



## **DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ENGENHARIA CAD 3D PARA CUBESATS**

### **RELATÓRIO PARCIAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBITI/INPE - CNPq/MCTIC)**

**Alan Pitthan Couto**  
(UFSM – Bolsista PIBITI/INPE – CNPq/MCTIC)  
**E-mail:** alanpitthan981@gmail.com

**Dr. Nelson Jorge Schuch**  
Orientador  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
CRS/COCRE/INPE – MCTIC  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
INPE - MCTIC  
**E-mail:** njschuch@gmail.com

Julho - 2018

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Título:**

### **DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ENGENHARIA CAD 3D PARA CUBESATS**

**Processo:** 102254/2018-4

**Aluno Bolsista no período de Fevereiro/18 a Julho/18**

**Alan Pitthan Couto**

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/COCRE/INPE – MCTIC

**Co-Orientador:**

**Dr. Eng. Otávio S. C. Durão**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTIC

**Colaboradores:**

**Artur Gustavo Slongo**

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

**Leonardo Zavareze da Costa**

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Lorenzo Quevedo Mantovani**

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

**Rodrigo Passos Marques**

Engenheiro Mecânico - UFSM

**Roberto Hausen**

Prof. Eng. do Departamento de Expressão Gráfica – DEPG - UFSM

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Laboratório de Mecatrônica, Mecânica Fina e Antenas do CRS/COCRE/INPE – MCTIC
- Laboratório de Integração e Testes de Nanossatélites - LITN/CRS/COCRE/INPE – MCTIC

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCTIC – UFSM, pelo Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a toda de Equipe de Colaboradores, especialmente meus colegas de laboratório, os quais me ajudaram ao longo do desenvolvimento deste Projeto. Um agradecimento especial ao meu Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/COCRE/INPE - MCTIC, pelo suporte dado.

Também deixo meus sinceros agradecimentos:

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBITI/INPE – CNPq/MCTIC e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/MCTIC, bem como ao Coordenador do Programa PIBITI/INPE – CNPq/MCTIC pela aprovação do Projeto de Pesquisa, me proporcionando esta oportunidade de aprendizado;

A todos os Servidores do CRS/COCRE/INPE – MCTIC;

E por fim aos meus familiares, especialmente à minha mãe, Valeska Sandim Pitthan, que sempre me deu apoio e motivação.

## **RESUMO**

O Relatório de Projeto de Iniciação Científica - PIBITI/INPE-CNPq/MCTIC, apresenta os estudos e atividades desenvolvidas por **Alan Pitthan Couto** no período de Fevereiro até Julho de 2018, referentes ao Projeto “DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ENGENHARIA CAD 3D PARA CUBESATS”.

O principal objetivo do Projeto é conceber um modelo CAD 3D de um CubeSat 2U utilizando o *software SolidWorks*, especificamente voltado ao nanossatélite NANOSACT-BR2 do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats. O modelo está sendo desenvolvido com o intuito gerar uma representação CAD 3D e 2D do CubeSat, seus componentes e subsistemas da forma mais fiel possível. O Modelo CAD servirá como ferramenta de exportação compatível com diversos *softwares* CAE (Engenharia Assistida por Computador), com o objetivo de facilitar futuras simulações aplicadas à estrutura do CubeSat, as quais serão conduzidas por demais bolsistas e acadêmicos vinculados ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats. Ademais, o modelo também servirá como ferramenta de divulgação do Programa em diversas mostras científicas e apresentações, também servindo como forma didática de apresentação das tecnologias envolvidas no funcionamento de um nanossatélite e suas aplicações em Missões Espaciais.

Até o presente momento, foram realizadas parcialmente as seguintes etapas: Montagem e Desmontagem do Modelo de Engenharia real em bancada presente no CRS/COCRE/INPE-MCTIC; Medição dos componentes Peça a Peça; Registro de todas as medidas e componentes necessários e Design das Peças em Ambiente CAD 3D, através do *software Solidworks*. As atividades foram realizadas através do manuseio do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1, presente no Laboratório de Integração e Teste de Nanosatélites - LITN do CRS/COCRE/INPE-MCTIC.

## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 1 - MONTAGEM E DESMONTAGEM DO MODELO DE ENGENHARIA REAL PRESENTE NO CRS/COCRE/INPE - MCTIC .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 2 - MEDIÇÃO DOS COMPONENTES DO CUBESAT NANOSATC-BR1 NO LITN .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 - DIMENSIONAMENTO DO MODELO DE ENGENHARIA NO LITN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO 3 - REGISTRO DE TODAS AS MEDIDAS E COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM DO NANOSATC-BR2.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 - MODELO PADRÃO DE PCB .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O DETALHAMENTO DAS PCBs .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 4 - DESIGN DAS PEÇAS EM AMBIENTE CAD 3D ATRAVÉS DO SOFTWARE SOLIDWORKS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 - MODELAGEM DA ESTRUTURA .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 - MÓDULO DE SERVIÇO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.1 - SUBSISTEMA DE POTÊNCIA .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.2 - MAGNETORQUER IMTQ .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3.3 - COMPUTADOR DE BORDO .....</b>	<b>29</b>
<b>4.4 - MÓDULO DAS CARGAS ÚTEIS.....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1: MODELO DE ENGENHARIA DO NANOSATC-BR1 NA BANCADA DE TESTES DO LITN.....</b>	<b>10</b>
<b>FIGURA 2: BANCADA DE TESTES NO LITN APÓS PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA .....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 3: DIMENSIONAMENTO DO MODELO DE ENGENHARIA DO NANOSATC-BR1.....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 4: VISTA ISOMÉTRICA DO DESENHO DO SUBSISTEMA DE POTÊNCIA .....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 5: PCBS DE SUBSISTEMAS .....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 6: PCB PADRÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 7: LOCALIZAÇÃO DOS FUROS NAS PCBS .....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA 8: VISTA SUPERIOR DO COMPUTADOR DE BORDO DO MODELO DE ENGENHARIA .....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 9: VISTA SUPERIOR DO COMPUTADOR DE BORDO EM AMBIENTE CAD .....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 10: TRILHO ACOPLÁVEL EXTERNO 1U.....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 11: TRILHO ACOPLÁVEL EXTERNO 2U.....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 12: BARRA FRONTAL .....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 13: PINO DE CONEXÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 14: MONTAGEM ESTRUTURA 1U.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 15: MONTAGEM ESTRUTURA 2U.....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 16: COMPARATIVO ESTRUTURAS 1U E 2U .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 17: SUBSISTEMA DE POTÊNCIA.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES DO SUBSISTEMA DE POTÊNCIA .....</b>	<b>27</b>
<b>FIGURA 19: MAGNETORQUER.....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA 20: COMPONENTES DO MAGNETORQUER.....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA 21: COMPUTADOR DE BORDO .....</b>	<b>30</b>

