

Universidade Federal do ABC
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas



Gabriel Alves Silva

**Análise de Discrepância da Bibliografia do
Mahdi E Proposta de Modelo CubeSats
Didático**

Supervisor: Antonio Gil Vicente de Brum

Co-supervisor:

22 de fevereiro de 2022

Santo André - SP

Gabriel Alves Silva

Análise de Discrepância da Bibliografia do Mahdi E Proposta de Modelo CubeSats Didático

Trabalho de Graduação apresentada ao
Programa de Graduação em Engenharia
Aeroespacial, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Universidade Federal do ABC

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

Programa Graduação em Engenharia Aeroespacial

Supervisor: Antonio Gil Vicente de Brum

Santo André - SP

22 de fevereiro de 2022

Gabriel Alves Silva

Análise de Discrepância da Bibliografia do Mahdi E Proposta de Modelo
CubeSats Didático/ Gabriel Alves Silva. – Santo André - SP, 22 de fevereiro de
2022-

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

Supervisor: Antonio Gil Vicente de Brum

Trabalho de Graduação (Engenharia Aeroespacial) – Universidade Federal do ABC
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas
Programa Graduação em Engenharia Aeroespacial, 22 de fevereiro de 2022.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador. II. Universidade xxx. III.
Faculdade de xxx. IV. Título

CDU 02:141:005.7

Gabriel Alves Silva

Análise de Discrepância da Bibliografia do Mahdi E Proposta de Modelo CubeSats Didático

Trabalho de Graduação apresentada ao
Programa de Graduação em Engenharia
Aeroespacial, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Trabalho aprovado. Santo André - SP, 01 de janeiro de 2014:

Antonio Gil Vicente de Brum
Orientador

Co-Orientador

Professor
Convidado 1

Professor
Convidado 2

Professor
Convidado 3

Santo André - SP
22 de fevereiro de 2022

Aos verme que roeu as frias carnes de meu cadáver.

Acknowledgements

Agradeço a Xuxa, meus pais, cachorro, gato e papagaio, por ...

Agradeço ao meu orientador, XXXXXXXXX, por todos os conselhos, pela paciência e ajuda nesse período.

Aos meus amigos ...

Aos professores ...

À XXXXXX pelo apoio financeiro para realização deste trabalho de pesquisa.

*“Não sei o que,
não sei o que,
não sei o que lá.”
(Autor Desconhecido)*

Abstract

A atitude de um veículo refere-se à orientação dos eixos de coordenadas fixos no corpo em relação a um referencial definido e o controle de atitude, por sua vez, são as técnicas para manter a orientação do corpo dentro dos limites definidos. Dentro das técnicas conhecidas, têm-se a modelagem Newton-Kepler para dinâmica orbital, a de Newton-Euler para rotação de corpos rígidos e o controle proporcional inercial derivativo para o controle de atitude. O presente trabalho de graduação tem o objetivo de atestar o aprendizado apresenta o estudo, modelagem e análise da mecânica orbital e rotacional abordando o controle de atitude de um CubeSat em órbita circular. Ao decorrer do trabalho será feita comparação com a literatura e apontamento de discrepâncias e proposta de abordagem.

Palavras-chaves: CubeSat, Controle de Satélites, Dinâmica e Controle de Veículos Espaciais, Controle PID, Dinâmica Orbital.

Abstract

This is the english abstract.

Keywords: latex. abntex. text editoration.

List of Figures

Figure 1 – Sistema de coordenadas geocêntrico-equatorial	16
--	----

List of Tables

List of abbreviations and acronyms

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
abnTeX	Normas para TeX

List of symbols

Γ	Letra grega Gama
Λ	Lambda
ζ	Letra grega minúscula zeta
\in	Pertence

Contents

	Introdução	1
	Motivação:	2
	Objetivo:	3
I	PREPARAÇÃO DA PESQUISA	5
1	REVISÃO LITERÁRIA	7
1.1	Obras de exploração temática:	7
1.2	Obras do estado da arte:	8
1.3	Obras para referencial teórico:	8
2	ESTADO DA ARTE	11
2.1	CubeSats	11
2.2	O que é o sistema de determinação e controle de Atitude (ADCS)	13
2.3	Estratégia magnética	13
2.4	Estratégia de transferência de momento angular	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	15
3.1	Sistemas de Coordenadas e medida do tempo	15
3.1.1	Sistema de coordenadas geocêntrico-equatorial inercial	15
3.1.2	Sistema de coordenadas orbital	15
3.1.3	Sistema de coordenadas fixo no corpo	17
3.2	Mecânica Orbital	17
3.2.1	Problema de dois corpos	17
3.2.2	Determinação dos elementos orbitais pelos vetores posição e velocidade	17
3.3	Dinâmica de Atitude	17
3.3.1	Matriz de cossenos diretores	17
3.3.2	Ângulos de Euler	17
3.3.3	Eixo-Angulo de Euler	17
3.3.4	Parâmetros de Euler - Quatérnions	17
3.3.5	Equações Diferenciais da Cinemática	17
3.3.6	Formulação Geral da Dinâmica de Corpo Rígido	17
3.3.7	Corpo Rígido em Órbita Circular	17
3.4	Determinação e Controle de Atitude	17
3.4.1	Algoritmo TRIAD	17
3.4.2	Filtro de Kalman	17

