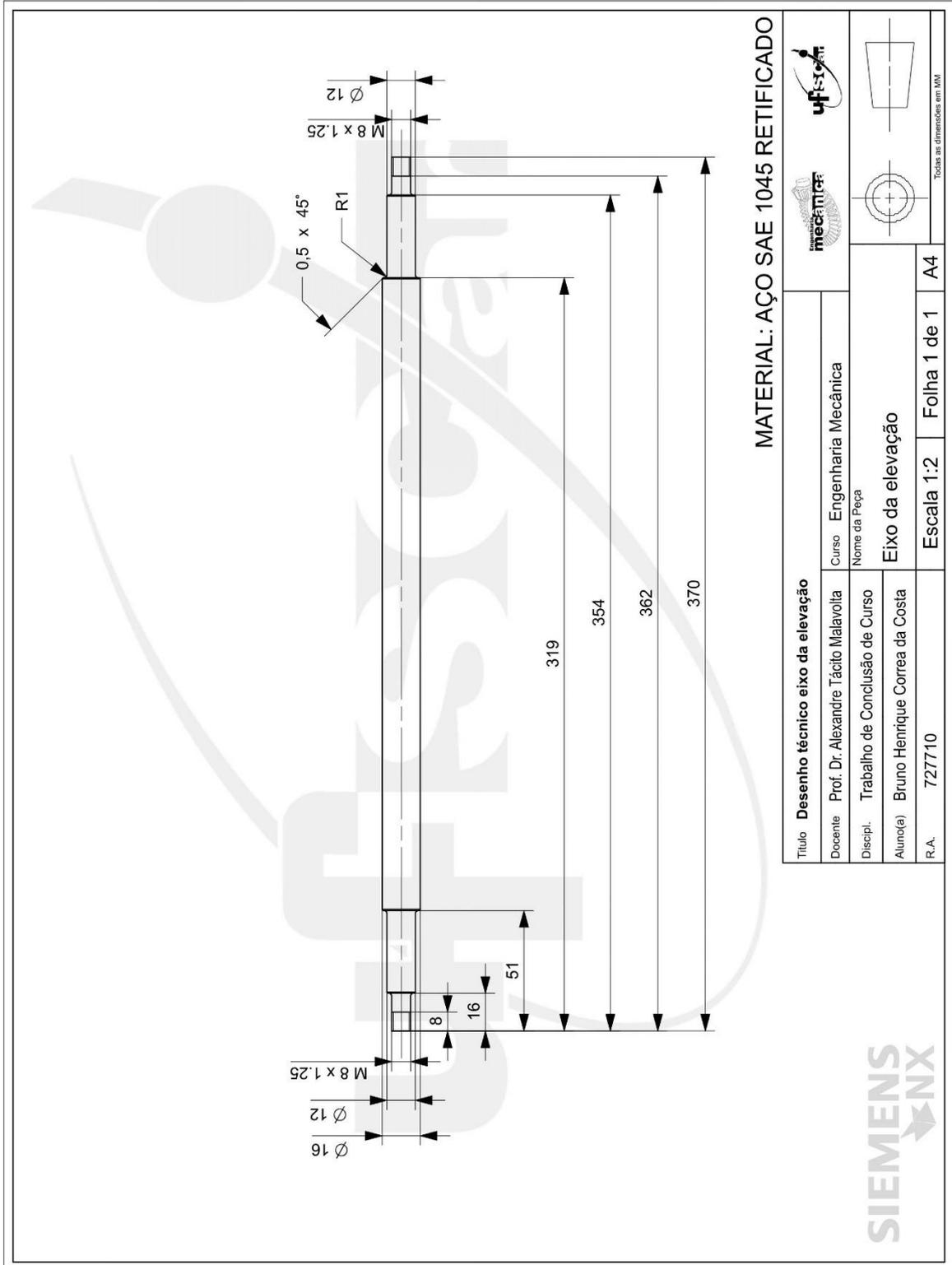


Título Desenho técnico eixo da base de giro		Curso Engenharia Mecânica	
Docente Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta	Nome da Peça Eixo da base de giro		
Discipl. Trabalho de Conclusão de Curso	Escala 1:1		
Aluno(a) Bruno Henrique Correa da Costa	R.A. 727710	Folha 1 de 1	A4



Todas as dimensões em MM

APÊNDICE D: Desenho Técnico – Eixo da elevação



APÊNDICE F: Desenho Técnico – Engrenagem sem-fim

Marca	ROMEPEH
Modelo	Assadeiras
Material	Aço 1020
N° entradas	1
Ângulo de pressão	20°
Ângulo de hélice	16°
Módulo normal	2 mm
Módulo axial	2,08 mm
Diâmetro externo	35 mm
Diâmetro primitivo	31 mm
Diâmetro do furo	16 mm
Altura	33 mm
Passo axial	6,53 mm
Passo da hélice	6,53 mm