## INTRODUÇÃO

O Relatório descreve as atividades desenvolvidas no Projeto “DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ENGENHARIA CAD 3D PARA CUBESTAS” (Processo nº 102254/2018-4) com vigência de Fevereiro de 2018 até Julho de 2018. As atividades foram feitas pelo bolsista **Alan Pitthan Couto**, acadêmico do curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, bolsista no Programa PIBITI/INPE - CNPq/MCTIC no CRS/COCRE/INPE-MCTIC.

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, foi iniciado no Brasil no ano de 2010, e tem por finalidade a aquisição por licitação internacional de nanossatélites de padrão CubeSat através da fabricante holandesa *Innovative Solutions in Space* (ISL/ISIS), para promover a condução de experimentos e coleta de dados científicos em órbita, testes de tecnologias de circuitos miniaturizados desenvolvidas por instituições nacionais em ambiente espacial, e a capacitação de Recursos Humanos a nível acadêmico. No ano de 2014, foi posto em órbita o primeiro nanossatélite - CubeSat do Programa, o NANOSATC-BR1, que cumpriu com êxito a missão nos primeiros seis meses pós lançamento, continuando em operação até hoje. Atualmente, o foco do Programa é o NANOSATC-BR2 que ainda aguarda as etapas de teste e lançamento.

O Projeto de Pesquisa desenvolvido tem por finalidade desenvolver um modelo CAD 3D do NANOSATC-BR2, com a representação fiel de sua estrutura e componentes, com o objetivo principal em ser utilizado para simulações computacionais em *softwares* CAE (Engenharia Assistida por Computador) e para promover e divulgar o Programa NANOSATC-BR em mostras científicas e apresentações.

O relatório foi dividido em cinco capítulos:

- O Capítulo 1 apresenta brevemente a estrutura atual do Laboratório de Integração e Testes de Nanossatélites – LITN, onde ocorrerá futuramente a Montagem e Desmontagem do Modelo de Engenharia real em bancada presente no CRS/COCRE/INPE-MCTIC;

- O Capítulo 2 apresenta a etapa da Medição dos componentes Peça a Peça, onde o Bolsista realizou no LITN o manuseio do modelo de engenharia do NANOSATC-BR1 presente no laboratório, descrevendo o processo de dimensionamento e observação dos componentes constituintes do mesmo.

- O Capítulo 3 aborda o registro de todas as medidas e componentes necessários do NANOSATC-BR2, descrevendo brevemente algumas cargas úteis e equipamentos pesquisados e medidos; a modelagem inicial das placas de circuitos (PCBs) do nanossatélite e algumas considerações sobre o nível de detalhamento dos componentes modelados.

- O Capítulo 4 apresenta *design* das peças modeladas em ambiente CAD 3D, através do *software Solidworks*;

- O Capítulo 5 apresenta algumas considerações sobre o Relatório Parcial desenvolvido até o momento, e as expectativas futuras para a continuidade deste Projeto.

## **CAPÍTULO 1**

### **MONTAGEM E DESMONTAGEM DO MODELO DE ENGENHARIA REAL EM BANCADA PRESENTE NO CRS/COCRE/INPE-MCTIC**

#### 1.1 – Introdução

No ano de 2017, ocorreu a transferência do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1, primeiro CubeSat do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, da sede do INPE, em São José dos Campos - SP, para o Centro Regional Sul do INPE (CRS/COCRE/INPE - MCTIC), em Santa Maria - RS. Para formalizar a aquisição do modelo e ter um local apropriado para a condução de testes aplicados ao CubeSat, os quais futuramente serão conduzidos pelos bolsistas e demais acadêmicos vinculados ao Programa NANOSATC-BR, foi criado o Laboratório de Integração e Testes em Nanossatélites (LITN) nas instalações do Centro Regional. Durante o período de realização das atividades descritas neste relatório, ocorreu a mudança do local designado do LITN dentro do CRS/COCRE/INPE. O Laboratório atual agora está remanejado junto à Estação Terrena do CRS. Na Figura (1) é possível observar a estrutura do LITN, com o modelo de engenharia pronto para testes na bancada do laboratório.



**Figura 1 - Modelo de engenharia do NANOSATC-BR1 na Bancada de Testes do LITN**

Ainda não foi possível realizar de forma efetiva o procedimento de montagem e desmontagem do modelo de engenharia do NANOSATC-BR1 devido à migração dos equipamentos do laboratório, e também pelo fato de os demais bolsistas envolvidos com a parte de AI&T (*Assembling, Integration and Testing*) do nanossatélite ainda estarem em fase de treinamento. Para o segundo semestre de 2018, a expectativa é que os bolsistas participem de Congressos, Seminários e Treinamentos para realizar os procedimentos corretamente no CRS/INPE.

Na primeira etapa do Projeto foi feito pelo bolsista o manuseio do Modelo de Engenharia, já no novo local do LITN, onde foi realizado o dimensionamento da estrutura do CubeSat e a identificação dos componentes mecânicos que a compõe, bem como a análise dos detalhes de sua geometria. Tal procedimento é descrito de forma mais aprofundada no Capítulo 2.

