

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

Katylín Rainara Cunha de Meira

Projeto conceitual de um rastreador de satélites



São Carlos
2023

Katylin Rainara Cunha de Meira

Projeto conceitual de um rastreador de satélites

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

Orientador: Prof. Dr. Mariano Eduardo Moreno

São Carlos

2023

Katylin Rainara Cunha de Meira

Projeto conceitual de um rastreador de satélites/ Katylin Rainara Cunha de Meira. – São Carlos, 2023-

92p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Mariano Eduardo Moreno

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – CCET
Departamento de Engenharia Mecânica – DEMec, 2023.

1. Nanossatélites. 2. Segmento solo. 3. Rastreamento. 4. Rotor. I. Prof. Dr. Mariano Eduardo Moreno. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Bacharel.



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 2/2023/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

KATYLIN RAINARA CUNHA DE MEIRA

PROJETO CONCEITUAL DE UM RASTREADOR DE SATÉLITES

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 10 de fevereiro de 2023

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Mariano Eduardo Moreno
Membro da Banca 1	Alexandre Tácito Malavolta
Membro da Banca 2	Flávio Yukio Watanabe



Documento assinado eletronicamente por **Mariano Eduardo Moreno, Docente**, em 10/02/2023, 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 **Alexandre Tácito Malavolta, Docente**, em 10/02/2023, 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 **Flavio Yukio Watanabe, Docente**, em 10/02/2023, 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 **0941332** e o código CRC **FB7D1033**.

Dedico este trabalho à Nsa. Sra. Aparecida como sinal de
minha devoção.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as oportunidades que me destes ao longo da minha trajetória. Agradeço aos meus pais Tais e Daniel que mesmo com pouca formação acadêmica, sempre me incentivaram a buscar um ensino superior. Agradeço ao meu namorado e aos meus amigos que foram parceiros desta jornada. Agradeço aos meus professores por tudo que me ensinaram e em especial ao professor orientador deste trabalho, pela paciência e dedicação.

"Você precisa fazer aquilo que pensa que não é capaz de fazer.."

Eleanor Roosevelt

RESUMO

CUNHA DE MEIRA, Katylin Rainara. PROJETO CONCEITUAL DE UM RASTREADOR DE SATÉLITES. 2023. 93 F. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, 2023.

No cenário de avanços tecnológicos no setor aeroespacial e dado o número crescentes por missões espaciais com nanossatélites de baixo custo, construídos para fins educacionais e lançados em órbitas baixas da Terra faz-se necessário soluções que viabilizem a comunicação entre segmento solo e segmento espacial. Desta forma, para que a comunicação aconteça é necessário que a antena se mova acompanhando a trajetória do satélite, no máximo raio de visão possível. Sendo assim, propõe-se neste trabalho um projeto conceitual que visa trazer uma solução para a necessidade de rastreamento de satélites, de modo que o produto Rastreador, seja capaz de acompanhar um satélite em órbita tanto em azimute quanto em elevação. Feito isto, verificou-se durante o processo de concepção a dificuldade em encontrar-se os componentes adequados, em alguns casos a solução foi projetar componentes que atendam ao objetivo, outros desafios foram encontrados nas interfaces entre cada subsistema, mas para cada um deles foi dada uma solução tecnicamente viável avaliada sempre que cabível com base em teorias de metodologia de projeto, chegando-se a um conceito do produto Rastreador. Diversos aspectos referentes ao projeto são apresentados e discutidos, justificando as soluções adotadas. O conceito aqui apresentado, mostrou-se factível, montável e manufaturável, entretanto ainda precisa ser testado e algumas otimizações em relação à massa e à geometria dos componentes podem ser feitas nas próximas etapas da metodologia que referem-se ao projeto preliminar e ao projeto detalhado.

Palavras-chave: Nanossatélites. Segmento solo. Rastreamento. Rotor.

ABSTRACT

CUNHA DE MEIRA, Katylin Rainara. CONECEPTUAL DESIGN OF SATELLITE TRACKER. 2023. 93 F. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São Carlos, 2023.

Given the technology advancements in the aerospace sector and the increasing number of low-cost educational nanosatellite missions launched in low Earth orbits, it's necessary to find solutions that enable communication between the ground and space segments. In order to occur the communication, it's necessary that the antenna follows the satellite's trajectory along the largest possible field of view. Therefore, this work proposes a conceptual design aimed to provide a solution for satellite tracking, so that the "tracker" is able to track a satellite in orbit in both azimuth and elevation. The design process revealed difficulties in finding appropriate components and, in some cases, custom components had to be designed to meet the objectives. Other challenges were faced in the interfaces between each subsystem, but technically feasible solutions were found and evaluated, whenever possible, based on design methodology theories, reaching the concept of the "tracker" product. Several aspects related to the project are presented and discussed, justifying the adopted solutions. The concept presented here proved to be feasible, assemblable and manufacturable, however, it still needs to be tested, and further optimization of the mass and geometry of components can be done in later stages of the methodology, such as the preliminary and detailed design stages.

Keywords: Nanosatellites. Ground segment. Tracking. Rotor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de uma comunicação uni ou bidirecional via satélite	21
Figura 2 – Algumas configurações de CubeSats	22
Figura 3 – Principais órbitas terrestres de satélites	23
Figura 4 – Segmento solo: Estações terrestres (a) Estação fixa (b) Estação móvel (c) Estação móvel modular	25
Figura 5 – Antenas para as bandas UHF, VHF e S (a) Antena Yagi-Uda (b) Antena parabólica	27
Figura 6 – Kit estação terrena completa ISIS	29
Figura 7 – Posicionadores de antena Holmarc	30
Figura 8 – Posicionadores de antena Comtech Telecommunications corp.	31
Figura 9 – Posicionadores de antena Yaesu	31
Figura 10 – Posicionadores de antena SPID	32
Figura 11 – Estação terrena (ET) INPE-CRS	33
Figura 12 – Estação terrena (ET) INPE-ITA	34
Figura 13 – Representação da Estação terrena e seus principais subsistemas	34
Figura 14 – Tipos de sistemas de transmissão: (a) Planetário (b) Parafuso sem-fim (c) Trem de engrenagens (d) Cônicos	36
Figura 15 – Configuração aberta com duas polias de diâmetros diferentes	37
Figura 16 – Etapas de um projeto segundo Pahl et al. (2005)	40
Figura 17 – Constituição formal de uma lista de requisitos	41
Figura 18 – Subetapas ou passos da Concepção de projetos	42
Figura 19 – Etapas consideradas para a concepção do projeto de um rastreador de satélites	44
Figura 20 – Subsistemas principais de um rastreador de satélites	49
Figura 21 – Subsistema do GDL- azimute	50
Figura 22 – Subsistema do GDL- elevação	50
Figura 23 – Subsistema do suporte da(s) antena(s)	51
Figura 24 – Motor de passo Nema 34 mais redutor de 10:1, solução escolhida para os graus de liberdade de Azimute e elevação	52
Figura 25 – Entrada e saída do primeiro subsistema. (a) Vista isométrica (b) Vista frontal (c) Vista em corte	52
Figura 26 – Mesa rotativa de um torno vertical	53
Figura 27 – Modelo do primeiro subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD	54
Figura 28 – Rolamento axial com seta preta representando a direção da carga	54
Figura 29 – Rolamento radial de contato angular com seta preta representado a direção da carga	55

Figura 30 – Pré carga no rolamento radial de contato angular por meio do aperto de 4 parafusos longos	56
Figura 31 – Rolamentos presentes na composição do primeiro subsistema	56
Figura 32 – Componentes para manufatura em aço SAE 1020. Em (a) Mesa de suporte do motor (b) Bucha de transferência de giro do motor	57
Figura 33 – Componentes para manufatura em alumínio. Em (a) Bucha de aperto do rolamento radial (b) Bucha guia do rolamento radial (c) Mesa e suporte do segundo GDL (d) Parte móvel principal (e) Suporte da vedação	57
Figura 34 – Tubo comercial com flanges e nervuras soldadas	58
Figura 35 – Alojamento retangular recomendado para vedação do tipo oring	58
Figura 36 – Dimensões da vedação tipo oring escolhida para a aplicação	58
Figura 37 – Dimensões da vedação radial rotativa escolhida	59
Figura 38 – Recomendações fabricante para alojamento da vedação radial rotativa	59
Figura 39 – Disposição das vedações na montagem do primeiro grau de liberdade	59
Figura 40 – Solução para transmissão do movimento do motor para o subsistema. (a) Vista em corte bucha e chaveta (b) Vista em corte fixação no conjunto (c) Vista completa do acoplamento bucha e motor	60
Figura 41 – Esquema de funcionamento do primeiro grau de liberdade	60
Figura 42 – Sequência de montagem	61
Figura 43 – Representação da cinemática do segundo subsistema GDL de elevação	63
Figura 44 – Modelo do segundo subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD	64
Figura 45 – Parâmetros geométricos do sistema de transmissão por polias e correia	64
Figura 46 – Berço dos mancais - peça com posicionamento usinado para alocação dos mancais	66
Figura 47 – Esquemático das forças isostática atuando nos mancais	66
Figura 48 – Caixa de mancal e parâmetros da série SY modelo 30 TF	67
Figura 49 – Soluções para o segundo subsistema (a) Fixação do motor na chapa dobrada (b) Parede de acrílico para proteção do motor	68
Figura 50 – Soluções para o segundo subsistema (a) Barra roscada e tubo de alumínio como elemento conector entre primeiro e segundo subsistema (b) Barra roscada e porca para a fixação do mancal ao berço	68
Figura 51 – Eixo de fixação do suporte da antena com adaptações para acoplamento	69
Figura 52 – Modelo do terceiro subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD	69
Figura 53 – Perfil de alumínio estrutural	70
Figura 54 – Proposta inicial para solução de contrapeso	70
Figura 55 – Fixação da antena ao perfil de alumínio por meio de chapa e porcas martelo	70
Figura 56 – Componentes de montagem em perfis Legho: cantoneiras, fechamentos, parafusos e porcas martelo	71

Figura 57 – Fixação do eixo ao suporte da antena (a) Rasgo e chaveda parafusada (b) Peça de reforço para o perfilado	71
Figura 58 – Conceito de um Rastreador de satélites com dois graus de liberdade	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Altitudes e períodos de revolução das órbitas terrestres	24
Tabela 2 – Bandas e Faixas de frequências autorizadas para o Serviço de Radioamador por satélite	27
Tabela 3 – Especificações do rotor G-5500DC	32
Tabela 4 – Características básicas de transmissões para diferentes tipos de engrenagens	36
Tabela 5 – Quadro comparativo com os sistemas de transmissão citados	39
Tabela 6 – Lista de requisitos	48
Tabela 7 – Solução de referência e outras soluções possíveis para o motor do GDL1 . .	51
Tabela 8 – Comparação entre solução de referência e combinações de motores para o primeiro e segundo subsistema	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLDC	Brushless Direct Current
CAD	Desenho assistido por computador
DIN	Deutsches Institut für Normung / Instituto Alemão de Normatização
ERBs	Estações rádio base
ERS	Estações de Rastreo de Satélite
ET	Estação terrestre
ETBs	Estações Terrestres Brasileiras
GDL	Grau de Liberdade
GEO	Geosynchronous Earth Orbit / Órbita geoestacionária
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HEO	Highly Elliptical Orbit / Órbita elíptica alta
HF	High Frequency / Frequência Alta
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet das coisas
ISS	International Space Station
ITU	International Telecommunication Union
LEO	Low earth orbit / Órbita baixa da Terra
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MEO	Medium Earth Orbit / Órbita Terrestre Média
TC	Telecomando
TM	Telemetria
UHF	Ultra High Frequency / Frequência Ultra Alta
VHF	Very High Frequency / Frequência Muito Alta

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Distância entre centros
A	Fator de carga mínima
c_0	Fator básico de carga
C_0	Classificação de carga estática
c_1	Fator de dentes em contato
c_2	Fator de carga total
c_3	Fator de correção de velocidade
c_6	Fator de correção de fadiga
c_7	Fator de comprimento da correia
d	Diâmetro
i	Relação de transmissão
f	Frequência
F_{am}	Carga mínima
k_a	Fator de carga mínima axial
L	Comprimento da correia
n	Rotação
P	Potência
P_B	Potência de projeto
P_U	Potência de transmissão da correia
r	Rotação
T	Torque
x	Ajuste mínimo de tensão da correia
y	Ajuste mínimo de envolvimento da correia na polia
θ	Ângulo de abraçamento
λ	Comprimento de onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	O que é um rastreador de satélites e o que ele faz?	19
2.2	O que é a comunicação por satélite e como ela funciona?	20
2.3	Missão espacial	20
2.3.1	Segmento espacial	22
2.3.1.1	Satélites	22
2.3.1.2	Carga útil dos satélites	23
2.3.1.3	Órbitas	23
2.3.2	Segmento solo	24
2.3.2.1	Estação terrestre	24
2.3.2.2	Antenas	26
2.3.2.3	Rotor	28
2.4	Soluções de segmento solo	29
2.4.1	Soluções comerciais	29
2.4.1.1	ISISPACE	29
2.4.1.2	HOLMARC	30
2.4.1.3	COMTECH SPACE	30
2.4.1.4	YAESU G-550	31
2.4.1.5	SPID-UK BIG RAS Az-El	32
2.4.2	Soluções universitárias	33
2.5	Sistemas de Transmissão aplicados à rastreadores de satélites	34
2.5.1	Sistema de transmissão	35
2.5.1.1	Elementos de transmissão rígidos	35
2.5.1.2	Elementos de transmissão flexíveis	36
2.5.2	Vantagens e desvantagens de cada sistema de transmissão	38
2.6	Projeto conceitual	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1	Materiais	44
3.2	Métodos	44
4	RESULTADOS: RASTREADOR DE SATÉLITES	47
4.1	Etapa 1 e Etapa 2: Lista e classificação dos requisitos	47
4.2	Etapa 3: Divisão em subsistemas	49

4.3	Etapa 4 e Etapa 5: Entradas, saídas e busca por soluções para cada subsistema	51
4.3.1	Primeiro subsistema: GDL - Azimute	51
4.3.2	Segundo subsistema: GDL - Elevação	61
4.3.3	Terceiro subsistema: Suporte de antena(as)	69
4.4	Etapa final: Concepção do projeto	72
5	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	74
	ANEXO A – DATASHEET MOTOR: KTC-HT34-487-R:10 - NEMA 34	78
	ANEXO B – DATASHEET ROLAMENTO: 51128	79
	ANEXO C – DATASHEET ROLAMENTO: 7216 BECBP	83
	ANEXO D – DATASHEET CAIXA DE MANCAL: SY 30TF	88

1 INTRODUÇÃO

Reunir-se por meio de uma vídeo chamada com alguém que está em qualquer lugar do mundo, fazer uma ligação via telefone ou celular, atualizar-se com as notícias de uma estação de rádio, saber como estará o clima nas próximas semanas, poder assistir a copa do mundo sendo transmitida ao vivo do Catar, saber como chegar a qualquer lugar mesmo sem conhecê-lo. Já imaginou sua vida antes dessas possibilidades? E como seria o isolamento na pandemia de corona vírus sem poder comunicar-se com as pessoas, mesmo que à distância?

Tudo isto só é possível por conta do crescente desenvolvimento no setor aeroespacial, desde o lançamento do Sputnik, primeiro satélite desenvolvido pelos soviéticos na década de 50, até agora foram inúmeras pesquisas, desafios técnicos e financeiros, que tornaram as missões espaciais cada vez mais viáveis e sinônimo de modernidade e integração mundial (TRINDADE; TRINDADE, 2006); (INFOMONEY, 2021).

Não há dúvidas das vantagens relacionadas aos satélites, sendo o setor aeroespacial um dos que mais crescem e se desenvolvem tecnologicamente no mundo (RUSSO, 2013). Comparando-se o Brasil a outros países em condições semelhantes (população, PIB e extensão territorial) como: Estados Unidos, China, Índia e Rússia, o Brasil é o único que até 2017 não possuía satélite de comunicações próprio, levando atraso à acessibilidade devido aos altos custos e também riscos à segurança. Ainda hoje, o Brasil utiliza de 45 satélites de comunicação, todos de companhias localizadas fora do país (FAPESP, 2017); (CASTRO, 2021); (PAM, 2022).

Apesar de parecer algo tão distante, o avanço tecnológico têm permitido a redução de custos e tamanho dos componentes eletrônicos comerciais que compõem os satélites, o que têm viabilizado o crescente desenvolvimento educacional setor aeroespacial, principalmente em construções e lançamentos de "CubeSats", que além de uma ferramenta de ensino, também vem sendo utilizados por diferentes instituições para atender a diferentes objetivos, inclusive comerciais, em aplicações científicas, sensoriamento remoto da Terra, telecomunicações, defesa, entre outras (CGEE, 2018).

Nesse sentido, não somente a construção e o lançamento dos satélites são suficientes, mas sua comunicação e controle quando em órbita são essenciais para o sucesso da missão. Por esta razão as estações terrestres compõem parte fundamental do projeto, e da mesma forma que a redução de custo ocorre nos satélites, as estações terrestres também devem seguir esta tendência como forma de viabilizar e popularizar ainda mais estas missões espaciais.

Porém, mesmo com a popularização do desenvolvimento nacional de "CubeSats" nos ambientes universitários, sendo os pioneiros: o NanoSatC-BR1, o AESP-14 e o Serpens, o desenvolvimento de estações terrestres de baixo custo, não têm seguido o mesmo ritmo, sendo o aprendizado focado mais no segmento espacial (satélites e carga útil) que no segmento solo

(estações terrestres), estes que por sua vez, vêm sendo adquiridas de empresas estrangeiras.

Neste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso busca trazer uma solução relacionada ao segmento solo que permita a comunicação com o segmento espacial. Diversos são os componentes que compõem o segmento solo e entre eles pode-se citar o arranjo de antenas, sistemas de controle, rotor de sustentação e movimentação das antenas. Dentre os componentes associados ao segmento solo, o foco deste trabalho refere-se ao desenvolvimento de um projeto conceitual para um rotor, que deve ser capaz de acompanhar o "Cubesat" quando em órbita baixa e não estacionária, no grau de liberdade de azimute e em elevação.

A proposta do projeto conceitual de um rastreador de satélites, tem por objetivo utilizar-se dos conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Mecânica da UFSCar para trazer uma solução alternativa aos kits comerciais de estações terrestres, que apresentam alto custo e devem ser importados. A ideia principal, é por meio da concepção saber se é viável o desenvolvimento de um rastreador de satélites com componentes disponíveis no mercado nacional e a manufatura de peças quando necessário.

Para isto, o trabalho foi dividido em 3 partes principais, sendo a primeira delas a revisão bibliográfica que está composta pela descoberta do problema a ser resolvido, contexto em que o produto a ser concebido encontra-se inserido, exploração de soluções já existentes para rastreadores comerciais ou universitários. A segunda parte trata dos materiais utilizados para a concepção e da metodologia empregada para chegar-se até o conceito de um produto de engenharia. Por fim, a última parte apresenta os desafios e os resultados da concepção proposta.

A conclusão esperada é que o projeto conceitual entregue valor para as próximas etapas de projeto, ao mostrar-se viável. As ideias de soluções discutidas e os requisitos levantados, servem para dar continuidade até que se chegue no produto final. Espera-se que este conceito, se mostre prático e simples, tornando a construção da estação terrestre uma solução plausível e a ser considerada nas missões espaciais estudantis, seja pelo interesse prático, ou por ser uma solução atrativa economicamente quando comparada a compra de kits importados, possibilitando assim uma autonomia na missão, desde o segmento espacial até o segmento solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresentam-se aqui conceitos básicos a respeito de satélites, órbitas, estações terrestres e de rastreamento, bem como assuntos referentes a ferramentas de metodologia de projeto que foram utilizadas no desenvolvimento das soluções apresentadas e discutidas neste trabalho.

2.1 O que é um rastreador de satélites e o que ele faz?

O rastreador de satélites normalmente encontra-se presente em estações terrestres e está associado diretamente ao tipo de satélite que orbita no espaço. Se o satélite for do tipo geostacionário, a comunicação é relativamente simples uma vez que a antena receptora aponta sempre para a mesma região do espaço. Porém, para os demais satélites, é necessário fazer com que a antena acompanhe a passagem do satélite enquanto ele estiver visível da estação (GARCIA; BRONDO; PEREZ, 2012). Este acompanhamento é conhecido por rastreamento do satélite, e é isto que um rastreador de satélites deve fazer. Segundo Gomes et al. (2002), para que uma estação terrestre receptora de sinais de satélites esteja completa, ela necessita de 3 macros componentes, que são:

- Simulador do movimento orbital: O simulador prevê quando o satélite entrará na região de visibilidade da estação, enviando coordenadas de azimute e elevação para o módulo de controle da antena.
- Sistema robótico para o rastreamento: Se divide em sistema mecânico e eletrônico. Sendo o sistema mecânico responsável pelo suporte e movimentação da antena, composto por atuadores do tipo moto-redutores e elementos de sustentação. O sistema eletrônico contém todo o hardware de controle em tempo real e a interface de comunicação entre o simulador e o sistema robótico, que envia as trajetórias de referência para os atuadores.
- Antena receptora: Consiste no próprio dispositivo físico, que varia em tipo e tamanho a depender da frequência e banda do satélite com o que se deseja comunicar.

Neste trabalho, o foco de estudo está no sistema mecânico para o rastreamento de satélites, entretanto sabe-se que este sistema está inserido em um contexto mais amplo e para que ele cumpra suas funcionalidades de acordo com sua aplicação, não somente conhecer o que ele deve fazer é necessário, como também conhecer o contexto em que ele está inserido. Por isto na primeira parte da revisão bibliográfica, pretende-se explorar um pouco mais a respeito de cada item associado ao rastreador, iniciando-se pelo entendimento da comunicação via satélites.

2.2 O que é a comunicação por satélite e como ela funciona?

A comunicação por satélites permite interligar qualquer parte do mundo em tempo quase real. Quando se diz "interligar" refere-se ao envio e ao recebimento de dados: voz, vídeo, imagens. Antes da comunicação acontecer via satélite, as comunicações funcionavam por transmissão de dados via cabos. Sendo assim, a comunicação se limitava até onde o cabo era capaz de chegar, quanto maior o alcance desejado, maior a necessidade de uma infraestrutura para transmitir ou receber a informação. Foi na década de 50 que o satélite aparece como uma alternativa à comunicação existente, e de lá para cá o envio de um satélite para o espaço tem se tornado cada vez mais comum, e isto têm levado ao aumento exponencial de satélites em órbitas. As vantagens dos satélites artificiais não se limitam à apenas telecomunicações, mas também são utilizados em diversas aplicações, como: meteorológicas, observação terrestre, experimentação em microgravidade, navegação - GPS, Internet das coisas (LOPES et al., 2009); (GOMES, 2019) e (MMA, 2020).

O funcionamento da comunicação via satélite depende da aplicação, existem diferentes topologias de redes que podem ser usadas para diferentes objetivos, indo de uma topologia de comunicação mais simples, como a transmissão simplex ou unidirecional, até uma topologia para comunicações mais complexas, como por exemplo as topologias em estrelas ou em malha. Em sua versão mais genérica, a comunicação envolve um emissor, um receptor e um canal por onde a mensagem é enviada, neste caso o satélite atua como um canal de comunicação entre um dispositivo transmissor e outro receptor, tal como na Figura 1.

