



**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA  
APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSACT-BR.**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)**

**PROCESSO 128189/2014-2**

**Guilherme Paul Jaenisch** - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

LAMEC/CRS/INPE – MCTI

E-mail: [guilherme.jaenisch@gmail.com](mailto:guilherme.jaenisch@gmail.com)

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

**Orientador**

Pesquisador Titular Sênior III

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPE/MCTI

E-mail: [njschuch@gmail.com](mailto:njschuch@gmail.com)

**Santa Maria, Julho de 2015.**



**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
DO PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCTI**

**PROJETO**

**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA  
APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSACT-BR.**

**PROCESSO 128189/2014-2**

Relatório elaborado por **GUILHERME PAUL JAENISCH** relatando as  
atividades executadas por:

**Guilherme Paul Jaenisch** – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI  
E-mail: [guilherme.jaenisch@gmail.com](mailto:guilherme.jaenisch@gmail.com)

**Dr. Nelson Jorge Schuch**  
**Orientador**  
Pesquisador Titular Sênior III  
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
INPE/MCTI  
E-mail: [njschuch@gmail.com](mailto:njschuch@gmail.com)



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Título:

### **ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSACT-BR.**

Processo CNPq N°: 129483/2013-3

Bolsista:

**Guilherme Paul Jaenisch**

Curso de Engenharia Mecânica

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria

LACESM/CT – UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTI

Colaboradores:

**Iago Camargo Silveira**

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM

**Marcos Antonio Dal Piaz**

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção – UFSM

**Tiago Travi Farias**

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção – UFSM



**Thaffarel Ribas**

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM

**Lorenzo Mantovani**

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial – UFSM

**Local de Trabalho/Execução do projeto:**

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/INPE – MCTI.

Laboratório de Integração e Teste – LIT/INPE - MCTI.

Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC/ETE//INPE - MCTI

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao grande apoio da minha família: meu pai, Gaspar Rodrigues Jaenisch e minha querida mãe Tirlene Maria Paul Jaenisch em minhas decisões e incentivo para que se tornassem realidade.

Ao meu Orientador Dr. Nelson Jorge Schuch, meu Mentor, pela oportunidade, e pela sua atenção e disposição em me auxiliar durante a realização das atividades de Iniciação Científica, Tecnológica & Inovação. Me apoiando no meu desenvolvimento profissional e no auxílio do meu desenvolvimento pessoal, o que contribuirá muito para meu futuro.

Um agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela aprovação do meu Projeto de Pesquisa junto ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, dando oportunidades para que jovens graduandos participem de projetos de pesquisa.

Agradeço a todos os meus colegas de Laboratório e do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais pelo apoio técnico, amizade e companheirismo em todos os momentos.



## RESUMO

O Relatório apresenta as atividades de pesquisa vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI, realizadas pelo aluno Guilherme Paul Jaenisch, Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de Agosto de 2014 à Julho de 2015, no Projeto **“ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSATC-BR”**.

O Trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo numérico da placa de circuito impresso (PCB) que compõe os subsistemas de controle (*On Board Computer*) do satélite NANOSATC-BR2 do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats. A condição térmica da placa OBC é simulada com o intuito de prever casos quentes e frios que podem vir a afetar o subsistema de controle, bem como, a Missão como um todo. Para obter os valores das condutividades efetivas das placas é utilizado o modelo da condutividade efetiva para placas de circuito impresso. Por fim, espera-se confirmar, do ponto de vista térmico, quanto às definições pré-impostas, que os subsistemas são operados de maneira segura ao longo de sua órbita espacial terrestre.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de um CubeSat 1U (10x10x10 cm).....	11
Figura 2 – Exemplos de ISIS-PODs.....	11
Figura 3 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul.....	13
Figura 4 - Arquitetura mecânica NANOSATC-BR1.....	14
Figura 5 – Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR2.....	15
Figura 6 – Resultado encontrado no compilador MATLAB .....	24



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	9
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1.	CUBESATS .....	10
2.1.1	NANOSATC-BR1.....	12
2.2.	Métodos Numéricos.....	16
2.2.1	Método Numérico de Newton-Raphson.....	16
2.2.2	Método Numérico de Gauss-Seidel .....	17
2.3.	MATLAB.....	18
2.4.	OBC ( <i>On Board Computer</i> ) .....	19
2.5.	Ambiente Espacial .....	22
2.6.	Transmissão de Calor .....	23
3.	Resultados .....	24
4.	Conclusão .....	25
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26



## 1. INTRODUÇÃO

No Relatório são relatadas as atividades relativas ao Projeto “**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSACT-BR**”.