Título Desenho técnico da engrenagem sem-fim

Docente Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta

Discipl. Trabalho de Conclusão de Curso

Aluno(a) Bruno Henrique Correa da Costa

R.A. 727710

Curso Engenharia Mecânica

Nome da Peça Engrenagem sem-fim

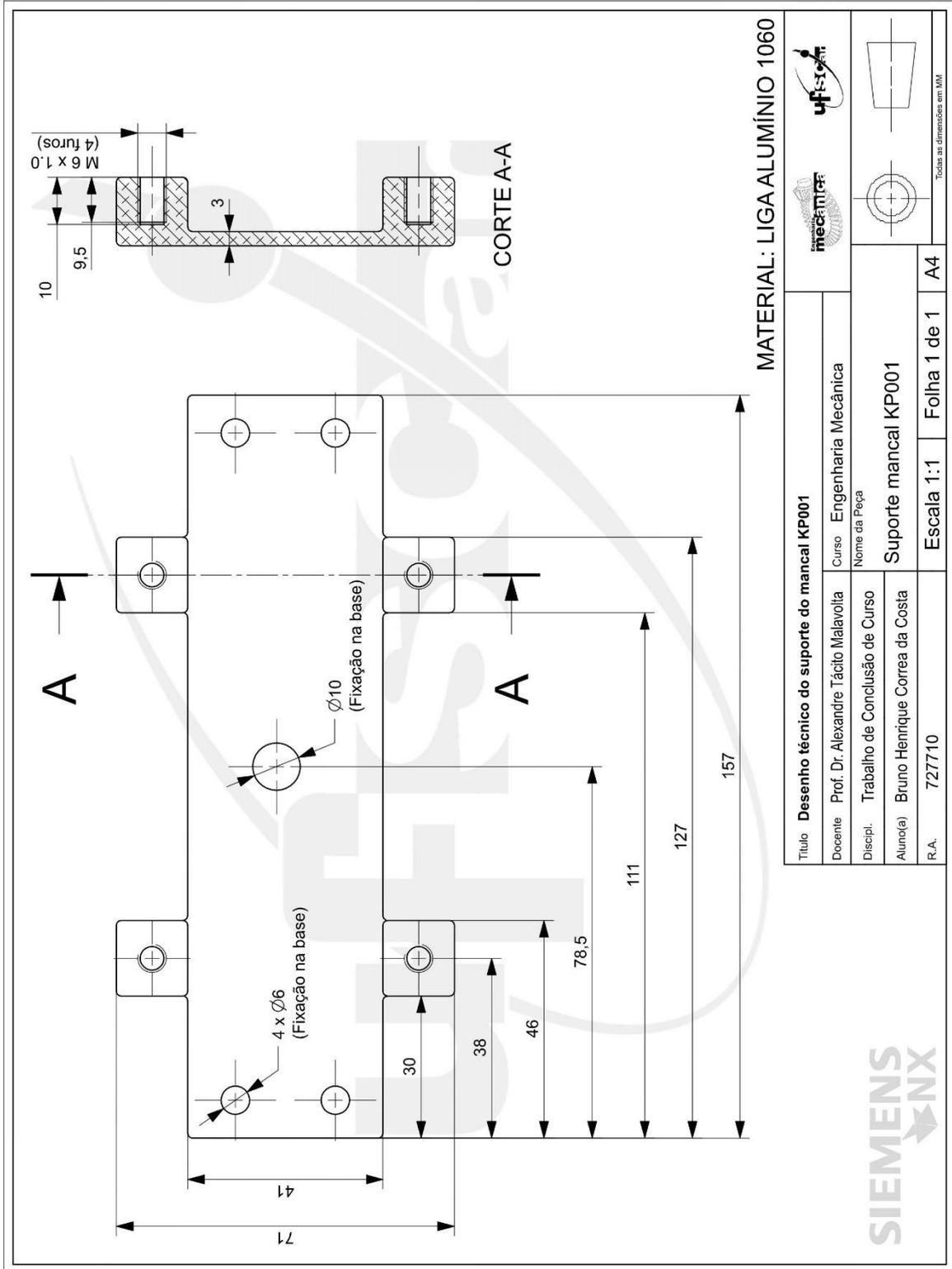