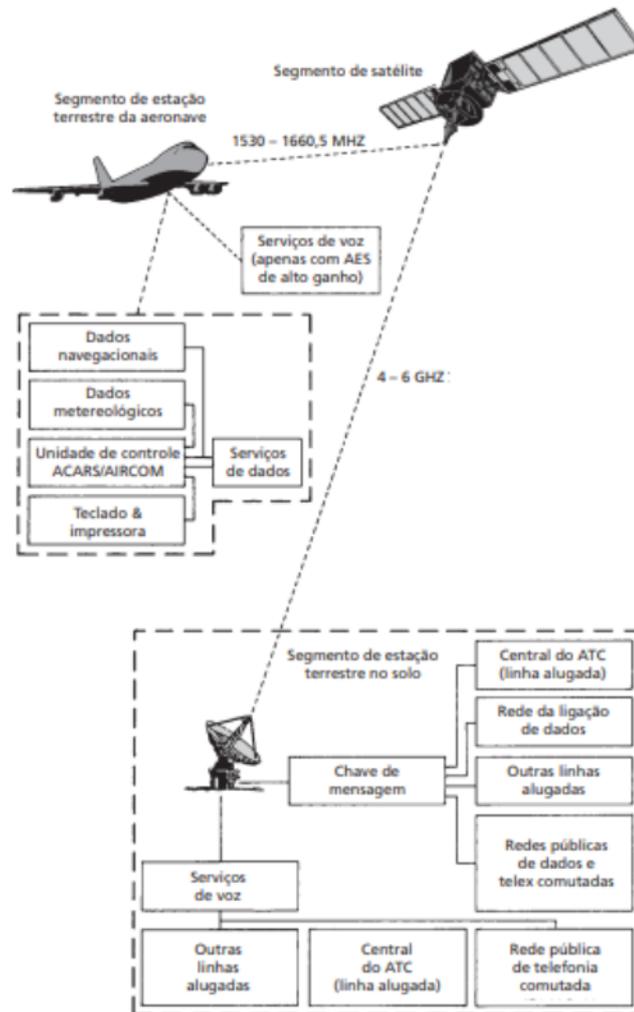
No exemplo da Figura 1, têm-se uma comunicação unidirecional ou bidirecional, em que tanto avião quanto a estação terrestre podem enviar e receber informações que são transmitidas ao satélites em diferentes frequências, este por sua vez recebe, converte e retransmite o sinal na frequência apropriada para o receptor, podendo este ser tanto o avião ou a estação terrestre. Ainda nesta Figura, o satélite representa o segmento espacial, enquanto que o avião e a estação terrestre representam o segmento solo, segundo Ley (2009) toda missão espacial envolve três segmentos essenciais, estes segmentos devem estar relacionados de modo a atender um mesmo objetivo, adiante entraremos em mais detalhes sobre os segmentos que compõem uma missão espacial.

2.3 Missão espacial

Uma missão espacial contempla um conjunto de componentes que interagem de forma organizada para atender a um objetivo comum, estes componentes podem ser segmentados conforme proposto por Ley (2009), em:

- Segmento espacial: Compreende o satélite, sua carga útil e a órbita pela qual ele deve percorrer;

Figura 1 – Exemplo de uma comunicação uni ou bidirecional via satélite



Fonte: MMA (2020)

- Segmento de transferência: Refere-se ao transporte do satélite por meio de um foguete lançador até sua órbita pré-definida;
- Segmento solo: Compreende o controle e monitoramento do segmento espacial, tal como as estações terrestres citadas anteriormente.

Ter conhecimento sobre a missão espacial, traz uma visão do todo e da parte em que o produto rastreador de satélites está inserido. Devido os custos desprendidos numa missão espacial, é muito importante que todos os segmentos estejam funcionando de modo a atender ao mesmo objetivo. Em se tratando de um rastreador de satélites o produto estará sempre inserido dentro do segmento solo, podendo este ser usado em diferentes aplicações para diferentes satélites em diferentes missões ou estações terrestres. Para este trabalho de conclusão de curso, foi considerada uma missão espacial estudantil e universitária com objetivos educacionais motivados pela Olimpíada Brasileira de Satélites MCTI. Neste cenário, para cada segmento a ser explorado nas próximas seções, têm-se componentes de baixo custo viáveis para aplicações estudantis em

que o propósito é despertar o interesse tecnológico e gerar conhecimento prático ou teórico tanto para a universidade quanto para os participantes da missão.

2.3.1 Segmento espacial

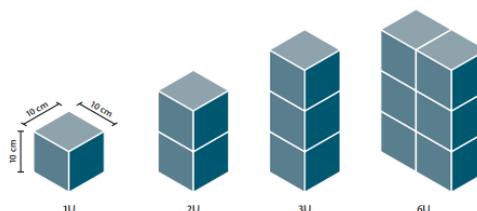
Com já antecipado, o segmento espacial é composto pelo satélite com sua carga útil e pela órbita pela qual o satélite vai percorrer. Inúmeros são tipos de satélites e várias são as órbitas possíveis, o que gera diversas combinações para o segmento espacial, que será discutido brevemente ao longo desta seção.

2.3.1.1 Satélites

Um satélite, corresponde a qualquer elemento que orbita a Terra com um determinado porte, podendo este ser um satélite natural, tal como a Lua ou ainda satélites artificiais, que são fabricados ou desenvolvidos por pessoas afim de integrar uma missão espacial. O primeiro satélite a ser enviado para o espaço foi o "Sputnik", capaz de receber e transmitir um "beep" para qualquer parte do mundo, isto revolucionou a forma de comunicação até então existente, e ao longo do tempo outras funções foram sendo estudadas e incorporadas à estes elementos, hoje um satélite pode desempenhar funções meteorológicas, militares, pesquisas, navegação e de comunicação (TECHNOLOGY, 2020). Com o avanço tecnológico e a redução de massa e custo dos componentes que compõem os satélites, foi ficando cada vez mais possível diminuir seu tamanho e conseqüentemente reduzir seu custo de lançamento.

A missão objeto de estudo envolve o lançamento de um nanossatélites, mais amplamente conhecido no meio acadêmico por "CubeSat", estes nanossatélites se popularizaram por sua simplicidade e baixo custo, viabilizando diversos estudos no setor espacial. Segundo The Cubesat Program (2013), o termo "CubeSat" faz referência ao formato de um cubo, em que cada uma das arestas do satélite medem 10 centímetros e cada cubo desses refere-se a uma unidade CubeSat (1U) com massa aproximada de 1,33 kg, e volume equivalente a um litro. Essas unidades podem ser combinadas para formar satélites maiores 2U, 3U ou 6U, por exemplo, assim como ilustra a Figura 2.

Figura 2 – Algumas configurações de CubeSats



Fonte: CGEE (2018)

2.3.1.2 Carga útil dos satélites

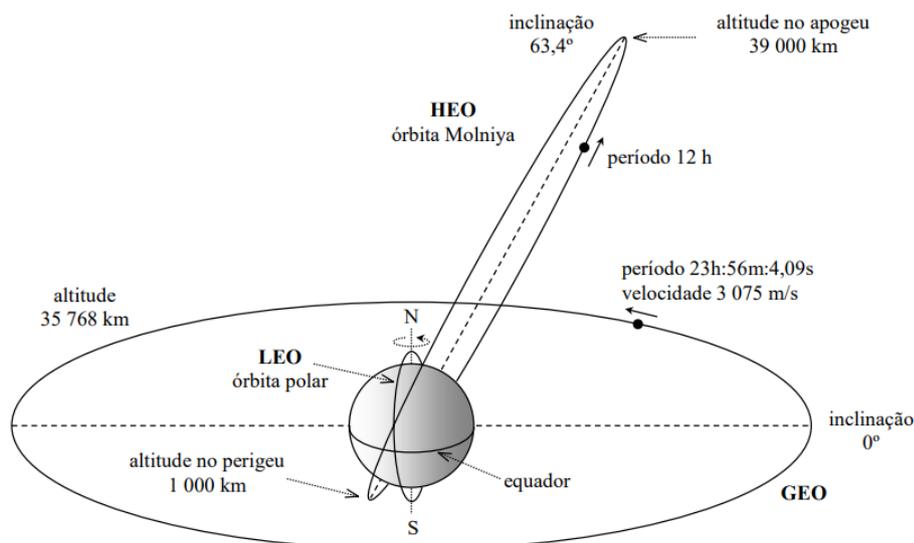
Independente de seu porte, a carga útil de um satélite é composta por diversos subsistemas, que segundo Rodriguez (2016) podem ser: Estrutura e mecanismos de movimentação, Dispositivos para controle térmico, Eletrônica de processamento de dados, Alimentação e fornecimento de energia, Telemetria, rastreamento e comando, Controle de altitude e órbita e por fim a Propulsão. As principais funções destes subsistemas é garantir a comunicação com a estação terrestre, fazer a interface do segmento solo com o segmento espacial, receber comandos, transmitir telemetrias, posicionar satélite em órbita e manter-se em operação (posicionar antena, detectar e recuperar falhas).

2.3.1.3 Órbitas

As órbitas referem-se ao caminho em que o satélite deve percorrer quando no espaço, com base em sua órbita e altitude, os satélites podem ser categorizados entre Geoestacionários (GEO) e Não-Geoestacionários (não-GEO) (TECHNOLOGY, 2020).

Os Satélites Geoestacionários ficam estáticos em relação à Terra e ficam a cerca de 36 mil km do nível do mar. São usados normalmente para serviços de televisão e internet via satélite. Já os Satélites Não-Gestacionários ficam em movimento constante ao longo da órbita da Terra e operam mais próximos da Terra (com altitudes variando entre 500 km até 36 mil km de altura). Tanto a Figura 3 quanto a Tabela 1 trazem informações a respeito das principais órbitas terrestre para os satélites.

Figura 3 – Principais órbitas terrestres de satélites



Fonte: Comtech (2022)

O segmento espacial da missão em questão está composto pela combinação de um nanossatélite "CubeSat" em sua órbita baixa LEO. Cubesats costumam ter menor alcance de sinais, e por conta disto são lançados em órbita mais próximas a superfície da Terra, outra vantagem da

Tabela 1 – Altitudes e períodos de revolução das órbitas terrestres

Órbita	Altitude (Km)	Período de revolução (h)
LEO - Órbita Baixa da Terra	500 - 1.500	1- 2
MEO - Órbita Terrestre Média	10.400	6
GEO - Órbita Geossíncrona da Terra	36.000	24
HEO - Órbita Altamente Elíptica	1.000 - 39.000	12

Fonte: Comtech (2022)

órbita LEO refere-se ao custo de lançamento do segmento de transferência. Entretanto o desafio principal desta missão encontra-se na comunicação entre o segmento espacial e o segmento solo, uma vez que o nanossatélite em órbita LEO é não-Geoestacionário, e para garantir boa comunicação um sistema de rastreamento preciso é extremamente necessário para o sucesso da missão. Um exemplo de satélite presente na órbita baixa LEO é a ISS, Estação Espacial Internacional, que orbita a Terra em altitudes próximas a 500 km realizando de 15 e 16 voltas por dia (RODRIGUEZ, 2016). Da mesma forma, o sistema de rastreamento deste satélite deve ser capaz de acompanhá-lo nesta velocidade cada vez que ele entra no campo de visão da estação, a antena deve estar posicionada para ele de modo a receber e transmitir os sinais, função esta garantida pelo sistema de rastreamento de satélites.

2.3.2 Segmento solo

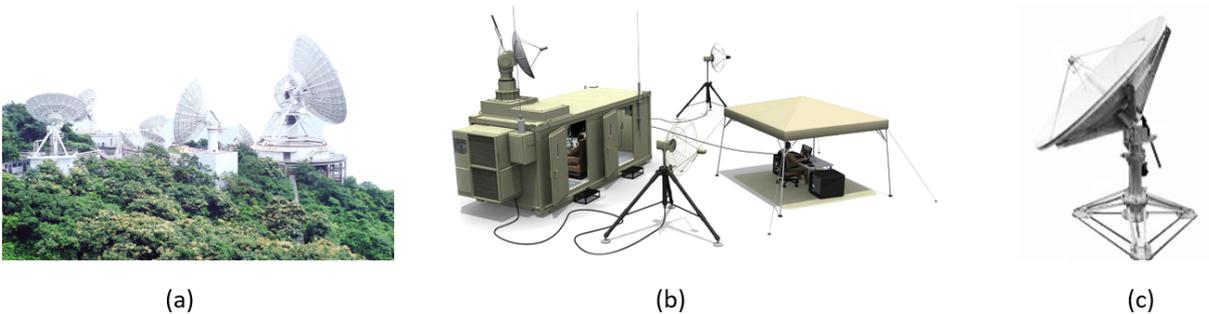
Segmento solo é quase sinônimo de Estação terrestre, entretanto como acontece no exemplo da Figura 1, um avião também pode ser considerado parte do segmento solo. Segundo Rodriguez (2016) por meio do segmento solo é possível receber, processar, enviar dados, acompanhar e comandar satélites no espaço, sendo assim nesta seção pretende-se explorar os elementos que compõem este segmento.

2.3.2.1 Estação terrestre

A estação terrestre compõe parte substancial do segmento solo, podendo ela ser uma Estação fixa, móvel ou móvel modular, conforme ilustra a Figura 4.

- Estação fixa: É uma estação localizada em um ponto pré-determinado. A determinação deste ponto, depende de fatores como a altura dos prédios, a facilidade de alimentação dos equipamentos, o espaço suficiente para não perturbar outras atividades, e o clima da região;
- Estação móvel: É aquela estação que consegue estabelecer comunicação com o satélite em diferentes pontos ou em movimento. São estações não robustas, que são levadas em meios de transporte, como, carros, aviões, barcos, entre outros;

Figura 4 – Segmento solo: Estações terrestres (a) Estação fixa (b) Estação móvel (c) Estação móvel modular



Fonte: Adaptado de Xuite (2020), Turbosquid (2020) e Marineq (2020)

- Estação móvel modular: É uma estação geralmente de pequenas dimensões que possui a capacidade de ser desmontada para ser transportada com facilidade a qualquer lugar.

A estação terrestre para a missão apresentada se encaixa na classificação de estação móvel modular. A comunicação entre satélite e estação terrestre (ET), acontece via sistema de rádio através da propagação de ondas eletromagnéticas. Segundo Fagundes (2011), a comunicação espaço-solo depende da direção de transmissão e do conteúdo da informação, dividindo-se em dois estágios:

- Telecomando (TC): Consiste na comunicação de subida, em que a transmissão é realizada da ET para o satélite;
- Telemetria (TM): Refere-se à comunicação de descida, em que ocorre a transmissão dos dados do satélite para a ET, podendo apresentar o status dos diversos subsistemas do satélite (telemetria de serviço), além da transmissão dos dados coletados pela carga útil.

Segundo Rodriguez (2016) uma ET (estação terrena) desenvolvida para pico e nanossatélites, do tipo "CubeSat", é normalmente composta por sete subsistemas:

1. Sistema irradiante: Corresponde ao conjunto de antenas, que convertem a energia elétrica entregue pelo transmissor em energia eletromagnética que envia os sinais, o contrário também ocorre.
2. Controle da antena: Corresponde a movimentação da antena em direção ao satélite em órbita, o sistema de controle ou módulo controlador deve garantir o posicionamento angular de azimute e elevação, mantendo a antena ou o arranjo de antenas apontando sempre em direção ao satélite.

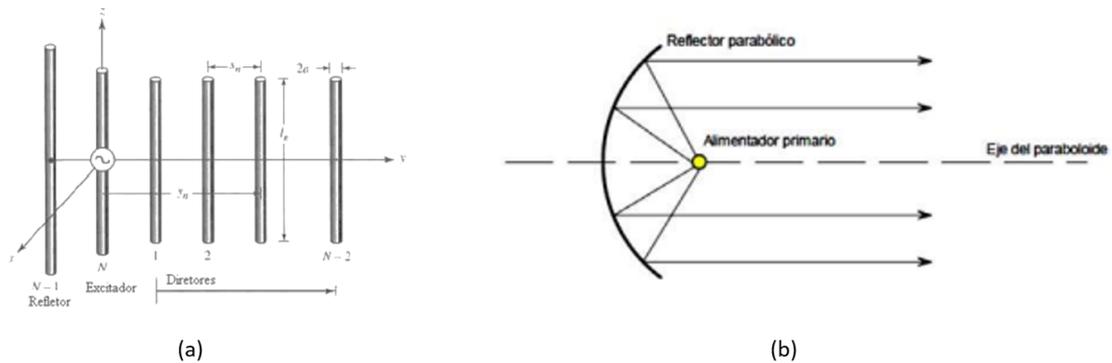
3. Rotor: Corresponde aos atuadores que podem ser elétricos, mecânicos, hidráulicos ou pneumáticos, que tem como principal objetivo movimentar as antenas de acordo com o comando recebido pelo módulo controlador do item anterior.
4. Transceptor de Radio Frequência: Refere-se ao componente que realiza a transmissão e a recepção de dados da estação terrestre para o satélite. As frequências de operação para os pico e nanossatélites segundo Rodriguez (2016) são de 30MHz a 300MHz em bandas de 2m (VHF) e de 300Hz a 3000Hz em bandas de 70cm (UHF), frequência de radioamadorismo.
5. Modem: Refere-se ao dispositivo de interface entre o computador da estação terrestre e o transceptor de Radio frequência do item anterior, a partir do qual é possível transmitir uma informação, processo denominado "modulação", e o contrário também ocorre, a "desmodulação", processo que possibilita recuperar a informação do sinal transmitido.
6. Software e Interface com o usuário: Corresponde aos sistemas presentes em uma estação terrestre, que podem desempenhar várias funções, entre elas: rastreamento, controle, rádio e modulação. O software de rastreamento é usado para identificar tanto a posição inicial quanto a posição final do satélite, tal como um simulador de órbitas. O software de controle, tem como principal função, controlar os elementos da estação terrestre, para estações mais simples sua principal finalidade é realizar o controle do rotor da antena.
7. Estrutura de suporte da estação: Trata-se tanto das instalações internas quanto externas. Estações do tipo móveis, não requerem estrutura, porque podem ser carregadas facilmente. Já para as estações fixas e modulares, a estrutura é necessária, podendo esta ser penetrável ou não penetrável, penetrável quando vai permanecer em um só local e não penetrável quando ela pode ser movimentada, ainda sim sua estabilidade é importante e para isso utilizam-se de suportes de concretos, tijolos, etc.

2.3.2.2 Antenas

As antenas constituem a parte essencial de todo sistema de comunicação uma vez que são responsáveis por receber e transmitir ondas eletromagnéticas (TANENBAUM, 2003). As estações terrestres de comunicação com nanossatélites, apresentam sistemas irradiantes composto pelas frequências UHF, VHF e Banda-S. As antenas utilizadas em frequências UHF e VHF são normalmente do tipo Yagi Uda e as antenas da Banda-S são do tipo parabólicas, Figura 5.

A antena Yagi-Uda é basicamente composta por um conjunto de antenas lineares, constituídas por dipolos. Um deles é o elemento excitador, o outro é o elemento refletor e os demais são elementos diretores, tal como ilustra a Figura 5 (a). Estes elementos servem para refletir e direcionar as onda eletromagnéticas em sua direção preferencial e de máxima radiação (ESTEVES, 1987). A antena Yagi-Uda é muito utilizada por ser leve, apresentar baixo custo e ser de fácil

Figura 5 – Antenas para as bandas UHF, VHF e S (a) Antena Yagi-Uda (b) Antena parabólica



Fonte: Adaptado de Yagi (1993) e Musa et al. (2014)

construção. Ela pode operar como transmissor ou receptor, sendo muito aplicada como antena de TV e de telefonia móvel.

A antena parabólica é uma das antenas mais antigas e conhecidas no mundo, sua origem remonta aos anos de 1880, surgida no laboratório de Heinrich Hertz, que demonstrou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas anteriormente descritas por James Clerk Maxwell em suas equações. Estas antenas, Figura 5 (b), são amplamente utilizadas em sistemas de comunicações em frequências que vão de UHF até a Banda K (MUSA et al., 2014).

Por recomendação da ITU, os satélites estudantis, "CubeSats", devem operar em frequências de rádio alocadas ao Serviço de Radioamador e assim cumprir as premissas legais que regulamentam este tipo de serviço, tais como: a Portaria nº 307, de 22 de julho de 2009, estabelece condições de ativação e execução da Rede Nacional de Emergência de Radioamadores - RENER (DELMONDES, 2019) e a Resolução nº 697, de 28 de agosto de 2018, Artigo 5º (ANATEL, 2018), que descreve as faixas de frequência alocadas ao Serviço de Radioamador por satélite no Brasil e sua distribuição, considerando as bandas HF, VHF, UHF, Banda S, Banda X e Banda K, as informações extraídas desta resolução se encontram presentes na Tabela 2.

Tabela 2 – Bandas e Faixas de frequências autorizadas para o Serviço de Radioamador por satélite

Banda	f (GHz)	λ (cm)
HF	0,003 a 0,030	10.000 a 1.000
VHF	0,030 a 0,300	1000 a 100
UHF	0,300 a 1	100 a 30,0
Banda S	2 a 4	15 a 7,5
Banda C	4 a 8	7,5 a 3,8
Banda X	8 a 12	3,8 a 2,5
Banda Ka	27 a 40	1,1 a 0,75

Fonte: Delmondes (2019)

2.3.2.3 Rotor

Trata-se de um componente essencial para que o produto Rastreador de satélites possa cumprir sua função, composto por um ou mais atuadores mecânicos que realizam a movimentação da antena ou do arranjo de antenas, em dois ou mais graus de liberdades distintos. Neste trabalho serão levados em consideração dois graus de liberdade: azimute e elevação, de modo que a comunicação aconteça com um nanossatélite não-geoestacionário em órbita baixa, como já citado anteriormente.

Usualmente os rotores são instalados em mastros ou torres de antenas e servem para direcioná-las em posições desejadas. Possui um ou mais módulos de controles que podem ser operados pela Estação terrestre ou programados junto ao simulador de órbita para que o controle ocorra de forma autônoma. Por requisito da aplicação os rotores devem ser equipamentos muito resistentes, a prova d'água e projetados para suportar grandes e pesadas antenas.

E dada sua complexidade e requisitos de projeto, os rotores podem encarecer estações terrestre em que se deseja ter rastreamento de satélites não-geoestacionários. Seu preço varia de acordo com sua capacidade, e no mercado nacional custam em torno de R\$ 10.000,00. Entretanto, este investimento torna a estação terrestre mais robusta por proporcionar a qualidade da comunicação com o segmento espacial, que de acordo com Roddy (2006), quanto maior for o alinhamento entre a fonte transmissora e a receptora, maior será a eficiência e a qualidade da comunicação estabelecida, ainda 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.

Além de seus requisitos estruturais, outro ponto importante é a velocidade de rastreamento, esta deve ser suficiente para acompanhar o movimento do satélite em órbita. Sendo assim, esta velocidade depende da órbita em que o satélite se encontra, e como já citado anteriormente para um nanossatélite em LEO a volta completa leva cerca de 100 minutos.

Quando, na aquisição de um rotor ou na execução de um projeto para seu desenvolvimento, é necessário considerar alguns fatores que causam falhas no componente, entre eles os fabricantes citam problemas como: montagem errada, ações da natureza e o não cumprimento de suas especificações. Não cumprir com a carga dinâmica projetada, pode facilmente tornar o rotor inutilizável logo na primeira tempestade. Por conta disto, deve-se analisar a capacidade de rotação, assim como a capacidade de frenagem do rotor.

Vários datasheets especificam a força do rotor em metros quadrados que este pode aguentar, porém segundo Yaesu (2022) este tipo de especificação é insuficiente porque não leva em conta a distribuição da massa da antena ao longo de seu eixo. Isto quer dizer que um disco circular de tamanho médio produz menos esforço para o rotor do que uma antena Yagi Uda, o que não ocorre na prática, pois devido sua forma assimétrica, apresenta maior momento. Para atender a todos estes requisitos várias são as soluções existentes em mercado e também encontradas na literatura, mais detalhes sobre estas soluções serão explorados na seção seguinte.

2.4 Soluções de segmento solo

Existem diversas soluções para o segmento solo, resumidas em estações terrestres que podem ser compradas prontas, ou em kits para montagem, ou até mesmo para desenvolvimento acadêmico como um projeto ou trabalho de conclusão de curso, a ideia desta seção é explorar um pouco das soluções já existentes, para compor um repertório de ideias para o desenvolvimento de uma nova estação que atenda aos requisitos específicos da missão proposta.

2.4.1 Soluções comerciais

No mercado radioamador existem uma série de opções de estações terrestres completas e de componentes isolados, tais como rotores, controladores, antenas entre outros itens, que são comercialmente vendidos para compor estas estações. Nesta revisão serão apresentados alguns fabricantes que se relacionam com o mercado de Pico e Nanossatélites, segmento espacial da missão. Estes fabricantes fornecem soluções prontas com altas capacidades e distintos serviços com preços que podem variar de USD 10.000 a USD 100.000 (NASA, 2021).

2.4.1.1 ISISPACE

As estações terrenas desenvolvidas pela fabricante ISIS, são estações modulares que oferecem serviços em três bandas de frequência: VHF, UHF e Banda S. Seu kit de estação terrestre, contempla antena, rotor, software de rastreamento e comunicação, que juntos funcionam como uma estação terrestre completa. Segundo Isis (2021), o site comercial da fabricante o custo do kit desta estação completa para banda S, UHF e VHF conforme mostra a Figura 6, por exemplo é em torno de USD 86.500. E segundo Rodriguez (2016), a estação da fabricante ISIS já foi usada em dois locais no Brasil, uma para o projeto NANOSATC-BR1 e outra para o AESP-14.

