

1. Publicação nº <i>INPE-4248-PRE/1121</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho, 1987</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>LAS</i>	Programa <i>CELSE/CELSIG</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>CÉLULAS SOLARES      CÉLULA SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO</i> <i>PAINÉIS SOLARES</i>			
7. C.D.U.: <i>535.215</i>			
8. Título <i>O EXPERIMENTO CÉLULA SOLAR DO PRIMEIRO SATÉLITE DA MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA</i>		10. Páginas: <i>9</i>	
		11. Última página: <i>8</i>	
9. Autoria <i>Paulo Nubile</i> <i>Nelson Veissid</i> <i>Antonio F. Beloto</i> <i>Leonel F. Perondi</i> <i>Afrânio Torres Filho</i>		12. Revisada por <i>Ram Kishore</i> <i>Ram Kishore</i>	
Assinatura responsável <i>Paulo de Siqueira</i>		13. Autorizada por <i>Marco Antonio Käupp</i> <i>Marco Antonio Käupp</i> <i>Director Geral</i>	
14. Resumo/Notas <p><i>O primeiro satélite de coleta de dados da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), cujo lançamento está previsto para o primeiro semestre de 1989, carregará a bordo o Experimento Célula Solar (ECS) que visa demonstrar a capacitação de laboratórios de pesquisa nacionais na produção de células solares e painéis solares de qualificação espacial. O ECS consiste em aproveitar uma área de 61 x 61 mm disponível em um dos oito painéis laterais do satélite para a colocação de três arranjos de duas células solares de 20 x 19 mm em série, num total de seis células solares. Cada arranjo é conectado a uma resistência de carga fixa, forçando a operação das células nos pontos de circuito aberto, curto-circuito e máxima potência, o que permitirá observar a degradação dos parâmetros de interesse (<math>V_{oc}</math>, <math>I_{sc}</math>, <math>I_{mp}</math> e <math>V_{mp}</math>) com os ciclos térmicos e danos de radiação durante a missão.</i></p>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Aplicações de Vácuo na Indústria e Ciência (CBRAVIC), 22-24 de julho de 1987, PUC, Rio de Janeiro, RJ.</i>			

O EXPERIMENTO CÉLULA SOLAR DO PRIMEIRO SATÉLITE DA  
MISSÃO ESPACIAL COMPLETA BRASILEIRA

Paulo Nubile, Nelson Veissid, Antonio F. Beloto,  
Leonel F. Perondi e Afrânio Torres Filho

Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Laboratório Associado de Sensores e Materiais - LAS  
Caixa Postal 515  
12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

O primeiro satélite de coleta de dados da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), cujo lançamento está previsto para o primeiro semestre de 1989, carregará a bordo o Experimento Célula Solar (ECS) que visa demonstrar a capacitação de laboratórios de pesquisa nacionais na produção de células solares e painéis solares de qualificação espacial. O ECS consiste em aproveitar uma área de 61 x 61 mm disponível em um dos oito painéis laterais do satélite para a colocação de três arranjos de duas células solares de 20 x 19 mm em série, num total de seis células solares. Cada arranjo é conectado a uma resistência de carga fixa, forçando a operação das células nos pontos de circuito aberto, curto-circuito e máxima potência, o que permitirá observar a degradação dos parâmetros de interesse ( $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $I_{mp}$  e  $V_{mp}$ ) com os ciclos térmicos e danos de radiação durante a missão.

## 1. INTRODUÇÃO

O Experimento Célula Solar será uma carga útil do primeiro satélite da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Foi concebido para avaliar a capacidade de fabricação, por parte da indústria e dos laboratórios de pesquisa nacionais, de painéis solares de qualificação espacial, além de permitir a realização de pesquisas sobre o desempenho das células solares no espaço.

O primeiro satélite da MECB, com lançamento previsto para o início de 1989, deverá ter uma vida útil de seis meses e uma altitude de 750 km, período de órbita de 100 minutos, sendo 60 minutos iluminado pelo Sol e 40 minutos eclipsado, com uma velocidade de rotação em torno de seu eixo de 180 r.p.m. O Experimento Célula Solar (ECS) será incorporado a um dos seus oito painéis laterais.

