



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

TECNOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS DE OSR PARA RADIADORES DE SATÉLITES

Kimberly Campbell Hofacher Andrade

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIT, orientado pelo Tecnologista
Dr. Rafael Lopes Costa e Coorientado pelo Dr.
Valeri Vlassov.

INPE
São José dos Campos
2023



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

TECNOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS DE OSR PARA RADIADORES DE SATÉLITES

Kimberly Campbell Hofacher Andrade

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIT, orientado pelo Tecnologista
Dr. Rafael Lopes Costa e Coorientado pelo Dr.
Valeri Vlassov.

INPE
São José dos Campos
2023

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a meu pai Isaías, minha mãe Ednea e meu namorado Rafael A. por todo o apoio incondicional ao longo deste processo. Suas palavras de incentivo, paciência e orientação foram fundamentais para este relatório. Sou verdadeiramente grata por ter cada um de vocês ao meu lado.

Por fim, quero agradecer ao orientador Rafael L. por sua paciência e incentivo contínuos. Obrigada pelo comprometimento que você demonstrou ao revisar os rascunhos do relatório e fornecer feedback construtivo. Suas observações detalhadas e críticas fundamentadas ajudaram-me a aprimorar a clareza, a organização e a coerência do documento final. Mais uma vez, muito obrigado por sua orientação exemplar, dedicação e apoio.

RESUMO

O controle térmico de satélites é realizado primariamente através de revestimentos superficiais selecionados para regular as trocas térmicas por radiação com o ambiente espacial, sendo a principal aplicação no dispositivo chamado Radiador Espacial. Radiadores de alto desempenho são normalmente constituídos por Refletor Solar Ótico (OSR), sendo uma espécie de espelho composto por uma pastilha de material transparente à luz solar (sílica fundida ou boro silicato) com depósito metálico reflexivo multicamadas em uma das faces. Essas pastilhas são instaladas em forma de mosaico formando o Radiador. Esse tipo de revestimento tem desempenho superior a concorrentes como tinta branca, filmes de teflon metalizado e anodização, com estabilidade no ambiente espacial e baixa degradação, permitindo seu uso em missões de longa duração. Existe um experimento embarcado no CBERS 04A desde 2019, desenvolvido pelo grupo de controle térmico de satélites da Engenharia e Tecnologia Espacial (DIMEC/CGCE), possui duas amostras de OSR fabricadas com tecnologias distintas, uma desenvolvida na Divisão Mecânica Espacial e Controle e a outra na Coordenação de Laboratórios Associados, permitindo um estudo comparativo e a perspectiva de se ter duas tecnologias qualificadas para aplicação espacial. Deve-se aprimorar a metodologia de análise dos dados de voo para avaliação do desempenho e estabilidade à degradação comparativa das amostras durante os 5 anos de missão do CBERS 04A. Ainda, deve-se manter a capacidade de produção das células de OSR no instituto, além de desenvolver uma pesquisa em busca de materiais alternativos ao RTV566 para colagem em superfícies de alumínio e tratamento superficial para tornar as superfícies externas eletricamente condutivas.

Palavras-chave: Engenharia Espacial, OSR, Radiadores, Satélites, Controle Térmico.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1. Ambiente térmico de um satélite.....	2
Figura 2 Relação de absorção solar e emitância.....	3
Figura 3 Troca térmica de um satélite em órbita (troca externa).....	3
Figura 4 Troca térmica de um satélite em órbita (troca interna).....	4
Figura 5 Equação do balanço térmico geral em um satélite.....	4
Figura 6 Esquema de balanço térmico geral em um satélite.	5
Figura 7 Comparação dos revestimentos típicos em radiadores espaciais.....	5
Figura 8 Evaporadora de filmes finos auto 306.	7
Figura 9 Evaporadora de filmes finos auto 306 (interior)	7