## **CAPÍTULO 2**

### **MEDIÇÃO DOS COMPONENTES DO CUBESAT NANOSATC-BR1 NO LITN**

#### **2.1 – Introdução**

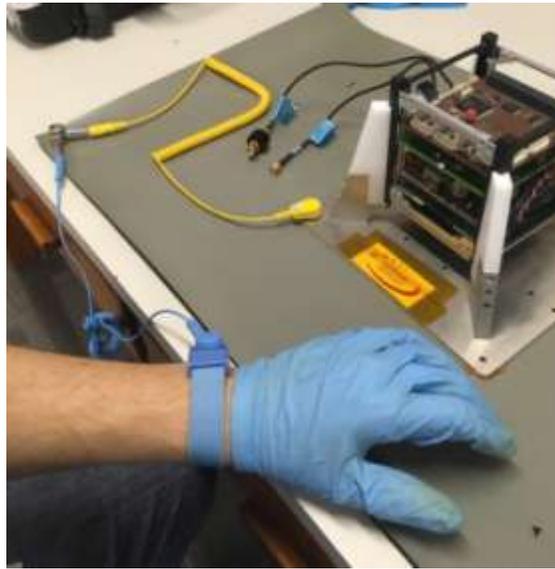
O Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1, presente no Laboratório de Integração e Testes de Nanossatélites (LITN) no INPE-CRS/COCRE/MCTIC, foi utilizado como referência inicial para o modelamento da estrutura de um CubeSat 2U, especificamente para analisar detalhes de construção e geometria. Tal aproximação só foi feita, entretanto, após a revisão bibliográfica do livro *Cubesat Design Specifications Rev.13* e dos manuais de usuário do NANOSATC-BR2 fornecido pela ISIS, onde constatou-se que as dimensões e geometria de cada unidade 1U eram mantidas na progressão de um Cubesat 1U para um 2U.

#### **2.2 – Dimensionamento do Modelo de Engenharia no LITN**

O primeiro estágio do desenvolvimento do Projeto foi a análise estrutural do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1 com a respectiva coleta de suas medidas e a observação de detalhes da estrutura. Primeiro, o Bolsista foi instruído com os procedimentos de segurança adotados para o manuseio do modelo de engenharia, na seguinte ordem:

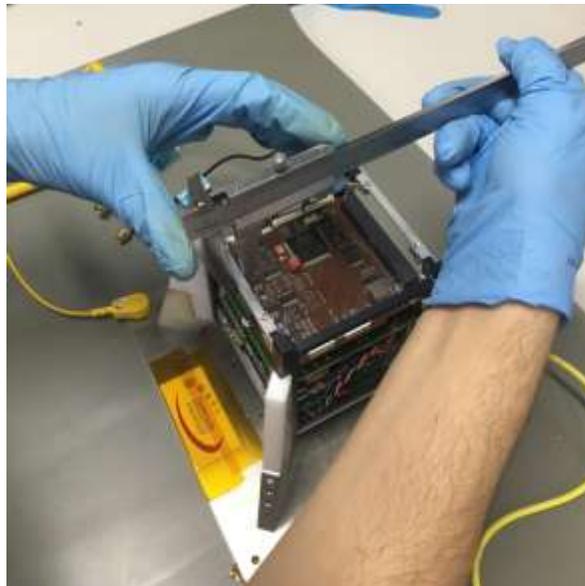
- Aterramento prévio da manta antiestática;
- Utilização de luvas nitrílicas presentes no LITN;
- Ajuste da pulseira conectada a manta;
- Encaixe cuidadoso do modelo de engenharia na Plataforma de testes;
- Aterramento do modelo de engenharia com a manta.

A Figura (2) mostra o preparo da bancada ao término dos procedimentos de segurança.



**Figura 2 - Bancada de Testes no LITN após procedimentos de segurança.**

O dimensionamento do Modelo foi realizado com o auxílio de um paquímetro – como pode ser visto na Figura (3), de forma a se obter maior precisão, e os dados adquiridos durante as medições eram prontamente registrados pelo Bolsista em alguns esboços de desenho técnico, reforçados com o registro de diversas fotografias tiradas do nanossatélite. Esses procedimentos foram seguidos visando facilitar a modelagem CAD posterior.



**Figura 3 - Dimensionamento do modelo de engenharia do NANOSATC-BR1.**

Futuramente, espera-se aplicar o procedimento para mais componentes e subsistemas do CubeSat, somando-se o estudo dos materiais que compõe o satélite. Será possível então aplicar os novos dados obtidos para a continuidade da modelagem CAD 3D do NANOSATC-BR2.

## CAPÍTULO 3

### REGISTRO DE TODAS AS MEDIDAS E COMPONENTES NECESSÁRIOS PARA A MODELAGEM DO NANOSATC-BR2

#### 3.1 - Introdução

À partir da interação do bolsista com o modelo de engenharia do NANOSATC-BR, foi possível modelar em *SolidWorks*, primeiramente, as peças que compõe a estrutura de um CubeSat 1U. Expandindo esta análise, foi possível conceber as mesmas peças na progressão para um CubeSat 2U. Alguns dos subsistemas que estarão presentes no NANOSATC-BR2 foram modelados nesta primeira etapa do Projeto. Todos os modelos concebidos até o momento são apresentados de forma mais aprofundada no Capítulo 4.

Para o próximo estágio de Projeto, será desenvolvida uma Tabela que lista todos as peças pertinentes para a integração do modelo de engenharia 3D final do NANOSATC-BR2 em ambiente de montagem CAD. Para ilustrar de forma mais efetiva as dimensões e estrutura dos componentes, será desenvolvido futuramente um conjunto de vistas 2D na forma de ilustrações técnicas, utilizando a ferramenta de desenho técnico do próprio *SolidWorks*. A Figura (4) exemplifica uma vista isométrica de desenho que pode ser gerada pelo *software*.