Este trabalho descreve o ECS e as experiências que com ele se deseja realizar.

## 2. DESCRIÇÃO DO ECS

Os dados de projeto para a concepção do ECS são os seguintes:

- Área disponível: 61 x 61 mm
- Peso máximo: 300 g
- Número de telemetrias: 3
- Potência disponível para o tratamento dos sinais: 0
- Nível dos sinais de saída: 0 a 5 V.

Considerando tais condições, optou-se pela configuração ilustrada na Figura 1. A área disponível (61 x 61 mm) é suficiente para acomodar seis células solares de 20 x 19 mm cada, formando três arranjos distintos de duas células em série. Os três conjuntos são colados a uma estrutura de alumínio com uma camada isolante intermediária de Kapton.

Um dos arranjos é ligado em paralelo com uma resistência de carga fixa de  $2\Omega$ , forçando a operação do arranjo próximo à condição de curto-circuito. O segundo arranjo é ligado a uma resistência de  $10\Omega$ , forçando a operação do arranjo próximo à condição de máxima potência. O terceiro arranjo não é ligado a nenhuma resistência, forçando sua operação no ponto de circuito aberto.

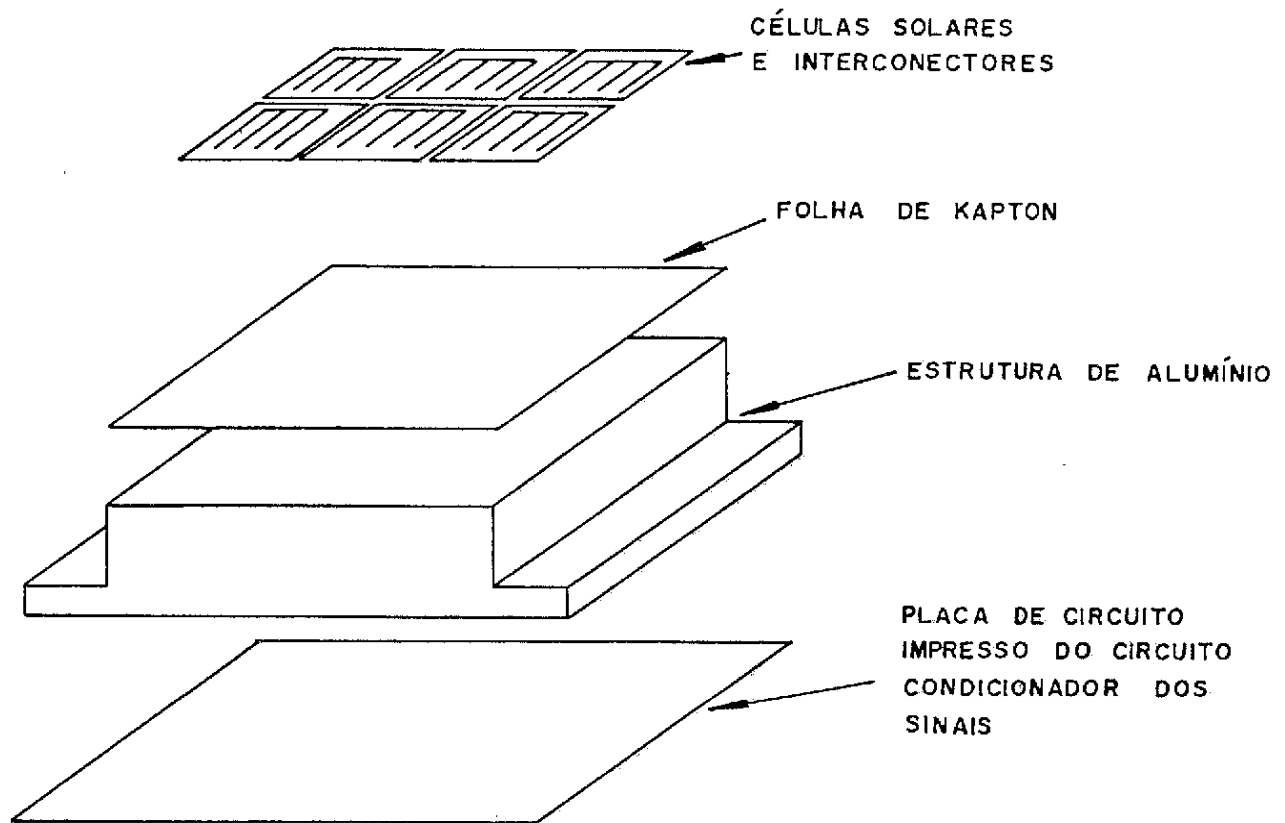
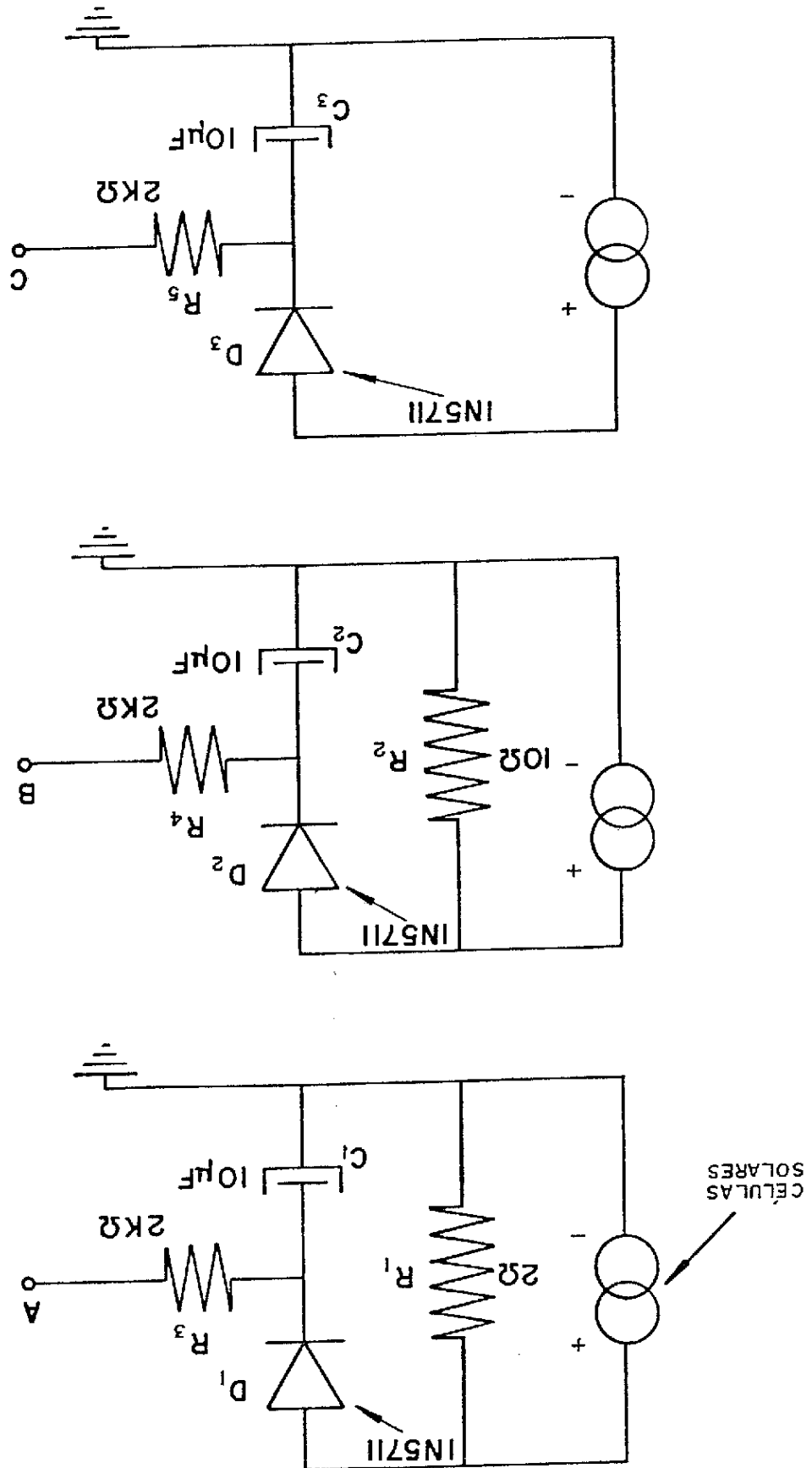