3.4.3	Técnica de Controle Proporcional Integral Derivativa	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1	Sistemas de Referência Orbital, Corpo e Inercial Equatorial Centrado na Terra	19
4.2	Formulação de Newton-Kepler para Órbita	19
4.3	Dinâmica Rotacional de Corpo Rígido de Newton-Euler	19
4.4	Controle Proporcional, Integral, Derivativo	20
4.5	Integração Numérica	20
4.6	Octave	20
4.7	Matlab	20
4.8	Simulink	21
II	PROPOSTA	23
5	SISTEMA PROPOSTO	25
5.1	Posição, velocidade, elementos e trajetória orbitais	25
5.1.1	Abordagem Analítica para Trajetória Orbital	25
5.1.2	Abordagem Numérica para Trajetória Orbital	25
5.2	Reprodução da bibliografia "Attitude Stabilization for CubeSats: Concepts and Technology", Mahdi	26
5.2.1	Capítulo 3: Modelagem da Dinâmica de Atitude de um Satélite	26
5.2.2	Capítulo 5:Técnicas de Simulação do Controle de Atitude	26
5.2.3	Discrepâncias	26
5.3	Formulação didática de Modelo de atitude e controle de CubeSat	27
5.3.1	Modelo da Dinâmica de Atitude de um Satélite	27
5.3.2	Simulação de controle PID de Atitude	27
5.3.3	Possíveis Formulações	27
III	PARTE FINAL	29
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1	Base de Dados	31
6.2	Considerações Finais	31
	Conclusão e Trabalhos Futuros	33
	BIBLIOGRAPHY	35

APPENDIX	37
APPENDIX A – PRIMEIRO APÊNDICE	39
APPENDIX B – SEGUNDO APÊNDICE COM TÍTULO TÃO GRANDE QUANTO SE QUEIRA PORQUE ELE JÁ FAZ A QUEBRA DE LINHA DA COISA TODA	41
ANNEX	43
ANNEX A – NOME DO PRIMEIRO ANEXO	45
ANNEX B – NOME DE OUTRO ANEXO	47

Introdução

O acúmulo do avanço técnico-científico até o final do século XIX permitiu que a humanidade superasse o caráter de espectador para protagonista na exploração do espaço. Quando adentrado o século XX essa exploração evolui, se tornando fundamental para a evolução da sociedade e soberania das nações. Foi naquele século que as técnicas foram desenvolvidas para acompanhamento e estruturação das missões, tripuladas ou não, que alcançaram e estudaram nossa vizinhança. Do cenário belicoso da Guerra Fria frutifica os programas Sputnik, Explorer, Vostok, Gemini, Apollo etc, que caracterizam, uma “era de ouro”, a corrida espacial compreendida entre 1953 a 1975.

Com o final da Guerra Fria se inaugura uma cultura de cooperação entre as diversas agências espaciais do mundo, e adiciona a participação cada vez mais presente do setor privado. E é nesse novo contexto que surge uma nova corrida espacial, com várias faces: exploração de recursos espaciais, presença de longo prazo em estações e corpos celestes e exploração de Marte. Na transição dos séculos já são fundados dois grandes nomes do setor privado espacial, a Blue Origin (2000) e a SpaceX (2002). E em menos 15 anos, em 2016, Elon Musk fundador, CEO e CTO da SpaceX estava apresentando no 67º Congresso Internacional Astronáutico “Interational Astronautical Congress (IAC)”, Guadalajara - México, o plano “Mars and Beyond” com o ano de 2023 para começar os voos tripulados para Marte em seu cronograma. Em 2017 o Presidente dos Estados Unidos, Donald Trump, assina uma nova política espacial nacional, que prevê o trabalho em conjunto da Nasa com setores privados, com o objetivo de retornar à Lua e explorar Marte, programa batizado em 2019 de Artemis.

1972 a Apollo 17 foi a última missão tripulada à Lua, após, a presença humana no espaço teve como limite a órbita terrestre baixa, protegida pelo campo magnético da Terra. O espaço externo ao escudo de proteção magnético que a Terra oferece, é danoso tanto para equipamentos eletrônicos quanto para organismos vivos. De onde emergem os desafios para a exploração de Marte, assentamento na Lua e mineração de corpos celestes, tais desafios fomentam a seguinte estratégia: estudo do ambiente espacial por missões não tripuladas de baixo custo.

Os CubeSats por suas características de: modularidade, uso de componentes de prateleira menor custo e difusão nas diversas agências espaciais, institutos de pesquisa e educação ao redor do mundo. O torna a solução imediata lógica para missões além da órbita baixa terrestre com o objetivo de estudar o ambiente espacial, testar componentes, testar técnicas e métodos e mapear asteroides, a Lua e Marte. Assim, para a demonstração de tecnologia, foram desenvolvidas os CubeSats gêmeos de comunicação MarCo A e B,

com o objetivo de demonstrar a capacidade de comunicação com a sonda terrestre Insight e a Terra. Outro exemplo é a missão Artemis I, na qual a NASA ofereceu carregar treze CubeSats 6U para missões lunares e exploração do espaço profundo.

Desde 2014, têm-se participações do Brasil no estudo e uso de CubeSats, com a demonstração da capacidade e custos da plataforma, conclui-se ser cada vez mais adequada e preferível solução para a exploração dos recursos espaciais. Em conjunto, a Agência Espacial Brasileira, os Institutos de Pesquisa e a Universidade trabalham em conjunto para dominar tal plataforma. Temos como exemplo o Nanosatc-Br, ItaSat, Serpens. E mais recentemente o Pion-BR1, primeiro satélite criado por um startup brasileira, lançado pelo foguete Falcon 9, da SpaceX.

Para auxiliar a entrada do Brasil no estudo do espaço além das órbitas baixas terrestres e acompanhar as tendências apresentadas acima, o objeto de estudo deste trabalho de conclusão de curso está inserido na grande área de Dinâmica e Controle da Engenharia Aeroespacial. Sendo ele o estudo da resposta PID de um CubeSat em uma órbita circular.

