



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Engenharia Mecânica

Hebert Wandick Parreira

# **Desenvolvimento de um rastreador estelar para determinação de atitude de cubsat**

Campinas

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Engenharia Mecânica

Hebert Wandick Parreira

## **Desenvolvimento de um rastreador estrelar para determinação de atitude de cubsat**

Trabalho apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e automação.

Orientador: Rodrigo Moreira Bacurau

Co-orientador Prof. Dr. Co-orientador

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Hebert Wandick Parreira, e orientada pelo Rodrigo Moreira Bacurau

---

Campinas

2022

# Resumo

O bjetivo deste trabalho é realizar o desenvolvimento de um sistema de rastreamento estrelar, com baixo custo, baixo consumo de energia e com volume mássico e peso reduzido. Estas restrições e objetivos se devem a aplicação desejada ao sistema, que será utilizado em cubesats.

Para a realização deste objetivo, foi realizada uma ampla pesquisa na literatura científica acadêmica a respeito do assunto em questão, além disso foi utilizado um conjunto de técnicas e ferramentas de programação para garantir a qualidade do sistema final.

Os resultados do trabalho estão divididos em duas partes, com a primeira constituindo um simulador estrelar e a segunda sendo o sistema de rastreamento estrelar em si. A primeira parte foi desenvolvida para auxiliar no desenvolvimento e averiguar a acurácia do sistema de rastreamento estrelar em ambiente simulado.

**Palavras-chaves:** rastreador estrelar; cubesat; determinador de atitude.

# Abstract

Same content of "Resumo".

**Keywords:** keyword 1; keyword 2; keyword 3.

## Lista de ilustrações

## Lista de tabelas

# Sumário

|          |                                  |               |
|----------|----------------------------------|---------------|
| <b>1</b> | <b>Introdução . . . . .</b>      | <b>14</b>     |
| 1.1      | Motivação . . . . .              | 14            |
|          | <b>Conclusão . . . . .</b>       | <b>16</b>     |
|          | <br><b>Referências . . . . .</b> | <br><b>17</b> |

# 1 Introdução

Este documento apresenta o Trabalho de Graduação do aluno Hebert Wandick Parreira, que é realizado sob a orientação do Professor Dr. Rodrigo Moreira Bacurau, no curso de Engenharia de Controle e Automação do nível da graduação na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

Um dos principais sistemas de um satélite é o sistema de determinação de atitude, o qual é parte do sistema de controle de atitude de um cubesat, que é responsável pela orientação espacial do satélite. Este sistema é de extrema importância, pois os cubesats podem possuir missões nas quais a orientação angular fixa é necessária ou uma variação angular controlada seja necessária, como para tirar fotos da superfície terrestre e fornecer acesso de rede a estação fixa em solo, como por exemplo, é o caso do Starlink.

Durante este projeto, será desenvolvido sistema de rastreamento estelar para cubesat, com aplicabilidade na indústria aeroespacial. O sistema será baseado em visão computacional. Pretende-se utilizar webcams convencionais e utilizar como unidade de processamento embarcados de baixo custo que executam Linux, como por exemplo a Raspberry Pi 4.

O foco desse projeto será no desenvolvimento dos algoritmos responsáveis por fazer a captura e análise das imagens, e determinar a posição angular do cubesat. Para testar o sistema, será desenvolvido uma simulação. Ela consistirá de um monitor juntamente de um software de simulação do céu estrelado a ser visualizado pelo dispositivo.

Essa simulação, será desenvolvida em linguagem Python e permitirá a rotação em todo o espaço com 360 graus de liberdade em todos os eixos, por fim será realizada uma validação final com uma webcam.

## 1.1 Motivação

Com o desenvolvimento da eletrônica, os circuitos e sistemas presentes em satélites conseguiram se tornar menores, mais leves, mais baratos, rápidos, e com maior eficiência energética. Além disso, o desenvolvimento de uma padronização nas dimensões destes pequenos satélites possibilitou um decréscimo ainda maior de custo.

Em universidades e StartUps o estudo e desenvolvimento de cubesats vem crescendo rapidamente, mesmo que os pequenos satélites apresentem limitações físicas e energéticas, o custo benefício em sua aplicabilidade é grande.

Outra limitação está na capacidade do satélite de se localizar e orientar no espaço, ou seja, controlar a sua atitude, que devido às restrições já mencionadas, costumam ser extremamente limitados ou mesmo inexistentes (DIAZ, 2006). Com isto, as possibilidades de aplicações destes cubesats tornam-se consideravelmente limitadas.

A primeira etapa para realizarmos o controle de atitude, é identificar de forma confiável, precisa e contínua a atitude do satélite (DIAZ, 2006). No espaço existem pontos de referência que podem ser utilizados para a determinação da atitude, como o Sol, Lua e a Terra, porém estas referências não são consistentes, já que o Sol pode estar encoberto, e a análise da superfície terrestre vista do espaço varia muito, devido a nuvens e outros fenômenos meteorológicos. Além disso, a análise de imagens complexas é custosa computacionalmente, o que devido às limitações de volume e energia, tornam a aplicação extremamente complicada.

Outra opção é utilizar o campo magnético da terra, porém a interferência eletromagnética é algo relativamente comum, uma vez que os próprios circuitos elétricos do satélite podem gerar interferências.

Uma terceira opção é a utilização de uma câmera realizando a análise das estrelas, o fato do satélite estar no espaço faz com que as estrelas estejam na maioria do tempo no campo de visão do satélite (TAPPE, 2009).

Realizar o controle de atitude apenas utilizando IMU (Inertial measurement unit) é difícil, pois IMU são suscetíveis a erros de desvio de Offset, erros de Instabilidade, temperatura, são sensíveis a pancadas e vibrações (YOUNG, 2015). Desta forma utiliza-se IMUs de alto custo, que são caros, e em sua maioria, grandes.

Com a utilização de um dos três métodos de sensorialmente apresentados anteriormente, pode-se utilizar IMUs de menor custo para auxiliar o processo, e fazer fusão sensorial, pois a deriva dos giroscópios, causará erros de orientações consideráveis em poucos segundos se não houver algum outro sistema para identificação de atitude.

Devido a questões de custo e disponibilidade, utiliza-se componentes de prateleira (sensores e chips já prontos e vendidos em massa). Geralmente fazendo uso da tecnologia MEMS (micro electro mechanical systems), os quais são relativamente baratos, pequenos e possuem massa reduzida.



# Conclusão

Este trabalho de doutorado é o resultado do estudo....

...

## Perspectivas Futuras

Trabalhos futuros a serem realizados...

Lista:

- item.
- item..
- item...

texto...:

- item..
- item.

## Referências

DIAZ, K. D. *PERFORMANCE ANALYSIS OF A FIXED POINT STAR TRACKER ALGORITHM FOR USE ONBOARD A PICOSATELLITE*. Dissertação (Mestrado) — California Polytechnic State University San Luis Obispo, 2006. Citado na página 15.

TAPPE, J. A. *Development of star tracker system for accurate estimation of spacecraft attitude*. Monterey, California. Naval Postgraduate School, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10945/4335>>. Citado na página 15.

YOUNG, K. *Characterization Tests of IMUs for Small Satellite Implementation*. Tese (Doutorado) — San Jose State University, 2015. Citado na página 15.