Fig. 1 - Vista explodida do Experimento Célula Solar (ECS).

A Figura 2 mostra o circuito elétrico completo condicionador do sinal do ECS. Os sinais de saída de cada arranjo são injetados em detectores de pico formados pelos diodos e capacitores. Com isto, consegue-se nas saídas A, B e C níveis contínuos proporcionais à tensão de pico em cada arranjo.

Os sinais A, B e C serão amostrados e enviados em intervalos de 500 ms para a estação terrena de Cuiabá. A combinação desses dados com os dados enviados pelos sensores de atitude do satélite e de temperatura do experimento permitirão a avaliação da degradação dos parâmetros  $V_{oc}$  (tensão de circuito aberto),  $I_{sc}$  (corrente de curto-circuito) e  $V_{mp}$  (tensão de máxima potência) ao longo da vida útil do satélite.

Fig. 2 - Esquema elétrico completo do ECS.



### 3. CÉLULAS SOLARES

As células solares utilizadas no ECS são de silício monocristalino, fabricadas no Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica da USP (LME/USP). Suas características principais são:

- 1) Substrato do tipo P, obtido por fusão zonal, resistividade de 10 Ohm.cm e espessura de 200  $\mu\text{m}$ ;
- 2) Camada difundida de fósforo de 0,1 a 0,3  $\mu\text{m}$  de profundidade,  $\bar{n}_D$  mero de doadores da ordem de  $10^{19}\text{cm}^{-3}$ ;
- 3) "Back Surface Field" obtido por implantação ou difusão de boro na superfície traseira;
- 4) Metalização dianteira de Ti-Pd-Ag com fator de sobreposição de 5%;
- 5) Metalização traseira de Ti-Pd-Ag;
- 6) Camada anti-refletora de  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  ou  $\text{TiO}_2$ .

A Figura 3 ilustra a curva de corrente por tensão de uma célula solar típica utilizada no ECS. Esta curva foi obtida para o AMO a  $25^\circ\text{C}$  utilizando o simulador solar ORIEL-1000 W.