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo Geral.....	2
1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2.0 CONTROLE TÉRMICO DE SATELITES.....	2
1.2.1 Ambiente térmico sobre um satélite.....	4
1.2.2 Radiadores de satélite.....	5
1.2.3 OSR (<i>Optical Solar Reflector</i>)	6
1.3.1Desenvolvimento de células de osr.....	6
1.3.2Evaporadora de Filmes Finos	7
3.0 DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS OSR.....	7
3.1 Evaporadora de filmes finos.....	7
2. METODOLOGIA.....	8
3.CONCLUSÃO.....	9

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta todo o trabalho realizado no período de JUN/23 até AGO/23 a respeito do desenvolvimento de células OSR's (OSR - *Optical Solar Reflector*) para radiadores de satélite, incluindo assim todo o estudo feito para o este.

1.1 .1. Objetivo Geral

Manter a capacidade de produção das células de OSR no instituto, além de desenvolver uma pesquisa em busca de materiais alternativos ao RTV566 para colagem em superfícies de alumínio e tratamento superficial para tornar as superfícies externas eletricamente condutivas.

1.1.2. Objetivo Específico

Estudo e desenvolvimento de tecnologia de células de OSR para uso em radiadores de satélites utilizando o equipamento de deposição de filmes finos localizado no Laboratório de Térmica da DIMEC, mantendo a capacidade operacional do mesmo e permitindo a produção e colagem de células de OSR dentro do INPE para que as atividades do Projeto “OSR - Refletor Solar Ótico”, uma vez que se trata do desenvolvimento de tecnologia inovadora no país na área de Controle Térmico de Satélites, que conta com um experimento tecnológico no satélite CBERS 04A.

1.2 CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES

Durante o período foi realizado um estudo bibliográfico sobre controle térmico de satélites para que houvesse uma melhor compreensão sobre como, o que realiza este controle e qual a sua importância.

Um satélite é dividido em subsistemas, sendo eles:

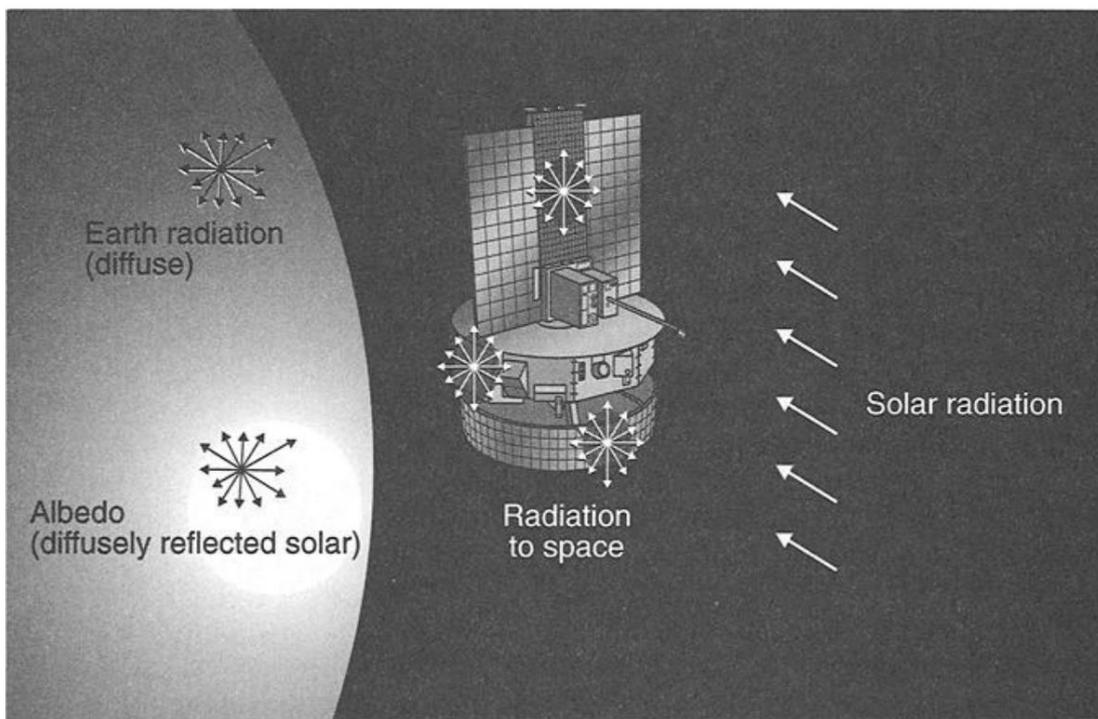
- Estruturas e Mecanismos
- Controle de Altitude
- Processamento de dados
- Comunicações (TT&C)
- Potência
- Navegação
- Propulsão
- Controle Térmico