Escala 1:1

Folha 1 de 1

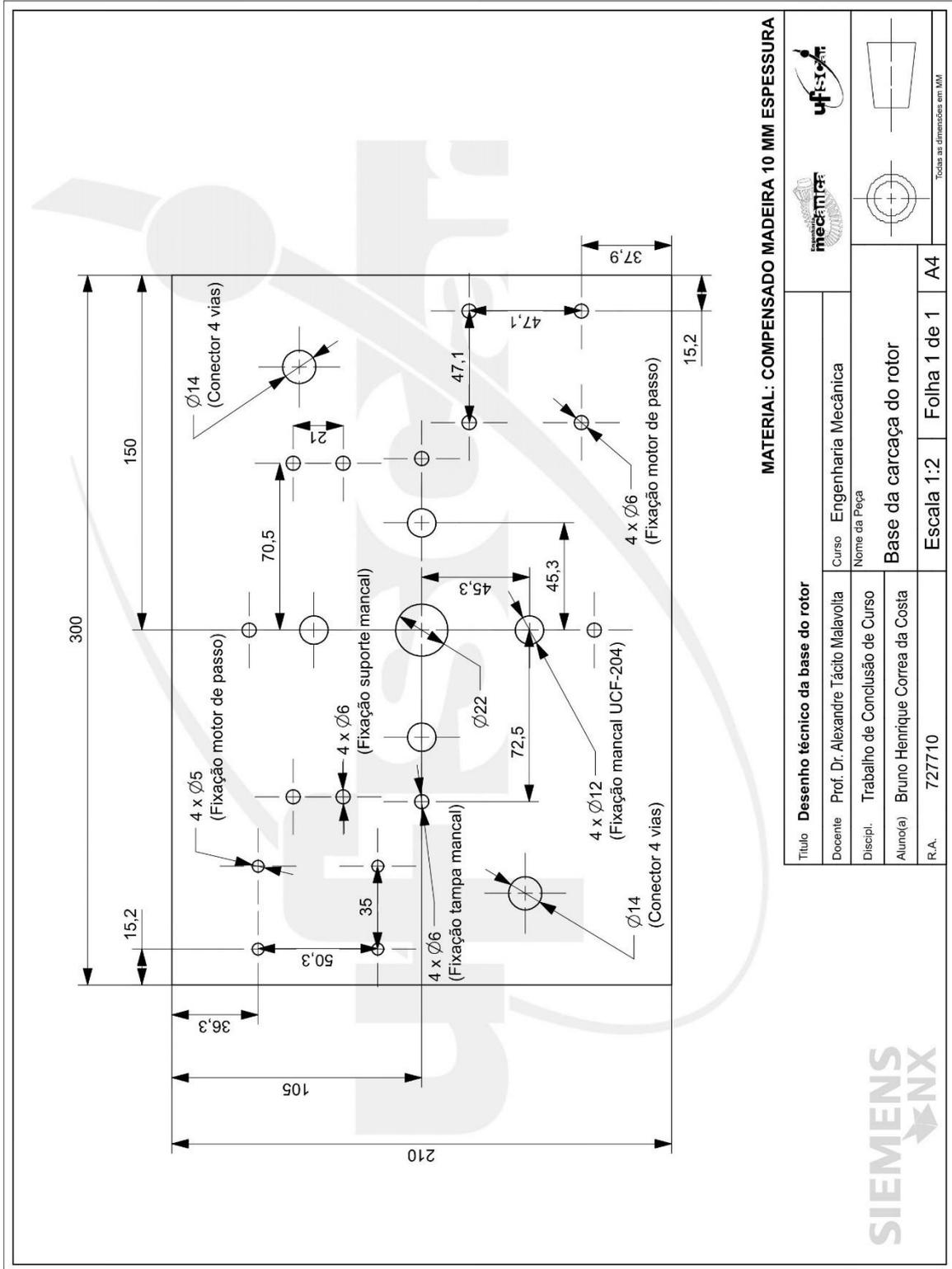
A4

Todas as dimensões em MM

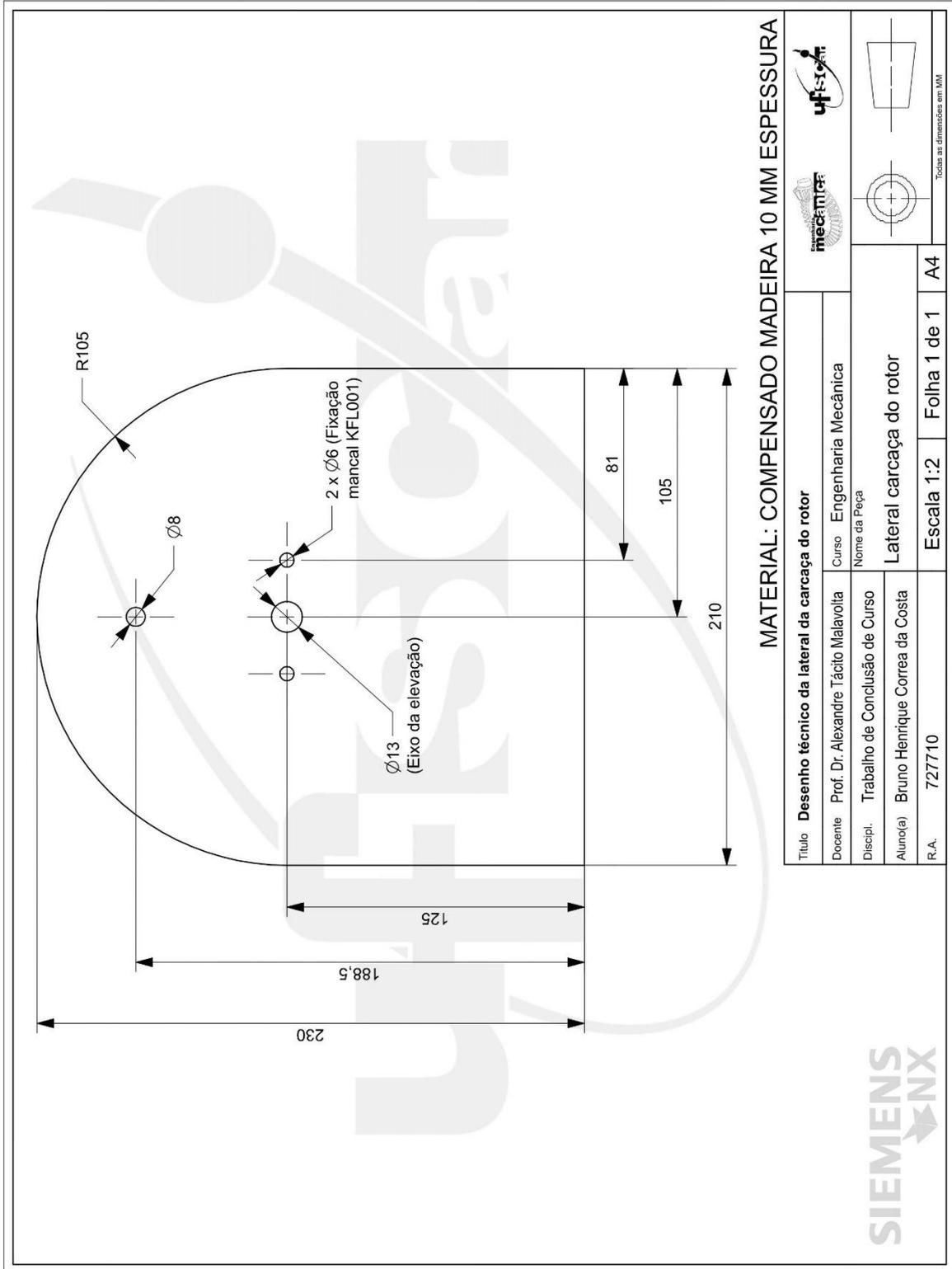
APÊNDICE G: Desenho Técnico – Suporte para o mancal KP001



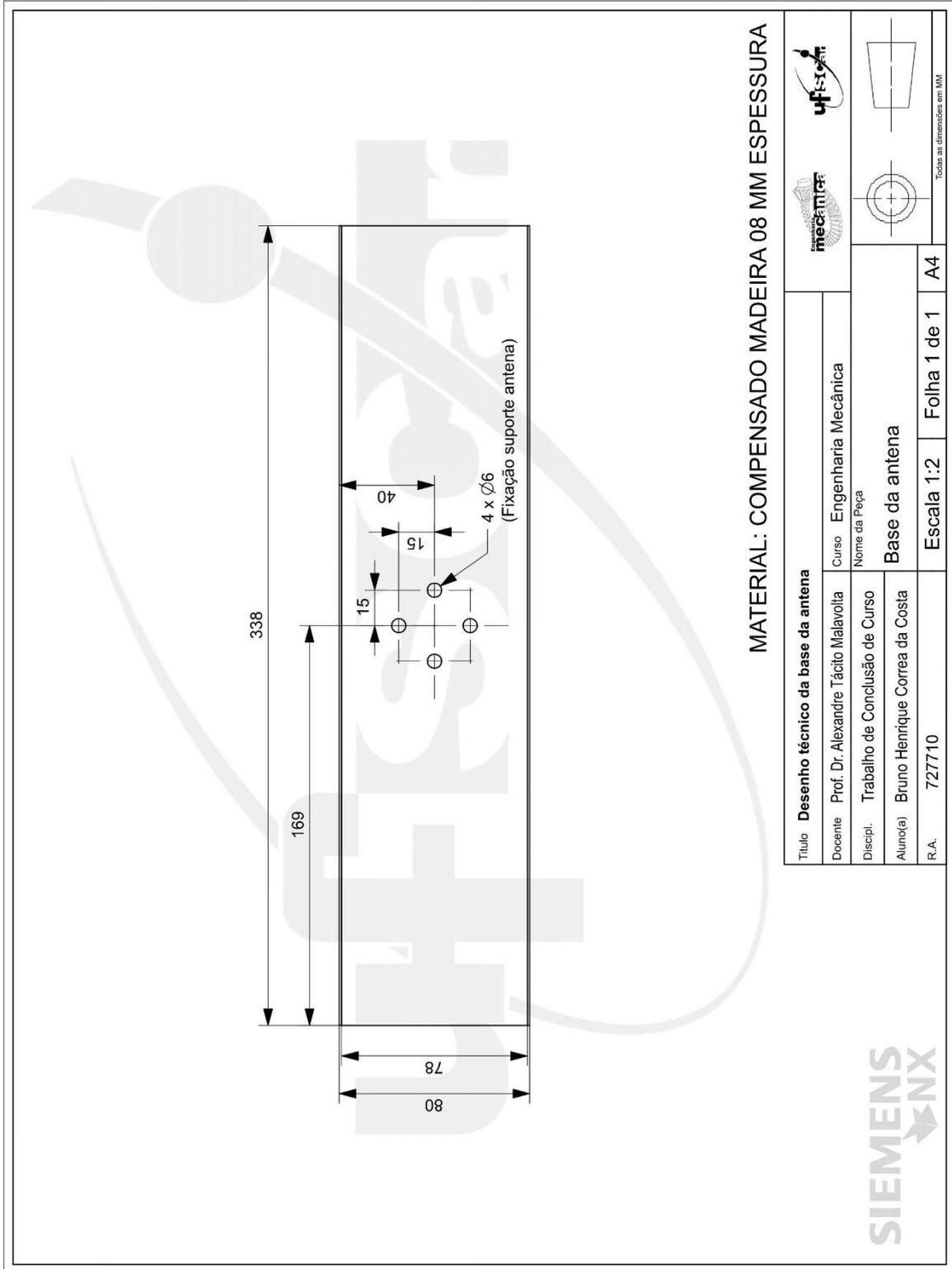
APÊNDICE H: Desenho Técnico – Base do rotor