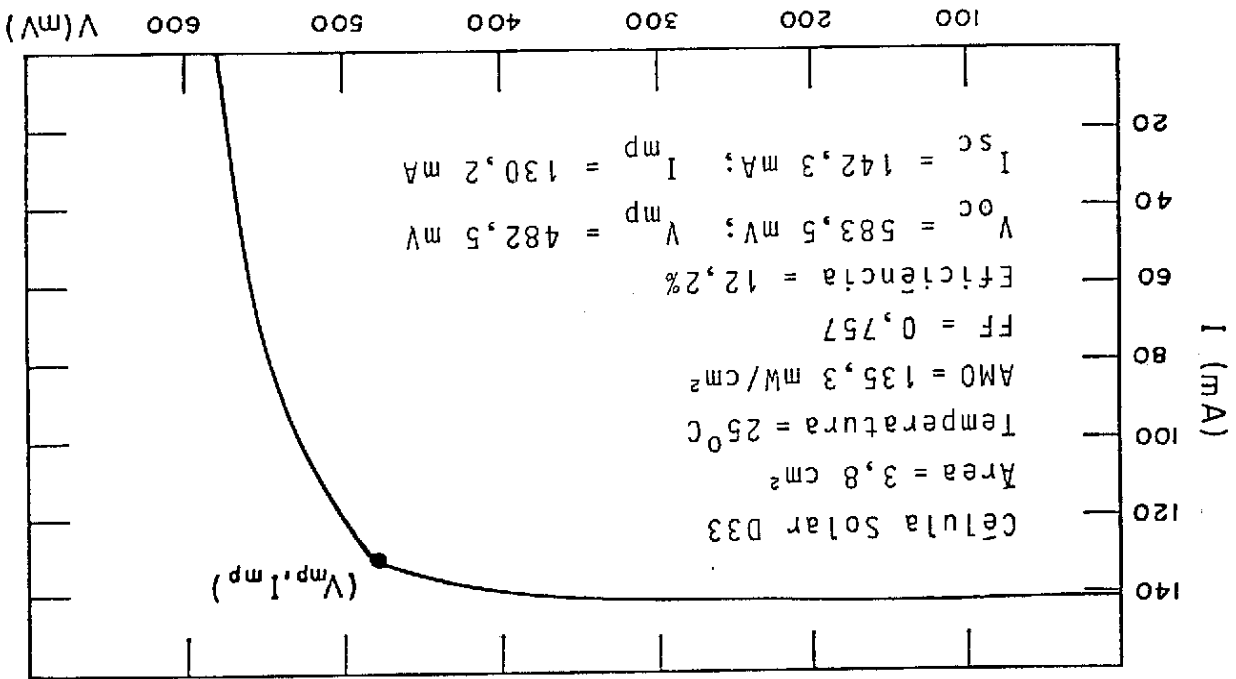


Fig. 3 - Curva de uma célula solar típica usada no ECS.

#### 4. SIMULAÇÃO DO ECS

Para prever o desempenho do ECS e, posteriormente, compará-lo com os dados enviados pelo satélite, foi elaborado um programa de simulação capaz de fornecer os níveis de saída de cada arranjo ao longo de uma órbita, considerando fixa a atitude do satélite em relação ao Sol.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados dessa simulação para o caso em que as laterais são iluminadas frontalmente. A Figura 4 fornece as curvas dos sinais A, B e C em uma órbita para o início de vida, e a Figura 5 mostra as mesmas curvas para o fim de vida (decorridos 6 meses do lançamento).