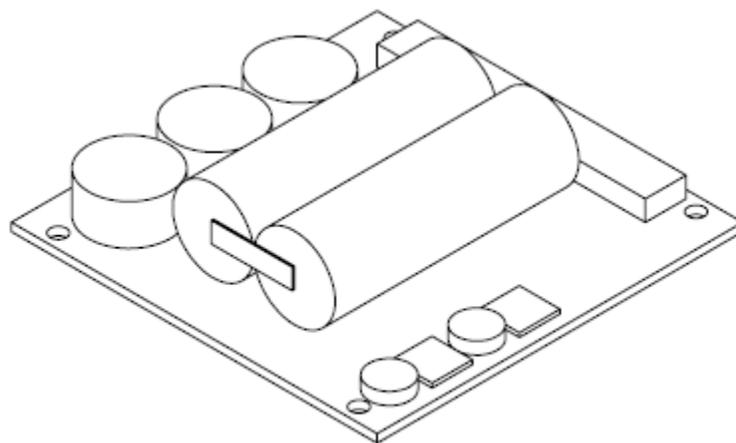


Figura 4 - Vista isométrica de desenho do subsistema de potência.

### **3.2 - Modelo Padrão de PCB**

Todos os subsistemas e cargas úteis do NANOSATC-BR2, assim como em CubeSats em geral, são integrados na forma de placas de circuito, ou PCBs, como mostrado na Figura (5). Existem diversas empresas de fabricação dos componentes de nanossatélites padrão CubeSat e apesar da compatibilidade eletrônica ser empregada nos componentes - possibilidade de integrar com sucesso placas de circuito de companhias distintas, há certas diferenças no dimensionamento e geometria das PCBs. Em virtude disso, antes da modelagem efetiva dos subsistemas ser iniciada, foi desenvolvido um modelo CAD padrão para as placas de circuito existentes no nanossatélite, de forma a facilitar o andamento do trabalho. Ademais, foi escolhido efetuar certas simplificações no detalhamento das PCBs em algumas situações, nas quais foi julgado que a representação global destes seria desnecessário, tendo em vista os objetivos do Projeto.

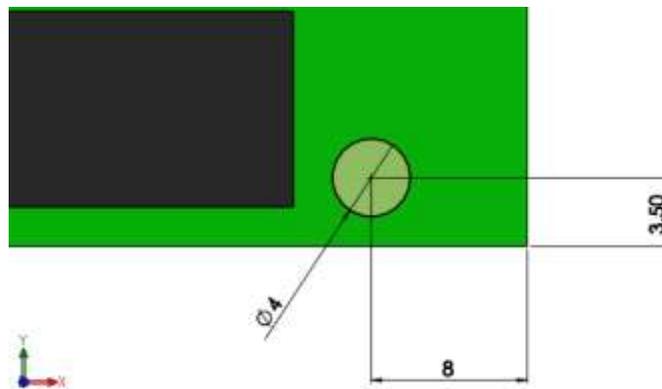


**Figura 5 - PCBs de subsistemas.**

Para a modelagem das placas de circuito do NANOSATC-BR2 primeiro foi construída um modelo padrão, mostrado abaixo na Figura (6). O componente consiste em um quadrado de 90mm x 90mm com espessura uniforme de 2mm. Foi também previamente adicionado os furos por onde passam os pinos de fixação da estrutura, com diâmetro de 4mm e localizados conforme mostra a Figura (7). Há ainda o conector de pinos, presente em todas PCBs, extrudado no modelo padrão.



**Figura 6 - PCB padrão.**



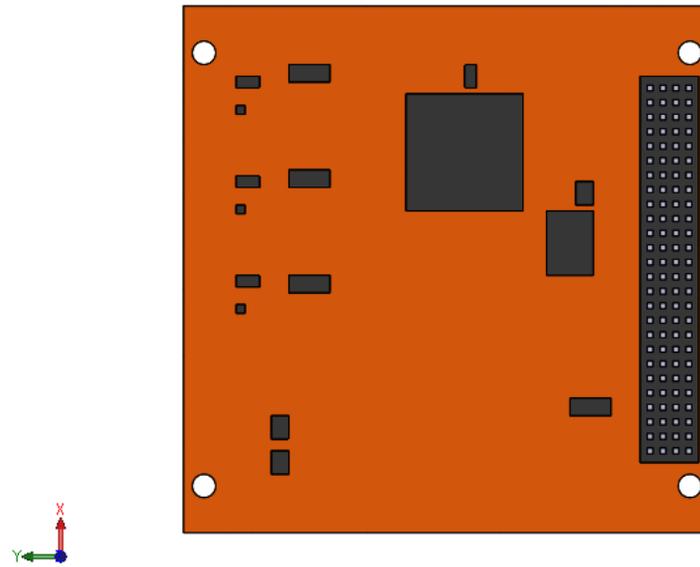
**Figura 7 - Localização dos furos nas PCBs.**

### 3.3 - Considerações sobre o detalhamento das PCBs

Como o objetivo principal destes modelos é em servir principalmente para simulações, foi decidido omitir detalhes pontuais existentes nos modelos reais das PCBs, tais como: circuito de cobre da superfície, microcomponentes e elementos de circuito de pequeno dimensionamento em geral. O detalhamento excessivo dos componentes demanda maior tempo de processamento computacional em ambientes de simulação e, especificamente para futuras utilizações deste trabalho, não iria gerar diferenças consideráveis nos resultados. Portanto, uma abordagem simplificada, neste aspecto, foi utilizada. Para ilustrar este aspecto, as Figuras (8) e (9) mostram respectivamente a PCB de computador de bordo do NANOSATC-BR1 e o modelo CAD gerado.



**Figura 8 - Vista superior do computador de bordo do modelo de engenharia.**



**Figura 9 - Vista superior computador de bordo em ambiente CAD.**

Ademais, os componentes de fixação existentes na estrutura do modelo real também não foram representados no modelo CAD, pelas mesmas justificativas apresentadas anteriormente.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESIGN DAS PEÇAS EM AMBIENTE CAD 3D ATRAVÉS DO SOFTWARE SOLIDWORKS**

#### **4.1 - Introdução**

Tendo como base o contato com o Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1 e os manuais de usuário das empresas fabricantes de algumas das PCBs, futuramente embarcadas para a missão do NANOSATC-BR2, foi realizado o modelamento dos seguintes componentes:

- Trilhos acopláveis externos (*Rails*) 1U e 2U;
- Barras Frontais (*Ribs*);
- Pinos (*Threaded rods*);
- Subsistema de Potência *NanoPower P30u*;
- Magnetorquer *iMTQ* ;
- Computador de Bordo *NanoMind A7*.