APÊNDICE I: Desenho Técnico – Lateral da carcaça do rotor



APÊNDICE J: Desenho Técnico – Base da antena



MATERIAL: COMPENSADO MADEIRA 08 MM ESPESSURA



APÊNDICE K: Desenho Técnico – Lateral da antena

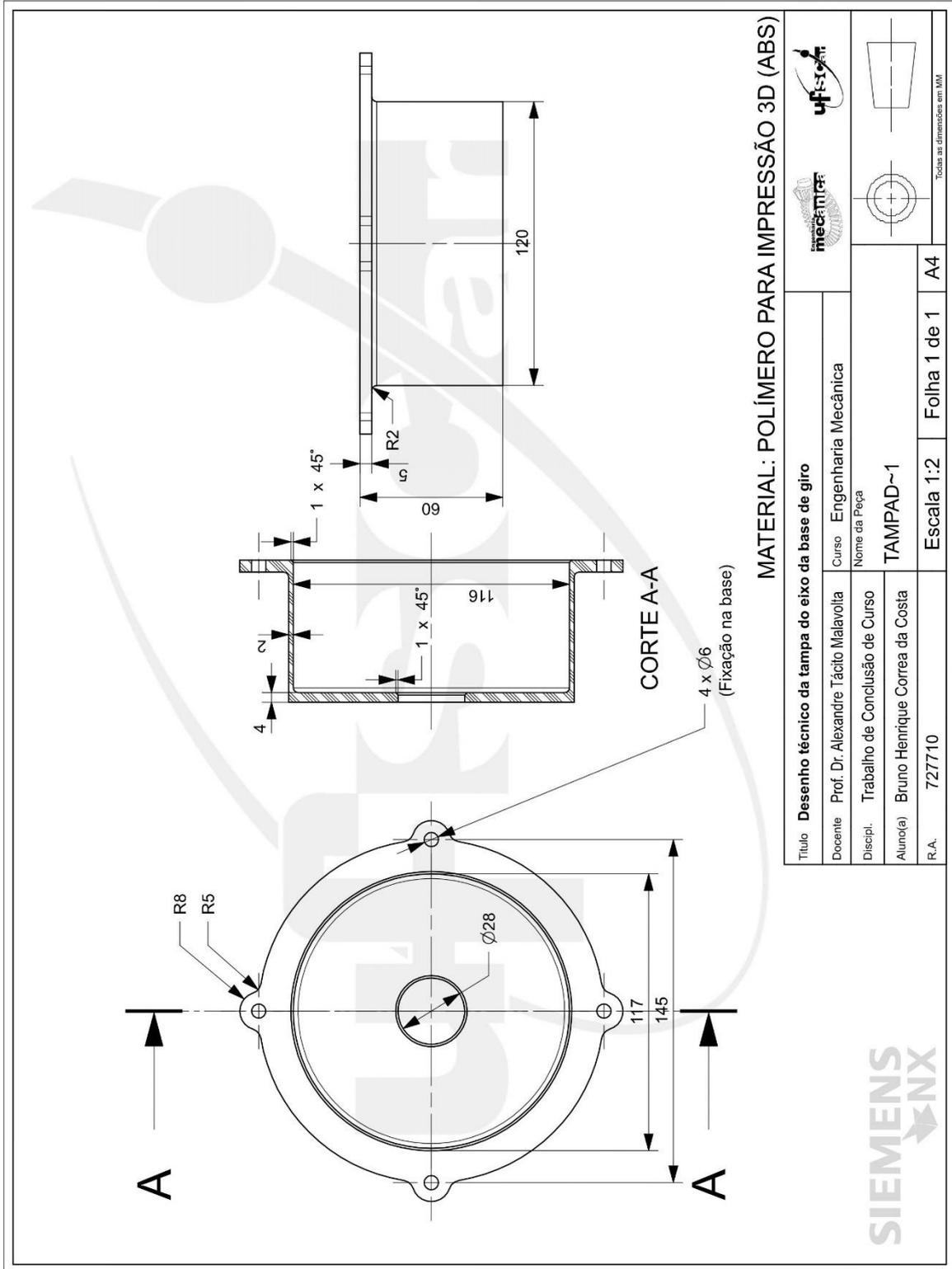
MATERIAL: COMPENSADO MADEIRA 08 MM ESPESSURA

Título Desenho técnico da lateral da antena	
Docente Prof. Dr. Alexandre Tácito Malavolta	Curso Engenharia Mecânica
Nome da Peça	
Lateral antena	
Discipl. Trabalho de Conclusão de Curso	
Aluno(a) Bruno Henrique Correa da Costa	
R.A. 727710	

Todas as dimensões em MM

Escala 1:2	Folha 1 de 1
A4	

APÊNDICE L: Desenho técnico – Tampa do eixo da base de giro



ANEXO A – Datasheet Driver TB6600



TB6600

Stepper Motor Driver

Analog Driver
Model TB6600

Analog Technology, max. 40 VDC / 4.0 A (PEAK)

**Product Description:**

The TB6600 single axis drive is a low cost microstepping drive. It is suitable for driving 2-phase and 4-phase hybrid stepper motors. Not for professional applications.