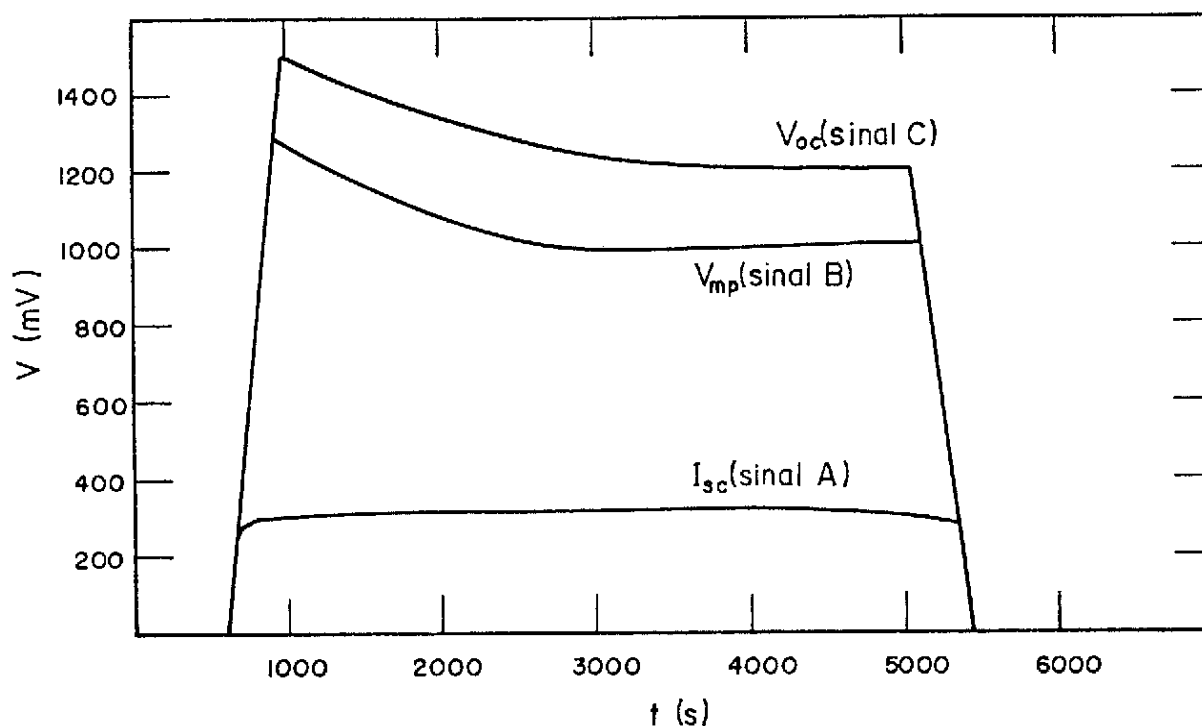


Fig. 4 - Sinais de saída A, B e C ao longo de uma órbita no início de vida útil.

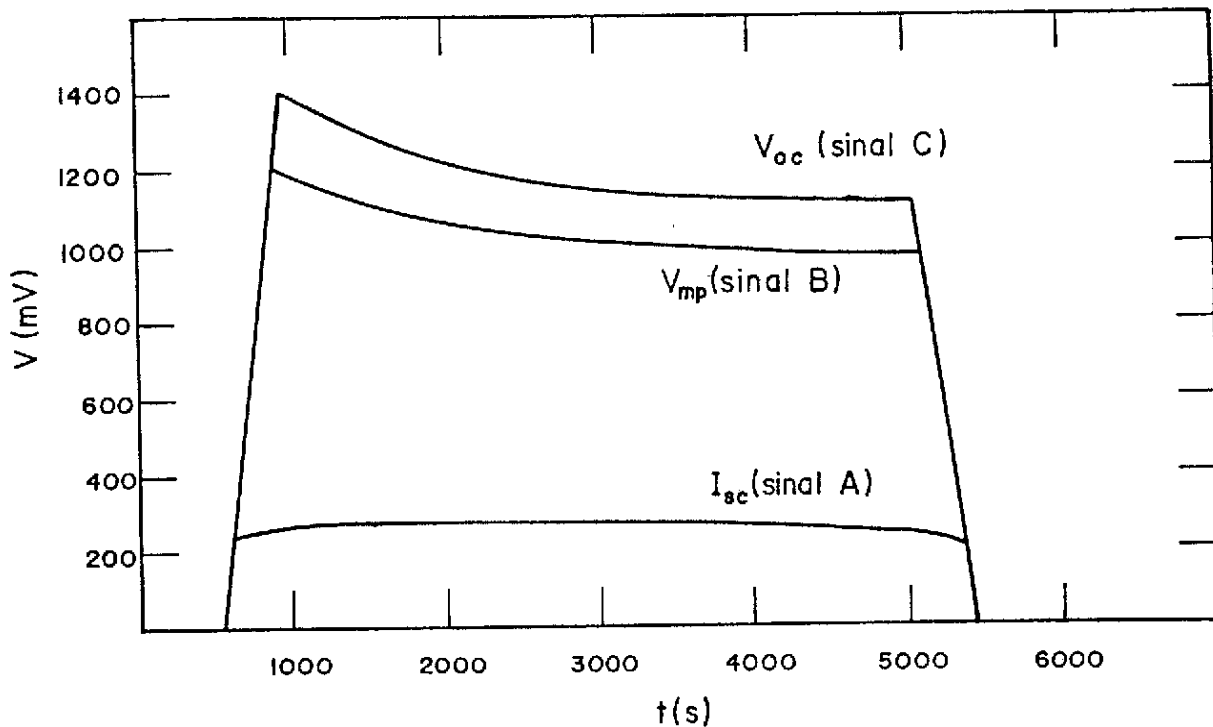


Fig. 5 - Sinais de saída A, B e C ao longo de uma órbita no final de vida útil.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Um primeiro protótipo do ECS foi montado utilizando células solares de silício convencionais (sem o "Back Surface Field"), interconectores de cobre com uma película de ouro eletrodepositada, cobertura protetora contra danos de radiação de vidro de 200  $\mu\text{m}$  de espessura. Os componentes eletrônicos utilizados no circuito de condicionamento do sinal foram do tipo comercial com  $R_1 = 1\Omega$ ,  $R_2 = 10\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = C_3 = 10\ \mu\text{F}$ ,  $D_1 = D_2 = D_3 = 1\text{N}5711$  e  $R_3 = R_4 = R_5 = 2\ \text{k}\Omega$ .