O trabalho é desenvolvido através de uma revisão de uma literatura através de livros, internet, relatórios de projetos e artigos científicos, sobre assuntos específicos e relacionados ao subsistema de controle térmico de pequenos satélites, verificando a validade de informações para a classe dos CubeSats. Para o desenvolvimento do modelo numérico é utilizado o compilador *Matlab* com a finalidade de desenvolver um código computacional próprio, em vez de utilizar softwares comerciais.

O trabalho inicialmente deve começar com etapas de estudos de bibliografia especializada em simulação numérica e equações de governo que envolvem os fenômenos de transferência de calor. Na grande área da Engenharia Aeroespacial, a pequena área abordada por esse Projeto se encaixa no subsistema de controle térmico e suas atribuições em uma missão espacial, o que envolve desde estudos sobre a teoria e os dispositivos empregados para tal, além de um estudo detalhado sobre os testes que devem ser realizados em um satélite artificial antes de seu lançamento. Após as abordagens conceituais e a familiarização do aluno com os conceitos teóricos relacionados a simulação numérica, o Projeto em si toma lugar e é realizado um levantamento sobre todas as informações pertinentes à estrutura térmica do subsistema OBC, para uso nos cálculos das propriedades térmicas das PCBs, utilizando os métodos de condutividade efetiva. O aluno, por final, implementa um modelo numérico no compilador *Matlab* obtendo curvas de temperatura para diferentes condições de contorno. Por fim são realizados

relatórios técnicos dos procedimentos e dos resultados, visando a publicação dos mesmos em congressos.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. CUBESATS**

Os Professores Bob Twiggs da Universidade Stanford e Jordi Puig-Suari da California Polytechnic State University propuseram o primeiro desenho de um CubeSat, em 1999. O principal objetivo dessa proposta era levar o desenvolvimento da especificação de CubeSats, com a intenção de ajudar o desenvolvimento da exploração científica nas universidades.

A especificação "CubeSat" compreende vários objetivos de alto nível. A infraestrutura de satélites torna possível a realização do projeto e da produção de forma mais simplificada e de um custo menor. Em 2004, devido ao seu tamanho de menor proporção, podem ser construídos e lançados por um valor muito menor do que os satélites de grande porte, sendo o preço destes CubeSats em torno de US\$120.000 nos EUA.

Portanto, os CubeSats devido a seu "baixo" custo se tornou uma opção viável para várias universidades, algumas empresas e até algumas instituições governamentais.

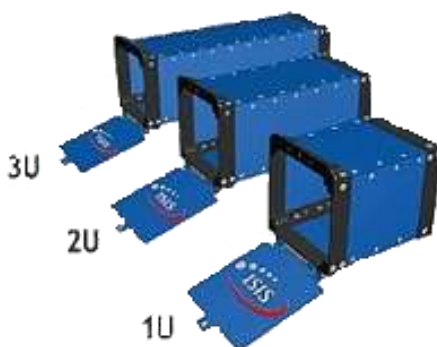
O formato de um CubeSat padrão é 10x10x10 cm e é conhecido como um CubeSat 1U (Figura 1), que significa "uma unidade". Com base nos conhecimentos, o nanosatélite é considerado um sistema escalável ao longo dos eixos, ou seja, o satélite pode se tornar "2U" (10x10x20 cm) chegando até a um CubeSat "12U" (24x24x36 cm), com o objetivo de atingir áreas mais complexas da ciência e de defesa.