Figura 6 – Kit estação terrena completa ISIS



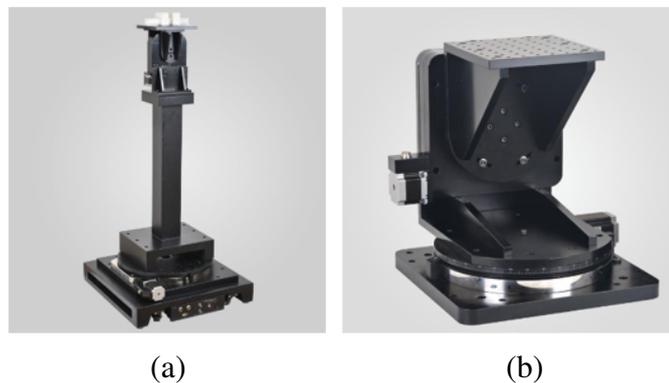
Fonte: Isis (2021)

2.4.1.2 HOLMARC

A fabricante Holmarc do ramo de automação industrial traz uma solução comercial para o rotor, também comercialmente vendido por "Posicionador de Antena". O posicionador de antena da Holmarc pode apresentar diferentes combinações dos graus de liberdade de azimute e elevação. Segundo Holmarc (2022) a solução consiste em um ou mais estágios de rotação para serviço pesado acionado por motor de passo ou servo motor. A antena pode ser fixada a 1 metro de altura da superfície do posicionador utilizando mastro de antena em madeira ou plástico. Existem dois modelos padrão com área de montagem de 300 mm de diâmetro (trabalho médio) e 500 mm de diâmetro (trabalho pesado).

O material de construção é liga de alumínio para posicionador de serviço médio e aço para posicionador de serviço pesado. Motor de passo ou servo motor BLDC (sem escova) é usado como atuador. A facilidade de posicionamento manual é fornecida por um volante fixo ao eixo sem-fim. Graduações rotativas em grau com resolução de um grau são marcadas na superfície rotativa para referência visual. A Figura 7 ilustra os modelos comerciais da fabricante.

Figura 7 – Posicionadores de antena Holmarc



Em (a) tem-se o posicionador de antena para trabalho médio e em (b) para trabalho pesado

Fonte: Holmarc (2022)

2.4.1.3 COMTECH SPACE

A comtech é uma empresa relacionada ao mercado de segurança e de comunicação aeroespacial, mas traz também soluções para comunicações com satélites em diferentes órbitas, das mais baixas até as mais distantes como por exemplo da órbita LEO e MEO a HEO e GEO, também traz soluções para as diferentes bandas, como: UHF, VHF, L, S, X, C, e Ku a Ka, W, e V, cujas principais frequências foram listadas na Tabela 2. Ainda, suas soluções permitem acoplamento de antenas que vão de 30 centímetros até 14 metros de diâmetro. Seu sistema de transmissão é um combinado de redutor planetário no grau de liberdade de azimute e no grau de liberdade de elevação a transmissão é por correias e polias. A partir da Figura 8, é possível ver suas soluções comerciais com diferentes pedestais para atender aos diferentes tipos de estações terrestres, em ambientes extremos, desde o Ártico, desertos e trópicos.

Figura 8 – Posicionadores de antena Comtech Telecommunications corp.



Fonte: Comtech (2022)

2.4.1.4 YAESU G-550

A marca Yaesu é uma das marcas mais conhecidas entre os radioamadores. Tem uma variedade de equipamentos estacionários e portáteis, responsáveis pela telecomunicação entre estações e satélites. Traz também uma diversidade de rotores para acoplamento em mastros de modo a realizar a movimentação de antenas, dentre estes rotores encontram-se os modelos G-1000, G-2800, G-450DC, G800DXA, com um grau de liberdade em azimute, para acoplamento de diferentes tipos de antenas e o modelo G-5500DC com dois graus de liberdade, azimute e elevação combinados. Neste modelo que é ilustrado pela Figura 9, o rotor possui uma faixa de giro de 450° em azimute, enquanto em elevação possui uma faixa de rotação de 180° .

Figura 9 – Posicionadores de antena Yaesu



Fonte: Yaesu (2022)

Para muitos fabricantes de rastreadores de satélites a área da antena é o único parâmetro utilizado para especificação do rotor, entretanto a fabricante Yaesu também especifica o "K-Factor", calculado conforme Equação 1. Este fator tem como unidade de medida pé-libra força (unidade de torque), a fabricante recomenda que tanto a área da antena quanto o "K-Factor" estejam dentro das especificações. Segundo Yaesu (2022), para o modelo referenciado, G-5500DC, o "K-Factor" especificado é de 578 pé-libra força, o equivalente a 773Nm.

$$K = [\text{RaioGiro}]x[\text{PesoAntena}] \quad (1)$$

Sendo esta marca, umas das mais populares no radioamadorismo e dada sua variedade e robustez em rotores para telecomunicações, utilizou-se de suas especificações, Tabela 3, como referência para este projeto conceitual do Rastreador em questão.

Tabela 3 – Especificações do rotor G-5500DC

Tensão	110 - 220 VAC
Tensão do motor	22 VDC
Tempo de rotação	Elevação 180° - 65s Azimute 360 - 60s
Torque de rotação	Elevação 126 Nm (88 ft-lbs) Azimute 54 Nm (44 ft-lbs)
Torque de frenagem	Elevação e Azimute 40kgf.m (289 pés-lbs)
Trabalho vertical	200kg
Área de superfície do vento	1m ²
Diâmetro da lança	32 - 43 mm
Diâmetro do mastro	38 - 63 mm
Massa do rastreador	Rotores: 8 Kg Controlador: 3 Kg

Fonte: Yaesu (2022)

2.4.1.5 SPID-UK BIG RAS Az-EI

É uma solução de rotação para um ou mais graus de liberdades em movimentações de antenas, discos de antenas, telescópios, câmeras, caixa de luz, entre outras aplicações. No exemplo da Figura 10, têm-se dois graus de liberdades com resolução de rotação de um décimo de grau. Seu sistema de transmissão é do tipo coroa e parafuso sem fim, o que lhe permite um torque maior quando comparada ao rotor da YAESU.

Figura 10 – Posicionadores de antena SPID



Fonte: Hamdesign (2022)

2.4.2 Soluções universitárias

As estações terrenas desenvolvidas para nanossatélites (CubeSats), normalmente são universitárias e tem como o principal objetivo a comunicação com satélites também desenvolvidos por estudantes. Essas estações conseguem receber os dados de funcionamento de todos os subsistemas de bordo e executar as medições de distância e velocidade dos satélites. Estas estações, também podem ser chamadas de Estações de Rastreo de Satélites (ERS). Um exemplo das ERS são as estações de serviço de radioamador, que implementam comunicação nas bandas UHF e VHF (RODRIGUEZ, 2016).

Uma Estação Terrena universitária é a ET(INPE-CRS) ilustrada na Figura 11, que se localiza na cidade de Santa Maria – RS, opera em coordenação entre as Estações Terrenas ET(INPE-CRS) e ET(INPE-ITA), do Programa NANOSATC-BR, para as atividades de rastreo dos nanossatélites: NANOSATC-BR(1 & 2) do Programa e dos nanossatélites Brasileiros, tais como: AESP-2014 e CONASAT.

Figura 11 – Estação terrena (ET) INPE-CRS



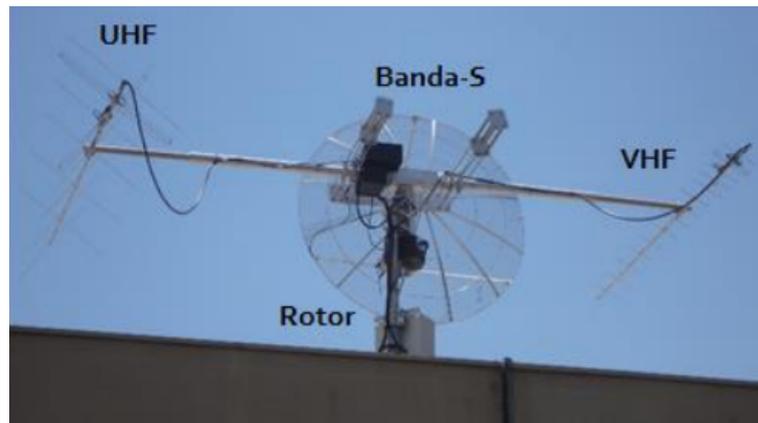
Fonte: INPE (2020)

A Estação Terrena ET(INPE-CRS) de Santa Maria possui o sistema terreno de captura de dados (sensor) da fabricante ISIS GSKit com direcionamento automático, ou seja, à medida que o satélite entra no campo de visão da antena, esta acompanha o CubeSat na sua trajetória até onde alcançar a sua visão, a área de cobertura da antena da ET(INPE-CRS) é dada por um cone de 45°, sendo que o satélite envia sinal, para todos os lados por uma antena omnidirecional, que é um sinal constante e intermitente de rádio transmissão, que no caso de Cubesats é usado para confirmação que o satélite está funcionando corretamente na órbita depositada (INPE, 2020).

A estação terrena INPE-ITA, localizada no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial em São José dos Campos, Figura 12, é uma estação fixa de rastreo e controle para satélites em órbitas baixas, opera em frequências de radioamadorismo (PY2AEC), esta estação também foi adquirida como um kit da fabricante ISIS, tendo como custo total de implantação de USD 48.900 (INPE, 2015).

A estação da fabricante ISIS têm sido referência para o desenvolvimento de outras

Figura 12 – Estação terrena (ET) INPE-ITA

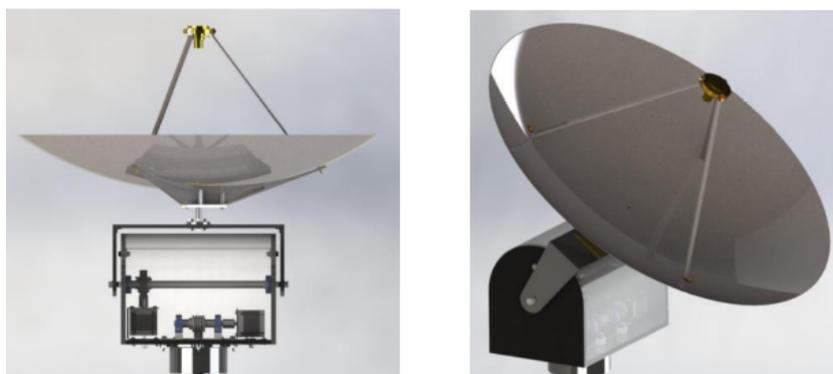


Fonte: INPE (2015)

estações terrenas universitárias, inclusive no projeto de ETBs - Estações Terrenas Brasileiras, uma vez que a maioria de seus componentes e softwares são comerciais e livres (RODRIGUEZ, 2016).

Também desenvolvida por um estudante da UFSCar, o trabalho de Costa (2021) apresentou a proposta de um projeto para uma estação terrestre móvel de pequeno porte, com capacidade de sustentar uma antena de até 3,1 kg com um custo em torno de R\$2200,00. O sistema de transmissão escolhido neste projeto foi o de coroa e parafuso sem fim, e para a composição total desenhou-se alguns componentes como eixos, carcaças e selecionou-se outros componentes comerciais como mancais, tripé, motores, rolamentos, chegando-se na solução da Figura 13.

Figura 13 – Representação da Estação terrena e seus principais subsistemas



Fonte: Costa (2021)

2.5 Sistemas de Transmissão aplicados à rastreadores de satélites

Para a concepção de um rastreador de satélites, é possível combinar de diferentes formas o conjunto motor e transmissor, como nas soluções comerciais. Por exemplo no rotor HOLMARC, têm-se motor e transmissão por correia e polias para o GDL de elevação, na YAESU têm-se

motor e redutor planetário para GDL de azimute e redutor com caixa de engrenagens para a elevação, também é possível encontrar soluções com redutor do tipo coroa e parafuso sem fim como no caso da SPID-UK BIG RAS Az-El, cada uma dessas possibilidades, apresenta suas vantagens e desvantagens e para que possam ser avaliadas para o desenvolvimento deste trabalho, alguns conceitos devem ser apresentados referentes aos elementos mecânicos e forma de análise de sua adequação ao projeto.

2.5.1 Sistema de transmissão

Diversas são as referências capazes de fornecer uma base teórica sólida sobre sistemas de transmissão. Entre os autores referências no assunto, têm-se Norton (2013), no livro Projeto de Máquinas, Shigley et al. (2005) no livro Elementos de Máquinas e também Juvinall e Marshek (2020), com o livro Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas. Com base nos conhecimentos por eles detalhados, esta seção tem o objetivo de apresentar brevemente, os conceitos de sistemas de transmissão.

A palavra transmissão refere-se a condução de movimento ou potência (rotação e torque) de um ponto a outro, dentro de uma máquina, ou entre máquinas distintas. Os sistemas de transmissão existentes em máquinas são compostos por diversos componentes mecânicos, como eixos, correntes, correias, engrenagens e mancais de rolamentos, dimensionados para trabalharem em conjunto e proporcionar a transferência de torque e rotação, de modo a desempenhar uma ação específica (MOLIN, 2020). Os sistemas de transmissão podem ser classificados em dois tipos principais:

- Elementos de transmissão – rígidos: São transmissões como engrenagens em caixas de redutores, em que seu movimento ocorre sem o auxílio de correntes, as engrenagens se acoplam diretamente, obedecendo ao perfil dos dentes de cada uma delas, podendo os eixos serem paralelos ou perpendiculares.
- Elementos de transmissão flexíveis: São transmissões que ocorrem por elementos de correias, polias, correntes ou por cabos e eixos.

Os elementos de transmissão rígidos caracterizam-se por serem compactos, próprios para locais em que o espaço é limitado. Por outro lado, quando a distância entre eixos for grande, seu uso torna-se inviável, e neste caso é mais apropriado o uso dos sistemas de transmissão flexíveis que também apresentam a vantagem de serem mais econômicos.

2.5.1.1 Elementos de transmissão rígidos

Os elementos de transmissão rígidos têm como principal componente as engrenagens. Estas podem ser classificadas pela sua forma construtiva, que define diferentes aplicações. As engrenagens podem ser cilíndricas, cônicas e tipo parafuso sem-fim, entre outras que estão

listadas na Tabela 4. As engrenagens podem ter dentes retos ou com perfis de hélice, espiral, hipoide ou outro. As engrenagens cilíndricas são utilizadas somente em eixos paralelos, enquanto que as engrenagens cônicas, ou com dentes helicoidais e espirais podem ter engrenamentos com eixos em diversos ângulos.

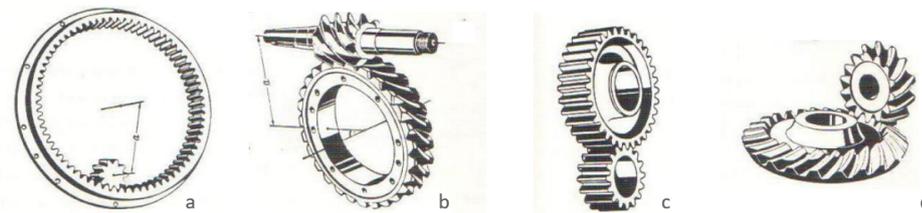
Tabela 4 – Características básicas de transmissões para diferentes tipos de engrenagens

Tipo de engrenagem	Arranjo entre eixos	Relação de transmissão	Eficiência da transmissão
Cilíndrica	paralelo	até 8	99-96%
Planetária	paralelo	até 13	99-98%
Cônicas	concorrentes	até 6	98-97%
Parafuso sem fim	cruzado	até 100	97-45%
Helicoidal	cruzado	até 5	97-75%

Fonte: Shigley et al. (2005)

Estas engrenagem podem ser combinadas, de modo a se obter diferentes sistemas de transmissão e entre eles os principais: redutores planetários, redutores de parafuso sem-fim, redutores com trem de engrenagens e redutores cônicos. Na Figura 14 ilustra-se o princípio básico de transmissão destes quatro tipos principais de redutores.

Figura 14 – Tipos de sistemas de transmissão: (a) Planetário (b) Parafuso sem-fim (c) Trem de engrenagens (d) Cônicos



Fonte: Niemann (1971)

2.5.1.2 Elementos de transmissão flexíveis

Os elementos de transmissão flexíveis têm como principal componente a correia, elemento este que funciona como engrenagens, transferindo o movimento de rotação de uma polia motora para uma polia movida.

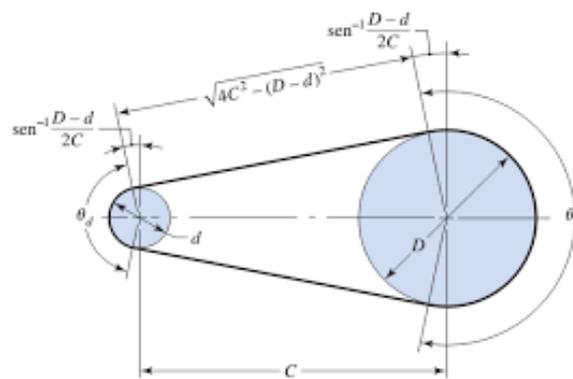
São transmissões construtivamente simples e silenciosas que apresentam deslizamento por atrito, com exceção das correias denteadas. Têm uma considerável capacidade de absorver choques e como em qualquer transmissão apresentam perdas, seja por atrito, deslocamento de ar, calor, etc.

A transmissão de movimento neste caso, acontece apenas por atrito entre correia e polia (necessitando assim de uma pré-tensão para provocar uma força normal e uma força de

atrito associada) ou por dentes, quando é utilizada correia dentada para sincronizar movimentos (ARAÚJO; MORENO, 2020).

Neste tipo de transmissão a montagem mais básica é a configuração aberta envolvendo duas polias de diâmetros diferentes, conforme ilustra a Figura 15, neste casos há uma relação de transmissão, que diferente das transmissões rígidas por engrenagens, não há inversão de sentido de rotação entre o eixo da polia motora e da polia movida. Dada a geometria, podem-se desenvolver equações para encontrar os ângulos de abraçamento da correia em ambas as polias conforme Equações 2 e 3.

Figura 15 – Configuração aberta com duas polias de diâmetros diferentes



Fonte: Shigley et al. (2005)

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\frac{D-d}{2C} \quad (2)$$

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\frac{D-d}{2C} \quad (3)$$

Para calcular o comprimento de correias com polias de diâmetros diferentes, é necessário medir o diâmetro das polias e a distância C entre os centros dos eixos. Para isso, deve-se definir o perímetro, o qual é obtido através do comprimento das semicircunferências, somado ao comprimento C multiplicado por 2, conforme a Equação 4. O cálculo do perímetro é aproximado, porque a região de contato da polia com a correia não corresponde exatamente a uma circunferência em transmissões deste tipo.

$$L = \sqrt{4C^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (4)$$

A correia é um dos elementos mais importantes para este tipo de sistema de transmissão, podendo ser de diferentes tipos e entre os mais comuns tipos de correias estão de 2022 elementos:

- Correias Planas: Transmitem grandes quantidades de potência por longas distâncias de centro. Suas extremidades podem ser unidas por componentes de união fornecidos pelos fabricantes;
- Correias em V: Um pouco menos eficientes que as planas, não tem juntas, tendo comprimentos padronizados.
- Correias sincronizadores: São feitas em tecido emborrachado e cabo de aço e tem dentes que se encaixam nos sulcos cortados no perímetro da roda dentada. Não sofrem esticamento ou escorregamento, transmitem potência com velocidade angular constante, utilizadas em qualquer velocidade.

Além das correias, as polias também apresentam papel fundamental neste sistema de transmissão que por sua simplicidade, fazem com que as polias não necessitem de um dimensionamento especial, apenas seguimento de normas (FILHO, 2022).

2.5.2 Vantagens e desvantagens de cada sistema de transmissão

Após, citar brevemente os mais comuns e utilizados sistemas de transmissão, fez-se uma breve comparação entre os sistemas citados, resultando na Tabela 5.

Os sistemas de transmissão rígidos, requerem maiores dimensionamentos, apresentam fabricação e manutenção mais complexa, e por isso são mais custosos. Por outro lado, são mais compactos, não apresentam deslizamentos, possuem baixa perda por atrito e alta capacidade de redução (torque). Enquanto os sistemas flexíveis, apresentam maior simplicidade de projeto, menor custo, componentes padronizados e manutenção simples, comportam bem grandes distâncias e absorvem choques, entretanto apresentam deslizamentos e eficiência abaixo da eficiência apresentada pelos sistemas rígidos dada a elevada perda por atrito. Mais detalhes comparativos entre os diferentes sistemas de transmissão podem ser vistos na Tabela 5.

Para a aplicação desejada em um rastreador de satélites, levou-se em conta o torque para transmitir o movimento do motor ao eixo por onde será fixada uma ou mais antenas, e considerou-se também a aplicação deste rastreador em projetos acadêmicos de missões espaciais de baixo custo. Dentre os sistemas de transmissão anteriormente citados o que melhor atende aos requisitos deste projeto conceitual é o sistema de transmissão por correia e polias, uma vez que é mais simples, mais econômico e com menor massa quando comparado aos demais.

Tabela 5 – Quadro comparativo com os sistemas de transmissão citados

Sistema de transmissão rígido		
Elemento	Vantagem	Desvantagem
Redutor Planetário	Tamanho compacto Alto rendimento Folga reduzida Relação torque-massa elevada	Construção complexa e custosa Manutenção especializada Vibram e geram ruídos
Redutor parafuso sem-fim	Reduções elevadas Compactos Seguros (não reversível) Silenciosos	Aquece rapidamente Baixo rendimento Construção custosa
Redutor trem de engrenagens	Potência elevada Rendimento elevado Manutenção simples	Baixa relação de transmissão Grande volume e massa
Redutor cônico	Compactos e robustos Permite rotação transversal Silenciosos	Custo elevado Difícil manutenção
Sistema de transmissão flexível		
Elemento	Vantagem	Desvantagem
Redutor por correia e polias	Grandes distâncias entre eixos Fácil montagem e manutenção Ausência de lubrificantes Simples e durável Baixo custo Eficiência 95 - 98% Absorve choques e vibrações	Deslizamento Perdas por atrito Manutenção periódica

Fonte: Adaptado de Norton (2013), Shigley et al. (2005), Juvinal e Marshek (2020), Filho (2022) e Araujo e Moreno (2020)

2.6 Projeto conceitual

Um Projeto Conceitual pode ser visto como a junção de criatividade e método, envolvendo várias linhas de raciocínio e uma grande quantidade de informações inter-disciplinares. No Projeto Conceitual, são manipuladas e tratadas informações dispersas, oriundas do raciocínio do(a) projetista juntamente com ideias oriundas das partes interessadas, nem sempre organizadas ou documentadas.

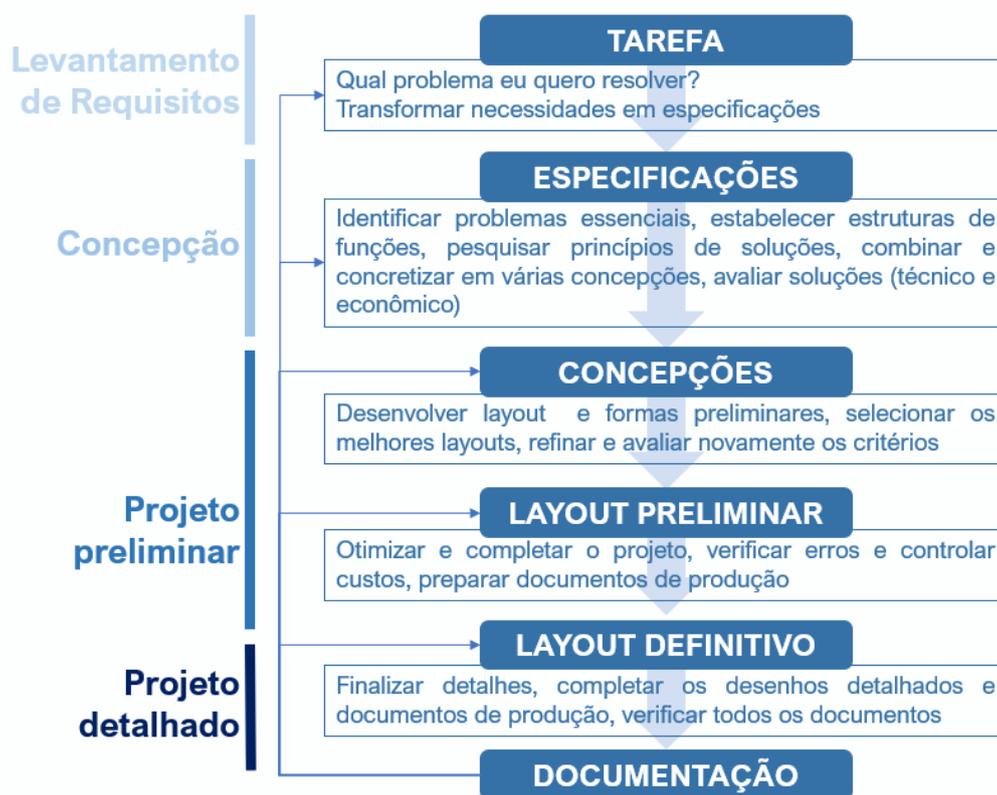
Neste cenário, existe a necessidade do uso extensivo da criatividade, que tem grande influência na capacidade criadora e na qualidade do resultado final do projeto. Além disso, segundo Guimarães et al. (1995) na fase de concepção faz-se necessário dois tipos de conhecimento: o conhecimento das soluções técnicas do "como fazer" e o conhecimento do processo de construção de um projeto o "como proceder". Assim, durante a concepção, o(a) projetista utiliza toda sua capacidade intelectual e diversificação de conhecimentos, somando-se a criatividade já citada à sua experiência pessoal.

