1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3752-RPI/149		*Janeiro 1986*	☒ Interna ☐ Externa ☐ Restrita

4. Origem	Programa
DMC/DEC	*ESTER*

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)
PROJETO TÉRMICO SATÉLITE
COMPORTAMENTO TÉRMICO SATÉLITE
ESTUDO TÉRMICO SATÉLITE

7. C.D.U.: *629.7.048.7*

8. Título *INPE-3752-RPI/149*

ESTUDO PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO SATÉLITE COLETA DE DADOS

10. Páginas: *18*

11. Última página: *11*

12. Revisada por

Humberto Pontes Cardoso

9. Autoria *Issamu Muraoka*
Olavo Bueno de Oliveira Filho
Isabel Maria de Moraes

Assinatura responsável

13. Autorizada por

Marco Antonio Raupp
Diretor Geral

14. Resumo/Notas

Este trabalho descreve a análise térmica preliminar do primeiro satélite brasileiro. Apresentam-se as características do satélite e o seu modelamento matemático com as suposições e simplificações adotadas. No final mostram-se as faixas de temperatura calculadas nas várias partes do satélite durante uma órbita.

15. Observações

ABSTRACT

This work describes the preliminary thermal analysis of the first Brazilian satellite. The characteristics of the satellite and its mathematical model with the assumptions and simplifications adopted are presented. At the end, the calculated temperature ranges in the several parts of the satellite during one orbit are shown.

SUMÁRIO

Pág.

1 - INTRODUÇÃO 1

2 - ARRANJO FÍSICO DO SATÉLITE 1

3 - PROPRIEDADES TERMOÓTICAS DAS SUPERFÍCIES E RESISTÊNCIA TÉRMICA POR CONDUÇÃO 5

4 - ÓRBITA E ATITUDE DO SATÉLITE 7

5 - MODO DE OPERAÇÃO 8

6 - MODELAMENTO DE OPERAÇÃO 8

7 - RESULTADOS 8

8 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES 10

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 - Disposição dos equipamentos no interior do cilindro central 2

2 - Disposição dos equipamentos sobre o painel porta-equipamento central 2

3 - Disposição dos equipamentos sobre o painel geocêntrico 3

1. INTRODUÇÃO

No projeto térmico de um satélite é necessário fazer uma análise teórica para prever as temperaturas nas suas diversas partes, durante sua vida útil no espaço.

Muitos fatores influenciam no comportamento térmico de uma satélite na órbita terrestre. Estes fatores devem ser modelados matematicamente, e através de uma simulação computacional determinam-se os níveis de temperatura a que ficarão expostos os diversos componentes do satélite.

Este relatório é um registro do modelamento térmico preliminar do satélite S1. Apresentam-se as características geométricas e óticas, a órbita e atitude, e o modo como foram modelados os diversos fenômenos influentes no sistema.

No final, mostram-se as faixas de temperatura a que estão sujeitos os diversos componentes do satélite para as órbitas de mínima e máxima insolação.

2. ARRANJO FÍSICO DO SATÉLITE

O satélite analisado neste trabalho sofreu algumas simplificações na sua geometria devido à dificuldade de considerar todos os detalhes de configuração, que nesta fase do projeto não são importantes e também não comprometem os resultados da análise.

Foram desprezados o mastro estabilizador, as antenas e os sensores, que serão analisados separadamente numa fase posterior do projeto.

A configuração simplificada do satélite S1 está apresentada nas Figuras 1, 2 e 3 e descrita na Tabela 1.

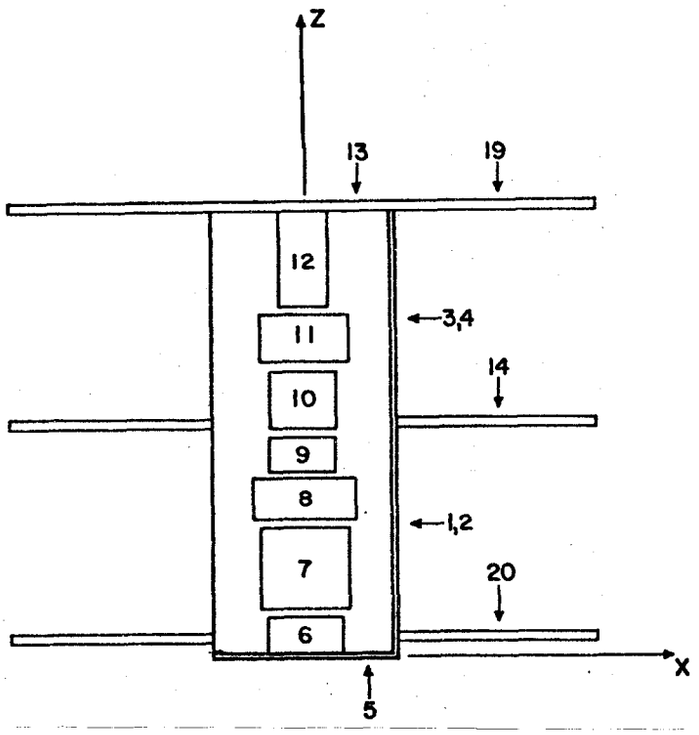

Fig. 1 - Disposição dos equipamentos no interior do clilindro central.