**Figura 1** – Exemplo de um CubeSat 1U (10x10x10 cm)

**Fonte** - <http://www.astrobio.net/topic/exploration/missions/inflatable-antennas-could-send-CubeSats-farther/>

Como a maioria dos CubeSats possuem a mesma medida de base, variando apenas a sua altura, estes satélites podem ser ejetados em órbita com o mesmo sistema mecânico de liberação. O equipamento é chamado de *Poly-PicoSatellite Orbital Deployer* (P-POD), Figura 2, que também foi projetado pela *Cal Poly University*.



**Figura 2** – Exemplos de ISIS-PODs

**Fonte** - <http://paginas.fe.up.pt/~ee86027/?i=3000>



O mecanismo de liberação é acoplado ao veículo lançador e com isso os mantêm em segurança até atingir a órbita desejada, liberando somente após o comando. De acordo com os estudos realizados, os PODs foram os maiores responsáveis pela liberação dos CubeSats no espaço até o momento.

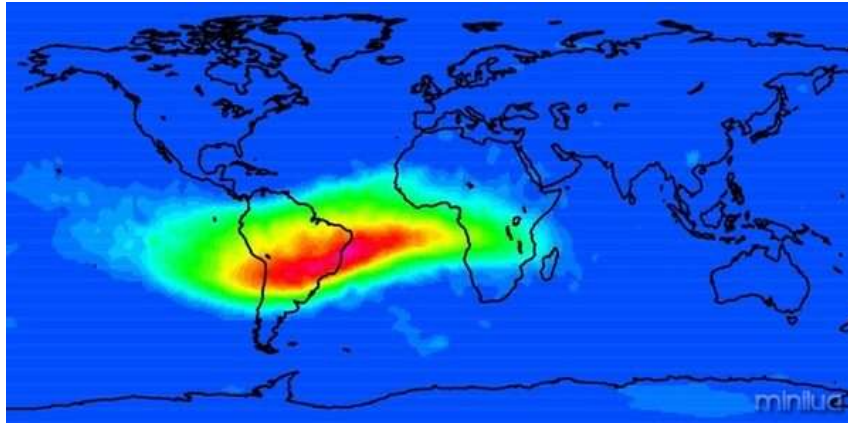
Com o baixo custo e interesse de empresas, o nanosatélite se tornou um meio independente e se tornou competitivo para colocar cargas úteis no espaço. Geralmente, o CubeSat carrega um ou até mais instrumentos científicos como a missão primária.

### **2.1.1 NANOSATC-BR1**

O CubeSat - NANOSATC-BR1, o primeiro satélite do PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS, que é um satélite miniaturizado e mantém todas as especificações de um CubeSat padrão.

O NANOSATC-BR1 tem como objetivos:

- Capacitação de Recursos Humanos;
- Capacitação tecnológica das instituições nacionais que participam da missão;
- Monitoramento das condições geomagnéticas na superfície e em órbita sobre as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) (Figura 3);
- Pesquisas sobre Geofísica e Clima espacial.



**Figura 3 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul**

Fonte - <http://minilua.com/estranha-anomalia-atlantico-sul/>

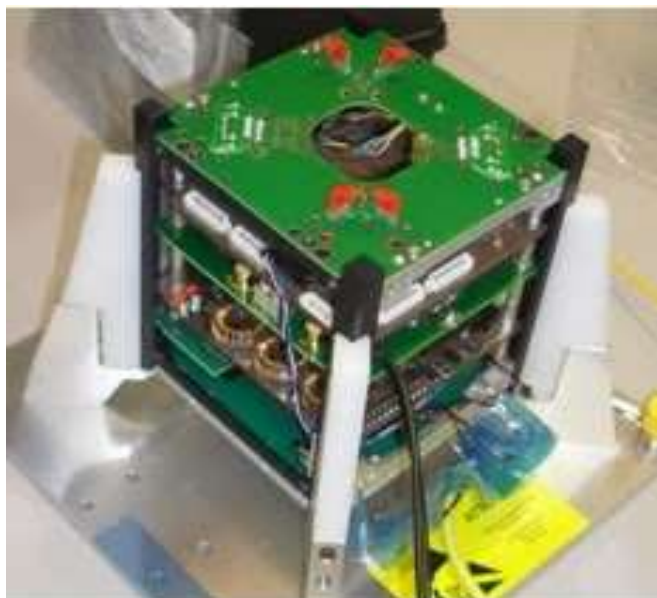
O NANOSATC-BR1 (Figura 4) foi lançado em um órbita polar, com uma inclinação superior a  $98,5^\circ$ , em uma altitude de aproximadamente 600 km, efetuando medidas do AMAS. E, aproximadamente, a cada 90 minutos ele passa sobre o Sul do Brasil - Santa Maria, RS.