E sendo a missão do(a) engenheiro(a) encontrar soluções práticas para os diversos problemas, de modo que as soluções atendam aos objetivos pré-fixados, existem várias metodologias que orientam a elaboração de projetos. Um dos métodos bem conhecidos para projetos é o método proposto por Pahl et al. (2005), sendo este dividido em quatro etapas principais:

1. Levantamento de requisitos
2. Concepção
3. Projeto Preliminar
4. Projeto Detalhado

A Figura 16 ilustra com mais detalhes as etapas de projeto.

Figura 16 – Etapas de um projeto segundo Pahl et al. (2005)



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

A primeira etapa do método consiste em esclarecer a definição da tarefa, o "O quê", afinal, o(a) engenheiro(a) e partes interessadas precisam ter clareza de qual o problema deseja-se resolver com o projeto. A estruturação dos problemas e das tarefas facilitam as etapas posteriores. Nessa etapa do projeto algumas perguntas devem ser respondidas, tais como: "Qual o problema este projeto irá resolver?", "Em que contexto a solução será aplicada?", "Quanto se pretende

investir neste projeto?", o resultado final desta etapa é uma lista de requisitos, um exemplo desta lista está ilustrado pela Figura 17. Um levantamento de requisitos consistente minimiza a necessidade de retrabalhos nas etapas posteriores.

Figura 17 – Constituição formal de uma lista de requisitos

Usuário		Lista de requisitos		Edição:			
		para	Projeto	Produto	Identificação	Classificação	
		Exigências			pág.:	folha:	
Modifi- cação	D/E				Requisitos		
data da alteração	assinalar se D (desejo) ou E (exigência)	Objeto ou propriedade com indicações da Quantidade ou Qualidade Se for o caso, em subsistemas (grupo de funções ou conjuntos ou de subtítulos da diretriz)			Equipe de projeto responsável		
		Substitui edição de:					

Fonte: Pahl et al. (2005)

Durante a construção da lista de requisitos, é importante saber distinguir a necessidade e o requisito, uma vez que antes de se ter um requisito, existem as necessidades atreladas ao produto. Nesta etapa, todas as necessidades devem ser traduzidas em termos quantitativos e mensuráveis, especificações, que irão se transformar em requisitos a serem listados.

A lista de requisitos embora seja a primeira etapa, nem sempre ela acontece somente neste momento, porque nem todos os dados e requisitos do produto são conhecidos logo no início do projeto. A lista de requisitos é um documento vivo, que deve ser revisada e atualizada ao longo de todo o processo de desenvolvimento do projeto ou produto. Para a construção de uma lista de requisitos consistente, algumas boas práticas são recomendadas por Pahl et al. (2005), como por exemplo: mapear os solicitantes de cada requisição, para futuras consultas e esclarecimentos dos motivos que levaram ao requisito e adicionar números e datas de revisão tais como revisões de desenhos de projeto.

A segunda etapa, tem como foco a busca por soluções de projeto através de técnicas de estímulo à criatividade. Nesta parte do processo define-se a solução preliminar, primeiras propostas de soluções, que segundo Pahl et al. (2005), está composta por alguns passos que podem ser consultados pela Figura 18, sendo o primeiro passo a definição da função global da solução que resolve o problema em questão, tendo como base a lista de requisitos obtida na primeira etapa. Após definida a função principal, deve-se encontrar as interfaces do sistema em

estudo com outros sistemas técnicos e com o meio, para isto Pahl et al. (2005) recomenda que seja feito um diagrama de blocos identificando entradas e saídas da solução proposta.

Figura 18 – Subetapas ou passos da Concepção de projetos



Fonte: Adaptado de Pahl et al. (2005)

Após identificar as entradas e saídas, têm-se as interfaces da solução e a partir daí o próximo passo é transformar as entradas em saídas desejadas. Para facilitar este trabalho, recomenda-se decompor a função global em funções mais simples, até ao nível de funções elementares, priorizando as funções principais que são determinantes na solução global, sendo que as soluções globais, tem que ser elaboradas a partir de princípios de trabalho. Uma vez definidas as subfunções, a metodologia propõe a busca por diferentes soluções para cada funcionalidade, de modo a chegar em uma classificação das soluções mapeadas.

Ainda dentro da fase de concepção do projeto, deve-se concretizar todas as ideias através de uma estrutura de funcionamento, onde os princípios de soluções são materializados, através de desenhos esquemáticos, a ponto de tornarem as soluções passíveis de avaliação. De uma forma geral, a literatura também, traz outras ferramentas e metodologias para desenvolvimento de projetos que segundo Calabria et al. (2020) as mais utilizadas são:

1. Análise de sistemas naturais: Observação da natureza e transferência de soluções e princípios de projeto de sistemas naturais para objetos técnicos;

2. Análise de sistemas técnicos conhecidos: Dissecação virtual ou física de produtos existentes, seja via revisão bibliográfica ou engenharia reversa;
3. Analogias: Substituição do problema ou sistema foco por um sistema análogo;
4. Medições, testes com modelos: Medições em sistemas existentes, testes com modelos existentes;
5. Ideação: Técnica em grupo a fim de liberar o pensamento para uma massiva quantidade de ideias;
6. Método 635: Técnica em grupo de seis participantes onde compartilham princípios de solução para um problema;
7. Método da galeria: Permite incluir propostas de solução em forma de esboços;
8. Técnica Delphi: Para obtenção de soluções, especialistas são questionados por escrito e solicitados a se manifestarem sobre as soluções;
9. Sinética: Deixa-se estimular e conduzir por meio de analogias da área não técnica ou semitécnica.

As ferramentas aqui apresentadas foram adaptadas e utilizadas na concepção de um sistema para rastreamento de satélites. Buscou-se no desenvolvimento do projeto, tomar como base sistemas existentes, fazendo-se as escolhas que valorizam a simplicidade de projeto, o uso de elementos comerciais, soluções de menor custo e uma concepção que permita o uso para uma variedade de antenas de diferentes massas, portanto levando a uma concepção que possa ser adaptada a diferentes situações de uso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

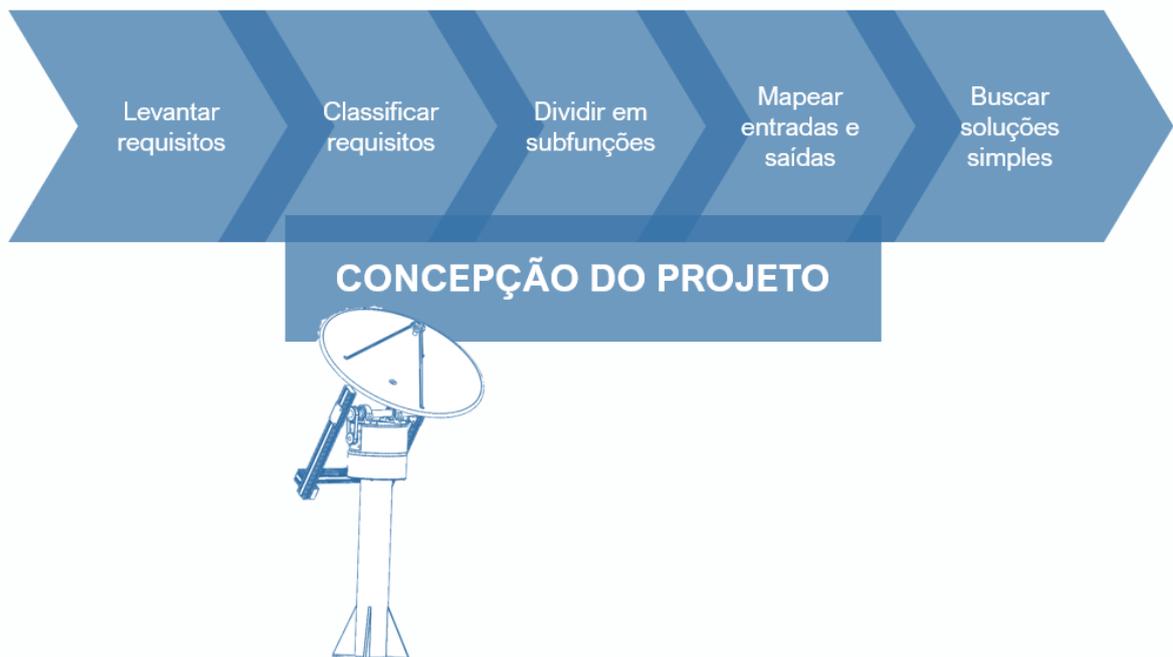
3.1 Materiais

Foi utilizado para a concepção do projeto, sistema de CAD, SolidWorks® com licença estudantil. Também utilizou-se, Sites e catálogos de fabricantes para componentes comerciais que atendam ao projeto, catálogos de aplicações, como por exemplo o catálogo da Schaeffler (2012), para busca de soluções próximas ao que se deseja, artigos acadêmicos sobre metodologias de projeto, patentes e manuais de fabricantes de produtos similares já existentes em mercado, por fim ferramentas de desenho e edição de imagens para ilustrar as ideias de projeto.

3.2 Métodos

Diferentes metodologias encontradas na literatura foram combinadas até chegar-se nas etapas ilustradas pelo fluxograma da Figura 19 que mostra o fluxo de desenvolvimento adotado para a concepção mecânica funcional de um sistema rastreador de satélites com a existência de dois graus de liberdade: um em azimute, rotação em torno do próprio eixo, e outro em elevação, de modo que seja possível suportar uma antena, que irá comunicar-se com um satélite em órbita não-geoestacionária.

Figura 19 – Etapas consideradas para a concepção do projeto de um rastreador de satélites



Fonte: Próprio autor

1. Levantar os requisitos para o sistema rastreador com base em sistemas similares comerciais existentes.
2. Classificar os requisitos.
3. Dividir o sistema "Rastreador de satélites" em subsistemas menores, por funcionalidades.
4. Definir as entradas e as saídas desejadas de cada subsistema.
5. Buscar por soluções simples, comerciais, análogas e manufaturáveis de modo a garantir a funcionalidade dos subsistemas mapeados.

Para a construção da lista de requisitos, utilizou-se a estrutura proposta por Pahl et al. (2005) conforme apresentado no tópico 2.6.1 e ilustrada na Figura 17, onde foram respondidas algumas perguntas sobre o escopo do projeto e combinadas às especificações dos rastreadores comerciais como sugere a metodologia de análise de sistemas técnicos conhecidos. Após listados os requisitos básicos, estes foram organizados por macro características, para facilitar a posterior consulta e alteração dos requisitos, uma vez que a lista de requisitos, refere-se a um documento vivo no projeto.

Com base na lista previamente construída, classificou-se os requisitos como "Exigidos" ou "Desejáveis", com base nas funcionalidades do produto. Ainda, uma segunda classificação foi feita com base na relevância de cada requisito, podendo estes serem classificados com relevância "Alta", "Média" ou "Baixa". Ambas as classificações são úteis, pois elas dão clareza de prioridade ajudando a saber por onde começar.

Na etapa seguinte, de modo a simplificar o produto final, o sistema rastreador de satélites foi dividido em sistemas menores até chegar em suas funções principais, separando-o por sua cinemática desejada: grau de liberdade de azimute e grau de liberdade de elevação.

Após dividir a solução em subsistemas principais, na etapa 4 foram definidas as entradas para obter-se as saídas desejadas em cada um destes subsistemas. As saídas devem acontecer conforme os requisitos levantados na Etapa 1.

Para obter a saída desejada, em cada subsistema, buscou-se por soluções simples, por meio do aprofundamento das funcionalidades dos rastreadores comerciais mapeados na revisão bibliográfica, componentes comerciais em catálogos e sites de fabricantes, e para as soluções específicas, não encontradas comercialmente, foram projetados componentes com características que permitem serem fabricados preferencialmente em torno ou fresadoras comuns, evitando processos não convencionais.

Por fim, para a concepção final do projeto utilizou-se desenhos em CAD para se ter uma melhor noção de dimensões, proporções e como se porta a combinação de todas as soluções concebidas em conjunto no Rastreador de satélites proposto. Sendo o escopo deste trabalho trazer uma proposta conceitual que atenda aos requisitos levantados na etapa 1, tomando componentes

comerciais como base para dimensionar o produto. Otimizações de volume e massa, materiais, dimensionamento dos componentes estruturais e eventuais mudanças na concepção são etapas posteriores que não estão incluídas na proposta deste trabalho.

4 RESULTADOS: RASTREADOR DE SATÉLITES

4.1 Etapa 1 e Etapa 2: Lista e classificação dos requisitos

De acordo com a Etapa 1 da metodologia utilizada, listou-se os requisitos do sistema Rastreador de satélites, categorizando-os nas seguintes macro características:

- Característica geométrica: Compreende as dimensões do rastreador, de modo a comportar a antena, motores e os demais componentes associados.
- Característica cinemática: Compreende os critérios da movimentação exigida para que o rastreador possa acompanhar o satélite em órbita, conferindo os graus de liberdades necessários.
- Característica dinâmica: Compreende todo o conjunto de forças atreladas ao sistema e também às forças externas relacionadas aos ventos e intempéries de um ambiente externo e aberto.
- Característica estrutural: Refere-se à composição dos componentes de sustentação e demais componentes necessários, de acordo com o nível de esforço exigido e material apropriado para suportar tal esforço.
- Característica de segurança e ambiental: Refere-se à minimização dos riscos relacionados ao uso, manutenção ou operação do sistema proposto em suas condições ambientais.
- Característica ergonômica: Compreende as condições físicas de operação.
- Característica de fabricação: Refere-se ao esforço envolvido na fabricação do sistema, desde suas peças manufaturáveis até possibilidade de se implantar fabricação em linhas de produção.
- Característica de montagem e transporte: Refere-se ao esforço envolvido na montagem do produto, quantidade de etapas e peças envolvidas na montagem e ao esforço exigido na movimentação do produto, massa total e formas de transporte do sistema.
- Característica de manutenção: Refere-se ao esforço envolvido para manter o produto em funcionamento e manutenções preventivas.

Na sequência, Etapa 2 da metodologia, classificou-se todos os requisitos listados entre "Desejáveis"(D) e "Exigidos"(E), e por fim uma segunda classificação foi feita, podendo esta ser "Alta", "Média"ou "Baixa"de acordo com a relevância do requisito listado. A lista completa com sua categorização encontra-se presente na Tabela 6.

Tabela 6 – Lista de requisitos

LISTA DE REQUISITOS			
Produto: Rastreador de satélites			
D/E	Requisito	Especificação	Relevância
Geométrica:			
E	A altura do conjunto deve ser suficiente para atender ao diâmetro da antena, sem que a mesma encoste no chão	~1 a 1,5m	ALTA
E	A base do rastreador deve ter seção que suporte todo o conjunto: antena, motores e demais componentes	~13 kg (total)	ALTA
E	O braço do suporte da antena deve ter seção que suporte a Antena e o contrapeso da antena	>=10 kg	ALTA
Cinemática:			
E	O rastreador deve possuir GDL azimutal (giro em torno do eixo vertical perpendicular ao solo/base)	Movimento azimutal: 0-360°	ALTA
E	O rastreador deve possuir GDL de elevação. (GDL de giro em torno do eixo móvel, perpendicular ao eixo da base do rastreador)	Movimento de elevação: 0 a 90°	ALTA
E	O rastreador deve garantir um posicionamento bastante preciso e estável	Acuracidade de 0,1° Velocidade em AZ e EL: 2-8°/sec	ALTA
E	A frequência de rastreador deve ser suficiente para acompanhar o satélite em órbita	~60Hz	ALTA
Dinâmica			
E	O rastreador deve ser forte o suficiente para suportar às condições climáticas e ambientais, como ventos fortes e chuva	120km/h	ALTA
E	O motor de azimute deve apresentar torque suficiente para girar todo o conjunto em torno da base do rastreador	54Nm	ALTA
E	O motor de elevação deve apresentar torque suficiente para girar a antena e o contrapeso fixados em seu braço em ângulos de 0 a 90°	126Nm	ALTA
Estrutural:			
E	O material do braço da antena deve ter resistência mecânica que atenda à função estrutural e que a massa seja reduzida	Perfilados de alumínio	ALTA
D	A base do rastreador deve ficar fixa e presa ao solo, porém deve ser facilmente removível em caso de necessidade de reposicionamento		MÉDIA
Segurança e ambiental:			
E	O rastreador deve ser seguro o suficiente para que não se rompa, não se desprenda do solo e que a antena não saia voando.		ALTA
E	O rastreador deve ter condições de operar em ambientes externos.	Sol, chuva, poeira e intempéries	ALTA
D	O rastreador deve apresentar mecanismo que garanta uma posição de descanso segura em ventos fortes, de modo a oferecer baixa resistência e arrasto.	>50km/h	MÉDIA
Ergonômica:			
D	O rastreador deve apresentar condições físicas favoráveis a quem for operá-lo		MÉDIA
Produção:			
D	O rastreador deve poder ser produzível em larga escala		MÉDIA
Montagem e transporte:			
D	Os subsistemas devem apresentar montagem intuitiva		MÉDIA
D	Os componentes devem ser padronizados, como parafusos de um único diâmetro		MÉDIA
D	O rastreador sem a antena deve ser carregável por uma pessoa sem a necessidade de auxílio	=<10 kg	ALTA
Manutenção:			
D	Ter manutenção rápida e simples		MÉDIA
E	Apresentar componentes de catálogos comerciais e fáceis de encontrar		ALTA

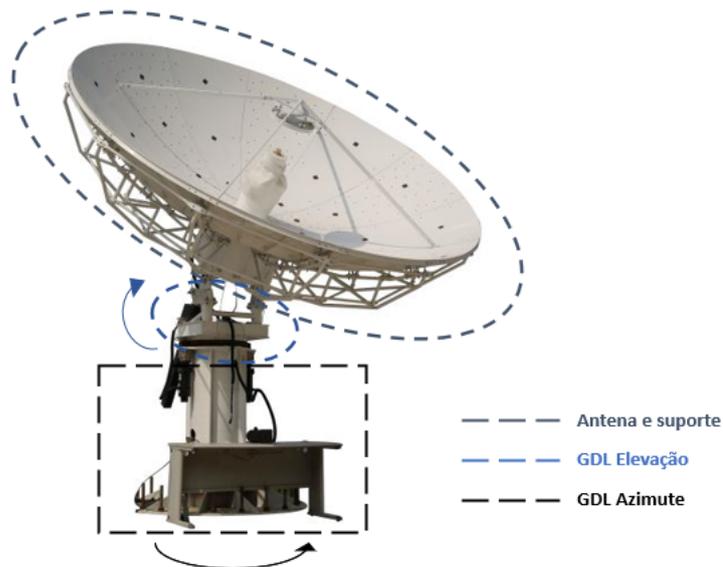
Fonte: Próprio autor

A lista de requisitos apresentada, refere-se a primeira versão concebida de modo a nortear o projeto, priorizando as características exigidas, que compõem cerca de 60% dos requisitos levantados e destas as que apresentam relevância classificada como alta, cerca de 90%.

4.2 Etapa 3: Divisão em subsistemas

Com base nos requisitos levantados, dividiu-se o produto em três subsistemas principais de acordo com as características cinemáticas exigidas, conforme ilustra a Figura 20, que representa minimamente estes subsistemas:

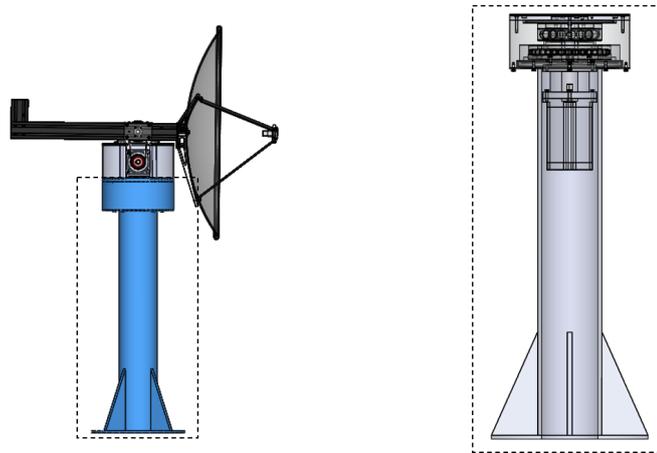
Figura 20 – Subsistemas principais de um rastreador de satélites



Fonte: Adaptado de Profen (2022)

- **Primeiro subsistema:** Refere-se ao primeiro grau de liberdade do rastreador de satélites, que permite o giro em 360° ($\pm 180^\circ$ a partir de uma posição de referência) em torno do seu eixo principal perpendicular ao solo e fixado em uma base rígida. Este grau de liberdade em termos de astronomia é também conhecido por azimute. Assume-se que se saiba que os satélites rastreado tem, por exemplo, órbita polar, e que vão surgir ao sul e desaparecer ao norte ou vice-versa, assim, desde que montado com a referência apontada para o local mais conveniente, a faixa de mais ou menos 180° sempre vai atender o rastreamentos. Mesmo assim alguns equipamentos adotam uma sobreposição para uma base totalmente fixa, que não pode ser reposicionada. Aqui o sistema adotado foi de "Estação móvel modular" a faixa de azimute atende ao propósito. Para este trabalho, o subsistema azimute compreende a base de fixação no solo, conjunto motor redutor e conjunto de interface com o subsistema seguinte, conforme destacado em azul, pela Figura 21
- **Segundo subsistema:** Refere-se ao segundo grau de liberdade do rastreador de satélites, que é responsável pela elevação da antena permitindo giro de até 90° , saindo de uma posição de braço da antena paralela ao solo, e indo até uma posição de braço da antena perpendicular ao solo. Mas, caso necessário uma adaptação pode ser feita, se o suporte

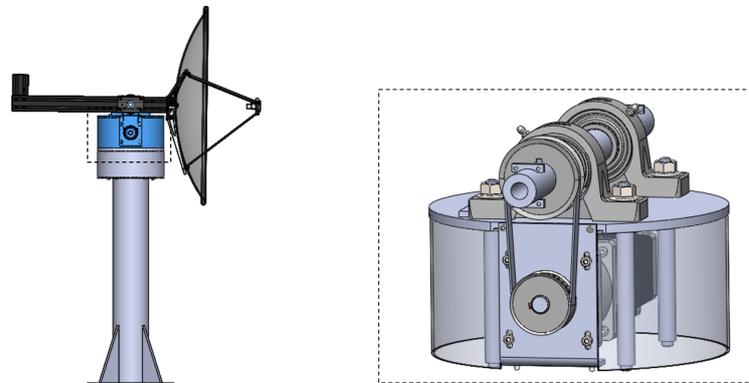
Figura 21 – Subsistema do GDL- azimute



Fonte: Próprio autor

de antena for instalado em uma reta acima do horizonte, é possível ter-se um giro que totaliza 120° , indo de -30° a $+90^\circ$, como forma de aumentar a visão de rastreamento. Neste trabalho, corresponde ao conjunto motor, base do motor, base e mancais do eixo de saída e transmissão por polias, conforme destacado em azul na Figura 22.

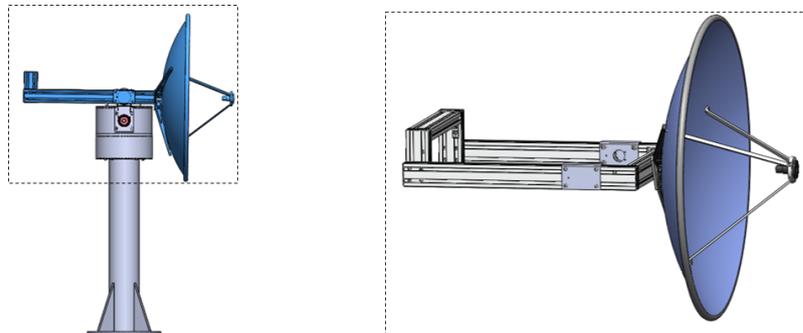
Figura 22 – Subsistema do GDL- elevação



Fonte: Próprio autor

- **Terceiro subsistema:** Neste trabalho, refere-se ao suporte de uma ou mais antenas, conjunto de fixadores e contra-pesos que prendem as antenas ao eixo do segundo subsistema, permitindo assim o giro das mesmas. A Figura 23 destaca em azul este subsistema.