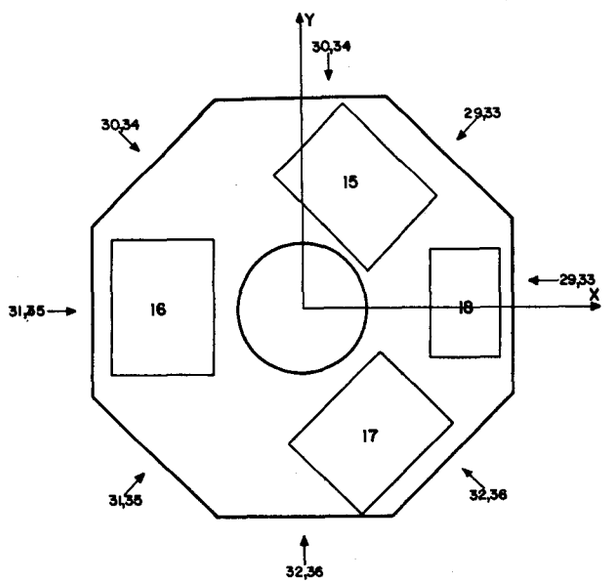

Fig. 2 - Disposição dos equipamentos sobre o painel porta-equipamento central.

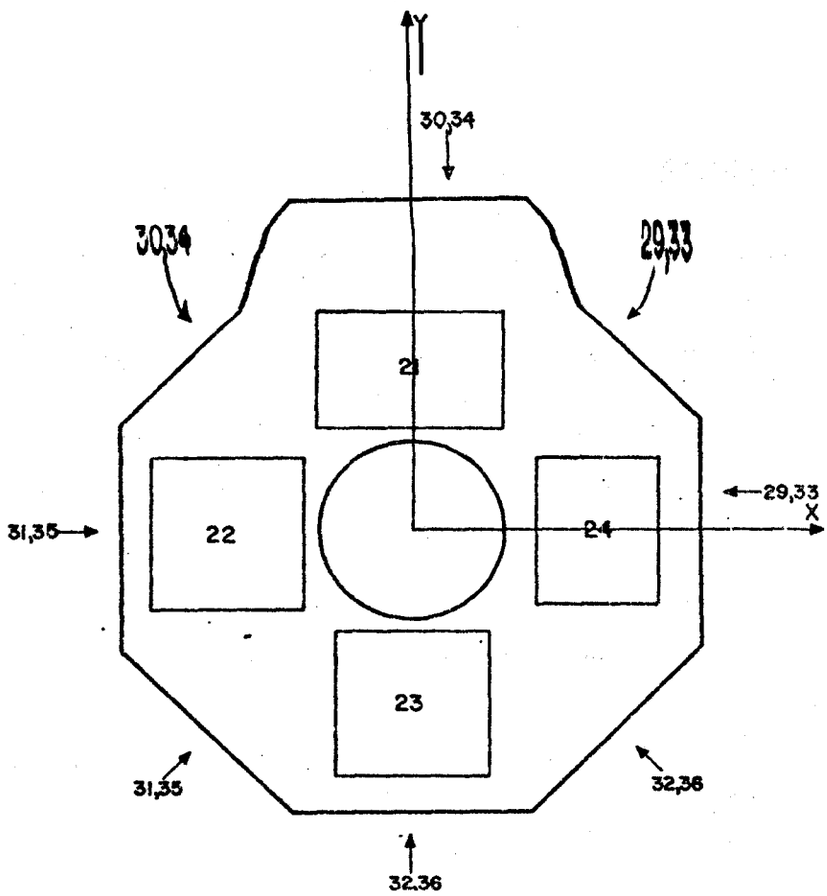

Fig. 3 - Disposição dos equipamentos sobre o painel geocêntrico.

Para conveniência da análise térmica, o cilindro central está dividido em quatro partes, com numeração de 1 a 4. A divisão foi feita em dois planos: a primeira no plano x-y na altura do painel porta-equipamento central; a segunda no plano x-z. Desta forma as quatro partes são:

nº 1: inferior com face externa voltada para y+;

nº 2: inferior com face externa voltada para y-;

nº 3: superior com face externa voltada para y+;

nº 4: superior com face externa voltada para y-.