O NANOSATC-BR1 possui uma distribuição de subsistemas como todos os satélites existentes, e é composto pelos seguintes componentes e suas funções:

- *Subsistema de antenas*, responsável pelo envio e recepção de dados do satélite;
- *Subsistema de computador de bordo*, responsável pelo gerenciamento das funções do satélite;
- *Subsistema de comunicação*, responsável pela comunicação entre o satélite e a estação terrena;
- *Subsistema de potência*, responsável pelo armazenamento e distribuição de energia elétrica do satélite;

Segundo Franke (2012), os subsistemas são fixados por quatro hastes de que são conectadas diretamente na estrutura e atravessam todos os subsistemas. Essas hastes são ligadas por parafusos ao quadro da estrutura

na parte superior e inferior. Os quadros da estrutura são ligados as placas estruturais de alumínio por parafusos (quatro em cada face do cubo). Todas as partes da estrutura do nanosatélite são feitas de uma liga de alumínio AA 6061-T6. Coladas a essas placas estruturais, na parte exterior de nanosatélite, encontram-se os painéis solares, responsável pela conversão da energia absorvida do sol em energia elétrica.



**Figura 4** - Arquitetura mecânica NANOSATC-BR1

**Fonte** - <http://brazilianspace.blogspot.com.br/2014/01/confirmado-o-CubeSat-nanosatc-br1-sera.html>

### **2.1.2 NANOSATC-BR2**

Assim como o primeiro projeto (NANOSATC-BR1), o NANOSATC-BR2 (Figura 4) visa o desenvolvimento de Engenharias e Tecnologias Espaciais, Informática e Ciências Espaciais na área de nanosatélites, com o intuito da integração de graduandos e pós-graduandos para o desenvolvimento pessoal e profissional.

De acordo com Schuch et al (2011) um dos objetivos científicos do NANOSATC-BR2, no âmbito Geoespaço e Clima Espacial, é o monitoramento

em tempo real, dos distúrbios observados na Magnetosfera Terrestre – Campo Geomagnético e a precipitação de partículas energéticas, sobre o Território Brasileiro, com a determinação de seus efeitos nas grandes regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS. Outro objetivo científico de grande relevância é o estudo e monitoramento de irregularidades no plasma ionosférico visto que tais fenômenos influenciam fortemente as atividades e os sistemas de aplicações espaciais, causando interferências significativas e até mesmo interrupções nos sistemas trans-ionosféricos de telecomunicações. No setor Brasileiro, tais efeitos são particularmente mais intensos devido à declinação geomagnética elevada, a Anomalia Equatorial e à presença da Anomalia Magnética do Atlântico Sul.

O satélite miniaturizado NANOSATC-BR2 (Figura 5) também da família CubeSat, no entanto apresentando uma altura maior em comparação ao NANOSATC-BR1, ou seja sendo um CubeSat 2U. Assim como aconteceu com o NANOSATC-BR1, o lançamento do NANOSATC-BR2 é com o auxílio do mecanismo POD.