Figura 23 – Subsistema do suporte da(as) antena(as)



Fonte: Próprio autor

4.3 Etapa 4 e Etapa 5: Entradas, saídas e busca por soluções para cada subsistema

4.3.1 Primeiro subsistema: GDL - Azimute

A primeira entrada está atrelada ao grau de liberdade de azimute, que pelos requisitos levantados com base nas especificações comerciais de rastreadores de satélites semelhantes para antenas de pequeno porte, deve apresentar torque com cerca de 54Nm. Munido desta informação, e considerando como solução de referência o motor do rastreador da Yaesu (YAESU, 2022), foi possível iniciar a seleção por motores comerciais que apresentassem tal requisito, chegando-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Solução de referência e outras soluções possíveis para o motor do GDL1

Solução	Modelo	Torque Azimute Nm	Rotação Azimute Máx
Solução referência	Yaesu G5500	54	step angle = 0.09deg
Solução 1	Nema 17 (17HS15-1684S-HG100) com redutor planetário	22,5	step angle = 0.09deg
Solução 2	Nema 23 com redutor Planetário 16:1 (HT23-400-R4.25)	28,2	step angle =1.8deg
Solução 3	Nema 34 - 130 kgf.cm (HT34-487) com redutor Planetário de 10:1	122,2	step angle =1.8deg
Solução 4	Motor de Passo Nema 34 - 65kgf.cm com redutor de 10:1	58,5	step angle =1.8deg

Fonte: Próprio autor

Dentre as opções encontradas de motores elétricos comerciais, a solução 4 se mostra a mais próxima do torque de referência. Entretanto, analisando-se posteriormente as combinações de entradas para os demais subsistemas, a solução 3 se mostra a mais adequada para este caso, uma vez que a diferença de custo é baixa entre ambas as soluções, e o motor da solução 3 fornece maior torque, desta forma optou-se pelo motor Nema 34 de 130 kgf.cm, que está presente na Figura 24. Mais especificações do motor podem ser encontradas no Anexo A.

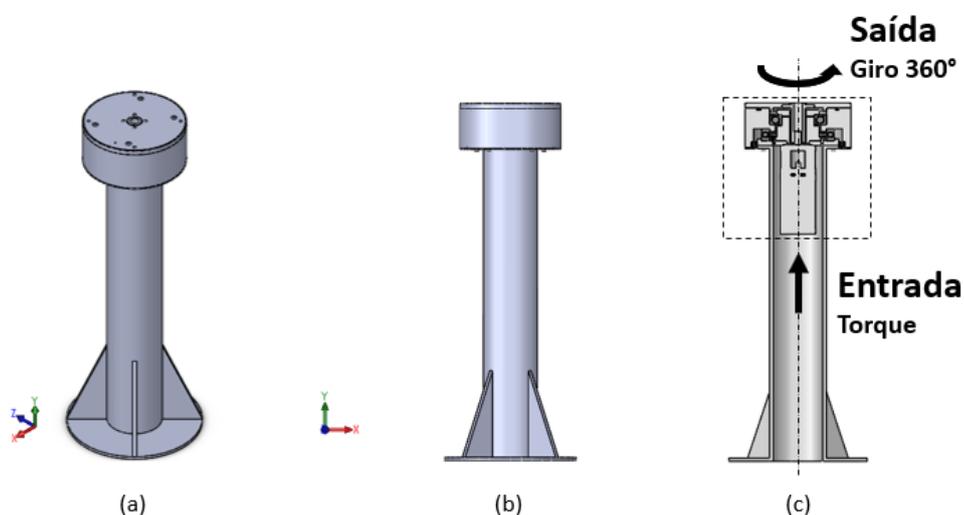
Figura 24 – Motor de passo Nema 34 mais redutor de 10:1, solução escolhida para os graus de liberdade de Azimute e elevação



Fonte: Kalatec (2021)

Quanto a rotação do motor, embora todas as opções apresentem rotação máxima maior que a de referência, a mesma é possível de ser programada por meio de controladores, para fornecer uma rotação discreta em passos de 0,09 graus em 0,09 graus. A partir da entrada de torque no primeiro subsistema, a saída desejada é o giro de 360 graus em torno do eixo vertical da base do rastreador centrado no motor, que será responsável por movimentar todo o conjunto montado sobre ele, fornecendo o grau de liberdade de azimute, conforme ilustra a Figura 25.

Figura 25 – Entrada e saída do primeiro subsistema. (a) Vista isométrica (b) Vista frontal (c) Vista em corte



Fonte: Próprio autor

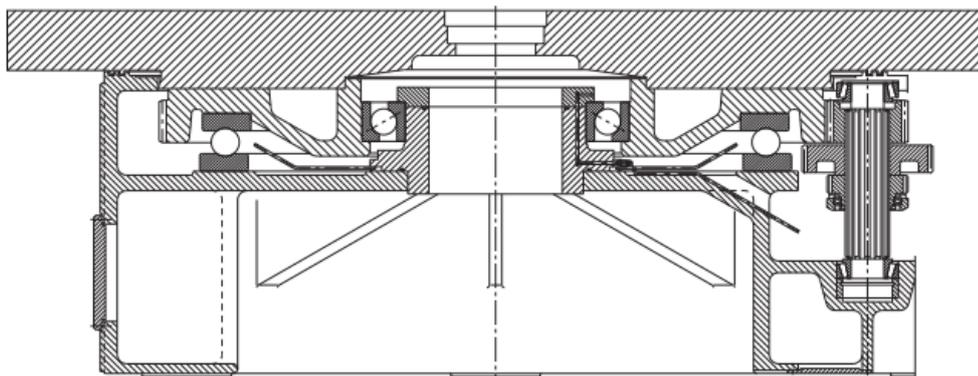
Pensando em manter o motor protegido do ambiente externo e das intempéries oriundas, como requisito de projeto a ser atendido, foi necessário conhecer as características dimensionais do motor, para possibilitar a escolha de um tubo comercial, com ou sem costura, que além servir para alocar o motor, também pensou-se em utilizá-lo como base para o rastreador de satélites proposto. As dimensões do motor, como fator determinante, levaram às dimensões aproximadas do tubo, sendo elas:

- Diâmetro interno: 60 milímetros
- Espessura da parede: 10 milímetros
- Altura: 800 milímetros

Para a altura escolheu-se 800 milímetros, pensando na ergonomia para carregamento e manuseio do produto. A disposição do motor no centro do diâmetro do tubo e os demais componentes podem ser vistas com mais detalhes na Figura 25 (c).

De modo a viabilizar que a entrada anteriormente definida, resulte na cinemática desejada, utilizou-se da metodologia apresentada na Etapa 5, para buscar soluções já existentes em outras aplicações, sendo assim, por meio de consultas à catálogos e manuais, encontrou-se uma aplicação de mesa rotativa para um torno vertical, muito parecida ao que se deseja para o grau de liberdade de azimute, rotação de 360° em torno do próprio eixo (eixo vertical). A Figura 26, ilustra esta aplicação que inspirou os próximos passos da concepção.

Figura 26 – Mesa rotativa de um torno vertical

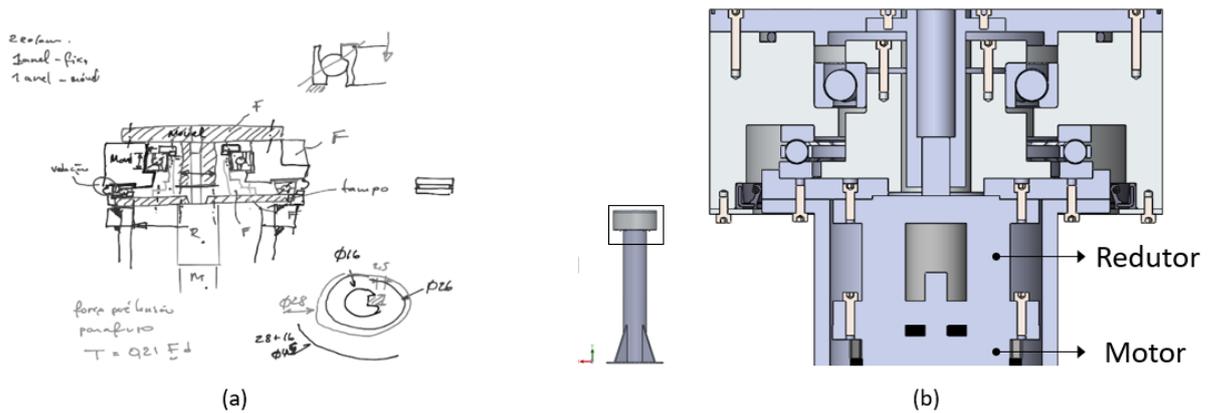


Fonte: Schaeffler (2012)

Após encontrada uma aplicação próxima para o primeiro subsistema, em reunião com o orientador, discutiu-se ideias a fim de tangibilizar o modelo esquematizado em algo que funcione para o rastreador em questão, com componentes de simples manufatura e se possível, comerciais, que atendam ao torque do conjunto.

Como resultado das discussões, desenhou-se o croqui da Figura 27 (a), que ilustra a ideia de combinar um rolamento axial de esferas com outro rolamento de contato angular, movido pelo motor escolhido anteriormente. Após a elaboração do croqui, utilizando-se da ferramenta de CAD, modelou-se as ideias, agora respeitando-se as dimensões reais dos componentes comerciais, conforme ilustra a Figura 27 (b).

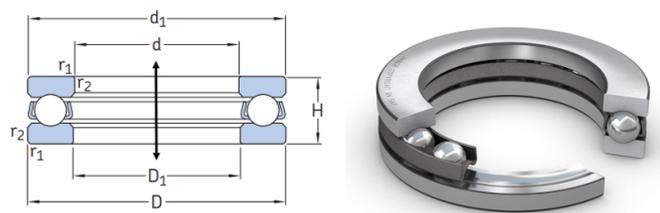
Figura 27 – Modelo do primeiro subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD



Fonte: Próprio autor

Os componentes de rolamentos escolhidos para o desenho do modelo, foram encontrados no catálogo da SKF (2020). O rolamento axial será usado para acomodar as cargas que são predominantes na direção do eixo, e o rolamento escolhido com base nas restrições geométricas do tubo que acomoda o motor tem como designação "SKF 51128-2", sendo um rolamento axial de esferas de escora simples, conforme ilustra a Figura 29, mais detalhes podem ser vistos no Anexo B.

Figura 28 – Rolamento axial com seta preta representando a direção da carga



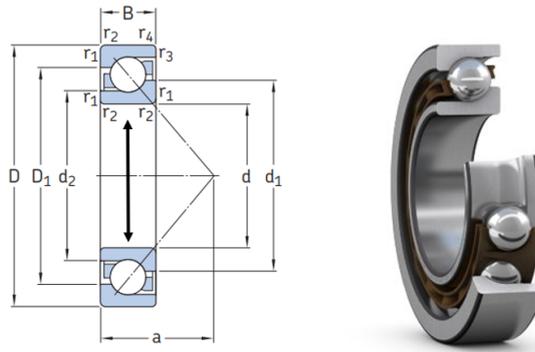
Fonte: Adaptado de SKF (2020)

Para o alojamento do rolamento axial o catálogo SKF (2020) recomenda uma carga mínima que pode ser calculada pela Equação 1, onde A é o fator de carga mínima e n é a rotação, neste caso por conta da rotação ser muito baixa e do eixo ser vertical a carga mínima já é atendida pela própria massa dos componentes.

$$F_{am} = A \left(\frac{n}{1000} \right)^2 = 1 \left(\frac{0,33}{1000} \right)^2 = 1,11N \quad (1)$$

Considerando a combinação dos rolamentos no primeiro subsistema, o rolamento radial será usado para acomodar as cargas que são predominantemente perpendiculares ao eixo. Pelo catálogo SKF (2020), escolheu-se o rolamento com designação "SKF 7216 BECBPH", conforme ilustra a Figura 29, mais detalhes podem consultados no Anexo C.

Figura 29 – Rolamento radial de contato angular com seta preta representado a direção da carga



Fonte: Adaptado de SKF (2020)

Para o alojamento do rolamento radial de contato angular o catálogo SKF (2020) recomenda uma carga mínima que pode ser calculada pela Equação 2, onde k_a é o fator de carga axial mínima, C_0 é a classificação de carga estática, d_m é o diâmetro médio e n é a rotação, neste caso faz-se necessária uma pré-carga.

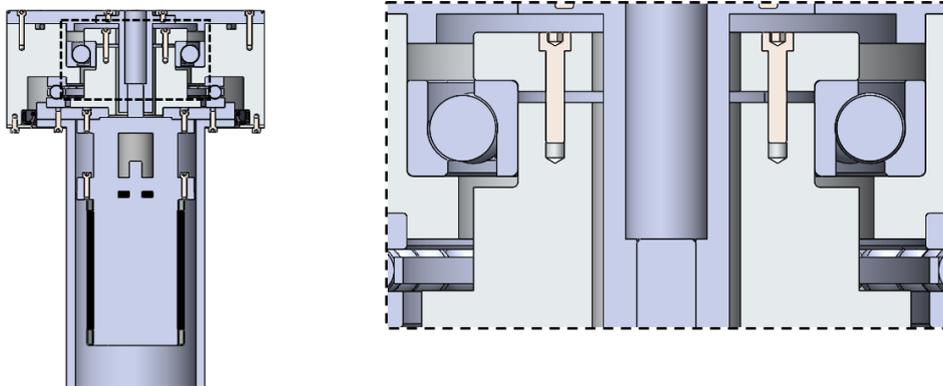
$$F_{am} = k_a \frac{C_0}{1000} \left(\frac{n * d_m}{100000} \right)^2 = 1,6 \frac{75}{1000} \left(\frac{1,33 * 110}{100000} \right)^2 = 258,13N \quad (2)$$

Para garantir a pré-carga mínima calculada, pensou-se em duas possibilidades:

- Aperto do rolamento sanduichado entre duas peças que são presas por meio de parafusos, conforme ilustra a Figura 30.
- Componentes roscados, que ao invés de se usar parafusos, a peça de aperto do rolamento funcionaria tal, contendo rosca em seu diâmetro externo, permitindo assim uma redução da parede destas peças por não precisar alojar parafusos, e uma conseqüente redução na altura total do conjunto e também no diâmetro interno dos rolamentos, diminuindo praticamente todas as dimensões do primeiro subsistema.

Pela simplicidade, a solução adotada para a concepção do rastreador está ilustrada na Figura 30 e ocorre por meio do apertos de 4 parafusos longos, entre as duas peças que guiam os rolamentos.

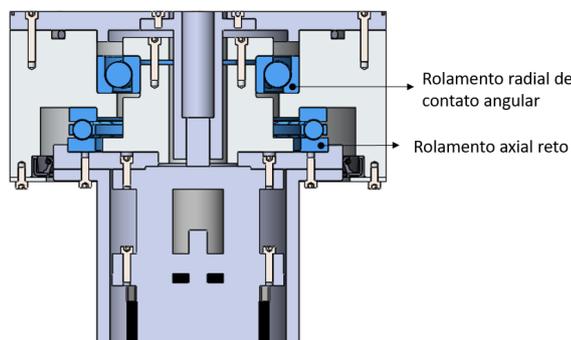
Figura 30 – Pré carga no rolamento radial de contato angular por meio do aperto de 4 parafusos longos



Fonte: Próprio autor

Após feita a escolha dos dois rolamentos que vão compor o primeiro subsistema do e garantir o grau de liberdade de azimute, a Figura 31 destaca a combinação entre eles junto com os demais componentes.

Figura 31 – Rolamentos presentes na composição do primeiro subsistema

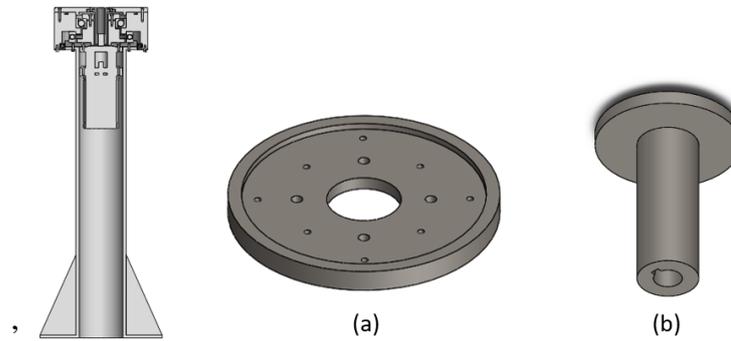


Fonte: Próprio autor

Os demais componentes não comerciais que servem para guiar e suportar motor e rolamentos respeitando a movimentação do conjunto, foram pensados de modo a serem o mais simples possível quanto à manufatura, neste caso, pensou-se em sólidos de revolução que podem ser manufaturados via usinagem em tornos convencionais, sendo este método bem conhecido, simples e de baixo custo. Além de levar-se em consideração o requisito de facilidade de manufatura, pensou-se também nos materiais mais apropriados para cada um deles, podendo ser aço para os que sofrem maior esforço de carregamento e alumínio para os demais. A Figura 32 ilustra os componentes de revolução a serem manufaturados em aço e a Figura 33 ilustra os componentes de revolução a serem manufaturados em alumínio, todos ainda em sua versão conceitual, pouco otimizada.

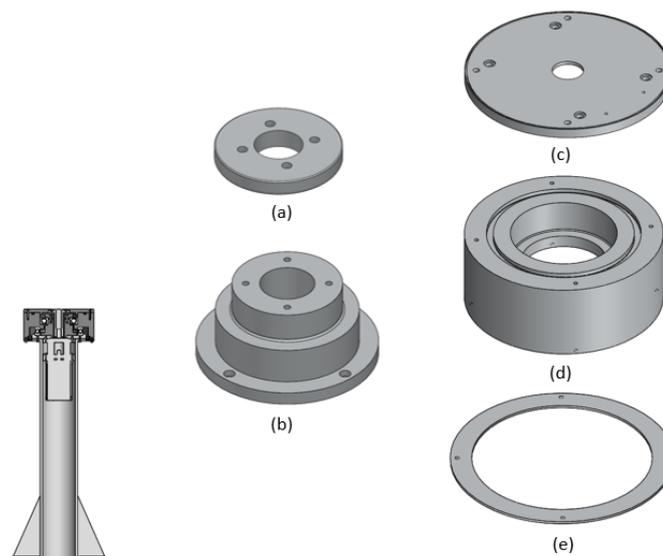
Para a base a do sistema, como já dito anteriormente será usado um tubo que comporta dentro de seu diâmetro o motor escolhido. A este tubo será necessário soldar dois flanges, uma

Figura 32 – Componentes para manufatura em aço SAE 1020. Em (a) Mesa de suporte do motor (b) Bucha de transferência de giro do motor



Fonte: Próprio autor

Figura 33 – Componentes para manufatura em alumínio. Em (a) Bucha de aperto do rolamento radial (b) Bucha guia do rolamento radial (c) Mesa e suporte do segundo GDL (d) Parte móvel principal (e) Suporte da vedação



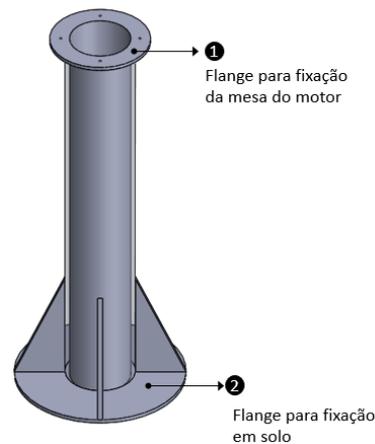
Fonte: Próprio autor

para prender-se à mesa do motor, e na outra extremidade, um flange com nervuras para fixar-se ao solo. Os flanges e as nervuras a serem soldadas no tubo, estão representadas pela Figura 34.

Assim como o motor, que ficará protegido do ambiente externo, o mesmo deve ocorrer com os rolamentos, uma vez que os modelos escolhidos não apresentam vedação, mas mesmo assim sua lubrificação é indispensável, e por conta disto pensou-se em soluções para a vedação do conjunto, de modo a evitar a entrada de poeira e umidade. A solução pensada, implica na escolha de duas vedações:

- A primeira vedação do tipo oring será utilizada em aplicação estática. O alojamento da vedação foi desenhado no formato retangular com $r1$ igual a $0,5mm$ e demais dimensões

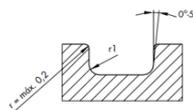
Figura 34 – Tubo comercial com flanges e nervuras soldadas



Fonte: Próprio autor

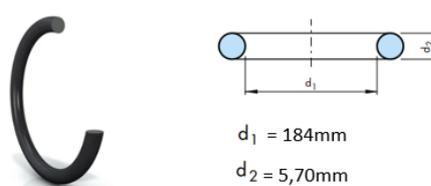
recomendadas pelo fabricante Trelleborg (2007), conforme ilustra a Figura 35. A vedação oring escolhida, tem como designação "OR5718430" e foi encontrada em catálogo com as dimensões presentes na Figura 36.

Figura 35 – Alojamento retangular recomendado para vedação do tipo oring



Fonte: Trelleborg (2007)

Figura 36 – Dimensões da vedação tipo oring escolhida para a aplicação

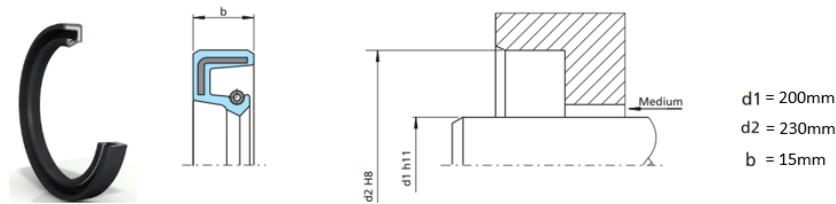


Fonte: Adaptado de Trelleborg (2007)

- A segunda vedação do tipo radial, é utilizada para aplicações rotativas e têm a função de prevenir a entrada de sujeira ou água no sistema. A vedação escolhida que tem como designação "TRAA02000" e consiste em uma manga de borracha, um anel metálico enrijecedor e uma mola espiral tensionadora, assim como pode ser visto na Figura 37 juntamente com suas dimensões.

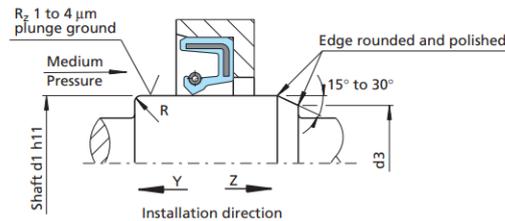
Para o alojamento da vedação radial o fabricante recomenda chanfros de 15 a 30 graus e ajustes de tolerância $h11$ para o eixo e $H8$ para o furo, mais detalhes podem ser vistos na Figura 38.

Figura 37 – Dimensões da vedação radial rotativa escolhida



Fonte: Adaptado de Trelleborg (2007)

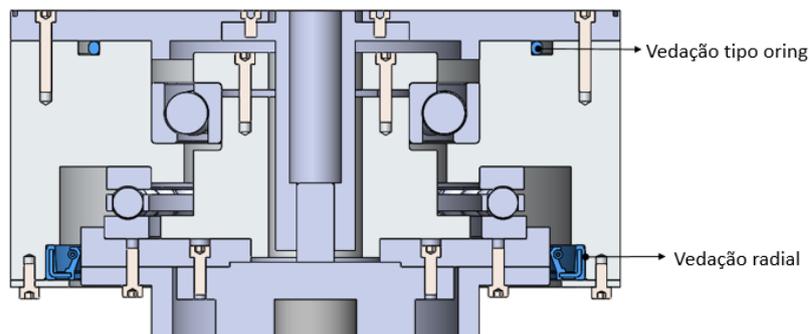
Figura 38 – Recomendações fabricante para alojamento da vedação radial rotativa



Fonte: Trelleborg (2007)

Alguns ajustes foram feitos no conjunto para possibilitar o alojamento das vedações, tal como ilustra a Figura 39.