O presente estudo é dividido em seis capítulos, apresentados a seguir:

O Capítulo 1 apresenta referências utilizadas.

O capítulo 2 inicia sobre as ferramentas, técnicas e plataformas exploradoras e o grau de inovação das mesmas.

O capítulo 3 aprofunda os conceitos relacionados ao desenvolvimento do presente estudo, os fundamentos físicos para a modelagem, as estratégias para o controle do modelo e as referências para os atuadores.

O capítulo 4 desenvolve a metodologia para a aquisição dos dados que permitem a comparação, além das ferramentas utilizadas.

O capítulo 5 apresenta de forma clara, o que está sendo proposto no estudo, métricas usadas e considerações no processo.

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos na simulação e discussão do mesmo.

O capítulo 7 e final, é a conclusão do projeto.

Motivação:

No contexto de aluno de graduação, o presente trabalho de conclusão de curso da engenharia aeroespacial, busca auxiliar os pares do autor, com a apresentação do conteúdo referente de forma sintética, didática e centralizada. Para exploração do tema, tanto em iniciações científicas ou competições acadêmicas relacionadas.

Objetivo:

Este trabalho tem como objetivo a síntese e aplicabilidade direta dos conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal do ABC.

O tema do estudo é dinâmica orbital e rotacional e controle PID de CubeSats. O foco neste estudo é explorar a literatura e a partir da modelagem computacional visualizar o comportamento da trajetória e atitude e a resposta do controlador PID. Para isso usou-se as ferramentas de MATLAB e SIMULINK e por fim Octave na reprodução e análise de livros e trabalhos acadêmicos.

Objetivo Geral:

- Reproduzir de forma computacional a mecânica rotacional e orbital de um CubeSat e da resposta do controlador PID.

Objetivo Específico:

- Modelar mecânica orbital de um CubeSat.
- Apresentar visão 3D e tracejado de Solo da Órbita.
- Modelar mecânica orbital de um CubeSat.
- Apresentar gráficos do comportamento rotacional não controlado.
- Modelar sistema de Controle PID para um CubeSat.
- Afinação do controlador PID pelo método de Ziegler Nichols.
- Analisar resposta encontrada pelo controlador.

Part I

Preparação da pesquisa

1 Revisão Literária

Esse capítulo está dedicado em apresentar e comentar brevemente a literatura empregada no desenvolvimento deste trabalho. São divididas em três tipos, de acordo com sua utilidade:

1.1 Obras de exploração temática:

Mediante a amplitude dos temas abordados na engenharia aeroespacial e ainda da área de Dinâmica e Controle, as seguintes obras são de onde o estudo prospectou a problemática e o tema a ser analisado:

Do periódico IEEE-AESM de volume 35 número 3, referente ao mês de março de 2020. Foi uma edição especial com editores convidados do JPL, do Centro Espacial de Surrey da Universidade de Surrey e da Universidade do estado da Califórnia. Para apresentar o potencial dos CubeSats que a Nasa ofereceu lançar como carga paga da missão teste do Artemis I. Nesta edição destaca os planos de diversas universidades e centros de pesquisa ao redor do mundo em usar os CubeSat em diversos tipos de missão, incluindo, exploração de asteroides, mapeamento e estudo do espaço profundo. O que auxiliou no desenvolvimento da problemática aqui trabalhada.

Das apresentações dos planos Artemis revisão 2020 e Plano Mars and Beyond revisão 2022. Atualmente os dois nomes mais famosos na exploração espacial, desses documentos, retira-se as tendências e sub tendências para o mercado aeroespacial do mundo.

O Resumo Executivo CubeSats, CGEE, 2018, oferece uma apresentação clara sobre de onde vieram os CubeSats, quais foram seus propósitos na época e atualmente, definições técnicas entre outras informações necessárias para o real entendimento dessa plataforma tecnológica.

Das colunas: NASA Space Launch System's First Flight to Send Small Sci-Tech Satellites Into Space - fevereiro de 2016; JPL MarCo - revisão 2022; IEEE Spectrum Nasa's Space Launch System will lift off, but with rival rockets readying for flight, the value of SLS is murky; Canaltech: Satélite criado por startup brasileira será lançado pela SpaceX em 2022 - dezembro de 2021. Oferecem uma perspectiva temporal dos acontecimentos envolvendo os tópicos encontrados nas leituras supracitadas, uma noção de atualidade que acaba se perdendo nos periódicos.

Na apresentação: O Desenvolvimento de CubeSats no Brasil - INPE - SeCiAer 2018, Apresentada no seminário de serviços científicos e aeronáuticos de 2018, oferece de forma

visual e resumida as iniciativas dos diversos atores brasileiros na exploração espacial com o uso da plataforma CubeSats, incluindo dados como Nome, anos, missão e um resumo e resultado dessas iniciativas.

Explorando os endereços eletrônicos oficiais das empresas PION-Labs, Nanoavionics, Blue Canyon, é prospectado informações relevantes das plataformas, dispositivos e missões que essas plataformas serão utilizadas, esclarecendo assim a posição que startups e pequenas empresas ocupam nesse mercado.

1.2 Obras do estado da arte:

O entendimento do estado da arte é apresentado a seguir na seara do Estado da Arte, onde serão explorados os assuntos relacionados e estado atual de tais assuntos. Foi usado de referência:

CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers, outubro de 2017, que explica de forma mais técnica como é feito um CubeSat, tamanhos e parâmetros a se atentar. Leitura fundamental e primária para entender a plataforma tecnológica.