**Figura 5** – Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR2

**Fonte** - <http://brazilianspace.blogspot.com.br/2015/01/equipe-do-inpeufsm-ja-desenvolve-o.html>

## **2.2. Métodos Numéricos**

De acordo com Gilat (2008), os métodos numéricos são técnicas matemáticas usadas na solução de problemas matemáticos que não podem ser resolvidos ou que são difíceis de se resolver analiticamente. Uma solução analítica é uma resposta exata na forma de uma expressão matemática escrita em termos das variáveis associadas ao problema que está sendo resolvido. Uma solução numérica é um valor numérico aproximado para a solução (ou seja, um número). Embora soluções numéricas sejam uma aproximação, elas podem ser muito precisas. Em muitos métodos numéricos, os cálculos são executados de maneira iterativa até que a precisão desejada seja obtida. Técnicas numéricas para resolver problemas matemáticos foram desenvolvidas e utilizadas centenas e mesmo milhares de anos atrás. A implementação dessas técnicas era difícil, já que os cálculos tinham que ser realizados manualmente ou com o emprego de dispositivos mecânicos simples. Isso limitava o número de cálculos que podiam ser realizados, além de reduzir a sua velocidade e a sua precisão. Hoje em dia, métodos numéricos são utilizados em rápidos computadores digitais. Esses computadores permitem a execução de um grande número de cálculos tediosos e repetitivos em um curto espaço de tempo, produzindo soluções precisas, ainda que inexatas.

Outra definição de métodos numéricos é que os métodos podem ser usados para a obtenção de soluções numéricas para problemas, quando por uma qualquer razão não podemos ou não desejamos usar métodos analíticos. Os métodos numéricos conduzem soluções aproximadas de um modelo ou sistema exata.

### **2.2.1 Método Numérico de Newton-Raphson**

O método desenvolvido por Isaac Newton e Joseph Raphson, chamado de Método de Newton-Raphson ou simplesmente Método de Newton, baseia-se no princípio de estimação de raízes de uma função. Primeiramente faz-se



uma aproximação inicial, após isso é calculado a equação da reta tangente no ponto e a intersecção com o eixo  $x$ , com o objetivo de encontrar a melhor solução, ou seja, uma aproximação mais correta. A equação que demonstra o Método de Newton é representada abaixo:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

onde  $n$  indica a  $n$ -ésima iteração do algoritmo e  $f'(x_n)$  é a derivada da função  $f$  em  $x_n$ .

Para que se tenha um valor aceitável da iteração, é necessário que a função  $f$  deve ser diferenciável em  $x_n$  e seu valor deve ser não nulo.

Considerado por muitos autores o melhor método para encontrar várias e as melhores aproximações de raízes, por isso o método de Newton tem sido utilizado para áreas de diferentes ramos, como a Engenharia, Matemática, entre outras, e uma vantagem é a praticidade do Método de Newton.

### 2.2.2 Método Numérico de Gauss-Seidel

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, a diferença entre o método de Gauss-Jacobi e o Gauss-Seidel, é que este último utiliza, para calcular o valor de uma incógnita em uma determinada iteração, os valores das outras incógnitas já calculados nesta mesma iteração. Em consequência disto, a convergência é a mais rápida. Fórmula de recorrência utilizada neste método é:

$$X_i^{k+1} = \frac{1}{a_{i1}} * [b_i - \sum_{j=1}^{i-1} (a_{ij} * x_j^{k+1}) - \sum_{j=i+1}^n (a_{ij} * x_j^k)]$$

Os critérios de parada e as condições de convergência para este método, são os mesmos que foram apresentados para o método anterior. O método de

Gauss-Seidel é mais eficiente que o anterior sendo, por isso, o mais utilizado. Dente as vantagens do método de Gauss-Seidel , iterativo, sobre o Gauss-Jacobi direto, podemos destacar:

- Preserva os valores da matriz primitiva
- Caso ocorra um erro de cálculo, em alguma iteração, o mesmo deverá ser corrigido decorrer do processo, porque a matriz é utilizada sempre na sua forma original, assim como o erro de arredondamento tende a ser minimizado, devido ao mesmo motivo
- São mais eficientes para sistemas em que a matriz principal seja diagonal-dominante

Em contrapartida, podemos destacar que o método de Gauss-Jacobi é melhor que o de Gauss-Seidel para resolver sistemas em que a matriz principal é densa e de pequeno porte, e processo mais rapidamente sistemas da mesma matriz principal.

### **2.3. MATLAB**

O software MATLAB que tem como objetivo o cálculo numérico com matrizes e tem como significado *MATrix LABORatory*. O MATLAB foi desenvolvido por Cleve Moler por volta dos anos de 1970.