Figura 39 – Disposição das vedações na montagem do primeiro grau de liberdade



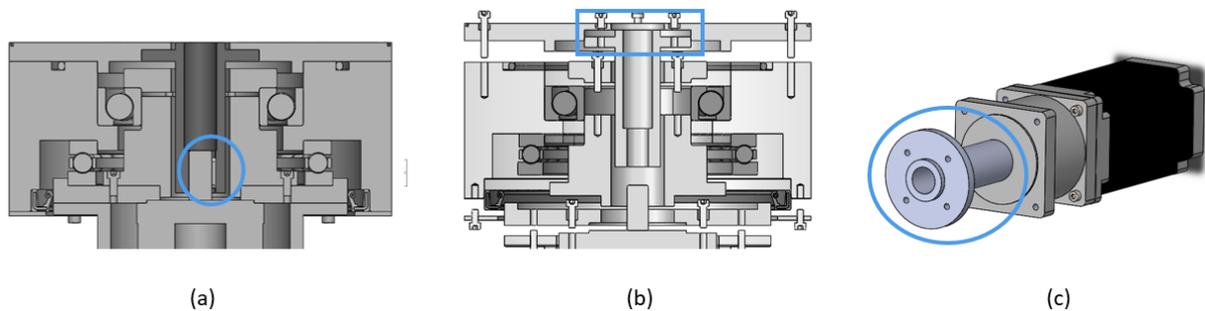
Fonte: Próprio autor

Para a obter a saída desejada deste subsistema o torque de entrada do motor é transmitido para todo o conjunto através de um acoplamento por meio da bucha de transferência de torque da Figura 32 (b), fixada ao motor por uma chaveta em seu eixo, tal como ilustra a Figura 40.

Este acoplamento na entrada faz mover a base do conjunto, garantida pela combinação dos rolamentos, sendo então uma parte fixa ao tubo da base que está presa ao chão representada pela cor azul escuro na Figura 41, e a outra parte do subsistema móvel realizando o giro de 360 graus em torno do eixo do motor representada pela cor azul claro na Figura 41.

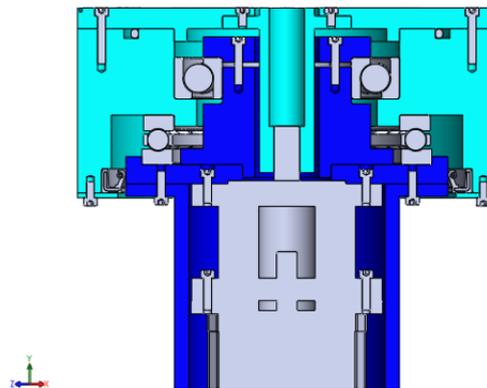
Uma otimização que já pode ser percebida na etapa de concepção, refere-se a altura do conjunto: componentes de manufatura, rolamentos, vedações e parafusos, de modo a diminuir o

Figura 40 – Solução para transmissão do movimento do motor para o subsistema. (a) Vista em corte bucha e chaveta (b) Vista em corte fixação no conjunto (c) Vista completa do acoplamento bucha e motor



Fonte: Próprio autor

Figura 41 – Esquema de funcionamento do primeiro grau de liberdade



Fonte: Próprio autor

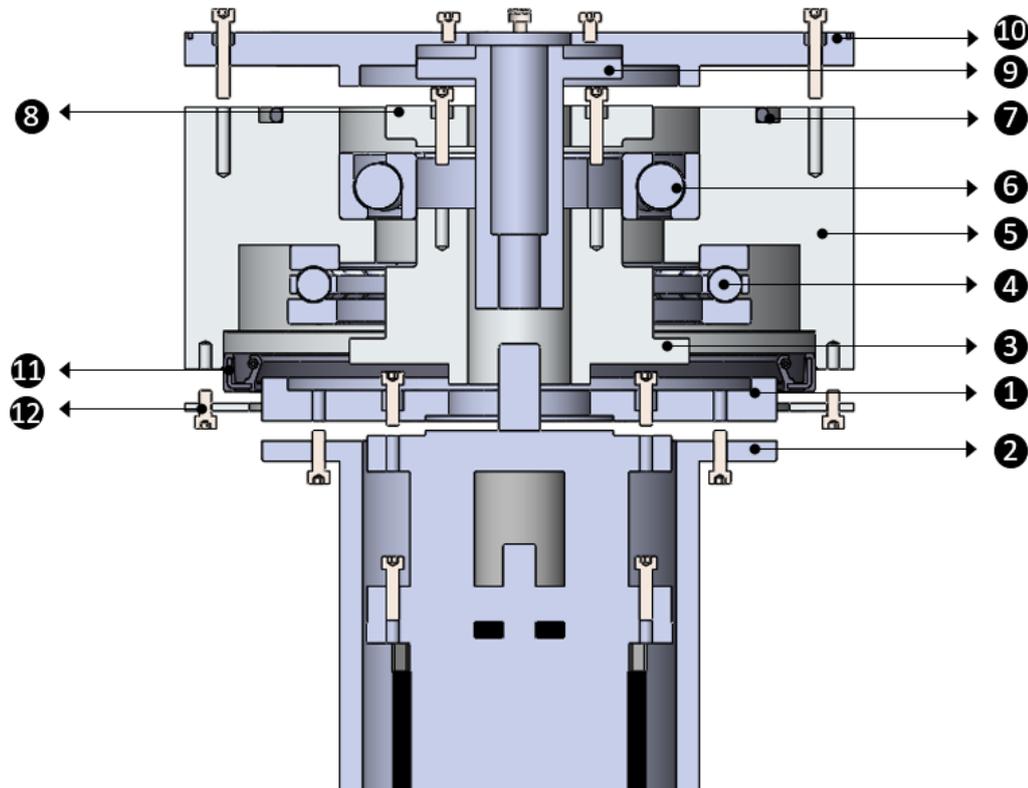
comprimento da bucha de transmissão de torque. Para esta otimização, faz-se necessária novas escolhas de rolamentos que apresentem altura menor, tais como rolamentos de rolo ou agulhas, e conseqüentemente um redesenho dos componentes de manufatura, embora isto não tenha sido feito no desenho, entende-se que esta é uma otimização necessária para as próximas etapas de projeto.

Levando-se em conta os requisitos de facilidade de manutenção, pensou-se em uma abertura no tubo representado pela Figura 34, tal como uma porta, para facilitar o acesso ao motor e a respectiva cablagem. Houve também a preocupação com o espaço para o lubrificante dos rolamentos de modo a mantê-los vedados, lubrificadas e protegidos de pó ou umidade.

Outro item da Lista de requisitos da Tabela 6 e de igual relevância, refere-se à montagem do subsistema, e pensando em usabilidade considerou-se unificar todos os parafusos do conjunto para o padrão M5 da norma DIN 912, mesmo que em diferentes comprimentos. E para a montagem, o primeiro passo consiste na fixação do motor à sua mesa, Figura 32 (a), e depois segue-se uma única seqüência, de baixo para cima, indo do flange de fixação da mesa do motor, Figura 34, até a mesa e suporte do segundo subsistema presente na Figura 33 (c), a seqüência

de montagem está ilustrada na Figura 42 e os dois passos finais da montagem referem-se ao fechamento da vedação rotativa e seu suporte, Figura 33 (e).

Figura 42 – Sequência de montagem



Fonte: Próprio autor

Uma vez, definida as entradas, saída e soluções aos requisitos apresentados, realizou-se uma estimativa de massa para o primeiro subsistema do GDL de azimute, chegando-se a uma massa aproximada de 13,5kg, valor inicialmente alto e acima do requisitado. Entretanto como se trata de um projeto conceitual, muitas otimizações ainda serão necessárias, e indo um pouco além da concepção, pode-se pensar em alterações no tipo de rolamento, mudanças de materiais, utilização de plástico estrutural e impressão 3D, tudo com intuito de reduzir a massa, e altura do primeiro subsistema.

4.3.2 Segundo subsistema: GDL - Elevação

O segundo subsistema, será montado sobre o primeiro, que realiza o movimento de giro de 360°. A entrada do segundo subsistema referente ao GDL de elevação é também um torque gerado por um segundo motor, que com base na solução de referência da Tabela 8, deve ter em torno de 126 Nm. Para a escolha do segundo motor, novamente tabulou-se as opções comerciais chegando-se em soluções que combinam as entradas de torque do primeiro e do segundo subsistema. Estas opções de soluções combinadas estão presentes na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação entre solução de referência e combinações de motores para o primeiro e segundo subsistema

Solução	Modelo	Torque Azimute Nm	Rotação Azimute	Torque Elevação Nm	Rotação Elevação
Solução referência	Yaesu G5500	54	step angle = 0.09deg	126	step angle = 0.224 deg
Solução 1	Nema 17 (17HS15-1684S-HG100) com redutor planetário	22,5	step angle = 0.09deg	45	step angle = 0.045deg
Solução 2	Nema 23 com redutor Planetário 16:1 (HT23-400-R4.25)	28,2	step angle =1.8deg	56,4	step angle =0.9deg
Solução 3	Nema 34 - 130 kgf.cm (HT34-487) com redutor Planetário de 10:1	122,2	step angle =1.8deg	122,2	step angle =1.8deg
Solução 4	Nema 23 com redutor de 16:1 e Nema 34 com redutor Planetário de 10:1	28,2	step angle =1.8deg	122,2	step angle =1.8deg
Solução 5	Motor de Passo Nema 34 - 65kgf.cm com redutor de 10:1	58,5	step angle =1.8deg	Nema 34 -130 kgf.cm (HT34-487) com redutor Planetário de 10:1	step angle =0.9deg

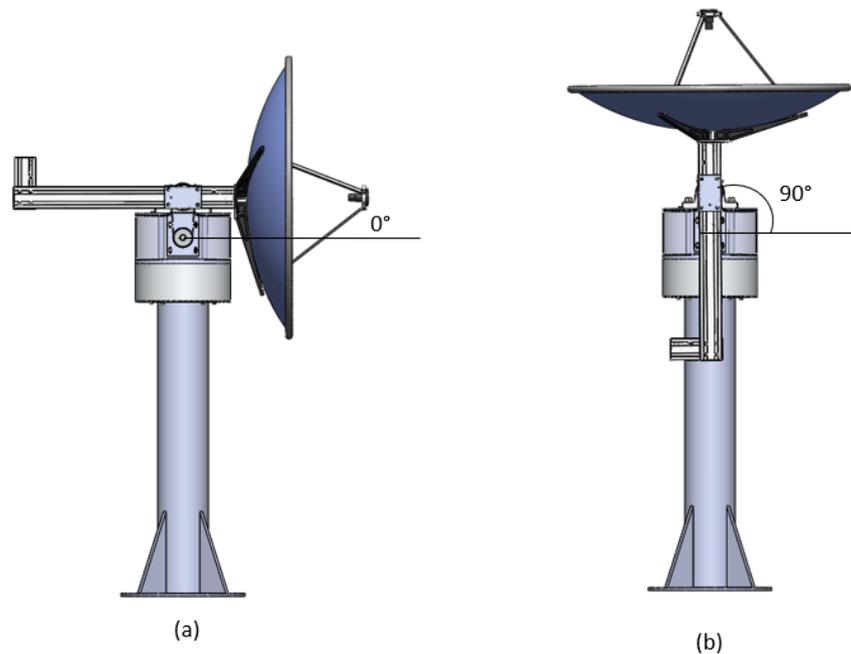
Fonte: Próprio autor

Pela comparação da Tabela 8 tanto a solução 3 quanto a solução 5 atendem, porém para fins de padronização e maior flexibilidade no projeto escolheu-se a combinação da Solução 3, assim como já explicado anteriormente, utilizou-se o mesmo motor para ambos os subsistemas, o motor está ilustrado na Figura 24 e sua ficha técnica encontra-se no anexo A. A partir da entrada definida, a saída esperada deste segundo subsistema é o movimento de elevação gerado pelo giro do eixo, pela qual vai fixo o suporte da antena, desde a posição 0°, eixo paralelo ao solo, até a posição 90, eixo perpendicular ao solo, conforme ilustra a Figura 43, e se necessário chegar até um ângulo negativo uma simples alteração é o aumento do comprimento do perfil de suporte da antena.

Assim como no primeiro subsistema, comparou-se as soluções de referências, para obter a saída desejada, encontrando soluções próximas a desejada, seguindo a metodologia, na Etapa 5 buscou-se soluções de referências para a saída desejada, neste subsistema: elevação de 90°. Para isto, as soluções encontradas foram: transmissões por sem fim e coroa, trem de engrenagens e polias e correia. Dentre estas opções embora a solução de sem fim e coroa, seja a que apresente maior relação de transmissão podendo oferecer maior torque, é também a mais custosa devido sua complexidade de fabricação; A solução de trem de engrenagens, mesmo sendo mais simples que sem fim e coroa apresenta complexidade quanto ao alinhamento na montagem; Então, a solução escolhida para este subsistema foi a transmissão por polias e correia, sendo esta solução mais simples e de fácil manutenção, além de ser comercialmente encontrada .

Em discussões de ideias e soluções com o orientador, desenhou-se o croqui referente ao subsistema e seus componentes. A partir do croqui foi possível construir então o subsistema em CAD já contando com alguns componentes comerciais, entre eles: a correia, polias, motor e mancais, como pode ser visto na Figura 44.

Figura 43 – Representação da cinemática do segundo subsistema GDL de elevação



Fonte: Próprio autor

Para a seleção do sistema de transmissão por polias e correia, utilizou-se como base o catálogo Optibelt (2016), o qual apresenta, diferentes perfis, espessuras e aplicações. Para selecionar o tipo de correia e polias mais apropriadas para o rastreador de satélites, seguiu-se os passos de dimensionamento trazidos pelo catálogo:

O primeiro passo, foi calcular fator de carga total c_2 , por meio dos parâmetros já conhecidos, torque útil e rotação do motor. Utilizando-se da Equação 3, sendo c_0 o fator básico de carga, baseado no tipo de carga e no tempo de operação podendo variar de 1,3 a 2,3, c_3 o fator de correção de velocidade e o c_6 o fator de correção de fadiga, desta forma chegou-se em c_2 ..

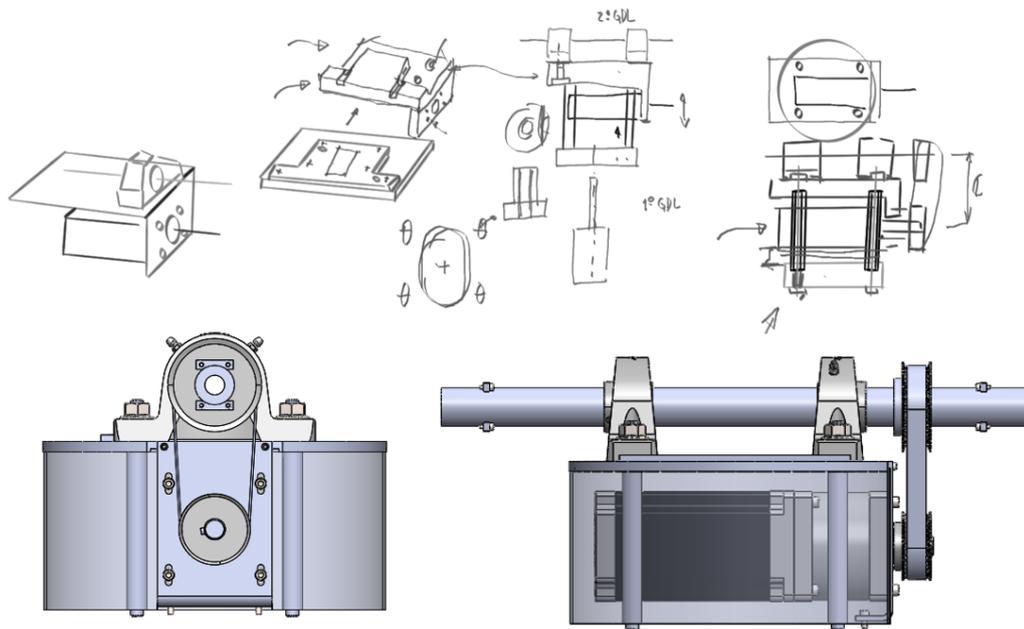
$$c_2 = c_0 + c_3 + c_6 = 1,3 + 0,0 + 0,2 = 1,5 \quad (3)$$

Utilizando-se do fator de carga total, calculou-se a potência de projeto que está expressa pela Equação 4. Sendo P também calculada com o Torque útil e a rotação do motor, chegando-se no valor de $P_B = 0.065kW$.

$$P_B = P * c_2 \quad (4)$$

Com a rotação do motor e a potência de projeto calculada, por meio de algumas iterações foi possível através do diagrama 3 da página 38 do catálogo (OPTIBELT, 2016), chegar no perfil recomendado de correia para a aplicação desejada. Chegando-se no perfil "5M"(nas primeiras iterações o perfil foi "3M", porém este não atendeu). Além do perfil da correia, também é

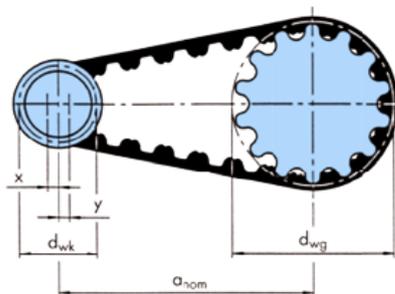
Figura 44 – Modelo do segundo subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD



Fonte: Próprio autor

necessário definir seu comprimento, para isto requer conhecer a relação de transmissão do projeto. Como neste caso o motor já fornece torque para levantar uma antena próxima de 10kg, atendendo ao requisito, não se deseja ampliar significativamente seu torque, sendo assim a relação de transmissão será próxima a $i = 1,00$, neste caso $i = 1,25$. Definida a relação de transmissão e por meio de consultas à tabela da página 75 do catálogo Optibelt (2016), chegou-se no diâmetro e no número de dentes para as polias. A Figura 45, ilustra os parâmetros geométricos do sistema de transmissão, a serem calculados.

Figura 45 – Parâmetros geométricos do sistema de transmissão por polias e correia



Fonte: Optibelt (2016)

A partir dos diâmetros das polias e das Equações 5 e 6, chegou-se na distância entre centros recomendada, inicialmente igual a $a = 109,78mm$.

$$a > 0.5 * (d_{w1} + d_{w2}) + 15mm \quad (5)$$

$$a > 2 * (d_{w1} + d_{w2}) \quad (6)$$

Dispondo da distância recomendada, por meio da Equação 7 chegou-se no comprimento da correia.

$$L_{wth} = 2a + \frac{\pi}{2} * (d_{w1} + d_{w2}) + \frac{(d_{w1} + d_{w2})^2}{4a} \quad (7)$$

Utilizando-se do resultado da Equação 7 e dos comprimentos tabelados pelo catálogo, o comprimento de correia escolhido foi de $L_{wSt} = 400mm$.

Com o comprimento de correia padronizado, e pelas Equações 8 e 9 recalculou-se a distância entre centros, chegando-se agora em $a_{nom} = 109,82$, muito próxima da inicialmente calculada.

$$a_{nom} = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{wg} - d_{wk})^2}{8}} \quad (8)$$

$$K = \frac{L_{wSt}}{4} - \frac{\pi}{8} * (d_{wg} - d_{wk}) \quad (9)$$

Seguindo as recomendações de catálogo, calculou-se ainda o ajuste mínimo de tensão $x > 0,44mm$, número de dentes em contato $Z_e = 15,30$ e buscou-se em tabelas os parâmetros:

- Ajuste mínimo de envolvimento da correia na polia $y = 14mm$
- Fator de comprimento da correia $c_7 = 0,8$
- Fator de dentes em contato $c_1 = 1,0$

Com esses dados torna-se possível validar o requisito essencial para a escolha da correia, que é a potência de transmissão da correia maior ou igual a potência de projeto, para esta validação utilizou-se das Equações 10 e 11, resultando em $P_U = 0,066kW$

$$P_U \geq P_B \quad (10)$$

$$P_U = P * c_1 * c_7 \quad (11)$$

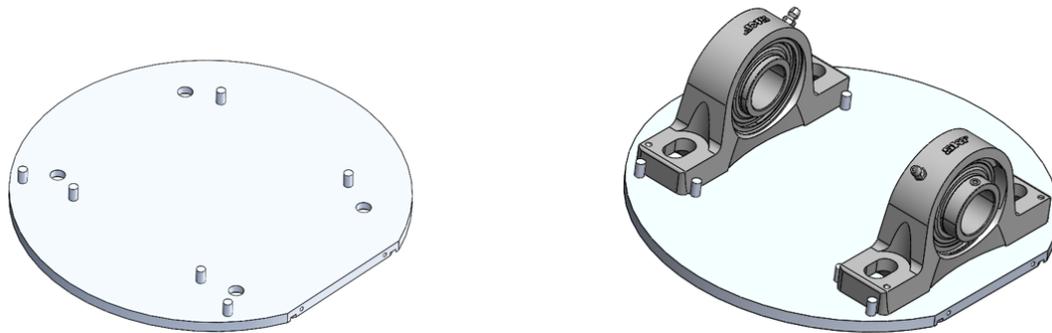
Como $P_B = 0,065kW$ e $P_U = 0,066kW$ por conta de P_N amplificada por 1,87 devido fator de correção por aumento de espessura, têm-se assim o requisito atendido. Desta forma, para

a relação de transmissão a ser utilizada, têm-se a seguinte definição, segundo o catálogo Optibelt (2016):

- Correia: 400 5MHP 15mm
- Polias: 32 5MHP 15mm e 40 5MHP 15mm

O maior desafio deste subsistema, foi sair de uma base circular de sólidos de revolução torneáveis do primeiro subsistema, para uma base retangular em que se exige o alinhamento dos mancais. Para esta solução, já como melhoria das ideias iniciais, pensou-se em uma peça usinada com um rebaixo feito em fersa para o encaixe da parede de acrílico e pinos guia (DIN 6325) fixados em posições pré-definidas para possibilitar o alinhamento entre os mancais, conforme mostra a Figura 46.

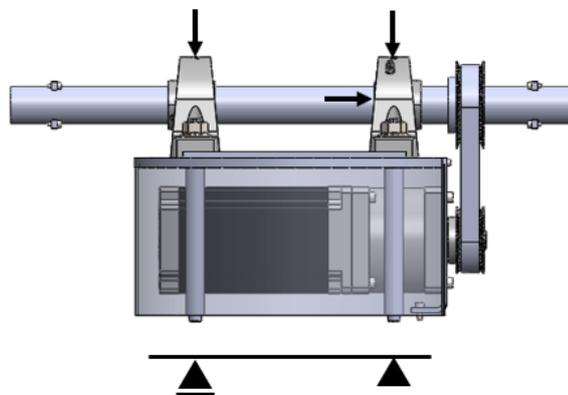
Figura 46 – Berço dos mancais - peça com posicionamento usinado para alocação dos mancais



Fonte: Próprio autor

Uma vez alinhado os mancais o eixo foi posicionado entre eles com carregamento isostático, conforme indica a Figura 47.

Figura 47 – Esquemático das forças isostática atuando nos mancais

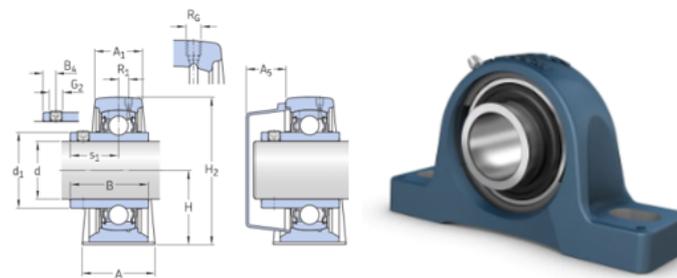


Fonte: Próprio autor

Para as caixas de mancais, pensou-se no tipo de caixa bipartida, para facilitar a montagem e a manutenção do subsistema, entretanto não encontrou-se solução comercial para as dimensões

procuradas, somente para eixos maiores e cargas mais elevadas. Nesta fase do projeto, escolheu-se então um outro modelo mais simples e compacto, presente na série SY da SKF, modelo SY 30 TF, conforme ilustra a Figura 48. A vantagem desta solução é seu anel interno prolongado em ambos os lados que permite a fixação no eixo por aperto de um parafuso de fixação no anel interno, garantindo facilidade na montagem, e sem requerer escalonamento no eixo. Outro ponto importante é a vedação do rolamento, principalmente por estar exposto em ambiente externo, o rolamento em sua caixa de mancal já vem lubrificado e vedado, mais informações referentes à caixa de mancal e seus componentes encontram-se presentes no Anexo D.