Features:

- Cost-effective
- Supply voltage up to +40 VDC, Output current up to 4.0 A (PEAK)
- Output current selectable in 8 steps via DIP-switch
- Automatic idle-current reduction (in standstill mode) to reduce motor heating
- Pulse input frequency up to 20 kHz
- Input suitable for 5 V signals
- Inputs are optically isolated
- 6 selectable microstep resolutions, up to 6400 steps/rev with standard 1.8° motors
- Suitable for 2-phase and 4-phase motors
- Supports PUL/DIR mode
- Over current and overheat protection

Electrical Specifications:

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Output current	0.7	-	4.0 (3.5 RMS)	A
Supply voltage	+9	+36	+40	VDC
Logic signal current	8	10	15	mA
Puls input frequency	0	-	20 when duty cycle is 25 high / 75 low 13 when duty cycle is 50 / 50	kHz
Insulation resistance	500			MΩ

Further Specifications:

Microsteps / 1,8 °	200		6400
PUL / DIR		yes	
NEMA sizes	17		24
Motor type Mecheltron	42BYGH-XXXX		60BYGH-XXX

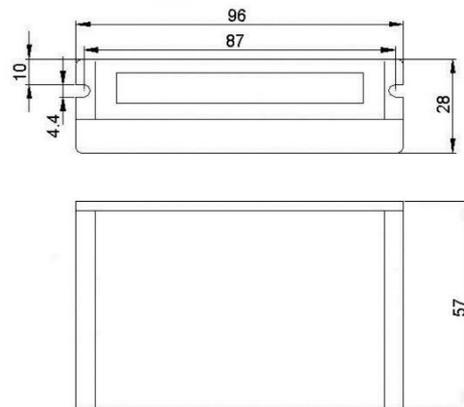
22.01.18

TB6600

Stepper motor driver

Analog Driver
 Model TB6600

Mechanical Specifications: (Unit: mm)

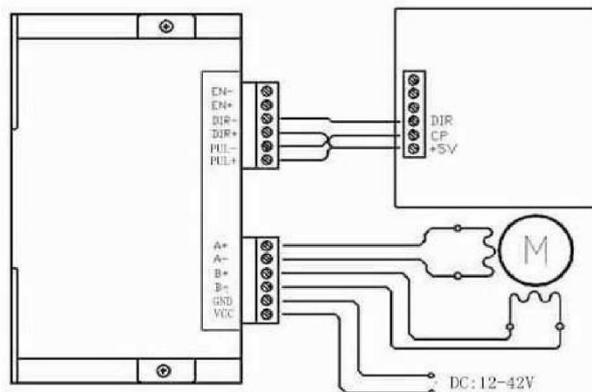


Applications:

Suitable for a wide range of stepping motors of NEMA sizes 17, 23 and 24 (42x42 mm to 60x60 mm). It can be used in various kinds of machines, such as X-Y tables, engraving machines, labeling machines, laser cutters, pick-place devices, and so on. Particularly well suited for applications where low noise levels, less heat development, high speed and high precision are desired.

Typical Connection Schematic:

A typical system consists of stepper motor, stepper motor driver, power supply and controller. The following image shows a typical connection schematic:



Logic control signals which have 5 V can be connected directly;

R 1kΩ must be connected in line when control signal is 12V;

R 2kΩ must be connected in line when control signal is 24V to ensure control signal current is 8mA to 15mA.

22.01.18

ANEXO B – Datasheet Fonte Chaveada S-250-24

www.oyostepper.com

250W Power Supply S-250-24

Features:

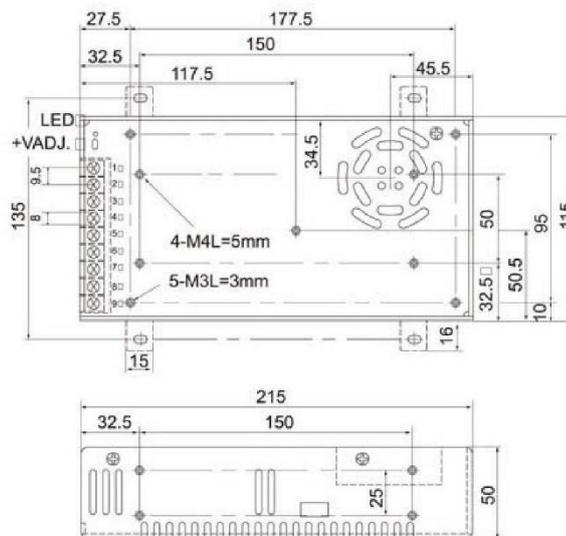
- 24V DC 10A output
- AC input voltage range: 90-132V/180-264VAC
- 115V/230V AC selected by switch
- High efficiency low cost
- Forced air cooling by built-in DC fan
- Low output ripple and yawp
- Over current, over voltage, short circuit and overheat protections
- 215*115*50mm (L*W*H)



General Specification:

Model	S-250-24
DC Output	24V 10A
Wave and Noise	150mVp-p
Inlet Stability	±0.5%
Load Stability	±0.5%
Efficiency	86%
Adjustable range for DC Voltage	10%
AC Input Voltage	90-132V/180-264VAC Slected by Switch
AC Input Current	6A/115VAC 3.5A/230VAC
Working Temperature	-10-50°C
Safety Standards	GB4943, UL60950, EN60950
EMC Standards	GB9254, 55022, ClassB
Weight	1.1kg

Dimensions:



ANEXO C – Datasheet Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical Specifications	Page 2
How to use Arduino Programming Environment, Basic Tutorials	Page 6
Terms & Conditions	Page 7
Environmental Policies half sqm of green via Impatto Zero®	Page 7



radiospares

RADIONICS



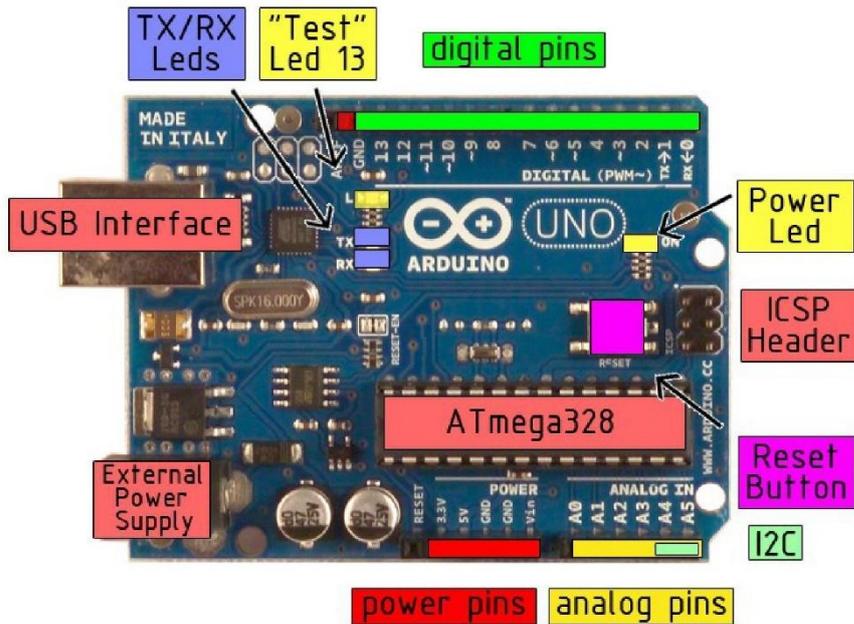
Technical Specification

EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

the board



radiospares

RADIONICS



Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); it has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.



radiospares

RADIONICS



The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL)**. Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF**. Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset**. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available . The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).



radiospares

RADIONICS



Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right.