Os objetivos do controle térmico é garantir que a temperatura dos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos do satélite permaneça dentro das faixas requeridas para os mesmos, além de garantir que os gradientes/transientes de temperatura nos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos do satélite permaneçam dentro das faixas requeridas para os mesmos.

Quando um satélite entra em órbita, ele fica sujeito a múltiplas influências térmicas. Essas influências podem ser categorizadas como cargas térmicas internas e externas. As cargas térmicas internas referem-se ao calor gerado pelos próprios equipamentos presentes no satélite. Já as cargas externas são:

- Solar
- Albedo
- Radiação da Terra
- Atrito de moléculas livres
- Partículas Carregadas

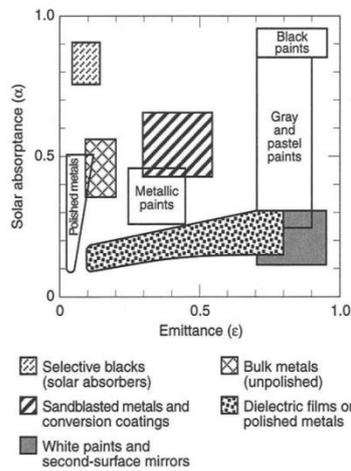
Figura 1.2.1 Ambiente térmico de um satélite



Fonte: Spacecraft Thermal Control Handbook, V.1: Fundamental Technologies.

A partir destas cargas que agem sobre um satélite se faz necessário que o mesmo tenha dispositivos próprios para que haja um controle sobre sua temperatura, sendo assim, um satélite necessita de revestimentos térmicos, que podem ser: tintas, anodização, fitas adesivas e as células OSRs (SSM- *second surface mirror*). A Figura 1.2.2 a seguir expressa a relação de absorção solar e emitância de cada material.

Figura 1.2.2 Relação de absorção solar e emitância



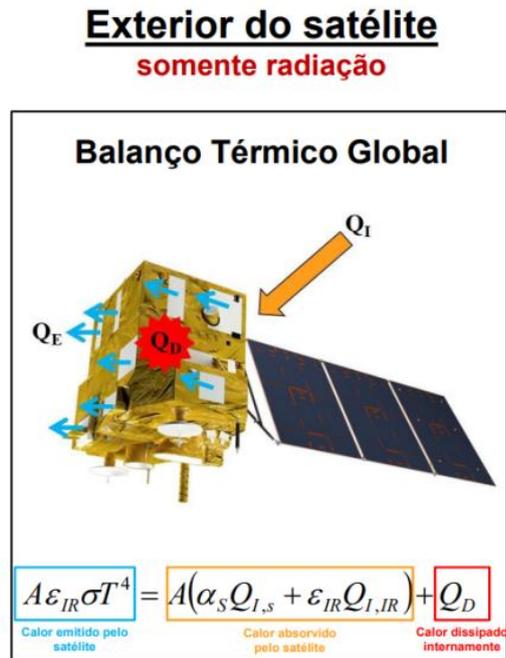
Fonte: Spacecraft Thermal Control Handbook, V.1: Fundamental Technologies.