Figura 48 – Caixa de mancal e parâmetros da série SY modelo 30 TF



Fonte: SKF (2020)

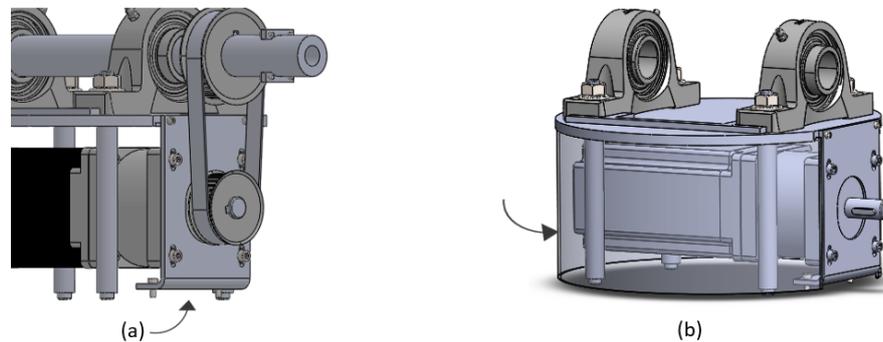
Como melhoria de projeto para a solução de caixas de mancais, pode-se projetar uma caixa de mancal bipartida que atenda as dimensões desejadas juntamente com os rolamentos e vedações comerciais. Esta nova solução, pode trazer otimização em relação à massa, uma vez que a caixa de mancal pode ser manufaturada em alumínio ou outro material mais leve, o que é possível devido à baixa magnitude dos carregamentos em relação ao que pode ser suportado pelos mancais comerciais.

Outros desafios encontrados para este subsistema, foram a fixação do motor e seu isolamento em relação ao ambiente externo. Para a fixação do motor pensou-se em uma chapa dobrada que permita o ajuste vertical do motor de modo a garantir o esticamento necessário da correia, Figura 51 (a). Para o isolamento do motor ao ambiente externo pensou-se em uma parede de acrílico que envolve o motor fixo à chapa, conforme ilustra a Figura 51 (b).

Para sustentar o berço dos mancais e garantir o espaço necessário para o motor, pensou-se em uma solução simples contando com barras roscadas dentro de tubos de alumínio, que fazem o papel de colunas de sustentação ao unir o primeiro com o segundo subsistema, Figura 50 (a). O conjunto de barras roscadas mais porcas, servem também para fixar os mancais à sua base (berço), tal como ilustra a Figura 50 (b).

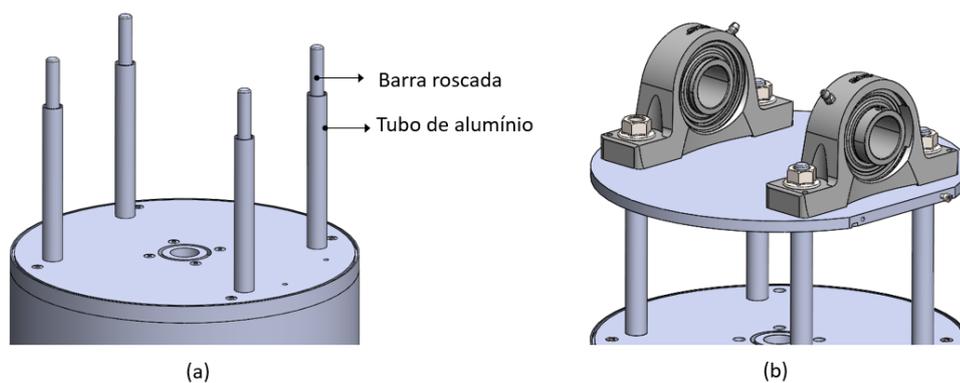
As principais dificuldades encontradas para o segundo subsistema estão relacionadas ao fresamento tanto do berço dos mancais, quanto da chapa dobrada para a fixação do motor, saindo de um subsistema de peças de revolução para um subsistema de peças retangulares. Uma otimização possível, já citada anteriormente está atrelada aos mancais, esta otimização

Figura 49 – Soluções para o segundo subsistema (a) Fixação do motor na chapa dobrada (b) Parede de acrílico para proteção do motor



Fonte: Próprio autor

Figura 50 – Soluções para o segundo subsistema (a) Barra roscada e tubo de alumínio como elemento conector entre primeiro e segundo subsistema (b) Barra roscada e porca para a fixação do mancal ao berço



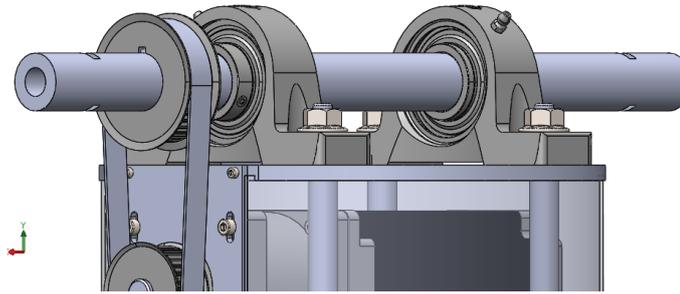
Fonte: Próprio autor

contribuirá para a redução de massa no produto final, uma vez desconsiderando a massa do motor, o segundo subsistema apresenta massa aproximadamente menor que 5kg.

O eixo que passa entre os mancais, e sustenta a antena do próximo subsistema tem seção tubular para ter resistência mecânica e alívio de massa, seu diâmetro interno e externo permite a realização de rasgos de chavetas para os acoplamentos com o próximo subsistema, como mostra a Figura 51.

Seguindo os requisitos da Etapa 1, houve preocupação com a proteção ao ambiente externo, montagem intuitiva, até mais simples que a do primeiro subsistema, e ocorre na mesma sequência, de baixo para cima, a fixação das polias nos eixos, se dão por meio de chavetas, o motor tem flexibilidade de posicionamento de modo a possibilitar o esticamento da correia, o eixo é fácil de ser colocado ou retirado, a depender de apertos e desapertos de parafusos na caixa do mancal, a lubrificação e a vedação dos rolamentos é garantida pelas caixas de mancais escolhidas, e o motor encontra-se protegido pela parede de acrílico que pode ser fixada por meio de encaixes na base do segundo subsistema e no berço dos mancais.

Figura 51 – Eixo de fixação do suporte da antena com adaptações para acoplamento

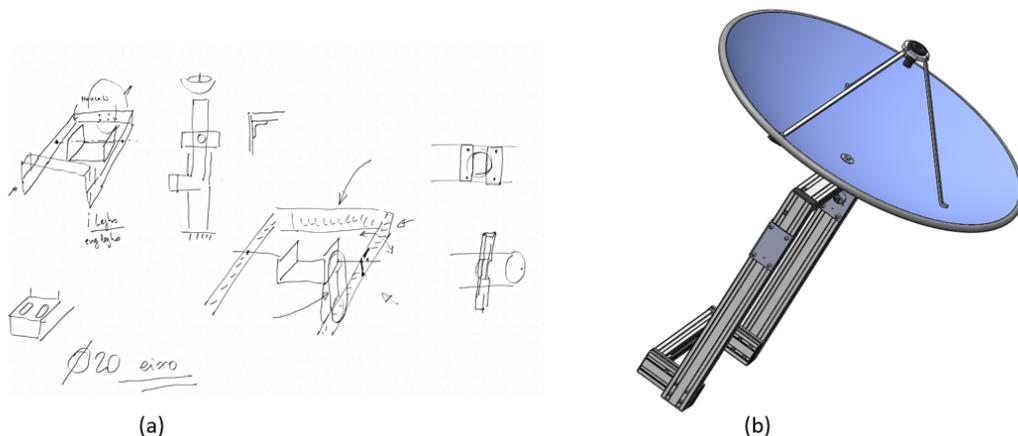


Fonte: Próprio autor

4.3.3 Terceiro subsistema: Suporte de antena(as)

Por fim, o ultimo subsistema refere-se ao suporte de fixação da antena, que vai preso ao subsistema anterior. A entrada neste caso é a saída do segundo subsistema, giro do eixo preso à polia movida, que por sua vez está preso ao suporte da antena, e como saída esperada, a antena deve se movimentar de acordo com o movimento do eixo, uma vez que a mesma encontra-se indiretamente fixa nele. Afim de guiar o andamento da concepção, assim como nos demais subsistemas, esboçou-se as ideias em croqui como mostra a Figura 52 (a), e ao lado na Figura 52 (b) têm-se o desenho em CAD.

Figura 52 – Modelo do terceiro subsistema (a) Croqui (b) Desenho em CAD



Fonte: Próprio autor

Para a construção do suporte da antena, escolheu-se perfis modulares tal como o da Figura 53, que embora não seja a solução de menor custo, permite ser utilizados em diversas aplicações além de serem fáceis de montar e fixar componentes em sua estrutura, estes perfis são muito utilizados em soluções mecatrônicas, e o fato de apresentarem estrutura oca que permite facilmente a passagem de fios, mas que não ficam expostas devido à grande quantidade de acabamentos e tampas plásticas que estão disponíveis para aplicação referente à cablagem.

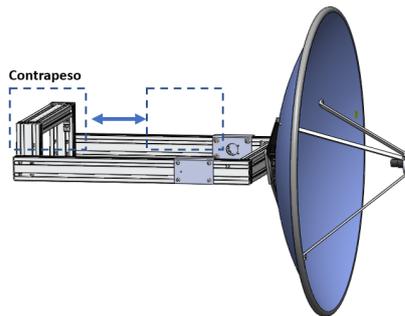
Figura 53 – Perfil de alumínio estrutural



Fonte: Legho (2020)

Da mesma forma, na concepção deste subsistema, o lado oposto à fixação da antena deve ser utilizado como contrapeso, com massas e fiação passando por dentro da estrutura dos perfilados, até mesmo a estrutura de controladores poderia ser útil para este fim. E para equilibrar o centro de massa, a estrutura oposta pode ser reposicionada ao longo do comprimento do suporte da antena, como mostra a Figura 54.

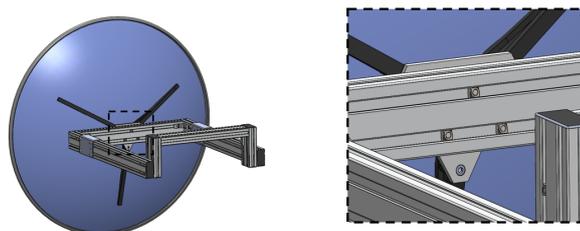
Figura 54 – Proposta inicial para solução de contrapeso



Fonte: Próprio autor

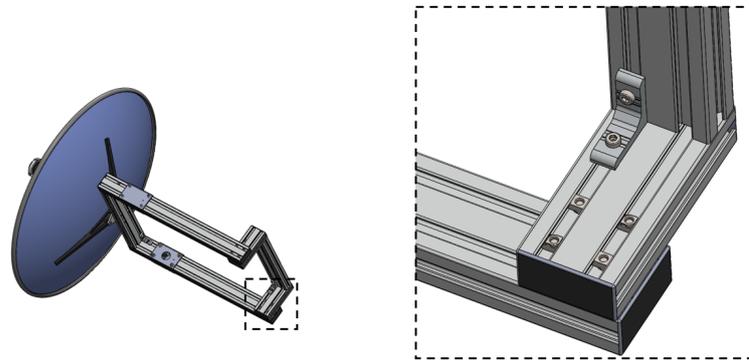
Para a fixação da antena ao perfil, utilizou-se uma chapa onde fixou-se nela a antena e depois fixou-se ao perfil por meio de porcas martelo presas nos sulcos do perfil, conforme mostra a Figura 55. E para a fixação entre perfis de modo a obter a geometria do suporte da antena, utilizou-se cantoneiras que permitem a junção em 90° (ou outras angulações) com precisão e novamente porcas martelos, próprias para este tipo de perfil, Figura 56.

Figura 55 – Fixação da antena ao perfil de alumínio por meio de chapa e porcas martelo



Fonte: Próprio autor

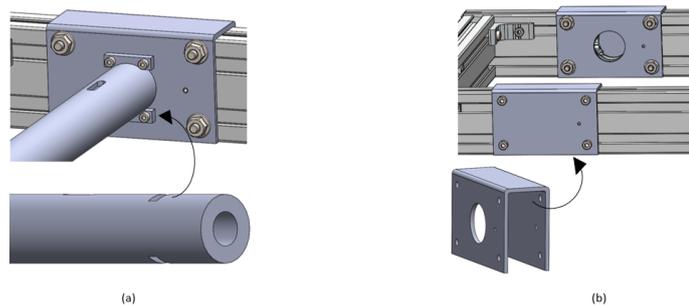
Figura 56 – Componentes de montagem em perfis Legho: cantoneiras, fechamentos, parafusos e porcas martelo



Fonte: Próprio autor

O maior desafio encontrado na concepção deste subsistema, foi a fixação dos perfis do suporte da antena ao eixo que está acoplado ao sistema de transmissão, polia movida do grau de liberdade de elevação, de modo a garantir o giro da antena sem deslizamento. Neste caso a antena deve estar segura e fixa ao suporte que por sua vez deve estar seguro e fixo ao eixo. A solução de fixação pensada para este fim, foi fazer dois rasgos de chaveta, para fixar com chavetas parafusadas o eixo em cada perfil de cada lado do suporte, Figura 57 (a), que por sua vez, foi reforçado com uma chapa, conforme ilustra a Figura 57 (b), esta chapa apresenta um furo guia para pinagem com intuito de garantir o alinhamento dos furos, tanto dos parafusos, quanto da entrada do eixo no perfil.

Figura 57 – Fixação do eixo ao suporte da antena (a) Rasgo e chaveta parafusada (b) Peça de reforço para o perfilado

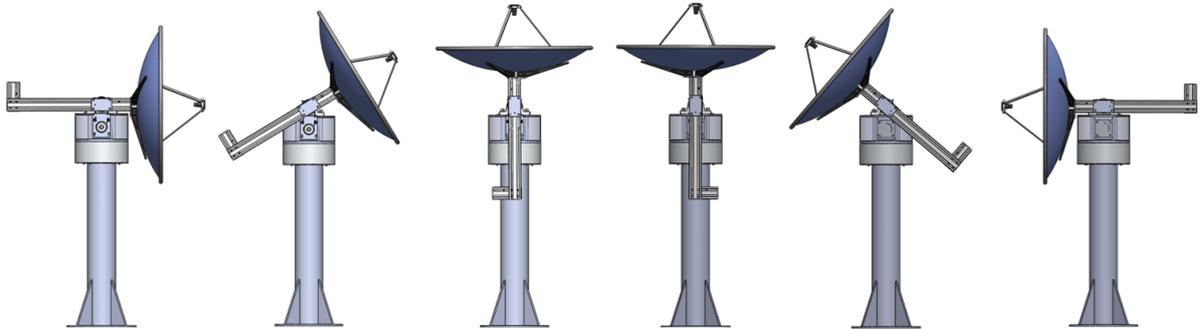


Fonte: Próprio autor

4.4 Etapa final: Concepção do projeto

Após construída a lista de requisitos, dividido o produto em três subsistemas principais, definida as entradas e saídas de cada um deles e encontradas as soluções para os desafios presentes na concepção do produto, a última etapa refere-se se à junção de todas estas soluções em um produto final, Figura 58. Este produto, até aqui têm-se mostrado uma solução possível de ser manufaturada, montada, com um sistema de transmissão simples que exige pouca manutenção, a solução apresenta condições para operar em ambiente externos, e componentes comerciais fáceis de serem substituídos. Entretanto, trata-se de uma concepção que norteia os próximos passos, o projeto preliminar e o projeto detalhado, que irão trazer otimizações a serem trabalhadas em cima do conceito proposto.

Figura 58 – Conceito de um Rastreador de satélites com dois graus de liberdade



Fonte: Próprio autor

5 CONCLUSÃO

Visto o crescente desenvolvimento de missões espaciais com viés educativo, focadas desde a construção de "Cubsats" até seu lançamento em órbitas baixas da Terra (LEO) e conhecendo-se as vantagens dos satélites e suas inúmeras aplicações, pretendeu-se por meio deste trabalho abraçar esta temática e encontrar soluções para o segmento solo: Rastreador de satélites, que tem como principal objetivo, garantir a comunicação e o controle dos satélites quando em órbita no espaço.

Embora segmento solo e segmento espacial sejam igualmente relevantes para o sucesso de uma missão, na literatura muito mais se encontram materiais a respeito de "CubSats" (segmento espacial), que a respeito do segmento solo, principalmente na literatura nacional, em que poucos são os trabalhos relacionados ao rastreamento de satélites, pois a solução adotada para este segmento tem sido a importação de kits de estações terrestres prontas, como ocorre por exemplo com o "FloripaSat". Sendo assim, este trabalho contribui para minimizar esta lacuna, trazendo um olhar ao desenvolvimento nacional também do segmento solo por meio de um projeto conceitual que pretendeu ser uma solução alternativa à importação.

Após decorridas as etapas de identificação dos problemas, elaboração das especificações, construção de requisitos, estruturação e divisão das funções em subsistemas principais, exploração e dissecação de soluções já existentes e a busca por princípios de soluções seguindo critérios técnicos e econômicos, trabalhou-se uma definição inicialmente simples de "criar um sistema com dois graus de liberdade (azimute e elevação)", até o desenvolvimento de um conceito de produto funcional. Para isto, foram feitas discussões de soluções alternativas de projeto, padronização, uso de elementos comerciais, fabricação, montagem, características de manutenção, ideias para a cablagem, soluções para o balanceamento dinâmico com o uso de contrapeso, atenção a requisitos do sistema (por exemplo faixa de rotação) e de elementos individuais como a tensão na correia, pré-carga nos rolamentos, soluções para garantir que peças de alumínio em contato com peças de aços não sejam esmagadas, como por exemplo as chavetas no eixo do segundo subsistema para acoplamento com o terceiro subsistema.

Assim uma visão mais ampla do desenvolvimento de projeto pôde ser exercitada dando origem a uma concepção inicial do produto a partir do qual uma segunda etapa, referente ao dimensionamento e otimização dos componentes e materiais poderia ser feita. Esta segunda etapa consiste em um trabalho futuro, que finalizaria o projeto preliminar e viabilizaria estudos de custos, massa, planejamento de estratégias de fabricação, para enfim viabilizar a construção de um protótipo que valide o conceito proposto, levando a um layout definitivo e por fim, a solução final para o produto. E da mesma forma que o objetivo educacional é atendido para o segmento espacial, é importante que também se atenda para o segmento solo, de modo a possibilitar uma autonomia de conhecimentos para uma missão espacial completa.

REFERÊNCIAS

- ANATEL. Plano de atribuição, destinação e distribuição de faixas de frequências no Brasil. *Legislação - Resoluções*, Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>, Acesso em: 20/08/2022, 2018. Citado na página 27.
- ARAUJO, L. A. O.; MORENO, M. E. Cinemática e dinâmica de mecanismos e aplicações ao projeto de máquinas. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 39.
- CALABRIA, L. et al. Processo de desenvolvimento de veículo ecoeficiente. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 22101–22113, 2020. Citado na página 42.
- CASTRO, M. Radio agência nacional. *Satélites em órbita fazem parte da nossa realidade, diz especialista* Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/geral/audio/2021-05/satelites-em-orbita-fazem-parte-da-nossa-realidade-diz-especialista>>, Acesso em: 19/07/2022, v. 10, 2021. Citado na página 17.
- CGEE, C. de Gestão e E. E. *CubeSats*. 2018. CGEE. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/CGEE_resumoexecutivo_CubeSats_Web.pdf>. Acesso em: 27 jan 2022. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 22.
- COMTECH. Comtech mission-critical technologies. *Sistemas terrestres e rastreamento por satélite*, Disponível em: <<https://www.comtech-mct.com/products/mct/space-and-component-technology/ground-systems?hsLang=en>>, Acesso em: 22/04/2022, 2022. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 31.
- COSTA, B. H. C. d. Projeto mecânico de uma estação base de baixo custo para rastreamento de satélites. Universidade Federal de São Carlos, 2021. Citado na página 34.
- DELMONDES, R. d. C. Proposta de uma metodologia para o desenvolvimento de um subsistema de telemetria e comando para plataformas estratosféricas. 2019. Citado na página 27.
- ESTEVEVES, L. C. *Antenas: teoria básica e aplicações*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1987. Citado na página 26.
- FAGUNDES, I. F. Desenvolvimento de uma estação terrena (et) para o nano-satélite científico brasileiro-nanosatc-br. *Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul*, 2011. Citado na página 25.
- FAPESP. Revista pesquisa fapesp. *Novo satélite para o sistema de comunicação do Brasil é lançado ao espaço* Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/novo-satelite-para-o-sistema-de-comunicacao-do-brasil-e-lancado-ao-espaco>>, Acesso em: 19/07/2022, v. 255, 2017. Citado na página 17.
- FILHO, F. M. *Elementos de transmissão flexíveis*. [S.l.]: Paco e Littera, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- GARCIA, M. L.; BRONDO, J. A. E.; PEREZ, M. A. Satélites para detecção remota: aplicada à gestão territorial. *Consejería de Agricultura, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias (Ed.)*, p. 65, 2012. Citado na página 19.

- GOMES, P. *Telecomunicações*. 2019. Professor Paulo Gomes. Disponível em: <<https://pgomes.com.br/arquivos/75febcb272a8e9d760799bf484361fa9.pdf>>. Acesso em: 09/11/2021. Citado na página 20.
- GOMES, S. C. P. et al. Simsat: Sistema para o rastreamento e a recepção de imagens de satélites artificiais terrestres. *CONEM 2002*, v. 2, n. 2, p. 22101–22113, 2002. Citado na página 19.
- GUIMARÃES, M. M. et al. Criatividade na concepção do produto. 1995. Citado na página 39.
- HAMDESIGN, R. Spid, type big-ras/hr azimuth elevation rotor. *SPID*, Disponível em: <<https://www.rfhamdesign.com/products/spid-hr-antenna-rotators/bigrashr/index.php>>, Acesso em: 20/08/2022, 2022. Citado na página 32.
- HOLMARC. Antenna positioner model aps series. *Antenna Positioner*, Disponível em: <https://www.holmarc.com/antenna_positioner_i.php>, Acesso em: 16/08/2022, 2022. Citado na página 30.
- INFOMONEY. *Com bilionários, setor aeroespacial decola e atrai mercado financeiro; saiba como investir*. 2021. INFOMONEY. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/mercados/corrída-aeroespacial-atraí-atenciao-do-mercado-financeiro-saiba-como-investir/>>. Acesso em: 10/12/2021. Citado na página 17.
- INPE. Instituto nacional de pesquisas espaciais. *Centro de rastreio e controle de satélites*, Disponível em: <http://www3.inpe.br/crc/estacoes/sobre_estacoes.php>, Acesso em: 22/04/2022, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 34.
- INPE. Estação de santa maria. *Instituto Superior de Educação Oswaldo Cruz* Disponível em: <http://www.inpe.br/sul/nanosat/estacoes/estacao_santa_maria.php>, Acesso em: 19/07/2022, 2020. Citado na página 33.
- ISIS. Kit de estação terrestre. *Kit de estação terrestre completo para banda S*, Disponível em: <<https://www.isispace.nl/product/full-ground-station-kit-s-band/>>, Acesso em: 15/08/2021, 2021. Citado na página 29.
- JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. *Fundamentals of machine component design*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 39.
- KALATEC. Motor de passo. *Motor de passo Nema 34 com redutor 10:1* Disponível em: <<https://loja.kalatec.com.br/motor-de-passo/motor-de-passo-nema-130-kg-com-redutor-planetario-10-1>>, Acesso em: 10/10/2021, 2021. Citado na página 52.
- KUGA, H. K.; RAO, K. R.; CARRARA, V. Satélites artificiais—movimento orbital. *INPE-São José dos Campos*, 2011. Citado na página 28.
- LEGHO, E. *Catálogo de produtos eng. Legho systems*. 2020. Saitbr.com.br. Disponível em: <www.saitbr.com.br/downloads/catalogo.pdf>. Acesso em: 25/08/2021. Citado na página 70.
- LEY, W. e. W. *Manual de tecnologia espacial*. [S.l.]: John Wiley Filhos, 2009. Citado na página 20.
- LOPES, A. M. V. d. S. et al. Controle de uma antena parabólica para seguir a órbita do satélite seti-eseo. 2009. Citado na página 20.