#### **4.2 - Modelagem da Estrutura**

Ao fim da primeira etapa do Projeto, foi possível construir a estrutura completa de CubeSats 1U e 2U em *Solidworks*, referente da própria estrutura 1U do modelo de engenharia, e após da estrutura de um CubeSat 2U.

De acordo com o que foi observado no modelo de engenharia, a montagem da estrutura de uma única unidade é simplificada a partir de uma integração de três componentes base:

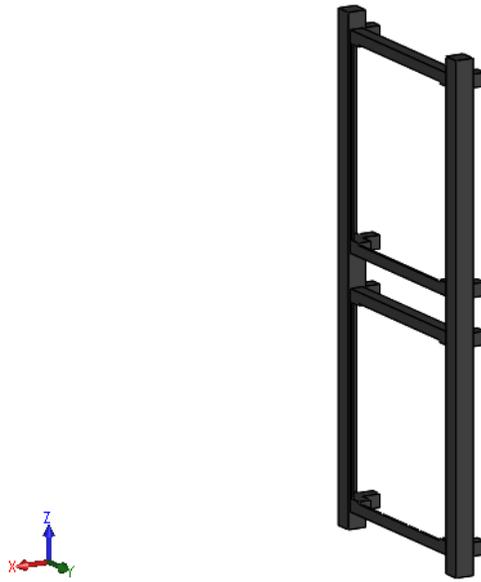
- 1) Trilhos acopláveis externos (*Rails*): correspondem às arestas verticais e horizontais das laterais do CubeSat. Esta parte da estrutura realiza o encaixe do CubeSat com o P-POD e com a Plataforma de Testes. Primeiro, seguindo o dimensionamento

afetado anteriormente, foi concebido o modelo dos *Rails* de um CubeSat 1U, mostrado na Figura (10).



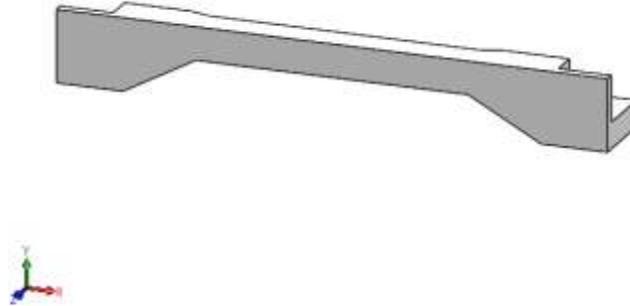
**Figura 10 - Trilho acoplável externo 1U.**

Em seguida, a estrutura 2U foi concebida simplesmente utilizando o recurso de espelhamento do *SolidWorks*, duplicando a estrutura 1U para cima. Foram consultados o livro *Cubesat Design Specifications* -que traz os padrões de dimensionamento de CubeSats tomados como base pela comunidade científica e tecnológica internacional- e as próprias documentações técnicas da ISIS a respeito do NANOSATC-BR2 para verificação do dimensionamento do modelo CAD. Tal procedimento foi repetido inúmeras vezes ao longo do andamento do projeto. O padrão de *Rails* 2U em CAD pode ser visualizada na Figura (11).

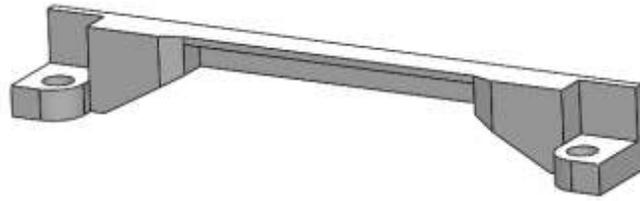


**Figura 11 - Trilho acoplável externo 2U.**

- 2) Barras Frontais (*Ribs*): realizam a ponte de conexão entre os Trilhos e das PCBs trespassadas pelos pinos com o restante da estrutura, Figura (12).

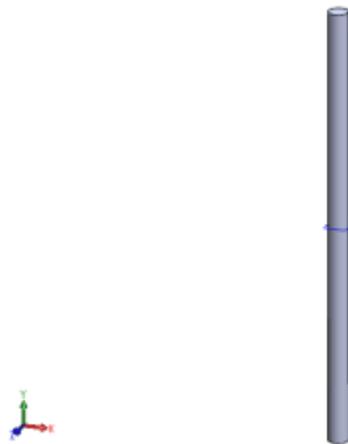


**Figura 12 (a) - Barra frontal, vista isométrica.**



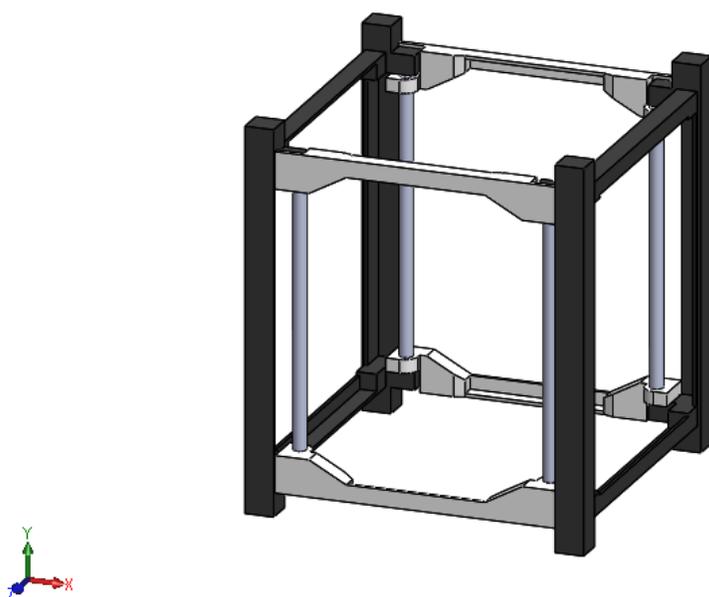
**Figura 12 (b) - Barra frontal, vista isométrica posterior.**