1.2.1 Ambiente Térmico sobre um Satélite

Ao longo do desenvolvimento e da missão do satélite, ele é exposto sucessivamente a diversos ambientes térmicos distintos: laboratório, transporte, lançamento e, por último, órbita. Em cada uma dessas fases, é imperativo assegurar que todos os equipamentos e subsistemas permaneçam dentro das faixas de temperatura predefinidas. Esse cuidado é essencial para preservar o desempenho ótimo de todos os componentes.

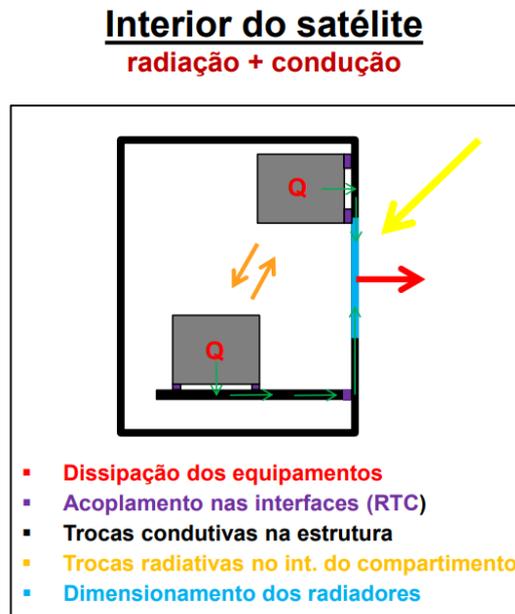
Durante a fase de órbita, o satélite está envolvido em trocas térmicas tanto com o ambiente externo quanto interno, como ilustrado nas Figuras 1.2.3 e 1.2.4.

Figura 1.2.3. Troca térmica de um satélite em órbita (troca externa)



Fonte: Ambiente térmico sobre um satélite, Dr. Rafael L. Costa, 2022

Figura 1.2.4. Troca térmica de um satélite em órbita (troca interna)



Fonte: Ambiente térmico sobre um satélite, Dr. Rafael L. Costa, 2022.

1.2.2 Radiadores de Satélites

Um dos equipamentos essenciais para o controle térmico de um satélite é seu radiador, sua função é rejeitar o excesso de calor do satélite para o espaço, ele reflete a radiação térmica incidente que age sobre um satélite quando está em órbita.

O radiador espacial por sua vez realiza o balanço térmico geral conforme a Figura 1.2.6 e a equação mostrada na Figura 1.2.5.

Figura 1.2.5. Equação do balanço térmico geral em um satélite.

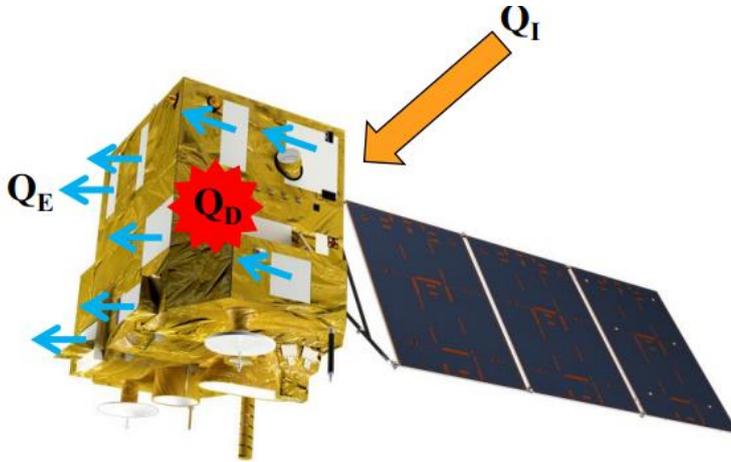
$$A \varepsilon_{eff_IR} \sigma T^4 = A (\alpha_{eff_S} Q_{I,S} + \alpha_{eff_IR} Q_{I,IR}) + Q_D$$

Calor emitido pelo satélite Calor absorvido pelo satélite Calor dissipado internamente

Na troca de calor no espectro Infra-vermelho (IR) $\alpha = \varepsilon$.