A primeira vez que o MATLAB foi utilizado por engenheiros foi com a função de projeto de controle, no entanto com o decorrer do tempo houve a expansão para outros campos de aplicação.

Nos dias de hoje, o software também é utilizado nas áreas da educação, principalmente em álgebra linear e análise numérica, e também muito utilizado para processamento de imagem.

O MATLAB pode funcionar como uma calculadora ou como uma linguagem de programação científica. Entretanto, os comandos do MATLAB são mais próximos da forma como escrevemos expressões algébricas, tornando mais simples o seu uso. Atualmente, o MATLAB é definido como um sistema

iterativo e uma linguagem de programação para computação técnica e científica em geral, integrando a capacidade de fazer cálculos, visualização gráfica e programação (Tonini e Couto, 1999).

O MATLAB tem alguns usos típicos de sua programação, os quais seguem abaixo:

- Cálculos matemáticos
- Desenvolvimento de algoritmos
- Modelagem, simulação e confecção de protótipos
- Análise, simulação e confecção de dados
- Gráficos científicos e de engenharia
- Desenvolvimento de aplicações, incluindo a elaboração de interfaces gráficas com o usuário.

#### **2.4. OBC (*On Board Computer*)**

Os CubeSats possuem sistemas que utilizam computadores internos para seu funcionamento. As funções executadas por sistemas que dispõem de equipamentos internos tem como funções: navegação, monitoração da saúde dos equipamentos a bordo, processamento de comandos, gerenciamento dos subsistemas, gerenciamento da carga útil e das comunicações.

Na maioria dos sistemas espaciais que necessitam de computadores internos precisam de confiabilidade e de controle de tempo real. Por isso necessita-se que os sistemas computacionais sejam compatíveis com o com os demais componentes do satélite e da estação terrena.

Consagrado pelo nome OBDH (*On Board Data Handling*), sistemas computacionais de supervisão de bordo basicamente implementam as funções de “comando e controle” e “telemetria” a bordo de satélites. Os sistemas computacionais embarcados têm por objetivo principal monitorar a saúde dos demais subsistemas do veículo e efetuar seus controles quando

necessário, assim como garantir o armazenamento temporário e a integridade dos dados da missão.

Baseado no documento Schuch et al (2011), os requisitos para composição de um subsistema de computação de bordo compatível com os objetivos do Projeto NANOSATC-BR2 – Aeroluminescência & Geoespaço são descritos :

➤ Microcontrolador:

- O microcontrolador deve estar adaptado a uma placa no padrão *Pluggable Processor Module*;
- A frequência de operação satisfatória é de 8 MHz;
- O dispositivo deve operar com pequenos níveis de potência;
- O espaço de memória necessário para uma correta operação do subsistema de computação de bordo é em torno de 60 KB;
- Deve haver suporte aos padrões de comunicação UART0/SPI0/I<sup>2</sup>C e UART1/SPI1;
- Deve contar com, ao menos, um conversor Analógico/Digital de 12 bits e com 8 canais, além de *timers* de 16 bits, comparadores e uma unidade DMA (*Direct Memory Access*).

➤ Placa-mãe:

- A placa-mãe deve suportar uma placa no padrão *Pluggable Processor Module*, onde o microcontrolador deve estar acoplado;
- O dispositivo deve operar com pequenos níveis de potência;
- Ela deve dar suporte ao padrão PC/104;
- Deve haver suporte ao padrão I<sup>2</sup>C para gerência do sinal de relógio;
- Deve possuir uma entrada USB 2.0 para possíveis configurações do dispositivo.

