



IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica  
IV EnICT  
ISSN: 2526-6772  
IFSP – Câmpus Araraquara  
24 e 25 de outubro de 2019



## DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AMBIENTAL PARA UMA PLATAFORMA EMBARCADA DE AVIÔNICAS PARA COLETA DE DADOS ATMOSFÉRICOS

GUILHERME HENRIQUE SACRAMONI NOGUEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Tecnologia em Manutenção de Aeronaves, Bolsista PIBIFSP, IFSP Campus São Carlos, guilherme.sacramoni@aluno.ifsp.edu.br.

**Área de conhecimento** (Tabela CNPq): Transferência de Calor; Processos Térmicos e Termodinâmicos – 1.05.02.04-1

**RESUMO:** O sistema de controle ambiental, em inglês *Environmental Control System* (ECS), consiste em um sistema dedicado ao manutenção das condições ambientais para o adequado funcionamento dos componentes eletroeletrônicos em aplicações aeroespaciais. Este deve ser capaz de detectar a temperatura atual do conjunto e mantê-lo a uma adequada. Tratando-se da alta atmosfera terrestre, é imprescindível que qualquer elemento eletrônico seja protegido das baixas temperaturas a fim de funcionarem de forma previsível e confiável. Este é um estudo preliminar para o desenvolvimento de um simples Sistema de Controle Ambiental para implementação em uma plataforma embarcada de aviônicas equipada em um balão de alta altitude para uma missão de até 40 km acima da superfície. Consiste no efetivo cálculo da potência mínima que um aquecedor deve desenvolver nas condições extremas de temperatura para manter os elementos eletrônicos em condição isoterma.

**PALAVRAS-CHAVE:** ECS; estratosfera; HAB; termodinâmica; tropopausa; VANT.

### INTRODUÇÃO

Um sistema embarcado de aviônicas deve ser capaz de operar sob as mais diversas condições externas. Tal sistema deve funcionar corretamente perante circunstâncias adversas de umidade, pressão e, sobretudo, temperatura. Elementos eletrônicos apresentam um conjunto único de desafios quando utilizados em condições extremas visto que sofrem severamente com as baixas temperaturas características das regiões mais altas da atmosfera terrestre. Componentes de montagem superficial (SMD) são os mais frágeis nesta condição pois a diferença de coeficiente de dilatação componente-placa cria uma tensão que pode romper pontos de solda. Além disso, as baterias, no geral, perdem muito de sua eficiência e capacidade em consequência do aumento da resistência interna. Outro transtorno é a condensação e solidificação da umidade presente no sistema fechado, afetando a precisão dos sensores, gerando curtos-circuitos e, a longo prazo, problemas de corrosão.

Utilizando-se de relações matemáticas empíricas e teóricas, pode-se determinar as condições mínimas que o elemento aquecedor deve desenvolver como, principalmente, potência. Este tipo de dimensionamento é difícil pois são necessárias dispendiosas simplificações das condições atmosféricas e fenômenos físicos, aliado a dados teóricos que não necessariamente representam a realidade; porém é essencial pois permite um desenvolvimento mais assertivo do sistema.

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Componentes *Commercial off-the-shelf* (COTS) são componentes que têm por característica serem acessíveis ao público geral, isto é, que não sejam personalizados específicos ou de alto custo. Boa parte dos componentes COTS não são desenvolvidos diretamente para aplicações aeroespaciais e, portanto, possuem temperatura mínima de operação a partir de -40 °C, sendo necessário adaptar o sistema para comportar estes requisitos.

Segundo VANEK (2009), a autonomia e previsibilidade são os principais atributos da aviônica, habilitados por meio de redundância e confiabilidade dentro da arquitetura escolhida. Dessa forma, opta-se por utilizar um sistema elétrico que aqueça através do Efeito Joule, pois permite alta adaptabilidade a qualquer situação adversa quando aliado a sensores digitais e softwares de controle, possibilitando até mesmo a criação de protocolos emergenciais para situações não previstas, fazendo com que a missão seja completada sem danos aos equipamentos ou perda de dados coletados.