In **Tools>Board** select

Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.

```

int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13

// The setup() method runs once, when the sketch starts

void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power

void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000);               // wait for a second
}

```

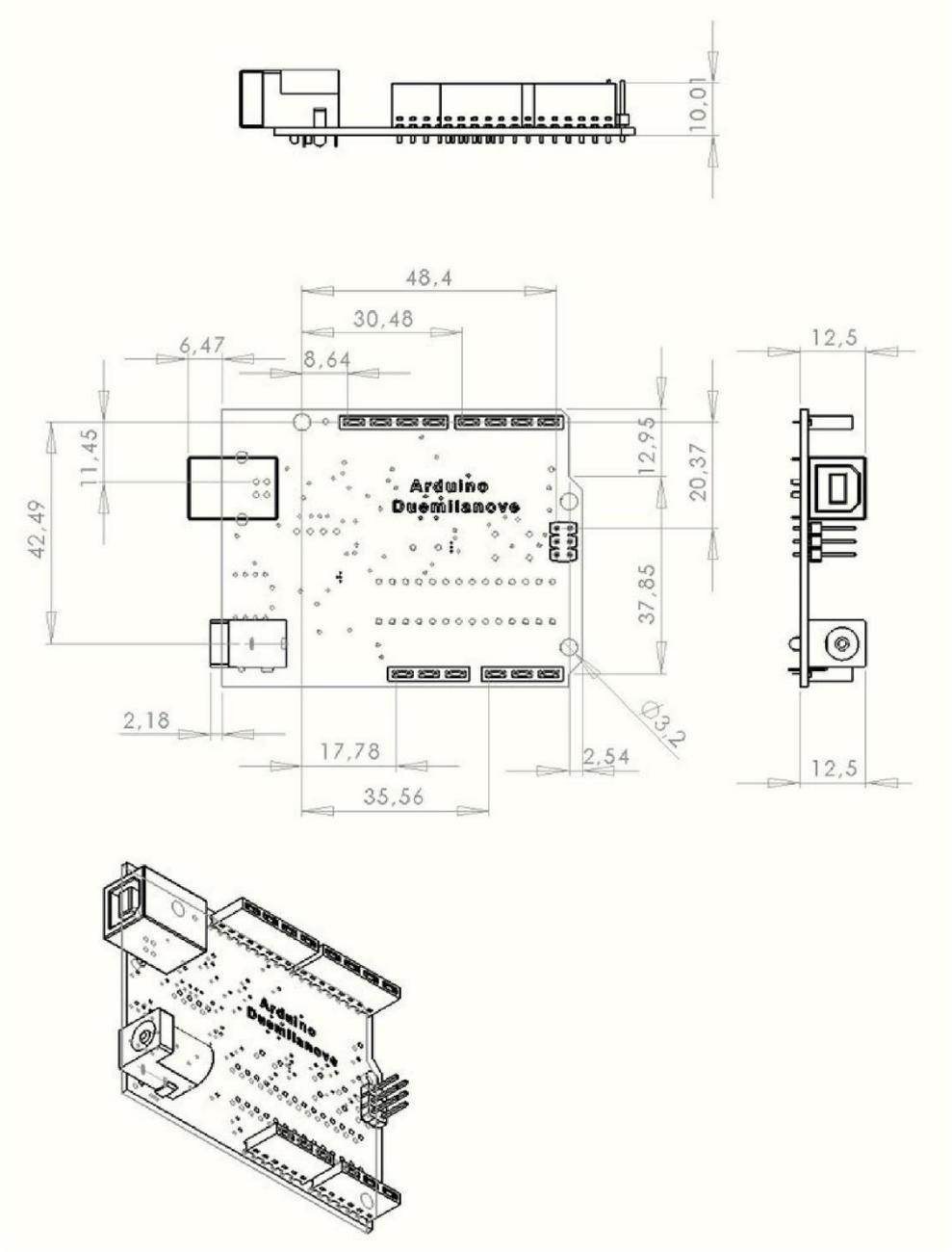


radiospares

RADIONICS



Dimensioned Drawing



radiospares **RADIONICS**



Terms & Conditions



1. Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino® products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino® products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino® products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino® products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

2. Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

3. Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

4. Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.



Environmental Policies



The producer of Arduino® has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



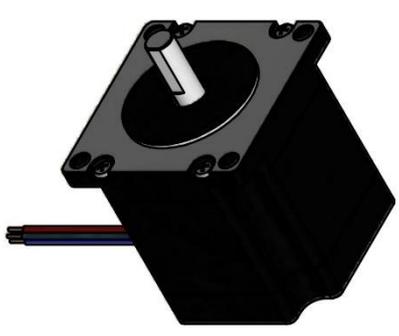
radiospares

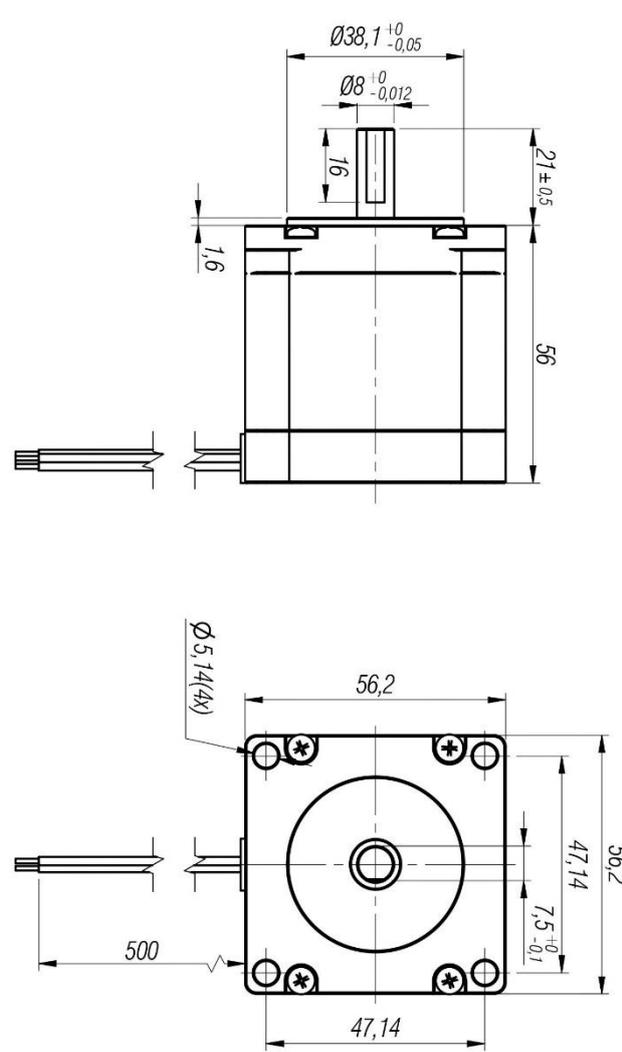
RADIONICS



ANEXO D – Datasheet Motor de Passo TECMAF Nema 23 13 kgf.cm

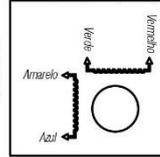
Este projeto é de propriedade intelectual de seus autores, podendo ser utilizados somente de acordo com os limites contratuais. Portanto é vedada sua utilização em parte ou no todo sem expressa autorização dos seus autores.