➤ Placa de desenvolvimento:

- Deve suportar uma placa no padrão *Pluggable Processor Module*, onde o microcontrolador deve estar acoplado;
  - Deve suportar a placa-mãe a ser embarcada no satélite;
  - Ela deve dar suporte ao padrão PC/104;
  - A comunicação deve ser feita através do padrão RS-232;
  - Deve haver suporte ao padrão I<sup>2</sup>C para gerência do sinal de relógio;
  - Deve possuir uma entrada USB 2.0 para possíveis configurações do dispositivo;
  - Suporte às tensões de operação de +5V e +3.3V.
- Sistema operacional de tempo real:
- Deve ser o mais enxuto possível, exigindo pouco poder de processamento e pouco espaço de memória;
  - Deve ser escrito na linguagem de programação C e suportar o maior número de microcontroladores disponíveis no mercado, inclusive o que é escolhido;
  - Deve prover suporte à escalonamento e sincronização de processos.
- Suíte de desenvolvimento
    - É necessário que o *software* forneça o modo de comunicação com o microcontrolador que é escolhido no padrão JTAG e, que seja compatível com sistema operacional de tempo real, também a ser escolhido;
    - Deve possuir um compilador para a linguagem de programação C, otimizado para aplicações embarcadas, nos padrões ANSI e ISO;
    - Deve fornecer a possibilidade de programação através de linguagem de programação *Assembly*.

## **2.5. Ambiente Espacial**

Na órbita espacial terrestre existe quatro tipos de fontes de cargas térmicas que influenciam em um satélite, sendo elas: cargas externas ocasionadas pelo Sol, uma parcela refletida da energia solar pela superfície da Terra, a própria energia produzida pela Terra e a carga interna do satélite (Potências dissipadas pelos componentes eletrônicos).

Para o conhecimento das cargas externas é necessário um conhecimento maior sobre a altitude do satélite em relação da Terra e Sol. A órbita espacial é que determina a existência ou não de eclipse e sua duração.

- Energia solar de incidência direta: O Sol consiste na carga térmica de maior fonte de calor, a constante solar adotada pelo INPE é de 1318 ~ 1416 W/m<sup>2</sup> e pode variar dependendo da altura, inclinação da órbita e distância Terra - Sol.
- Albedo: É a parte da energia solar refletida pela superfície terrestre que atinge o satélite em órbita, considerada cerca de  $30 \pm 5\%$  da radiação solar incidente na Terra .
- Radiação da Terra dissipada para o espaço: A energia produzida pela Terra é parcialmente emitida para o espaço, que ao atingir o satélite também é considerada uma carga térmica importante.
- Energia dissipada por componentes internos com origem ôhmica: Este carregamento consiste na carga térmica que os dispositivos elétricos e eletrônicos dissipam por efeito Joule internamente ao satélite. Portanto, este carregamento é dependente dos modos de operação dos equipamentos, pois existem equipamentos que ficam operando durante todo tempo e há os que são ligados somente em determinados períodos.

## 2.6. Transmissão de Calor

De acordo com a literatura a transferência de calor ou propagação do calor é a mudança da energia térmica de um corpo que possui uma temperatura maior para um corpo que possui uma temperatura menor. Existem três modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. No entanto, o trabalho só irá se relacionar ao modo de transferência de calor por condução.

O modo de transferência por condução só ocorre pelo calor transferido por um meio material, ou seja, de molécula para outra. A condução de calor unidimensional 'q' em uma barra, que tem suas extremidades submetidas a uma diferença de temperatura  $\Delta T$ , e suas superfícies laterais isoladas termicamente, é dada pela lei de Fourier na forma:

$$q = \frac{k * A * \Delta t}{\Delta x}$$

Onde q é o calor transferido, A é a área transversal da barra e  $\Delta x$  a distância entre as extremidades. A condutividade térmica é dada por k, que depende exclusivamente do material de que é feita a barra. A resistência térmica é o inverso da condutância e é definida como a capacidade de um corpo se opor ao fluxo de calor que o atravessa.