Constata-se, portanto, que entre os aspectos mais importantes de um sistema embarcado estão a confiabilidade, a eficiência e o custo. A fim de unir todas essas características utilizando componentes COTS, estudos preliminares são essenciais para o desenvolvimento assertivo e com o mínimo desperdício de recursos. O dimensionamento da potência despendida pelo elemento aquecedor permite, portanto, o de outros elementos essenciais como consumo bateria e isolamento térmico.

## METODOLOGIA

A fim de generalizar o dimensionamento para diversas condições atmosféricas, utiliza-se do modelo hipotético ISA — *International Standard Atmosphere* ou Atmosfera Padrão Internacional, em tradução livre — proposto pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) no documento 7488, uma vez que a atmosfera real é inconstante. Com objetivo de calcular a potência máxima a ser desenvolvida pelo dispositivo aquecedor, considera-se o caso onde haverá maior diferencial de temperatura entre a parte interna e externa do compartimento; isto é, na tropopausa — camada superior da troposfera — onde a temperatura varia entre -55 e -60 °C.

Assume-se algumas hipóteses: Primeiramente, diz-se que a cápsula que conterà os componentes terá formato paralelepipedal com dimensões internas de 100x50x30mm e paredes planas em regime permanente de espessura de 15mm; como material, propõe-se o uso do poliestireno expandido EPS 040 DAD, segundo padrões da norma alemã DIN EN 13163. Diz-se que o sistema manterá a temperatura interna em 10 °C e que o calor flui de forma unidimensional pelas paredes por condução e para a atmosfera por convecção livre. Destarte, para a condução através das paredes sólidas o cálculo é feito através da Lei de Fourier (1) e para a convecção livre da camada de ar através da Lei do Resfriamento de Newton (2).

$$q_k = Ak_p \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

onde,

$A$  – Área da seção (m<sup>2</sup>)

$k_p$  – Condutividade térmica do material da parede (W/m·K)

$\Delta T$  – Diferença de Temperatura entre os dois lados da parede (K)

$L$  – Espessura da parede (m)

$$q_c = hA\Delta T \quad (2)$$

onde,

$h$  – Coeficiente médio de transmissão de calor por convecção do fluido (W/m<sup>2</sup>·K)

$A$  – Área de transmissão de calor (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  – Diferença de Temperatura entre os dois lados da parede (K)

Apesar da simplicidade desta última, o coeficiente médio de transmissão de calor por convecção ( $h$ ) do ar é uma função melindrosa que considera as condições de movimento e propriedades intrínsecas do fluido. Portanto, pode-se calculá-lo em função dos números de Nusselt ( $Nu$ ), Grashof ( $Gr$ ) e Prandtl ( $Pr$ ) (3). A condutividade térmica do ar ( $k_a$ ) em dada condição de temperatura e pressão é fundamentada através da teoria cinética dos gases, pela qual obtêm-se a equação geral descrita (4).

$$N_u = a(G_r P_r)^b \frac{hD}{k_a} = a \left( \frac{D^3 \delta g \Delta T}{\mu^2} \frac{c_p \mu}{k_a} \right)^b \quad (3)$$

onde,

$D$  – Dimensão característica que domina o fenômeno (m)

$k_a$  – Condutividade térmica do ar (W/m·K)

$\delta$  – Coeficiente de expansão volumétrica (1/ K)

$g$  – Aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta T$  – Diferença de Temperatura entre a superfície e o fluido (K)

$c_p$  – Calor Específico para pressão constante [kJ/kg \* K]

$\mu$  – Viscosidade dinâmica do fluido

$$K_a = \left( \frac{9 c_p}{4 c_v} - \frac{5}{4} \right) \left( \frac{c_v}{\pi d^2} \right) \left( \sqrt{\frac{M k_b T}{N_a \pi}} \right) \quad (4)$$

onde,

$c_v$  – Calor Específico para volume constante (kJ/kg \* K)

$d$  – Diâmetro molecular médio (nm)

$M$  – Peso molecular (kg/Mol)

$k_b$  – Constante de Boltzmann (J/K)