Dos artigos e trabalhos acadêmicos Development of models for Attitude Determination and Control System components for CubeSat applications; Sistema de Controle de Atitude Proposto para a Missão Espacial SERPENS II. Análise Comparativa de Técnicas de Controle de Atitude Aplicadas à Simulação de uma Planta Baseada nos Satélites do Tipo CubeSat. Foram as bases para a reprodução e aplicação do conhecimento adquirido pelo estudo do referencial teórico.

1.3 Obras para referencial teórico:

Os aspectos teóricos das seguintes referências, são aprofundados na Fundamentação Teórica. Ademais segue uma explicação de como cada capítulos e seções são estruturados e utilizados nessa fundamentação, trazendo algumas considerações.

O livro, Attitude Stabilization for CubeSats - Mohammed Chessab Mahdi, é a espinha do presente estudo. Como expõe de forma didática e centralizada informações especializadas para a plataforma de CubeSats se alinha com as motivações e objetivos para o trabalho. O capítulo 3 é usado na modelagem da dinâmica de atitude do satélite, o capítulo 4 refere-se ao sistema de controle, assim as seções 4.1 a 4.3 que se referem ao controle proporcional integral e derivativo fundamentam o modelo de controle aqui desenvolvido finalmente o capítulo 5 que se trata da simulação desse sistema de controle e modelo em MATLAB e SIMULINK nas seções 5.1 e 5.2 se mostram úteis para a obtenção e análise de dados.

Vale a seguinte consideração sobre a referência citada imediatamente acima: Ao longo do estudo o autor do atual trabalho mesmo aplicando cuidadosamente as técnicas e formulações apresentadas no livro, não alcançou de forma confiável os resultados apresentados. Separando assim, uma subseção na metodologia, para exploração do acontecido.

Mediante à incerteza da consideração acima, por precaução e redundância foi utilizado o livro *Space Vehicle Dynamics and Control*, Bong Wie, aferir e complementar o desenvolvimento teórico do livro anterior. O Capítulo 2 das seções 2.1 a 2.3 conferem o sistema de controle dinâmico. O capítulo 3 das seções 3.4 a 3.7 conferem o modelo dinâmico referente a órbita do suposto satélite, tal modelo é utilizado nas seções seguintes, o capítulo 5 é completamente usado para o entendimento do equacionamento da dinâmica rotacional usado a seguir no capítulo 6 do qual foi retirado das seções 6.1 a 6.11 a validação do modelo dinâmico do satélite, por fim o capítulo 7 da seção 7.1 a 7.2 vem os equacionamentos para o sistema de controle, tanto magnético quando por rodas de momento.

Acompanhando esses modelos dinâmicos, para a modelagem mais fidedigna da roda de reação e torqueadores magnéticos é usado o clássico, *Spacecraft Attitude Determination and Control* editado pelo Wetz, tópicos referenciados nos capítulos 6 seção 6.6 e 6.7 e juntamente o capítulo 7 seções 7.5 e 7.9.

Para o desenvolvimento do sistema de controle proporcional, integral e derivativo, é usado o livro *Engenharia de Controle Moderno*, do Ogata, o capítulo 8 que se referente ao projeto de controladores PID.

2 Estado da Arte

2.1 CubeSats

CubeSat são nanosatélites com normas rígidas de padronização. Desenvolvidos pela colaboração entre Puig-Suari, professor da Universidade Estadual Politécnica da Califórnia e Bob Twiggs, professor da Universidade de Stanford, com o intuito de acessibilizar o espaço. Essa plataforma apesar de apresentar uma variedade de tamanhos, todas se baseiam na unidade padrão de CubeSat, mais conhecida como 1U.

Uma unidade padrão de CubeSat, 1U, refere-se a um cubo de 10cm de arestas e a massa entre 1kg e 1.33kg. As demais configurações se devem à união ou adaptação dessa unidade. Por exemplo, um CubeSat 2U tem dimensões de massa de dois 1U conectados, 3U segue a mesma lógica só que três unidades 1U conectadas longitudinalmente. Essas configurações devem levar em consideração qual será o Sistema Dispensador de CubeSats, CubeSat Dispenser Systems.

O Sistema Distribuidor de CubeSats é a interface que conecta o CubeSat com o veículo lançador. Suas principais funções são fixação no veículo lançador, proteção do CubeSat durante o lançamento e liberação do mesmo no espaço no momento apropriado. Os mais comuns são o Dispensador 3U, e depois do sucesso da plataforma foi concebido em 2014, o Dispensador 6U, no referente tempo em que esse trabalho foi escrito tem-se Dispensadores para configurações ainda maiores.

O Biosentinel é um CubeSat 6U que estuda o comportamento de compostos orgânicos no espaço. O Equuleus outro 6U estuda o ponto lagrangeano Terra-Lua L2 e testa um sistema de propulsão por jatos de água combinado com um sistema de determinação e controle de atitude de prateleira da Blue Canyon. O Serperns II com configuração 3U, é uma plataforma de capacitação de alunos e profissionais da área.

A NanoAvionics é um exemplo de empreendedorismo privado na área de nano e micro satélites. Começando sua história com um cubesat 1U e desenvolvendo tecnologia, acúmulo de conhecimento e crescimento iterativo. Foram desenvolvidos satélites multiuso: M3P, M6P, M12P e M16P e paulatinamente demonstrando o domínio da tecnologia dos padrões CubeSat 3U, 6U, 12U e 16U. Atualmente oferece a plataforma comercial do microsatélite MP42 modular (até 115kg).