TABELA 1

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SATÉLITE

Nº	COMPONENTE	MASSA (kg)	FAIXA DE OPERAÇÃO (°C)	POTÊNCIA DISSIPADA (W)	
				OPERAÇÃO	VIGÍLIA
1 a 4	Cilindro central	0,9	-	-	-
5	Tampa inferior do cilindro	0,6	-	-	-
6	"Shunt"	2,5	0 a 50	14,0	-
7	Bateria	7,5	0 a 20	1,0	3,3
8	Conversor DC/DC	4,5	0 a 50	14,0	6,0
9	Elemento condic. de potência	1,5	0 a 50	1,0	0
10	Magnetômetro	1	5 a 45	0	0
11	Conversor do mastro	0,75		0	0
12	Desenrolador de mastro	1	-20 a 60	0	0
13	Tampa superior do cilindro	0,13	-	-	-
14	Painel porta-equipamento central	1,4	-	-	-
15	UPC/D	6	0 a 40	2,5	0
16	UPD/C	6	0 a 40	5,0	3,6
17	UPD	6	0 a 40	4,7	1,5
18	Eletrônica de sensores	0,5	-20 a 60	0	0
19	Painel antigeocêntrico	1,4	-	-	-
20	Painel geocêntrico	1,4	-	-	-
21	Codificador/decodificador	3	0 a 40	1,7	1,7
22	Transponder	6	0 a 40	12,8	6,5
23	Transmissor	4	0 a 40	8,0	1,3
24	Receptor	6	0 a 40	4,0	0,7
29 a 36	Painéis solares	0,3	-50 a 70	-	-

Os oito painéis solares laterais estão divididos em oito partes. De maneira análoga ao cilindro central, os painéis solares estão divididos em inferior e superior, sendo a linha divisória o plano do painel porta-equipamento central. Desta forma as partes são:

nº 29: secção inferior do painel com face externa no sentido x+ e de seu adjacente na direção y+;

nº 30: secção inferior do painel com face externa no sentido y+ e de seu adjacente na direção x-;

nº 31: secção inferior do painel com face externa no sentido x- e de seu adjacente na direção y-;

nº 32: secção inferior do painel com face externa no sentido y- e de seu adjacente na direção x+;

nº 33: secção superior do painel com face externa no sentido x+ e de seu adjacente na direção y+;

nº 34: secção superior do painel com face externa no sentido y+ e de seu adjacente na direção x-;

nº 35: secção superior do painel com face externa no sentido x- e de seu adjacente na direção y-;

nº 36: secção superior do painel com face externa no sentido y- e de seu adjacente na direção x+.

3 - PROPRIEDADES TERMOÓTICAS DAS SUPERFÍCIES E RESISTÊNCIA TÉRMICA POR CONDUÇÃO

O revestimento das superfícies que não são recobertas por células solares foi escolhido de maneira a fornecer propriedade ótica identica às células solares do projeto. As propriedades termoóticas destes revestimentos estão na Tabela 2.

TABELA 2

PROPRIEDADES TERMOÓTICAS DOS REVESTIMENTOS

SUPERFÍCIE	EMISSIVIDADE ε	ABSORTIVIDADE α	REVESTIMENTO
Interna (todas)	0,90	-	Tinta negra
Painel geocêntrico (face externa)	0,20	0,43	Jateamento com areia ($\Delta\ell$ 2024)
Tampa inferior do cilindro central (face externa)	0,89	0,43	Tinta branca
Painel antigeocêntrico (face externa)	0,88	0,88	Células solares
Painéis laterais (face externa)	0,88	0,88	Células solares

Os equipamentos fixados sobre o painel porta-equipamento central estão conectados condutivamente à base, com resistência igual a $10^{o}C/W$.

Os equipamentos fixados sobre o painel geocêntrico estão isolados condutivamente da base.

O "shunt" e o desenrolador do mastro estão conectados condutivamente com os respectivos apoios estruturais com resistência igual a $0,05^{o}C/W$, e os componentes restantes, alocados no interior do cilindro, estão isolados entre si por condução.

O cálculo das resistências por condução entre duas partes quaisquer adjacentes que compõem a estrutura do satélite é feito considerando condução unidirecional, ou seja, através da equação:

$$R = \frac{\rho . L}{A} , \qquad (1)$$

onde:

R - resistência por condução,

ρ - resistência do material,

L - distância entre os centróides,

A - área média da secção transversal.

4 - ÓRBITA E ATITUDE DO SATÉLITE

O satélite analisado será lançado numa órbita circular com altitude entre 700 e 800 km, inclinação de 25^{o}, precessão aproximada de 6^{o} por dia e período de 99 minutos.

A estabilização é feita por gradiente de gravidade através de um mastro estabilizador, de maneira que o eixo do satélite fica permanentemente apontando para o centro da terra.