Para um sistema homogêneo isotrópico é utilizada a equação tridimensional de transferência de calor:

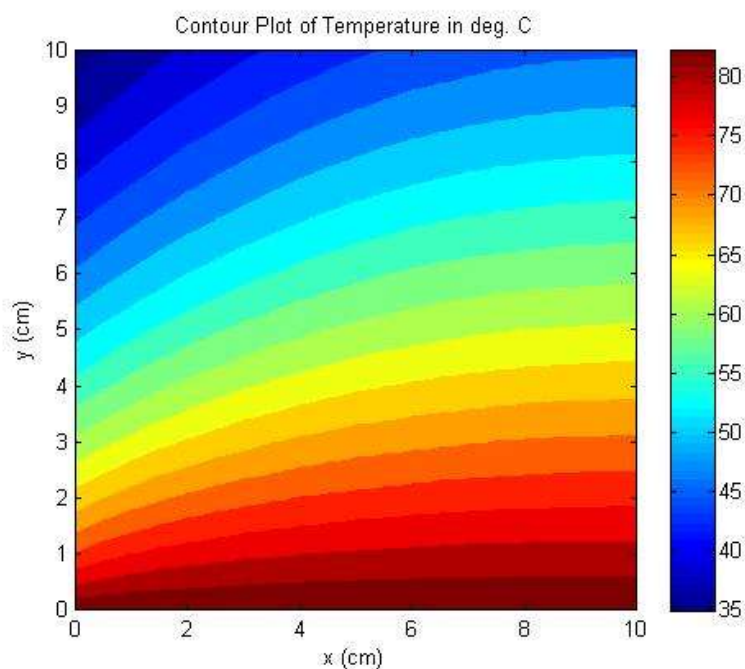
$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

Onde  $\alpha = k/\rho c$ , sendo  $\rho$  a densidade do material, c o calor específico e k a condutividade térmica.

### 3. Resultados

Com o conhecimento adquirido durante a revisão bibliográfica durante o período em que o Projeto “**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSATC-BR**”. Foi possível realizar um método numérico no compilador MATLAB para a solução do problema proposto.

Como resultado encontrou-se um gráfico (Figura 6) satisfatório, resultando que de acordo com o padrão de temperatura que uma On Board Computer que pode variar de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até a máxima de  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 6** – Resultado encontrado no compilador MATLAB

Portanto, com o resultado encontrado percebe-se que o funcionamento da placa On Board Computer funcionará e não comprometerá o desempenho e funcionamento dos subsistemas do NANOSATC-BR2 e sua Missão.





## **4. Conclusão**

Com o Projeto de Pesquisa durante os seus doze meses de execução: **“ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO – UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSACT-BR”** foram obtidos resultados tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista pessoal do aluno, visto que o mesmo pode interagir aprimorar seu conhecimento sobre os assuntos através de pesquisas e estudos, além de ter contato com estudantes da área de Engenharia e Tecnologia Espaciais de Graduação da UFSM e Pós-Graduação do INPE/MCTI. aumentando seus conhecimentos e experiência nessa área.

Em primeiro caso foi trabalhado com uma revisão bibliográfica sobre satélites miniaturizados, transferência de calor e uma familiarização sobre os métodos numéricos e seus tipos.

Após o aluno precisou realizar um estudo mais aprofundado sobre o compilador *MATLAB* para o decorrer do Trabalho, realizar o código operacional necessário e aplica-lo na On Board Computer do NANOSATC-BR2. E por fim, uma análise do que foi Planejado e concluído com este Projeto de Pesquisa.



## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

NANOSATC-BR. Projeto NANOSATC-BR – **Desenvolvimento de CubeSats**. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Santa Maria – RS, Junho 2010.

GILMORE, D. G., “**Satellite Thermal Control Handbook**”. 2ª ed. Aerospace Corporation, California, EUA. 1994.

Costa, L. L. –Trabalho de conclusão de curso - **PROJETO DO SUBSISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO PARA CUBESATS**, 2010 – UFSM – Santa Maria/RS.

FRANKE, L.L.C. – Relatório técnico – **ESTUDO DE TÉCNICAS E DISPOSITIVOS PARA O CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES: UMA APLICAÇÃO AO NANOSATC-BR**, 2012 – UFSM – Santa Maria.

GOMSPACE - **NanoMind A702B/A712B Datasheet**

GOMSPACE - **NanoPower P-series Datasheet P10u and P30u V6.1**

GOMSPACE - **NanoPower Solar 100U Datasheet**

ISIS - **Innovative Solutions In Space User Manual VHF / UHF transceiver**