- MARINEQ. Estação terrestre modular. *Google imagens*, Disponível em: <<https://seacom.ru/dokumentaciya/stati/morskaya-sputnikovaya-svyaz-pri-pomoshchi-oborudovaniya-vsatsat/>>, Acesso em: 12/05/2020, 2020. Citado na página 25.
- MMA, H. *Comunicação via satélite*. 2020. Hangarmma.com.br. Disponível em: <<https://hangarmma.com.br/glossary/glossary-categories/comunicacao-via-satelite>>. Acesso em: 11/12/2021. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- MOLIN, J. *Aula 3 – Elementos de máquinas e mecanismos*. 2020. Moodle. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4276857/mod_resource/content/1/Aula%203%20-%20Elementos%20de%20m%C3%A1quinas%20e%20mecanismos.pdf>. Acesso em: 27/08/2022. Citado na página 35.
- MUSA, A. N. et al. *Proyecto final de antenas*. 2014. Citado na página 27.
- NASA. *Tecnologia de última geração para pequenas naves espaciais*. 2021. Citado na página 29.
- NIEMANN, G. *Elementos de máquinas: Vol. 1*. [S.l.]: Editora Blucher, 1971. v. 1. Citado na página 36.
- NORTON, R. L. *Projeto de máquinas*. [S.l.]: bookman editora, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 39.
- OPTIBELT. *Technical manual rubber timing belt drivers*. 2016. Arntz Optibelt Group. Disponível em: <<https://www.optibelt.com/fileadmin/pdf/produkte/zahnriemen-gummi/Optibelt-TM-Rubber-Timing-Belt-Drives.pdf>>. Acesso em: 09/11/2021. Citado 3 vezes nas páginas 63, 64 e 66.
- PAHL, G. et al. *Projeto na engenharia*. [S.l.]: Editora Blucher, 2005. Citado 5 vezes nas páginas 9, 40, 41, 42 e 45.
- PAM, J. *Brasil fica para trás na corrida global do mercado econômico espacial com baixo investimento e falta de marco regulatório*. *Jovem Pam*, Disponível em: <<https://jovempan.com.br/noticias/tecnologia/brasil-fica-para-tras-na-corrida-global-do-mercado-economico-espacial-com-baixo-investimento-e-falta-de-marco-regulatorio.html>>, Acesso em: 11/06/2022, 2022. Citado na página 17.
- PROFEN. *PTA-700 XY Pedestal Tracking ESA*. 2022. Profen. Disponível em: <<https://profentech.com/en/products/pta-700-xy-pedestal-tracking-esa/>>. Acesso em: 25/10/2022. Citado na página 49.
- RODDY, D. *Satellite communications*. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2006. Citado na página 28.
- RODRIGUEZ, J. *Processo de referência para desenvolvimento da arquitetura de uma estação terrena para pico e nanosatélites*. *INPE. São José dos Campos, São Paulo, Brasil*, 2016. Citado 7 vezes nas páginas 23, 24, 25, 26, 29, 33 e 34.
- RUSSO, W. *Satélite brasileiro geoestacionário de defesa e comunicações*. *Ciência e Cultura*, Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, v. 65, n. 4, p. 4–5, 2013. Citado na página 17.
- SCHAEFFLER. *The Design of Rolling Bearing Mountings*. 2012. FAG. Disponível em: <https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_00200_6_de_en.pdf>. Acesso em: 21/08/2021. Citado 2 vezes nas páginas 44 e 53.

SHIGLEY, L. B. et al. *Elementos de máquinas*. [S.l.]: LTC, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 35, 36, 37 e 39.

SKF. *Rolamento de esferas*. 2020. Skf.com. Disponível em: <www.skf.com>. Acesso em: 25/07/2021. Citado 3 vezes nas páginas 54, 55 e 67.

TANENBAUM. *Redes de computadores*. [sl]. Citado na, p. 27, 2003. Citado na página 26.

TECHNOLOGY, E. *Como funciona a comunicação via satélite?* 2020. Effortech. Disponível em: <<https://effortech.com.br/blog/como-funciona-a-comunicacao-via-satelite>>. Acesso em: 10/12/2021. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.

THE CUBESAT PROGRAM. *CubeSat Design Specification*. California, 2013. 42 p. Citado na página 22.

TRELLEBORG. *Trelleborg sealing solutions*. 2007. TRELLEBORG. Disponível em: <<https://www.trelleborg.com/pt-pt/seals/products-and-solutions/o-rings/elastomeric-o-ring>>. Acesso em: 30/11/2021. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 59.

TRINDADE, D. F.; TRINDADE, L. d. S. P. As telecomunicações no brasil: do segundo império até o regime militar. *Instituto Superior de Educação Oswaldo Cruz Disponível em:* <<http://www.oswaldocruz.br/download/artigos/social14.pdf>>, Acesso em: 19/07/2022, v. 10, 2006. Citado na página 17.

TURBOSQUID. *Estação terrestre móvel*. 2020. Google imagens. Disponível em: <https://www.turbosquid.com/pt_br/3d-models/3d-airbase-uavs-ground-control-model/846596>. Acesso em: 11/12/2021. Citado na página 25.

XUITE. *Estação terrestre fixa*. 2020. Google imagens. Disponível em: <<https://blog.xuite.net/sinlok2005/hkblog/105143149>>. Acesso em: 11/12/2021. Citado na página 25.

YAESU. G-5500dc. *Rotators G-5500DC*, Disponível em: <<https://www.yaesu.com>>, Acesso em: 16/08/2022, 2022. Citado 4 vezes nas páginas 28, 31, 32 e 51.

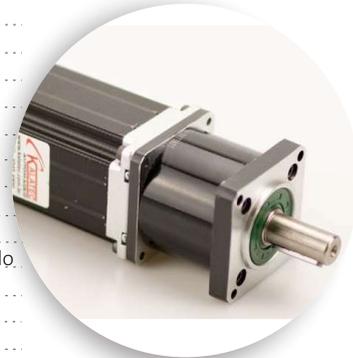
YAGI, H. Scanning the past: A history of electrical engineering from the past, ieee. *Reimpresso com permissão da publicação IEEE*, n. 6, 1993. Citado na página 27.

ANEXO A – DATASHEET MOTOR: KTC-HT34-487-R:10 - NEMA 34

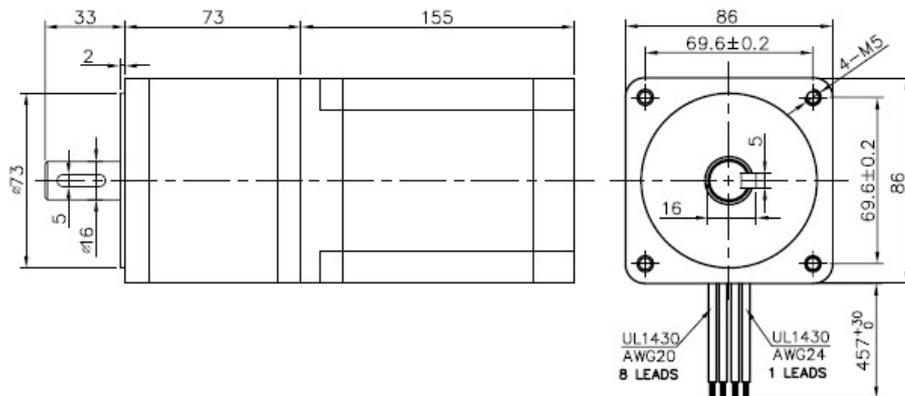
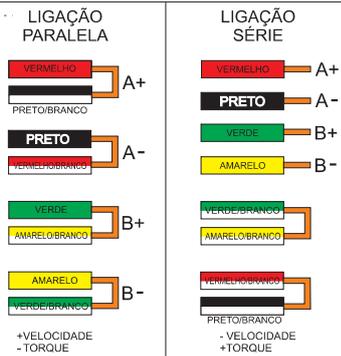
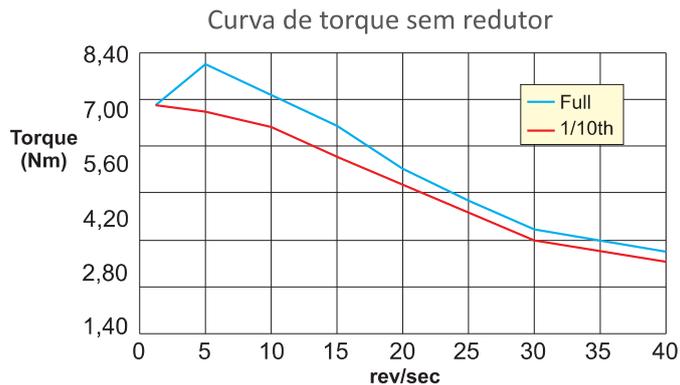


Modelo: KTC-HT34-487-R:10 - NEMA 34

Flange: 86,0mm
 Passo em Angulo: 1,8°
Holding Torque do motor: 12,7Nm (127kgf.cm)
Redução: 1:10
 Precisão: Folga máxima de 12 arc/min
 Máximo Torque do Redutor: 70Nm
 Eficiência do Redutor: 90%
 Capacidade de Saída de Torque do Redutor: 713Kg.cm (Nominal)
 Quantidade de Fios: 08
 Ligações possíveis: Unipolar, Bipolar Serie e Bipolar Paralelo.
 Corrente Bipolar Serie: 4,50A/fase
 Corrente Bipolar Paralelo: 9,00A/fase
 Corrente Unipolar: 6,3A/fase
 Inercia: 4400g.cm²
 Temperatura de Operação: -10 a + 50 °C
 Classe de isolamento: Classe B (130 °C)
 Diâmetro do eixo do redutor: 16mm com chaveta
 Peso do conjunto: 9,1Kg



Motor de Passo com Redutor



ANEXO B – DATASHEET ROLAMENTO: 51128



51128



Rolamento axial de esferas de escora simples

Os rolamentos axiais de esferas de escora simples podem suportar cargas axiais em uma direção. Eles não devem ser submetidos a nenhuma carga radial. Seus componentes separáveis facilitam a montagem/desmontagem e inspeções de manutenção. Muitos dos componentes são intercambiáveis. As arruelas de eixo possuem um furo redondo que permite um ajuste interferente.

- Modelo separável facilita montagem/desmontagem e inspeções de manutenção
- Componentes intercambiáveis
- Furo redondo das arruelas de eixo permite ajuste interferente

Overview

Dimensões

Diâmetro do furo	140 mm
Diâmetro externo	180 mm
Espessura	31 mm

Desempenho

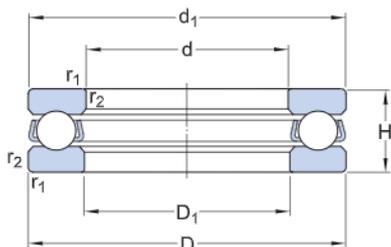
Classificação de carga dinâmica básica	111 kN
Classificação de carga estática básica	440 kN
Velocidade de referência	1 800 r/min
Velocidade-limite	2 600 r/min

Propriedades

Capacidade de carga axial	Escora simples
Classe de tolerância	Normal
Gaiola	Metal laminado
Material, rolamento	Aço para rolamentos
Número de carreiras	1
Revestimento	Sem
Tipo de arruela da caixa de mancal	Face traseira plana

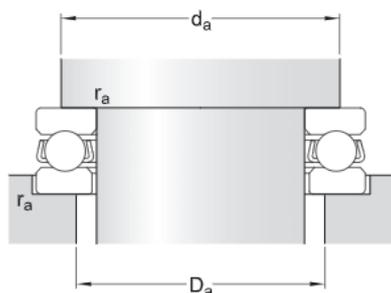


Especificações técnicas



Dimensões

d	140 mm	Diâmetro do furo
D	180 mm	Diâmetro externo
H	31 mm	Altura
d_1	≈ 178 mm	Diâmetro externo da arruela de eixo
D_1	≈ 142 mm	Diâmetro interno da arruela da caixa de mancal
$r_{1,2}$	min. 1 mm	Dimensão de chanfro da arruela



Dimensões do encosto

d_a	min. 164 mm	Diâmetro do encosto do eixo
D_a	max. 156 mm	Diâmetro do encosto do mancal
r_a	max. 1 mm	Raio de concordância

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	111 kN
Classificação de carga estática básica	C_0	440 kN
Limite de carga de fadiga	P_u	12.9 kN
Velocidade de referência		1 800 r/min
Velocidade-limite		2 600 r/min
Fator de carga mínima	A	1



Massa

Rolamento de massa (incluindo a arruela de assento quando aplicável)	2.05 kg
--	---------



Termos e condições

Ao acessar e usar este site/aplicativo de propriedade da, e publicado pela AB SKF (publ.) (556007-3495 · Gotemburgo) ("SKF"), você concorda com os seguintes termos e condições:

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. 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.

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 aprovação prévia por escrito da SKF. No entanto, eles podem ser reproduzidos, armazenados e transferidos por download para uso por pessoas, sem a aprovação prévia, por escrito, da SKF. Sob nenhuma circunstância, essas informações ou esse software podem ser fornecidos a terceiros.

Este site/aplicativo inclui determinadas imagens usadas sob licença da Shutterstock, Inc.

Marcas e patentes

Todas as marcas comerciais, nomes de fantasia e logotipos corporativos exibidos no site/aplicativo são propriedade da SKF ou de seus licenciadores, não podendo ser utilizados de qualquer forma sem a aprovação prévia por escrito da SKF. Todas as marcas comerciais licenciadas publicadas neste site/aplicativo fazem referência ao licenciador que cedeu à SKF o direito de utilizar a marca comercial. O acesso a este site/aplicativo não concede ao usuário qualquer licença sob quaisquer patentes pertencentes ou licenciadas à SKF.

Alterações

A SKF reserva-se o direito de fazer alterações ou acréscimos neste site/aplicativo a qualquer momento.

ANEXO C – DATASHEET ROLAMENTO: 7216 BECBP



7216 BECBP

Rolamento de esferas de contato angular de uma carreira

Esses rolamentos de esferas de contato angular de uma carreira podem suportar cargas radiais e axiais que atuam simultaneamente, com a carga axial atuando apenas em uma direção. Eles podem operar em velocidades altas e, dependendo da variação, até mesmo em velocidades muito altas. Eles são mais adequados do que os rolamentos rígidos de esferas para suportar grandes forças axiais que atuam em uma direção.

- Capacidade de alta velocidade
- Suporta cargas radiais relativamente altas e grandes cargas axiais unilaterais

Overview

Dimensões

Diâmetro do furo	80 mm
Diâmetro externo	140 mm
Largura	26 mm
Ângulo de contato	40 °

Desempenho

Classificação de carga dinâmica básica	85 kN
Classificação de carga estática básica	75 kN
Velocidade de referência	5 600 r/min
Velocidade-limite	5 600 r/min

Propriedades

Arranjo pareado	Não
Classe de desempenho SKF	SKF Explorer
Folga interna axial	Not applicable
Gaiola	Não metálico
Lubrificante	Nenhum
Material, rolamento	Aço para rolamentos
Número de carreiras	1
Recurso de localização, anel externo do rolamento	Nenhum
Recurso de relubrificação	Sem
Revestimento	Sem
Rolamento para pareamento universal	Sim
Tipo de anel	Anéis interno e externo de uma peça
Tipo de contato	Contato normal (contato de dois pontos)



Vedação

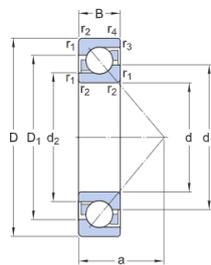
Sem



Especificações técnicas

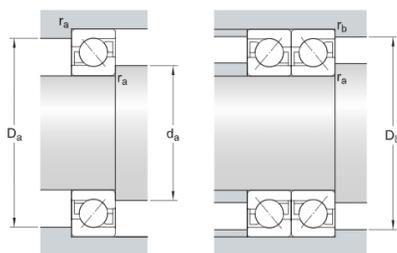
Classe de desempenho

SKF Explorer



Dimensões

d	80 mm	Diâmetro do furo
D	140 mm	Diâmetro externo
B	26 mm	Largura
d_1	≈ 103.55 mm	Diâmetro do ressalto do anel interno (face lateral grande)
d_2	≈ 91.44 mm	Diâmetro do ressalto do anel interno (face lateral pequena)
D_1	≈ 117.85 mm	Diâmetro do ressalto do anel externo (face lateral grande)
a	59 mm	Distância da face lateral até o ponto de pressão
$r_{1,2}$	min. 2 mm	Dimensão de chanfro
$r_{3,4}$	min. 1 mm	Dimensão de chanfro



Dimensões do encosto

d_a	min. 91 mm	Diâmetro do encosto do eixo
D_a	max. 130 mm	Diâmetro do encosto do mancal
D_b	max. 134 mm	Diâmetro do encosto do mancal
r_a	max. 2 mm	Raio do filete
r_b	max. 1 mm	Raio do filete

Dados de cálculo



Classificação de carga dinâmica básica	C	85 kN
Classificação de carga estática básica	C_0	75 kN
Limite de carga de fadiga	P_u	3.05 kN
Velocidade de referência		5 600 r/min
Velocidade-limite		5 600 r/min
Fator de carga axial mínima	A	0.0801
Fator de carga radial mínima	k_r	0.095
Valor limite	e	1.14

Rolamento individual ou par de rolamentos arranjados em tandem

Fator de carga radial (individual, em tandem)	X	0.35
Fator de carga axial (individual, em tandem)	Y_0	0.26
Fator de carga axial (individual, em tandem)	Y_2	0.57

Par de rolamentos arranjados em O ou em X

Fator de carga radial (arranjo em O, em X)	X	0.57
Fator de carga axial (arranjo em O, em X)	Y_0	0.52
Fator de carga axial (arranjo em O, em X)	Y_1	0.55
Fator de carga axial (arranjo em O, em X)	Y_2	0.93

Massa

Massa		1.45 kg
-------	--	---------



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 aprovação prévia por escrito da SKF. No entanto, eles podem ser reproduzidos, armazenados e transferidos por download para uso por pessoas, sem a aprovação prévia, por escrito, da SKF. Sob nenhuma circunstância, essas informações ou esse software podem ser fornecidos a terceiros.

Este site/aplicativo inclui determinadas imagens usadas sob licença da Shutterstock, Inc.

O uso do site/aplicativo não gera qualquer presunção de transferência dessa propriedade ou licença.

Marcas e patentes

Todas as marcas comerciais, nomes de fantasia e logotipos corporativos exibidos no site/aplicativo são propriedade da SKF ou de seus licenciadores, não podendo ser utilizados de qualquer forma sem a aprovação prévia por escrito da SKF. Todas as marcas comerciais licenciadas publicadas neste site/aplicativo fazem referência ao licenciador que cedeu à SKF o direito de utilizar a marca comercial. O acesso a este site/aplicativo não concede ao usuário qualquer licença sob quaisquer patentes pertencentes ou licenciadas à SKF.

Privacidade e Proteção de Dados Pessoais

A SKF possui documento próprio, denominado Política de Privacidade, que regula o tratamento dos Dados Pessoais coletados no site, sendo parte integrante e inseparável destes Termos e Condições e pode ser acessada pelo link encontrado no rodapé do site/aplicativo.

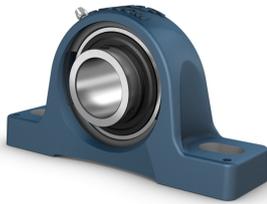
Alterações

A SKF reserva-se o direito de fazer alterações ou acréscimos neste site/aplicativo a qualquer momento, conforme sua finalidade ou

ANEXO D – DATASHEET CAIXA DE MANCAL: SY 30TF



SY 30 TF



Unidade de rolamentos de esferas de caixa de mancal (pillow block) com anel interno prolongado e parafuso de fixação, ferro fundido, normas ISO

As unidades de rolamentos de esferas da caixa de mancal (pillow) consistem em um rolamento série Y montado em uma caixa de mancal de ferro fundido que pode ser aparafusada a uma superfície de apoio. Esta variação é adequada para aplicações com direções de rotação constantes e alternadas. Ela possui um anel interno prolongado em ambos os lados e é fixada no eixo apertando um parafuso de fixação no anel interno, o que facilita a montagem.

- Forte
- Pronto para montar
- Rolamento lubrificado e vedado
- Fixação rápida no eixo
- Custo-benefício

Overview

Dimensões

Altura central (caixa de mancal)	42.9 mm
Distância central entre os furos de parafuso	117.5 mm
Diâmetro do eixo	30 mm
Largura do rolamento, total	38.1 mm
Largura geral da caixa de mancal	40 mm

Desempenho

Classificação de carga dinâmica básica	19.5 kN
Classificação de carga estática básica	11.2 kN
Maximum operating temperature	100 °C
Velocidade-limite	6 300 r/min

Propriedades

Anel de assento de borracha	Sem
Furo de relubrificação	Com
Lubrificante	Graxa
Material, caixa de mancal	Ferro fundido
Material, rolamento	Aço para rolamentos
Niple de relubrificação	Com
Número de furos de parafuso para fixação	2
Recurso de retenção do anel interno	Parafusos de fixação
Revestimento	Sem
Tipo de caixa de mancal	Caixa de mancal (pillow)

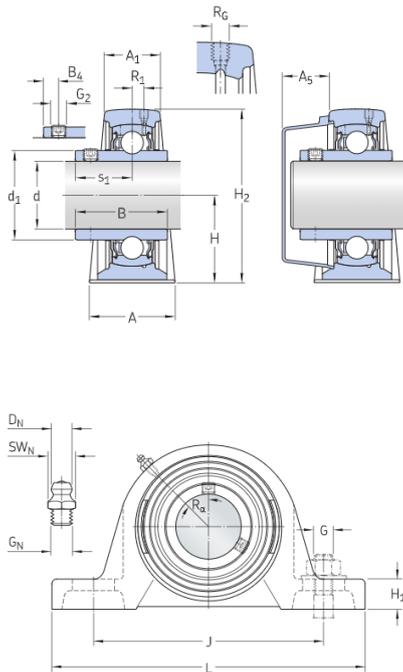


Tipo de furo	Cilíndrico
Tipo de furo de parafuso de fixação	Plano
Tipo de vedação	Contato
Vedação, rolamento	Vedação e defletor em ambos os lados
Vedação, unidade	Sem



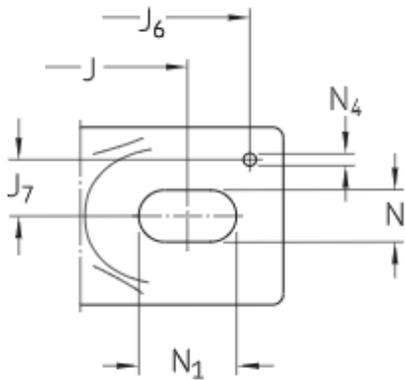
Especificações técnicas

Compliance with standard	ISO
Propósito específico	Para aplicações de manuseio de materiais
Material, housing	Ferro fundido
Sealing, bearing	Vedação e defletor em ambos os lados
Sealing type, bearing	Contato
Sealing, unit	Sem
Coating	Sem



Dimensões

d	30 mm	Diâmetro do furo
d ₁	≈ 39.7 mm	Diâmetro do ressalto do anel interno
A	40 mm	Largura da base
A ₁	25 mm	Largura superior
A ₅	22.5 mm	Folga da tampa de fechamento
B	38.1 mm	Largura do anel interno
B ₄	5 mm	Distância desde a face lateral do dispositivo de fixação integral até o centro da rosca
H	42.9 mm	Altura do centro do assento esférico
H ₁	17 mm	Altura do pé
H ₂	82 mm	Altura total
J	117.5 mm	Distância entre os parafusos de fixação
J	max. 127 mm	Distância entre os parafusos de fixação



J	min. 108 mm	Distância entre os parafusos de fixação
L	152 mm	Comprimento total
N	14 mm	Diâmetro do furo para parafuso de fixação
N ₁	23.5 mm	Comprimento do furo para parafuso de fixação
s ₁	22.2 mm	Distância desde a face lateral do dispositivo de fixação integral até o centro da pista

Furo roscado

R _C	1/4-28 UNF	Rosca do mancal para o pino graxeiro
R ₁	3 mm	Posição axial da rosca do mancal
R _α	45 °	Posição angular da rosca do mancal

Pino graxeiro

D _I	6.5 mm	Diâmetro do cabeçote esférico do pino graxeiro
S _I	7 mm	Tamanho da chave sextavada para o pino graxeiro
G _I	1/4-28 SAE-LT	Rosca do pino graxeiro

Pinos de ajuste

J ₆	140 mm	Distância dos pinos de ajuste
J ₇	14 mm	Deslocamento axial dos pinos de ajuste
N _I	4 mm	Diâmetro recomendado para pinos de ajuste

Dados de cálculo

Classificação de carga dinâmica básica	C	19.5 kN
Classificação de carga estática básica	C ₀	11.2 kN
Limite de carga de fadiga	P _u	0.475 kN



Velocidade-limite	6 300 r/min
com tolerância do eixo h6	

Massa

Massa da unidade de rolamento	1.05 kg
-------------------------------	---------

Informações de montagem

Parafuso de fixação	G ₂	M6x0.75
Tamanho da chave sextavada para pino de ajuste		3 mm
Torque de aperto recomendado para parafuso de fixação		4 Nm
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, mm	G	12 mm
Diâmetro recomendado para parafusos de fixação, em polegadas	G	0.5 in

Produtos incluídos

Caixa de mancal	SY 506 M
Rolamento	YAR 206-2F

Produtos associados

Tampa de fechamento	ECY 206
---------------------	---------