Fonte: Radiadores espaciais, Dr. Fabiano L. de Sousa.

Figura 1.2.6. Esquema de balanço térmico geral em um satélite.



Fonte: Radiadores espaciais, Dr. Fabiano L de Sousa.

Os revestimentos típicos em radiadores espaciais devem seguir a razão de baixa reflexão dado por α_s ($<0,2$) e um alto poder de emissão dado por ε_{IR} ($>0,8$), ou seja, a razão entre $\alpha_s / \varepsilon_{IR}$ deve ser baixa. É possível avaliar a maior eficácia dos OSRs

através da comparação dos resultados razão α_S / ϵ_{IR} com outros revestimentos, na Figura 1.2.7.

Figura 1.2.7. Comparação dos revestimentos típicos em radiadores espaciais.

REVESTIMENTO	α_S (BOL)	ϵ_{IR}	α_S / ϵ_{IR}
OSR (Optical Solar Reflector)			
8 mil Quartz Mirror	0.05 ~ 0.08	0.80	\cong 0.06
5 mil Teflon + Al	0.10 ~ 0.16	0.78	\cong 0.13
Tinta Branca			
Z93	0.17 ~ 0.20	0.92	\cong 0.18
Chemglaze A276	0.22 ~ 0.28	0.88	\cong 0.25
Kapton Aluminizado			
1 mil	0.38	0.67	\cong 0.57
5 mil	0.46	0.86	\cong 0.53

Fonte: Radiadores espaciais, Dr. Fabiano L. de Sousa.

1.2.3 OSR (*Optical Solar Reflector*)

O controle térmico de satélites é realizado primariamente através de revestimentos superficiais que regulam as trocas térmicas por radiação com o ambiente espacial – os chamados radiadores.

Radiadores de alto desempenho são normalmente constituídos por Refletor Solar Ótico (OSR - *Optical Solar Reflector*). O OSR é um espelho composto por uma pastilha de material transparente à luz solar (sílica fundida ou boro silicato) com depósito metálico multicamadas em uma das faces.

Essas pastilhas são coladas em forma de mosaico sobre áreas externas do satélite para maximizar a emissão de calor para o espaço e ao mesmo tempo reduzir a absorção da forte radiação solar incidente. Esse tipo de revestimento tem desempenho superior a concorrentes como tinta branca, filmes de teflon metalizado e anodização, com estabilidade no ambiente espacial e baixa degradação, permitindo seu uso em missões de longa duração e em satélites geostacionários.

Existe um experimento embarcado no CBERS 04A, desenvolvido pelo grupo de controle térmico de satélites da Engenharia e Tecnologia Espacial (DIMEC/CGCE), possui duas amostras de OSR fabricadas com tecnologias distintas, uma desenvolvida na Divisão Mecânica Espacial e Controle e a outra na Coordenação de Laboratórios Associados, permitindo um estudo comparativo e a perspectiva de se ter duas tecnologias qualificadas para aplicação espacial.

1.3. DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS DE OSR

Foi conduzido um estudo e revisão no procedimento de fabricação das células OSR previamente realizado no INPE a fim de se familiarizar com o a preparação do substrato e operação do equipamento utilizado.

1.3.1 Evaporadora de Filmes Finos

Para produzir células OSRs é necessário manusear uma evaporadora de filmes finos a vácuo (Figura 1.3.8 e 1.3.9), da qual evapora o material dentro de um cadinho que é depositado na parte superior da máquina formando um filme fino para produzir então as células OSRs.

A evaporadora utilizada encontra se no Laboratório de Controle Térmico de Satélites na DIMEC/INPE, sendo esta uma Edwards Auto 306 Lab Coater (HHV), possui um vaso de pressão com uma bomba rotativa mecânica, e uma bomba criogênica para alto vácuo, com duas fontes de evaporação, filamento de tungstênio e feixe de elétrons (*Electron Beam*). Ainda, possui um dispositivo rotativo de cadinhos para a deposição de até 4 diferentes materiais sem a necessidade de quebrar o vácuo com a abertura da câmara.