Dimensões sem tolerância: DIN 7168		Tolerância Angular	
Dimensões mm	05-30 30-60 60-90 90-120 120-150 150-180 180-200	170m	120m
Toler. cl/ usinagem	±0,1 ±0,2 ±0,3 ±0,5 ±0,8 ±1,2	30m	20m
Toler. bruta	+0,2 +0,5 +1 +1,5 +2,0 +3,0 ±4,0	30°	20°

Especificações		Diagrama	
Angulo de Passo	1,8 ± 5%	Corrente	1,5A
Nº de fase	2	Resistência	3,8 ± 10% Ω
Resistência Isolação (500V/DC)	100MΩmin	Indutância	12 ± 20% mH
Classe Isolamento	B	Holding Torque	13 Kgf.cm
Ligação do driver	Paralelo	A+ Vermelho	B+ Amarelo
		A- Verde	B- Azul

DENOMINAÇÃO:		
Linha movimentação		
Motor de passo NEMA 23 - 13 Kgf.cm		
NUMERO DO DESENHO:		ESQUISA
TMA.MPHS.23013.04 R00		FORMATO
TECMAF soluções		A4

ANEXO E – Rolamento AMI KP001

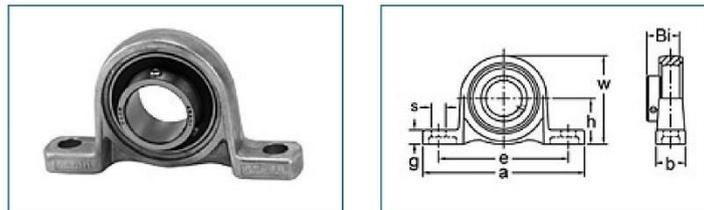
11/11/2021 | Page 1 of 2



AMI Bearings, Inc.
 570 North Wheeling Road
 Mount Prospect, IL 60056
Phone: 800.882.8642 or 847.759.0620
Fax: 847.759.0630
Email: amiorders@amibearings.com
Website: www.amibearings.com

Item # KP001, Set Screw Locking Pillow Block Unit, KP000 Series

- Insert
 - Set Screw Locking
 - Light Duty
 - Extra Narrow Inner Ring
 - AISI 52100 Steel
- Housing
 - Pillow Block
 - ZDC Alloy
 - Non-relubricatable



Specifications | Dimensions

Specifications	
Shaft Diameter	12 mm
Bolt Size	M6
Bearing	K001

Housing	P001
Weight	0.20 lb

Dimensions

h	19 mm
a	71 mm
e	56 mm
b	16 mm
s	7 mm
g	6 mm
w	38 mm
Bi	14.5 mm

ANEXO F – Rolamento AMI KFL001

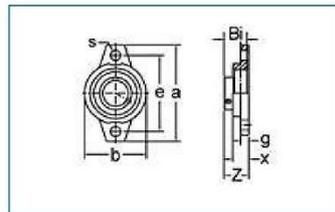
11/11/2021 | Page 1 of 2



AMI Bearings, Inc.
 570 North Wheeling Road
 Mount Prospect, IL 60056
Phone: 800.882.8642 or 847.759.0620
Fax: 847.759.0630
Email: amiorders@amibearings.com
Website: www.amibearings.com

Item # KFL001, Set Screw Locking Two-Bolt Flange Unit, KFL000 Series

- Insert
 - Set Screw Locking
 - Light Duty
 - Extra Narrow Inner Ring
 - AISI 52100 Steel
- Housing
 - Two-Bolt Flange
 - ZDC Alloy
 - Non-relubricatable



Specifications | Dimensions

Specifications	
Shaft Diameter	12 mm
Bolt Size	M6
Bearing	K001

Housing	FL001
Weight	0.17 lb

Dimensions

a	63 mm
e	48 mm
g	5.5 mm
x	11.5 mm
s	7 mm
b	38 mm
Z	16 mm
Bi	14.5 mm

ANEXO G – Rolamento SKF UCF-204

Gerado de www.skf.com em 2021-11-11



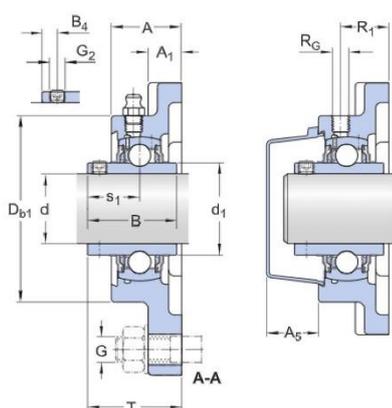
UCF 204

Unidades flangeadas quadradas de rolamento de esferas

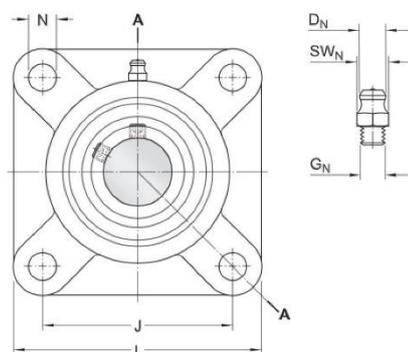
Especificações técnicas

Conformidade com a norma	JIS
Purpose specific	For material handling applications
Material da caixa de mancal	Ferro fundido
Sealing solution	Standard seals with additional flingers

DIMENSÕES



d	20 mm	Diâmetro do furo
d1	≈28.7 mm	Diâmetro externo do anel interno
A	25.5 mm	Largura total
A ₁	11 mm	Largura do flange
A ₅	20.5 mm	Folga da tampa de fechamento
B	31 mm	Largura geral do rolamento
B ₄	5 mm	Distância da face lateral do dispositivo de fixação integral para o centro da rosca
D _{b1}	60 mm	Diâmetro externo superior
J	64 mm	Distância entre os parafusos de fixação
L	86 mm	Comprimento total
N	12 mm	Diâmetro do furo para parafuso de fixação



s1	18.3 mm	Distância da face lateral do dispositivo de fixação integral para o centro da pista
T	33.2 mm	Largura geral da unidade