Realizou em 2015, junto com o Centro Nacional de Ciências Físicas e Tecnologia da Lituânia, um projeto de materiais catalíticos para sistemas de propulsão monopropelente miniaturizados. Em 2018 esta empresa especializada em soluções para missões de satélites, sendo elas de propósito comercial ou científica, teve AST 'I&' Science adquirindo o seu

controle acionário e recebendo em 2019 a bolsa Horizon 2020 da UE e da ESAA.

O modelo de negócio da Nanoavionics vem sendo protagonizado no Brasil pela PION, primeira empresa privada brasileira a lançar um CubeSat. Atualmente eles dominam a tecnologia 1U e comercializam modelos educacionais.

O desenvolvimento de um CubeSat depende completamente da missão na qual vai empenhar. Focando no documento base do assunto “CubeSat 101 Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers” um CubeSat pode levar da fase conceitual até ser entregue para o lançamento de nove a vinte e quatro meses. Sua missão irá definir os requisitos de órbita, lançadores, e componentes.

De todas as missões da Iniciativa de Lançamento de CubeSat (Nasa CSLI), metade conduzem missões científicas, sessenta e seis por cento conduzem demonstrações de tecnologia. Como exemplo temos: testes biológicos no espaço, estudo de objetos próximos da Terra NEO, comunicação entre CubeSats, navegação e controle, teste de radiação e ambiente espacial, entre outros. Cada missão terá parâmetros diferentes para os subsistemas do veículo espacial.

Para o desempenho adequado do Sistema de Determinação e Controle de Atitude é necessário a escolha correta de sensores, atuadores e algoritmos controladores. Existe no mercado uma ampla gama de sensores, atuadores e até ADCS completamente integrados, também existe a possibilidade da produção interna desses componentes para redução de custos.

Os torqueadores magnéticos usados no PION-BR1 e o SERPENS II, são os atuadores para o controle de atitude mais utilizados em CubeSats. Isso devido à possibilidade de produção interna, ao valor e tamanho relativamente menores. O que o torna mais favorável para missões simples e configurações menores. Esses torqueadores são pouco precisos (5 a 10 graus de precisão de apontamento) e ficam inoperantes em ambientes de campo magnético tênue ou inexistente, como por exemplo ao passar pela região dos pólos.

Para missões mais críticas, complexas, precisas e com configurações maiores. Podendo ser em volta da Terra ou até mesmo interplanetárias, os torqueadores magnéticos são substituídos por rodas de reação, essas são muito mais pesadas e aumentam consideravelmente o valor do CubeSat. São usadas por exemplo em CubeSats maiores como o 3U nanosatellite bus M3P, os 6U Equuleus e BioSentinel até mesmo o 16U nanosatellite bus M16P / M16P-R.

2.2 O que é o sistema de determinação e controle de Atitude (ADCS)

Para qualquer missão espacial, existe um estado desejado específico para a atitude do satélite. Para manter a operação do CubeSat dentro desse envelope de funcionamento, é utilizado dispositivos que medem essa diferença angular, a taxa de variação dessa diferença e acionam elementos que provocam momentos angulares corrigindo o estado para um desejado.

Existem no mercado diversos dispositivos que oferecem soluções para a determinação ou controle de atitude. Temos por exemplo o XACT-50 da Blue Canyon Technologies que é um sistema integrado que oferece solução completa de determinação de atitude, e controle por meio de rodas de reação.

Sendo essas duas supracitadas, determinação de atitude e controle de atitude duas faces diferentes do mesmo problema. Assim, além de soluções integradas, são vendidas soluções específicas, como sensores, atuadores, placas controladoras, entre outros.

2.3 Estratégia magnética

Os torqueadores magnéticos são atuadores comuns para CubeSats, são fáceis de produzir e também há uma variedade grande no mercado.

Existem dois modelos principais, aqueles instalados em placas, e aqueles instalados nas extremidades ou em volta do CubeSat. Por exemplo, os vendidos pela CubeSat Shop: CubeTorquer and CubeCoil, ISIS Magnetorquer board, EXA MT01 Compact Magnetorquer, NCTR-M002 Magnetorquer Rod.

Todos são fios de cobre enrolados em formato de bobinas, quando uma corrente elétrica passa por esses fios, um campo magnético é gerado e o que ger um momento magnético de controle.

2.4 Estratégia de transferência de momento angular

Rodas de reação são dispositivos atuadores comuns para o controle de atitude de veículos espaciais em geral, essas baseiam seu funcionamento na transferência de momento angular, costumam ser arranjadas em três unidades para controlar a rotação nos três eixos.

Por permitirem a correção de atitude com precisão, estes dispositivos têm operação mais complexa e são mais custosos. Apenas missões onde os requisitos do apontamento são mais sensíveis, costumam se utilizar esses atuadores. Por isso, como mencionado anteriormente, elas são menos comuns em CubeSats.

Contudo, com missões mais rebuscadas, envolvendo exploração interplanetária, esses dispositivos vêm se tornando mais comuns, até comercializados, a SatBus 4RW0 é um conjunto de 4 rodas de reação desenvolvidas pela NanoAvionics para seus CubeSats (M3P ao M16P) que podem ser encomendadas, permitindo o apontamento preciso para missões de alto nível, CubeSat Shop oferece a CubeWhell modelos de roda de reação avulso, e tem-se também a Blue Canyon com sistemas completamente integrados de ADTC com rodas de reação acopladas.

3 Fundamentação Teórica

Esse trabalho é desenvolvido a partir do estudo dos conceitos fundamentais de dinâmica e controle de veículos espaciais. Nas seções a seguir são apresentados os elementos teóricos para a fundamentação da modelagem física e matemática, da trajetória de um veículo espacial em uma órbita circular, da dinâmica de rotacional de um corpo rígido e do controle proporcional, integral e derivativo .