Figura 1.3.8. Evaporadora de filmes finos auto 306.



Fonte: O autor.

Figura 1.3.9. Evaporadora de filmes finos auto 306 (interior).



Fonte: O autor

1.3.2 Processo de deposição

Como meio de compreensão, segue uma breve explicação dos processos de fabricação da amostra OSR. Ambos utilizam técnicas de PVD que diferem em princípio: as amostras OSR 1 e 2 foram preparadas por meio de feixe de elétrons e *sputtering* de íons, respectivamente.

No caso da primeira amostra, OSR1, o processo de fabricação envolveu o posicionamento do substrato de vidro de cobertura sobre uma base redonda de alumínio no topo de uma câmara de alto vácuo, conforme demonstrado na Figura 1.3.10. Os materiais utilizados na composição dos filmes finos foram colocados dentro de cadinhos resfriados com água, que estão alojados na estrutura em forma de caixa na parte inferior da câmara. Como ilustrado na Figura 1.3.10, um feixe de elétrons controlado, foi direcionado para os cadinhos, causando a fusão dos materiais e a produção de pequenas gotículas carregadas negativamente que se dispersam de maneira esférica dentro da câmara. O equipamento empregado para a deposição por feixe de elétrons é apresentado na Figura 1.3.10.

Figura 1.3.10. *Electron Beam Vacuum Chamber.*



Fonte: Rafael S. Roque, 2022.

2.METODOLOGIA

Estudo sobre dispositivos de controle térmico de satélites, familiarização com equipamento de deposição de filmes finos e processos de preparação de substratos de borosilicato, operação do equipamento com sistema de vácuo para desenvolvimentos de células de OSR.

A partir da metodologia utilizada o cronograma de atividades ficou como na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Cronograma de atividades

Período	Atividades realizadas
06/2023 a 07/2023	Revisão bibliográfica nas sobre controle térmico de satélites e seus dispositivos, especialmente radiadores com <i>second 10urfasse mirror</i> (SSM).
07/2023 a 08/2023	Familiarização para utilização do equipamento de deposição de filmes finos para desenvolvimento de células de OSR, assim como desenvolvimento de processos para preparação de substratos.
08//2023	Elaboração de um relatório de atividades da bolsa PIBITI

Fonte: O autor.

3.CONCLUSÃO

Conforme as atividades estabelecidas ao período de JUN/2023 até AGO/2023 foram concluídos os seguintes tópicos:

- Experiência do bolsista com tecnologias e dispositivos de controle térmico.
- Colaborar com o desenvolvimento tecnológico da DIMEC Divisão de Mecânica Espacial e Controle da CGCE/INPE.
- Colaborar com os demais estudantes, pesquisadores e tecnologistas presentes no INPE.
- Produzir materiais que auxiliem na continuidade do projeto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOATO, MARCOS GALANTE ; Garcia, E. C ; SANTOS, Marcio Bueno dos ; BELOTO, A. F . **Assembly and Testing of a Thermal Control Component Developed in Brazil. JOURNAL OF AEROSPACE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT (ONLINE)** , v. 9, p. 249-256, 2017.

ROQUE, Rafael dos Santos. R685o **Optical solar reflector degradation: modelling, testing and orbital data evaluation** / Rafael dos Santos Roque. – São José dos Campos : INPE, 2022. 30-206 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/02.23.02.14-TDI)

GILMORE, David G. **Spacecraft Thermal Control Handbook Volume I: Fundamental Technologies**, 2ª Edição. Califórnia: The Aerospace Corporation, 2002

SOUSA, Fabiano L. de Sousa. **Radiadores Espaciais**, T05, CMC-409-4. São José dos Campos: INPE, 2022.

COSTA. Rafael Lopes. **Sistemas de Controle Térmico de Veículos Espaciais**, CMC-409-4. São José dos Campos: INPE, 2022.