- 3) Pinos (*Threaded Rods*): peças de fixação das PCBs integradas em uma mesma unidade do nanossatélite, Figura (13)

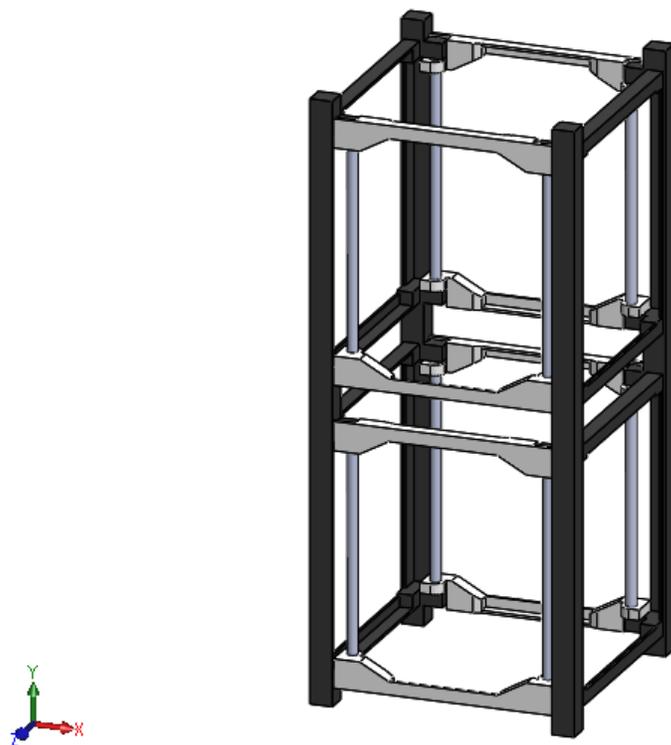


**Figura 13 - Pino de conexão.**

Finalmente, a integração destas peças para as montagens completas das estruturas 1U e 2U podem ser visualizadas respectivamente na Figura (14) e Figura (15). A Figura (16) realiza o comparativo de ambas estruturas no ambiente de montagem do *software*.



**Figura 14 - Montagem estrutura 1U.**



**Figura 15 - Montagem estrutura 2U.**



Figura 16 - Comparativo estruturas 1U e 2U.

### 4.3 - Módulo de Serviço

No interior das unidades do NANOSATC-BR2 estão divididas os grupos de PCBs que executam em conjunto duas funções distintas ao longo da missão do CubeSat: funcionamento dos sistemas vitais do satélite e coleta de dados científicos. As unidades então são denominadas respectivamente em Módulo de Serviço e Módulo das Cargas Úteis por conta desta distribuição.

Neste capítulo serão apresentadas as PCBs que correspondem aos subsistemas vitais do NANOSATC-BR2:

- Subsistema de Potência - *NanoPower P30u*
- Magnetorquer - *iMTQ*
- Subsistema de Computador de Bordo - *NanoMind A7*
- Subsistema de Telemetria
- Subsistema de Antenas

Até o momento, foi concluída a modelagem do subsistema de potência, magnetorquer e subsistema de computador de bordo, apresentados em sequência neste mesmo capítulo.

#### 4.3.1 – Subsistema de Potência

Este subsistema tem como função realizar a conversão da corrente contínua (CC), gerada via incidência solar nas células fotovoltaicas, em corrente alternada (CA), utilizada para suprir em energia os componentes eletrônicos do nanossatélite e fornecer carga para as baterias de íon-lítio. Por sua vez, as baterias fornecem a energia necessária para o funcionamento do satélite quando sua órbita passa por regiões escuras.

Para o NANOSATC-BR2 será utilizada a *Protoboard NanoPower P30u* fornecida pela *GOMSpace*, utilizada também para a missão do NANOSATC-BR1. Na Figura (17) é possível visualizar a respectiva modelagem do subsistema.

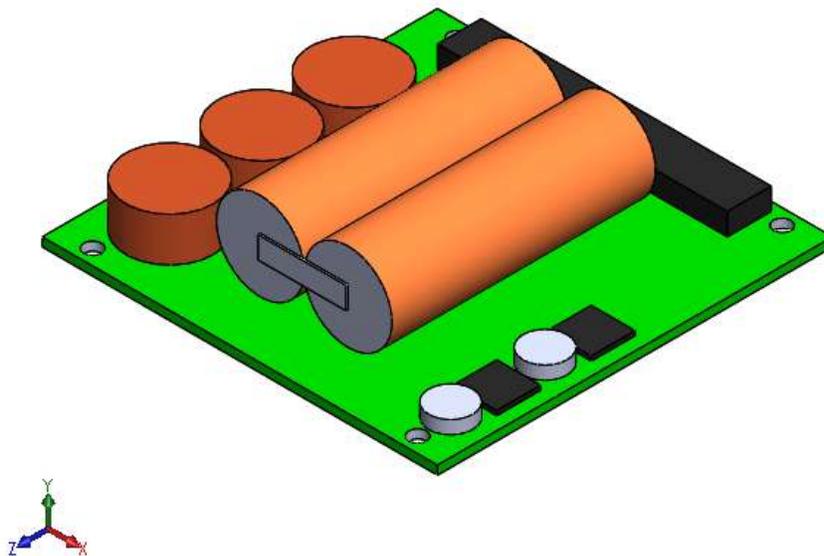
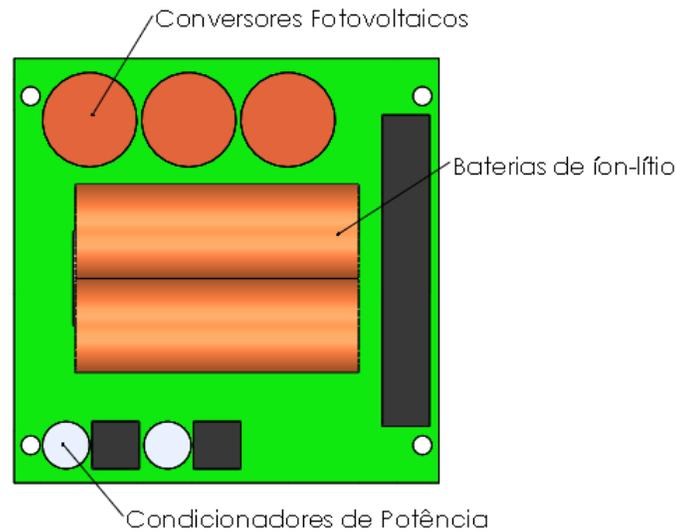


Figura 17 - Subsistema de potência.