PINO GRAXEIRO

DN	6.6 mm	Diâmetro do cabeçote esférico do pino graxeiro
SWN	7.94 mm	Tamanho da chave sextavada para o pino graxeiro
G _N	1/4-28 UNF	Rosca do pino graxeiro

FURO ROSCADO

R	1/4-28 UNF	Rosca do mancal para pino graxeiro
R	17 mm	Posição axial da rosca do mancal

DADOS DE CÁLCULO

Classificação de carga dinâmica básica	C	12.7 kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	6.7 kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.285 kN
Velocidade-limite com tolerância do eixo h6		6 500 r/min

MASSA

Mass bearing unit	0.53 kg
-------------------	---------

INFORMAÇÕES DE MONTAGEM

Rosca do pino roscado	G ₂	M6x1
Tamanho da chave sextavada para pino roscado		3.05 mm

Torque de aperto recomendado para pino roscado		4 N·m
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, mm	G	10 mm
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, em polegadas	G	0.375 in

PRODUTOS INCLUÍDOS

Caixa de mancal		F 204/Y
Rolamento		UC 204

PRODUTOS ASSOCIADOS

Tampa de fechamento		ECY 204
---------------------	--	---------

Mais informações

Detalhes do produto	Informações de engenharia	Ferramentas
Unidades flangeadas de acordo com as normas ISO		Bearing Select
Unidades flangeadas de acordo com os padrões norte-americanos	Princípios de seleção e aplicação de unidades de rolamento de esferas – Baixar o catálogo (4.9 MB) Princípios da seleção de soluções de rolamentos montados	Engineering Calculator Instruções para montagem e desmontagem de rolamentos
Unidades flangeadas de acordo com os padrões industriais japoneses (JIS)	Falha do rolamento e como evitá-la	
Unidades flangeadas, não padronizadas (SKF Food Line)		
Permissible misalignment		
Locating/non-locating support flanged		
Cargas		
Limites de temperatura		
Velocidade permitida		
Lubrificação		
Montagem e desmontagem		
Ordering information		
Sistema de designação		

Termos e condições

Ao acessar e utilizar este site/aplicativo do Grupo SKF, o que inclui a AB SKF e/ou qualquer uma de suas afiliadas, especialmente SKF do Brasil Ltda., CNPJ 61.077.327/0001-56 ("SKF"), você concorda com os seguintes termos e condições

Uso do site/aplicativo

É proibido acessar áreas de programação do site/aplicativo, seus bancos de dados, códigos fonte ou qualquer outro conjunto de dados disponíveis nestes ambientes, bem como não realizar ou permitir engenharia reversa, nem traduzir, decompilar, copiar, modificar, reproduzir, alugar, sublicenciar, publicar, divulgar, transmitir, emprestar, distribuir ou, de outra maneira, dispor inapropriadamente das funcionalidades do site/aplicativo.

É proibida a utilização de softwares de mineração de dados (bots, crawler, spider etc.), de qualquer tipo ou espécie, além de outro aqui não tipificado que atue de modo similar

No caso de violação de quaisquer disposições constantes dos Termos e Condições, o usuário deverá indenizar a SKF e terceiros eventualmente lesados por todas as perdas, danos, inclusive de ordem moral ou concorrencial, despesas ou outros encargos ocasionados por tal violação, incluindo, mas não se limitando, a honorários advocatícios e despesas judiciais.

Exclusão da garantia e limitação de responsabilidade

Embora todo cuidado tenha sido tomado para assegurar a precisão das informações deste site/aplicativo, a SKF fornece essas informações "NO ESTADO" e SEM QUAISQUER GARANTIAS, EXPRESSAS OU IMPLÍCITAS, INCLUINDO, ENTRE OUTRAS, GARANTIAS IMPLÍCITAS DE COMERCIALIZAÇÃO E ADEQUAÇÃO PARA UM DETERMINADO PROPÓSITO. Você reconhece que o uso deste site/aplicativo é um risco unicamente seu, que você assume total responsabilidade por todos os custos associados ao uso do site/aplicativo e que a SKF não será responsabilizada por quaisquer danos diretos, incidentais, consequentes ou indiretos de qualquer espécie decorrentes de seu acesso ou uso das informações ou software disponibilizados no site/aplicativo.

O site/aplicativo e suas funcionalidades são apresentados ao usuário na maneira como estão disponíveis, podendo passar por constantes aprimoramentos e atualizações.

Quaisquer garantias e representações neste site/aplicativo em relação a produtos ou serviços da SKF adquiridos ou utilizados por você estarão sujeitas aos termos e condições acordados no contrato do referido produto ou serviço.

Além disso, para sites/aplicativos que não sejam da SKF e que sejam referidos em nosso site/aplicativo ou onde haja um hiperlink, a SKF não dá garantias relativas à precisão ou confiabilidade das informações desses sites/aplicativos, não assumindo qualquer responsabilidade por materiais criados ou publicados por terceiros ali contidos. Ademais, a SKF não garante que este site/aplicativo ou outros sites/aplicativos vinculados não contenham vírus ou outros elementos nocivos. Sem prejuízo de outras disposições, a SKF não se responsabiliza:

- (i) Pelo uso indevido das informações, dos instrumentos e/ou dos materiais disponibilizados no site/aplicativo, para quaisquer fins, feito pelo usuário, sendo de sua inteira responsabilidade as eventuais lesões a direito próprio ou de terceiros, causadas por esse uso inadequado;
- (ii) Por quaisquer problemas, bugs, glitches ou funcionamentos indevidos que ocorrerem nos dispositivos e equipamentos do usuário, e
- (iii) Por qualquer dano direto ou indireto ocasionado por eventos de terceiros, a exemplo, mas não se limitando a ataque de hackers, falhas no sistema, no servidor ou na conexão à internet, inclusive por ações de softwares que possam danificar seus ativos físicos ou lógicos em decorrência do acesso, utilização ou navegação no site/aplicativo, bem como a transferência de dados, arquivos, imagens, textos ou vídeos contidos no site.

Direitos Autorais

Os direitos autorais deste site/aplicativo e os direitos autorais das informações e software disponibilizados neste site/aplicativo pertencem à SKF ou seus licenciadores. Todos os direitos são reservados. Todo o material licenciado faz referência ao licenciador que cedeu à SKF o direito de utilizar o material. As informações e o software disponibilizados neste site/aplicativo não podem ser reproduzidos, duplicados, copiados, transferidos, distribuídos, armazenados, modificados, transferidos por download ou explorados de qualquer outra forma, para qualquer uso comercial, sem