3.1 Sistemas de Coordenadas e medida do tempo

É de fundamental importância para qualquer estudo da mecânica a determinação objetiva dos sistemas de referência, sendo eles o de coordenadas e o de tempo. O parâmetro para essa escolha é a facilitação da formulação, visualização e análise.

3.1.1 Sistema de coordenadas geocêntrico-equatorial inercial

Esse sistema quando assumido que não é rotacional e fixo no espaço é compreendido como inercial. A origem de seus eixos X_{SCGI} , Y_{SCGI} , Z_{SCGI} , se encontra fixo no centro de massa da Terra, ou seja geocêntrico.

O eixo X_{SCGI} tem como sentido o equinócio vernal Υ , o eixo Z_{SCGI} aponta para a normal do plano equatorial terrestre, ou seja, para o polo Norte celeste e o eixo Y_{SCGI} completa a base ortogonal dextrogiro. Mostrado na Figura 1,

Esses eixos são determinados pela data de referência J2000 que é definido pela data Juliana referente ao dia 1º de Janeiro de 2000 as 12:00 tempo terrestre.

3.1.2 Sistema de coordenadas orbital

Esse sistema tem como origem o centro de massa do veículo espacial e seus eixos, X_{SCO} , Y_{SCO} , Z_{SCO} , acompanham sua órbita. O eixo Z_{SCO} aponta em direção ao centro de massa da Terra ou, direção nominal do nadir. O eixo Y_{SCO} tem como direção o oposto do vetor do plano de órbita do veículo espacial. E o eixo X_{SCO} aponta para o vetor velocidade ou, trajetória da órbita. Representado Figura 1,

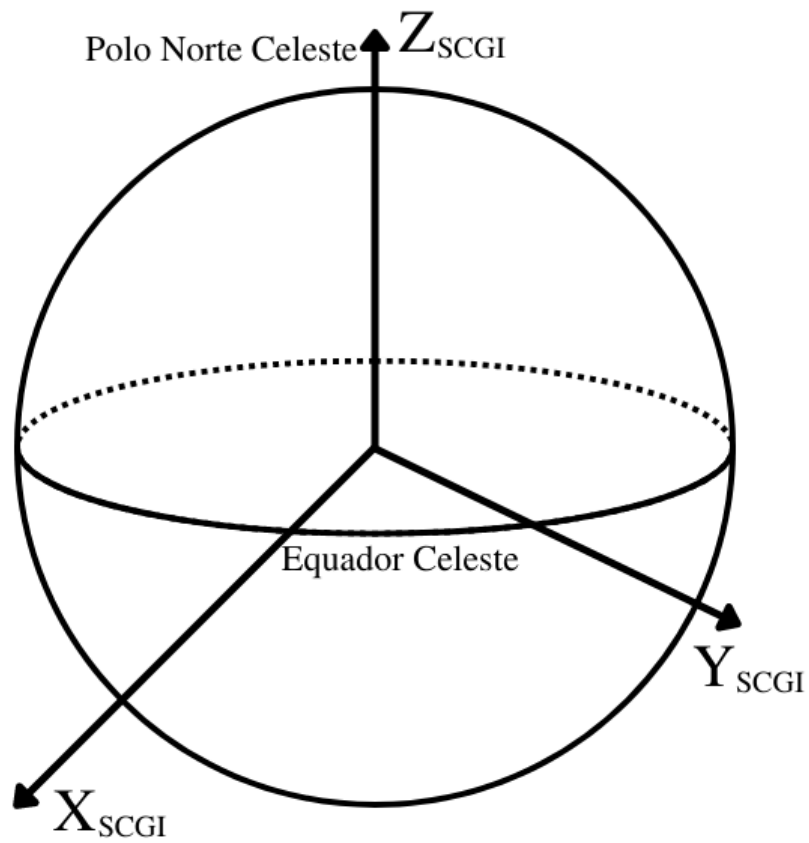


Figure 1 – Sistema de coordenadas geocêntrico-equatorial
Fonte: Adaptada de "Fundamentals of Astrodynamics", Wertz, 1972

3.1.3 Sistema de coordenadas fixo no corpo

3.2 Mecânica Orbital

3.2.1 Problema de dois corpos

3.2.2 Determinação dos elementos orbitais pelos vetores posição e velocidade

3.3 Dinâmica de Atitude

3.3.1 Matriz de cossenos diretores

3.3.2 Ângulos de Euler

3.3.3 Eixo-Angulo de Euler

3.3.4 Parâmetros de Euler - Quatérnions

3.3.5 Equações Diferenciais da Cinemática

3.3.6 Formulação Geral da Dinâmica de Corpo Rígido

3.3.7 Corpo Rígido em Órbita Circular

3.4 Determinação e Controle de Atitude

3.4.1 Algoritmo TRIAD

3.4.2 Filtro de Kalman

3.4.3 Técnica de Controle Proporcional Integral Derivativa

4 Materiais e Métodos

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.1 Sistemas de Referência Orbita, Corpo e Inercial Equatorial Centrado na Terra

O sistema de coordenadas geocêntrico-equatorial é escolhido como referencia inercial e global para o presente trabalho. Como o intervalo de estudo do fenômeno é irrelevante ao tempo de modificação desse sistema de referência tem-se como hipótese simplificadora que esse é considerado um sistema não rotativo, assumido como fixo no espaço.