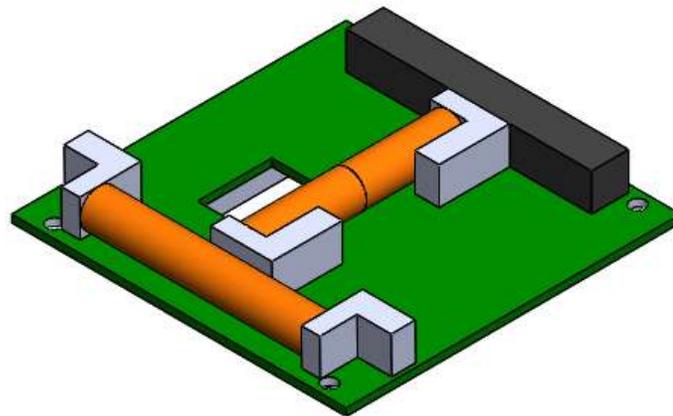
A Figura (18) apresenta os respectivos componentes do subsistema de potência que foram reproduzidos no desenho.



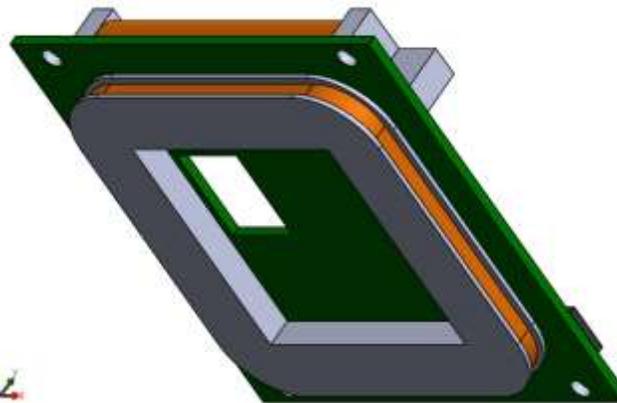
**Figura 18 - Representação dos componentes do subsistema de potência.**

#### 4.3.2 - Magnetorquer iMTQ

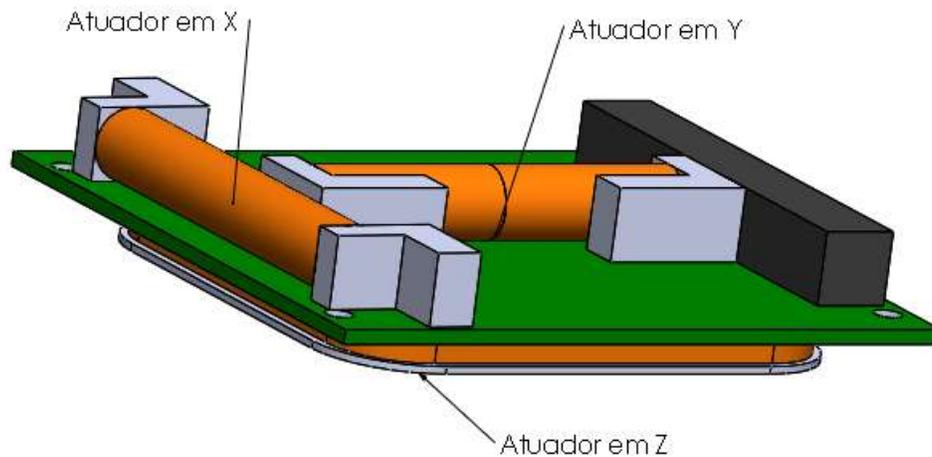
Para a missão do NANOSATC-BR2 será introduzido um sistema de *Detumbling* com a função de amenizar ou até anular a atitude do nanossatélite em seus três eixos de rotação (XYZ). Esta PCB não deve ser tomada, porém, como um subsistema de controle de atitude, já que o magnetorquer não pode introduzir ou gerar momento de giro no CubeSat em órbita, somente alterar a atitude já existente. O magnetorquer utilizado é fornecido pela ISIS, modelo iMTQ. A Figura (19) apresenta o modelo CAD gerado, enquanto os componentes do magnetorquer podem ser visualizados na Figura (20).



**Figura 19 (a) - Magnetorquer vista superior.**



**Figura 19 (b) - Magnetorquer vista inferior.**



**Figura 20 - Componentes do magnetorquer.**

#### **4.3.3 - Computador de Bordo**

O subsistema de computador de bordo consiste no *NanoMind A7* fornecido pela *GOMSpace*, modelo que já foi utilizado para a missão do NANOSATC-BR1. O subsistema realiza o processamento dos dados científicos coletados pelas *payloads* bem como a atualização dos parâmetros fornecidos pelos subsistemas vitais sobre as condições de funcionamento do CubeSat. O computador de bordo também realiza a comunicação com a estação terrena - *housekeeping* - e a transmissão destes dados por meio do subsistema de comunicação e de antenas. O *NanoMind A7* ainda conta com três magnetômetros - sensores de medição da intensidade de campo magnético - instalados na mesma PCB. A Figura (21) apresenta a modelagem desenvolvida para o computador de bordo.