5 - MODO DE OPERAÇÃO

O satélite estará em operação durante um período de 12 minutos por órbita, correspondente ao tempo em que sobrevoa o território brasileiro. No restante do tempo o sistema estará em vigília.

6 - MODELAMENTO MATEMÁTICO

Dividiu-se o satélite em 32 partes, conforme as Figuras 2.1, 2.2 e 2.3, que na análise teórica são consideradas isotérmicas e denominadas nós isotérmicos.

Calcularam-se os fatores de forma e de acoplamento entre os nós utilizando os programas computacionais GEO e ACOPLA, respectivamente. Os fatores de acoplamento condutivo foram calculados manualmente, sem uso de programas.

As cargas térmicas externas foram calculados através do programa *CARGA TÉRMICA*, em 45 posições uniformemente distribuídas ao longo da órbita.

As cargas internas foram estabelecidas em conformidade com os dados de dissipação descritas na Tabela 1, obedecendo ao modo de operação.

De posse dos dados acima, determinou-se a temperatura dos nós ao longo de uma órbita, através do programa *TEMPERA*. Simulou-se o satélite para as órbitas de mínima e máxima insolação.

7 - RESULTADOS

As faixas de temperatura calculadas nos vários componentes do satélite, nas condições de mínima e máxima insolação, estão na Tabela 3.

TABELA 3

TEMPERATURA DOS COMPONENTES DO SATÉLITE

COMPONENTE	MÍNIMA INSOLAÇÃO		MÁXIMA INSOLAÇÃO	
	T min.(°C)	T máx.(°C)	T min.(°C)	T máx.(°C)
"Shunt"	8,7	22,9	14,1	23,7
Bateria	24,5	25,4	26,6	27,5
Conversor DC/DC	28,2	30,8	30,7	33,1
Elemento condicionador de potência	22,7	24,4	25,0	26,5
Magnetômetro	8,2	18,7	10,0	18,2
Conversor do mastro	3,3	17,6	4,0	14,8
Desenrolador do mastro	-32,0	51,3	-27,6	35,9
UPC/D	4,3	14,3	11,3	20,6
UPD/C	5,6	19,1	1,2	9,1
UPD	1,7	13,2	4,2	13,4
Eletrônica dos sensores	-17,2	24,9	-7,9	36,3
Codificador/decodificador	1,8	10,9	11,6	21,3
Transponder	14,0	21,5	13,6	18,0
Transmissor	3,1	12,9	7,2	14,9
Receptor	4,7	10,3	18,6	26,0
Painel antigeocêntrico	-52,3	69,8	-49,0	50,2
Painel porta-equipamento central	-25,3	17,2	-20,7	26,2
Painel geocêntrico	-26,8	28,6	-20,8	28,9
Painéis laterais	-47,5	77,2	-45,4	79,4
Metade inferior do cilindro central	-5,5	24,7	-0,1	26,6
Metade superior do cilindro central	-18,3	33,2	-13,4	29,4

8 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÃO

nares e válidos somente para a fase de operação do satélite. Nas fases de lançamento e de aquisição, o comportamento térmico do satélite é diferente e necessita de um estudo à parte.

Em relação ao primeiro estudo publicado com o título "Especificação térmica preliminar para o primeiro satélite da MECB", verifica-se um aperfeiçoamento no modelamento matemático, principalemnte no que se refere à divisão do satélite em nós (houve uma modificação na estrutura e no "layout" do satélite).

Com relação aos níveis de temperatura dos equipamentos, observa-se que somente a bateria está sujeita a condições fora da permitida.

Pretende-se solucionar este desvio após uma análise mais detalhada do satélite, que será feita na fase subsequente a esta. No próximo modelamento serão considerados o "rack", que suporta os equipamentos internos aos cilindro central, as antenas, os sensores solares e o mastro estabilizador.

Será necessária também uma melhor definição dos dados de outros subsistemas, tais como modos de operação, dissipação térmicas e massas dos equipamentos envolvidos.

Outros dados, tais como resistência térmica de contato, deverão ser obtidos com maior precisão através de testes experimentais em maquetes térmicas.

Os arquivos de dados referentes a este trabalho são:

- Entrada para o programa GEO:

  a) *BLOCO 1* (compartimento interno ao cilindro central);

b) *BLOCO 2* (compartimento inferior);

c) *BLOCO 3* (compartimento superior).

- Entrada para o programa ACOPLA:

a) *B1N/TAPE8* (compartimento interno ao cilindro central);

b) *B2N/TAPE8* (compartimento inferior);

c) *B3N/TAPE8* (compartimento superior).

- Entrada para o programa TEMPERA:

a) *DADOS/TEMPERAMINSOL* (carga solar mínima);

b) *DADOS TEMPERAMAXSOL* (carga solar máxima).