4.2 Formulação de Newton-Kepler para Órbita

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.3 Dinâmica Rotacional de Corpo Rígido de Newton-Euler

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum

placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.4 Controle Proporcional, Integral, Derivativo

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.5 Integração Numérica

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.6 Octave

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.7 Matlab

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam

a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

4.8 Simulink

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Part II

Proposta

5 Sistema Proposto

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.1 Posição, velocidade, elementos e trajetória orbitais

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.1.1 Abordagem Analítica para Trajetória Orbital

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.1.2 Abordagem Numérica para Trajetória Orbital

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum

placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.2 Reprodução da bibliografia "Attitude Stabilization for CubeSats: Concepts and Technology", Mahdi

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.2.1 Capítulo 3: Modelagem da Dinâmica de Atitude de um Satélite

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.2.2 Capítulo 5: Técnicas de Simulação do Controle de Atitude

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.2.3 Discrepâncias

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam

a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.3 Formulação didática de Modelo de atitude e controle de CubeSat

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.3.1 Modelo da Dinâmica de Atitude de um Satélite

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.3.2 Simulação de controle PID de Atitude

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

5.3.3 Possíveis Formulações

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis

magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Part III

Parte Final

6 Resultados e Discussão

Integer vel enim sed turpis adipiscing bibendum. Vestibulum pede dolor, laoreet nec, posuere in, nonummy in, sem. Donec imperdiet sapien placerat erat. Donec viverra. Aliquam eros. Nunc consequat massa id leo. Sed ullamcorper, lorem in sodales dapibus, risus metus sagittis lorem, non porttitor purus odio nec odio. Sed tincidunt posuere elit. Quisque eu enim. Donec libero risus, feugiat ac, dapibus eget, posuere a, felis. Quisque vel lectus ut metus tincidunt eleifend. Duis ut pede. Duis velit erat, venenatis vitae, vulputate a, pharetra sit amet, est. Etiam fringilla faucibus augue.

6.1 Base de Dados

Praesent facilisis, augue a adipiscing venenatis, libero risus molestie odio, pulvinar consectetur felis erat ac mauris. Nam vestibulum rhoncus quam. Sed velit urna, pharetra eu, eleifend eu, viverra at, wisi. Maecenas ultrices nibh at turpis. Aenean quam. Nulla ipsum. Aliquam posuere luctus erat. Curabitur magna felis, lacinia et, tristique id, ultrices ut, mauris. Suspendisse feugiat. Cras eleifend wisi vitae tortor. Phasellus leo purus, mattis sit amet, auctor in, rutrum in, magna. In hac habitasse platea dictumst. Phasellus imperdiet metus in sem. Vestibulum ac enim non sem ultricies sagittis. Sed vel diam.

6.2 Considerações Finais

Aenean velit sem, viverra eu, tempus id, rutrum id, mi. Nullam nec nibh. Proin ullamcorper, dolor in cursus tristique, eros augue tempor nibh, at gravida diam wisi at purus. Donec mattis ullamcorper tellus. Phasellus vel nulla. Praesent interdum, eros in sodales sollicitudin, nunc nulla pulvinar justo, a euismod eros sem nec nibh. Nullam sagittis dapibus lectus. Nullam eget ipsum eu tortor lobortis sodales. Etiam purus leo, pretium nec, feugiat non, ullamcorper vel, nibh. Sed vel elit et quam accumsan facilisis. Nunc leo. Suspendisse faucibus lacus.

Conclusões e Trabalhos Futuros

Proin non sem. Donec nec erat. Proin libero. Aliquam viverra arcu. Donec vitae purus. Donec felis mi, semper id, scelerisque porta, sollicitudin sed, turpis. Nulla in urna. Integer varius wisi non elit. Etiam nec sem. Mauris consequat, risus nec congue condimentum, ligula ligula suscipit urna, vitae porta odio erat quis sapien. Proin luctus leo id erat. Etiam massa metus, accumsan pellentesque, sagittis sit amet, venenatis nec, mauris. Praesent urna eros, ornare nec, vulputate eget, cursus sed, justo. Phasellus nec lorem. Nullam ligula ligula, mollis sit amet, faucibus vel, eleifend ac, dui. Aliquam erat volutpat.

Conclusões

Fusce vehicula, tortor et gravida porttitor, metus nibh congue lorem, ut tempus purus mauris a pede. Integer tincidunt orci sit amet turpis. Aenean a metus. Aliquam vestibulum lobortis felis. Donec gravida. Sed sed urna. Mauris et orci. Integer ultrices feugiat ligula. Sed dignissim nibh a massa. Donec orci dui, tempor sed, tincidunt nonummy, viverra sit amet, turpis. Quisque lobortis. Proin venenatis tortor nec wisi. Vestibulum placerat. In hac habitasse platea dictumst. Aliquam porta mi quis risus. Donec sagittis luctus diam. Nam ipsum elit, imperdiet vitae, faucibus nec, fringilla eget, leo. Etiam quis dolor in sapien porttitor imperdiet.

Cras pretium. Nulla malesuada ipsum ut libero. Suspendisse gravida hendrerit tellus. Maecenas quis lacus. Morbi fringilla. Vestibulum odio turpis, tempor vitae, scelerisque a, dictum non, massa. Praesent erat felis, porta sit amet, condimentum sit amet, placerat et, turpis. Praesent placerat lacus a enim. Vestibulum non eros. Ut congue. Donec tristique varius tortor. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nam dictum dictum urna.

Phasellus vestibulum orci vel mauris. Fusce quam leo, adipiscing ac, pulvinar eget, molestie sit amet, erat. Sed diam. Suspendisse eros leo, tempus eget, dapibus sit amet, tempus eu, arcu. Vestibulum wisi metus, dapibus vel, luctus sit amet, condimentum quis, leo. Suspendisse molestie. Duis in ante. Ut sodales sem sit amet mauris. Suspendisse ornare pretium orci. Fusce tristique enim eget mi. Vestibulum eros elit, gravida ac, pharetra sed, lobortis in, massa. Proin at dolor. Duis accumsan accumsan pede. Nullam blandit elit in magna lacinia hendrerit. Ut nonummy luctus eros. Fusce eget tortor.