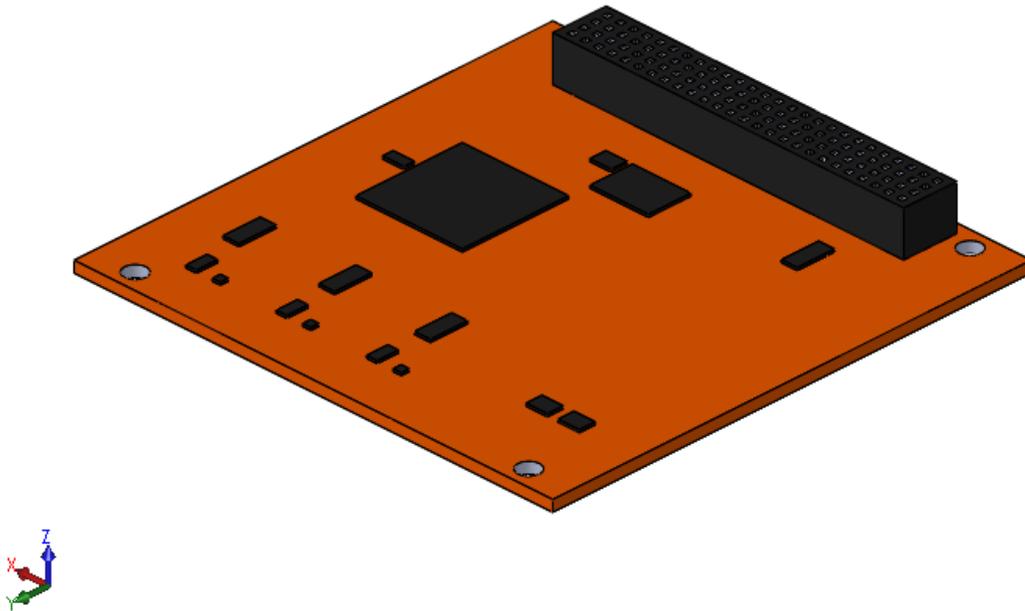


Figura 21 - Computador de bordo.

#### 4.4 - Módulo das Cargas Úteis

Na segunda unidade do NANOSATC-BR2 estarão contidas as *payloads* e experimentos embarcados do CubeSat. Em comparação com a missão anterior, haverá um aumento significativo nas missões científico e tecnológicas relacionadas, onde o primeiro caso consiste na colocação de diversos sensores na estrutura do nanossatélite para a coleta de variados parâmetros em órbita, e a segunda consiste no teste de dispositivos eletrônicos e outras tecnologias, desenvolvidas nacionalmente, em ambiente espacial.

Abaixo, são apresentadas as cargas úteis e experimentos que serão futuramente embarcados no NANOSATC-BR2:

- Sonda de Langmuir;
- Circuito de Sistema de Determinação de Atitude Tolerante à Falhas (SDATF);
- Chip SMDH;
- Placas de Circuito FPGA;
- Magnetômetros.

Haverá ainda uma carga útil adicional embarcada no nanossatélite, porém até o presente momento esta ainda não foi definida.

Em virtude das cargas úteis e experimentos embarcados ainda estarem em estágio final de desenvolvimento, não foi possível efetuar a modelagem nem mesmo a apresentação de informações conclusivas sobre eles. Esta etapa do Projeto será desenvolvida futuramente.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através do trabalho desenvolvido até o presente momento foi possível conceber a estrutura completa de CubeSats 1U e 2U. Apesar do foco inicial do Projeto ter sido a modelagem CAD do NANOSATC-BR2, é possível também concluir o modelo CAD do NANOSATC-BR1, visto que praticamente todas as PCBs existentes nele também estarão presentes novamente no segundo nanossatélite do Programa NANOSATC-BR. Na etapa seguinte do Projeto será concluída a modelagem dos demais subsistemas. Espera-se também que o desenvolvimento das *payloads* do NANOSATC-BR2 esteja concluído a partir do segundo semestre de 2018, assim sendo, a modelagem destes componentes também será efetuada. A concepção de uma tabela que apresenta todas as peças pertencentes do modelo 3D final e as ilustrações técnicas em 2D com o dimensionamento dos componentes, também são metas para o futuro deste Projeto.

Por fim, é planejado para as etapas posteriores deste trabalho realizar o estudo dos materiais de que são feitos a estrutura e componentes dos nanossatélites, utilizando a biblioteca de materiais do *SolidWorks* para complementar ainda mais as peças concebidas. A definição dos materiais constituintes dos componentes será útil para realizar aproximações de peso, centro de massa e momento de inércia aplicados aos CubeSats, assim expandindo a utilidade deste Projeto em demais temas de pesquisa conduzidas por outros acadêmicos futuramente, bem como no quesito de gerar simulações com maior precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CalPoly - California Polytechnic State University - **CubeSat Design Specification, Rev. 13**. Junho de 2015.
- [2] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space Project Management – Project Planning and Implementation**. Noordwijk, 2009. (ECSS-M-ST-10C);
- [3] WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. **Space mission analysis and design**. 3. ed. New York, 2005.
- [4] FRANKE, L.L.C. **Estudo de Técnicas e Dispositivos para o Controle Térmico de Satélites: Uma Aplicação ao NANOSATC-BR**. Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/INPE - CNPq/MCTI). Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/INPE-MCTI. Santa Maria-RS, Junho de 2012.
- [5] MARQUES, R.P. **Desenvolvimento do Subsistema de Controle Térmico em CubeSats**. 2018. Relatório Técnico de Atividades PCI/ MCTIC/INPE. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, CRS/COCRE/INPE-MCTIC. Santa Maria-RS, Junho de 2018.
- [6] ISIS - Innovative Solutions in Space - Magnetorquer Board User Manual. Acesso em 18 maio 2018. Disponível em: <<https://www.isispace.nl/products/>>
- [7] GOMSpace - NanoPower P-series Datasheet. Acesso em 18 maio 2018. Disponível em: <<https://gomspace.com/Shop/subsystems/Default.aspx>>.
- [8] GOMSpace - NanoMind A702B/A712B Datasheet. Acesso em 18 maio 2018. Disponível em: <<https://gomspace.com/Shop/subsystems/Default.aspx>>.