$N_a$  – Número de Avogadro

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como dita a norma técnica europeia, a Condutividade Térmica do poliestireno foi considerada como  $k_p = 0,040$  W/m·K. As constantes “a” e “b” presentes na equação 3 são coeficientes empíricos tabelados a depender apenas do regime do fluxo, da posição relativa da parede e do produto de Gr e Pr. Devido às pequenas dimensões da cápsula e baixa velocidade vertical típica de balões de alta altitude, considera-se para todos os efeitos o fluxo laminar e, portanto, os valores explicitados na tabela 1. O coeficiente de expansão volumétrica  $\delta$  é calculada aproximando o ar a um gás ideal e, portanto, utilizando a relação  $\delta = 1/T$ . Os valores para as propriedades do ar atmosférico utilizados no dimensionamento são demonstrados na tabela 2.

**TABELA 1. Coeficientes para cálculo do coeficiente médio de transmissão de calor por convecção.**

Fonte: IBARZ et al., 2014.

Posição relativa	Gr.Pr	a	b
Vertical	$10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9$	0.55	¼
Horizontal	$10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$	0.54	¼

**TABELA 2. Propriedades termológicas ideais do ar atmosférico para T = 218,15 K.**

Fonte: KLEIN et al., 2012; BERGMAN et al., 2011.

Grandeza	Valor
Calor Específico isóbarico (Cp)	1
Calor Específico isocórico (Cv)	0,72
Viscosidade dinâmica ( $\mu$ )	0
Coeficiente de expansão ( $\delta$ )	0
Diâmetro molecular médio (d)	0,37
Peso molecular (M)	0,03

Por conseguinte, calcula-se os valores de  $q_k$  e  $q_c$  para cada uma das seis placas, utilizando o comprimento de cada como respectiva dimensão característica D. Por condução, o sistema perderá apenas 3.3 J/s; por convecção livre, em contrapartida, este valor aumenta substancialmente para 8.23 J/s. Dessa forma, constata-se que, a fim de manter a temperatura constante dentro da cápsula para as situações climáticas extremas, será necessário que o aquecedor desenvolva uma potência de, pelo menos, 11.53 Watts.

## CONCLUSÕES

Os dados coletados permitem concluir que o ECS neste caso é perfeitamente viável, visto que a potência mínima necessária é baixa, sendo ideal para uma aplicação que depende diretamente da eficiência energética para ser bem-sucedida. Outro fato interessante é que a troca de calor por convecção livre é substancialmente maior que a por condução, representando 71% da potência despendida pelo aquecedor. Deve-se levar isto em consideração no futuro para diminuí-la.

É importante ressaltar que estes valores são puramente teóricos e, portanto, é fundamental ter cautela ao usá-los, sendo necessário aliar experimentos empíricos para determinar efetivamente como o sistema deve ser projetado. Além disso, não se considerou a troca com os componentes eletrônicos dentro da cápsula e o calor que estes produzem naturalmente durante seu funcionamento. Logo, mais estudos são necessários antes de verdadeiramente projetar os demais elementos do ECS

## REFERÊNCIAS

BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S.; INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. ed. Estados Unidos da América: John Wiley & Sons, 2011. 1072 p.

EMERY CUNHA QUITES, Eduardo; BASTOS LIA, Luiz Renato. **Introdução à transferência de calor**. São Paulo: [s. n.], 2005.

IBARZ, Albert; BARBOSA-CANOVAS, Gustavo V. **Introduction to Food Process Engineering**. Estados Unidos da América: CRC Press, 2014. 722 p.

INDUSTRIEVERBAND HARTSCHAUM E.V. **Physikalische Eigenschaften von EPS-Hartschaum (Styropor®) nach DIN EN 13163 und BFA-Qualitätsrichtlinien**. [S. l.], 2010. Disponível em: <http://www.ivh.de/datei-ction.do;jsessionid=F2623CB509C4145845FAD86E3E78E226?idr=&ido=&tdo=>. Acesso em: 2 jul. 2019.

KLEIN, Sanford; NELLIS, Gregory. **Thermodynamics**. Nova York: Cambridge University Press, 2012. 1102 p.

VANEK, Bálint. Future trends in UAS avionics. In: **Proc. 10th Int. Symp. of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics**, Budapest, Hungary. 2009.