Trabalhos Futuros

Ut sit amet magna. Cras a ligula eu urna dignissim viverra. Nullam tempor leo porta ipsum. Praesent purus. Nullam consequat. Mauris dictum sagittis dui. Vestibulum sollicitudin consectetur wisi. In sit amet diam. Nullam malesuada pharetra risus. Proin lacus arcu, eleifend sed, vehicula at, congue sit amet, sem. Sed sagittis pede a nisl. Sed tincidunt odio a pede. Sed dui. Nam eu enim. Aliquam sagittis lacus eget libero. Pellentesque diam sem, sagittis molestie, tristique et, fermentum ornare, nibh. Nulla et tellus non felis imperdiet mattis. Aliquam erat volutpat.

Bibliography

Appendix

APPENDIX A – Primeiro Apêndice

Quisque facilisis auctor sapien. Pellentesque gravida hendrerit lectus. Mauris rutrum sodales sapien. Fusce hendrerit sem vel lorem. Integer pellentesque massa vel augue. Integer elit tortor, feugiat quis, sagittis et, ornare non, lacus. Vestibulum posuere pellentesque eros. Quisque venenatis ipsum dictum nulla. Aliquam quis quam non metus eleifend interdum. Nam eget sapien ac mauris malesuada adipiscing. Etiam eleifend neque sed quam. Nulla facilisi. Proin a ligula. Sed id dui eu nibh egestas tincidunt. Suspendisse arcu.

APPENDIX B – Segundo apêndice com título tão grande quanto se queira porque ele já faz a quebra de linha da coisa toda

Maecenas dui. Aliquam volutpat auctor lorem. Cras placerat est vitae lectus. Curabitur massa lectus, rutrum euismod, dignissim ut, dapibus a, odio. Ut eros erat, vulputate ut, interdum non, porta eu, erat. Cras fermentum, felis in porta congue, velit leo facilisis odio, vitae consectetur lorem quam vitae orci. Sed ultrices, pede eu placerat auctor, ante ligula rutrum tellus, vel posuere nibh lacus nec nibh. Maecenas laoreet dolor at enim. Donec molestie dolor nec metus. Vestibulum libero. Sed quis erat. Sed tristique. Duis pede leo, fermentum quis, consectetur eget, vulputate sit amet, erat.

Donec vitae velit. Suspendisse porta fermentum mauris. Ut vel nunc non mauris pharetra varius. Duis consequat libero quis urna. Maecenas at ante. Vivamus varius, wisi sed egestas tristique, odio wisi luctus nulla, lobortis dictum dolor ligula in lacus. Vivamus aliquam, urna sed interdum porttitor, metus orci interdum odio, sit amet euismod lectus felis et leo. Praesent ac wisi. Nam suscipit vestibulum sem. Praesent eu ipsum vitae pede cursus venenatis. Duis sed odio. Vestibulum eleifend. Nulla ut massa. Proin rutrum mattis sapien. Curabitur dictum gravida ante.

Phasellus placerat vulputate quam. Maecenas at tellus. Pellentesque neque diam, dignissim ac, venenatis vitae, consequat ut, lacus. Nam nibh. Vestibulum fringilla arcu mollis arcu. Sed et turpis. Donec sem tellus, volutpat et, varius eu, commodo sed, lectus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Quisque enim arcu, suscipit nec, tempus at, imperdiet vel, metus. Morbi volutpat purus at erat. Donec dignissim, sem id semper tempus, nibh massa eleifend turpis, sed pellentesque wisi purus sed libero. Nullam lobortis tortor vel risus. Pellentesque consequat nulla eu tellus. Donec velit. Aliquam fermentum, wisi ac rhoncus iaculis, tellus nunc malesuada orci, quis volutpat dui magna id mi. Nunc vel ante. Duis vitae lacus. Cras nec ipsum.

Annex

ANNEX A – Nome do Primeiro Anexo

Sed mattis, erat sit amet gravida malesuada, elit augue egestas diam, tempus scelerisque nunc nisl vitae libero. Sed consequat feugiat massa. Nunc porta, eros in eleifend varius, erat leo rutrum dui, non convallis lectus orci ut nibh. Sed lorem massa, nonummy quis, egestas id, condimentum at, nisl. Maecenas at nibh. Aliquam et augue at nunc pellentesque ullamcorper. Duis nisl nibh, laoreet suscipit, convallis ut, rutrum id, enim. Phasellus odio. Nulla nulla elit, molestie non, scelerisque at, vestibulum eu, nulla. Ut odio nisl, facilisis id, mollis et, scelerisque nec, enim. Aenean sem leo, pellentesque sit amet, scelerisque sit amet, vehicula pellentesque, sapien.

ANNEX B – Nome de Outro Anexo

Phasellus id magna. Duis malesuada interdum arcu. Integer metus. Morbi pulvinar pellentesque mi. Suspendisse sed est eu magna molestie egestas. Quisque mi lorem, pulvinar eget, egestas quis, luctus at, ante. Proin auctor vehicula purus. Fusce ac nisl aliquam ante hendrerit pellentesque. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Morbi wisi. Etiam arcu mauris, facilisis sed, eleifend non, nonummy ut, pede. Cras ut lacus tempor metus mollis placerat. Vivamus eu tortor vel metus interdum malesuada.