

## Modelagem térmica de CubeSat em órbita

Edemar Morsch Filho<sup>1</sup>, Gabriel Kawanaka Rubio<sup>2</sup>, Leonardo de Moraes Alvarenga<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista (Unesp), São João da Boa Vista, SP

Laio Oriel Seman<sup>4</sup>

Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR

Em 1999 foi criado o padrão de nanosatélite conhecido por CubeSat, cuja unidade padrão 1U possui dimensões de 10x10x10 cm [1]. Este tipo de satélite usualmente é colocado em órbita baixa ( $\approx 500$  km), que possui período aproximado de 100 minutos, onde executa diversas tarefas ao longo da sua vida útil. Enquanto a órbita é percorrida, as superfícies do CubeSat ficam expostas a diferentes níveis de radiação, que impactam diretamente a sua temperatura [2]. Para estimar a sua temperatura em órbita, é necessário resolver a equação da conservação da energia. Para regime transiente, propriedades isotrópicas e sem geração interna de energia, a equação é:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + S, \quad (1)$$

onde  $\rho$  é a densidade,  $c$  é o calor específico,  $T$  é a temperatura,  $t$  é o tempo,  $k$  é o coeficiente de condutividade térmica e  $S$  é o termo fonte.

A equação diferencial parcial acima é válida, inclusive, para determinar o campo de temperatura em geometrias tridimensionais. Para obter a sua solução, diferentes técnicas são empregadas, como por exemplo o Método das Diferenças Finitas (Finite Difference Method - FDM), Método dos Elementos Finitos (Finite Element Method - FEM), Método dos Volumes Finitos (Finite Volume Method - FVM), entre outros [3]. Neste trabalho, escolheu-se o FVM para obter a solução do problema, pois uma de suas vantagens é a natureza conservativa da solução integral.

No FVM, a Equação (1) é integrada sobre volumes de controle e tempos discretizados, ou seja, o domínio do problema é discretizado em um número finito de Volumes de Controle (VC) adjacentes entre si, sendo a equação de conservação resolvida em diferentes instantes de tempo, o que resulta em um conjunto de soluções que compõe o campo tridimensional transiente de temperatura do CubeSat. Utilizando o teorema da divergência de Gauss, um domínio discretizado em volumes hexaédricos, considerando um método totalmente implícito, o método dos volumes finitos resulta em:

$$a_P T_P = \sum_{nb} a_{nb} T_{nb} + a_P^o T_P^o + S_u \quad (2)$$

onde os coeficientes  $a$  são os termos do fluxo difusivo,  $P$  refere-se ao nó de um volume finito cercado por seus nós vizinhos ( $nb$  - *neighborhood*), o sobrescrito "o" (*old*) refere-se a um nível de tempo anterior e  $S_u$  é o coeficiente do termo fonte linearizado [3]. Uma das possibilidades para resolver este sistema é o método iterativo TDMA (Tridiagonal Matrix Algorithm).

Para um CubeSat em órbita, as condições de contorno do problema térmico incluem os fluxos de radiação incidentes sobre o satélite (fluxo solar, fluxo de albedo e fluxo da terra no infravermelho),

<sup>1</sup>edemar.filho@unesp.br

<sup>2</sup>gabriel.k.rubio@unesp.br

<sup>3</sup>leonardo.alvarenga@unesp.br

<sup>4</sup>laio.seman@pucpr.br

assim como a sua própria emissão para o ambiente [2]. Considerando um caso onde tem-se um CubeSat em uma órbita circular de 500 km, com uma das faces sempre voltada para o centro da terra, o campo de temperatura em diferentes partes do CubeSat está ilustrado na Figura 1, para a condição de máximo gradiente de temperatura alcançada nesta órbita. O expressivo gradiente decorre das propriedades materiais escolhidas, assim como pela ausência de troca de calor por convecção no espaço, pois considerar que em órbita há um vácuo perfeito é uma boa aproximação.

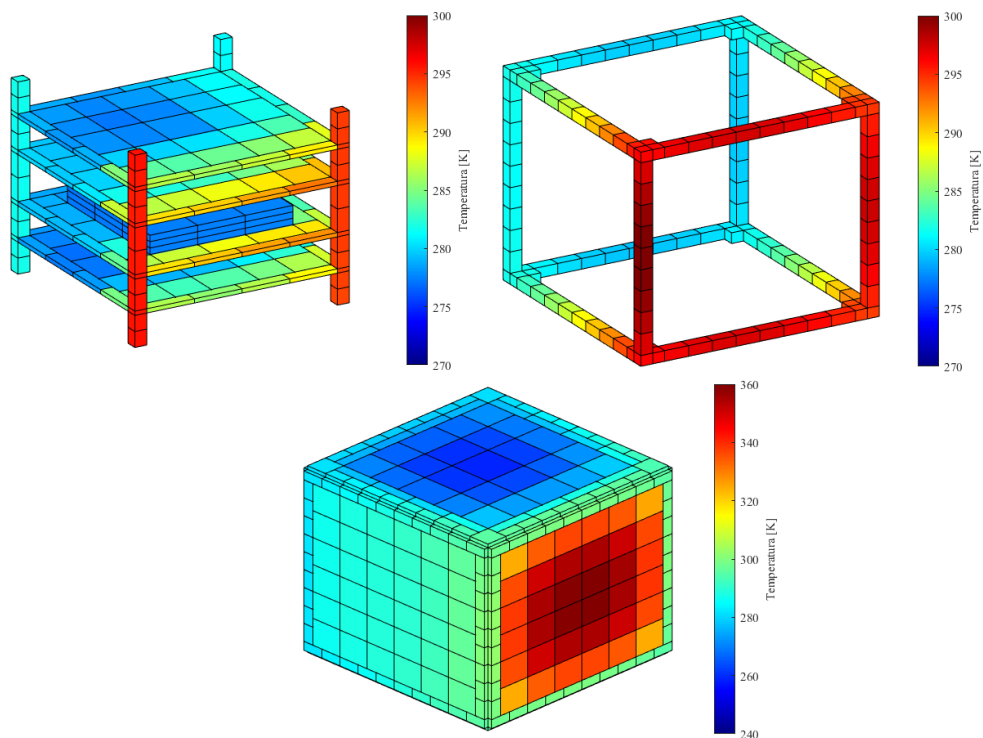


Figura 1: Campo de temperatura para o instante  $t=1720$  s.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) sob os números 308361/2022-9 e 404576/2021-4, bem como da FAPESC (Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina) sob o número 2021TR001851.

## Referências

- [1] Alexander Chin, Roland Coelho, Ryan Nugent, Riki Munakata e Jordi Puig-Suari. “CubeSat: the pico-satellite standard for research and education”. Em: **AIAA Space 2008 Conference & Exposition**. 2008. DOI: 10.2514/6.2008-7734.
- [2] E. Morsch Filho. “Coupled Irradiance - Thermal 3D Numerical Framework for Simulation of CubeSats”. Tese de doutorado. POSMEC/UFSC, 2021.
- [3] Clovis Maliska. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. Abr. de 2004, p. 874. ISBN: 978852161396.