O ECS foi submetido a testes térmicos (cinco ciclos completos de  $-50^\circ\text{C}$  a  $+70^\circ\text{C}$ ) e testes de vibração. Para avaliar os efeitos da vibração e dos ciclos térmicos foram feitos testes de funcionalidade à temperatura ambiente antes e depois dos testes térmicos e de vibração. Os resultados estão sintetizados na Tabela 1.



TABELA 1

## RESULTADOS DOS TESTES DE FUNCIONABILIDADE

TESTE DE FUNCIONABILIDADE	SINAL A ( $V_{oc}$ (mV))	SINAL B ( $V_{mp}$ (mV))	SINAL C ( $I_{sc}$ (mV))
Antes	840	720	30
Depois	835	710	29

Os testes de funcionabilidade foram feitos à temperatura ambiente utilizando uma fonte de luz de tungstênio e um "chopper". A intensidade luminosa foi calibrada através de uma célula solar de referência ORIEL. Os valores de tensão obtidos estão 80 mV abaixo dos valores esperados, o que é atribuído à queda de tensão nos diodos schottky.

Está prevista a fabricação de mais dois protótipos antes da fabricação do modelo de voo. A utilização de células solares com melhorias e a utilização de adesivos qualificados espacialmente deverão melhorar os resultados dos testes de funcionabilidade.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao LME/USP pelo uso de suas facilidades na produção de células solares e aos seus pesquisadores Adnei M. de Andrade, Inês Pereira e Fernando F. Josepetti pelas discussões proveitosas.

TÍTULO

0 experimento célula solar do 1º satélite da Missão Espacial Completa Brasileira

IDENTIFICAÇÃO

AUTOR(ES)

Paulo Nubile, Nelson Veissid, Antonio F. Beloto, Leonel F. Perondi e Afrânio Torres Filho.

ORIENTADOR

CO-ORIENTADOR

LIMITE

DEFESA

CURSO

ORGÃO

— / — / —

— / — / —

DIVULGAÇÃO

EXTERNA  INTERNA  RESTRITA

EVENTO/MEIO

CONGRESSO  REVISTA  OUTROS

REV. TÉCNICA

NOME DO REVISOR

Ram Kishore

RECEBIDO

DEVOLVIDO

ASSINATURA

— / — / —

— / — / —

*Ram Kishore*

NOME DO RESPONSÁVEL

Luiz C. M. Miranda, Chefe do LAS

APROVADO

DATA

ASSINATURA

SIM  
 NÃO

— / — / —

*Luiz C. M. Miranda*

REV. LINGUAGEM

Nº

PRIOR.

RECEBIDO

NOME DO REVISOR

171

1

01/07/87

*Keusa Maria de*

PÁG.

DEVOLVIDO

ASSINATURA

6

01/07/87

*Keusa Maria de*

OS AUTORES DEVEM MENCIONAR NO VERSO INSTRUÇÕES ESPECÍFICAS, ANEXANDO NORMAS, SE HOUVER

RECEBIDO

DEVOLVIDO

NOME DA DATILÓGRAFA

— / — / —

Nº DA PUBLICAÇÃO: 424PRE/1120

PÁG.:

CÓPIAS:

Nº DISCO:

LOCAL:

AUTORIZO A PUBLICAÇÃO

SIM

NÃO

— / — / —

OBSERVAÇÕES E NOTAS

Submetido para apresentação no 8º CBRAVIC, a ser realizado de 22-24 de julho de 1987, no Rio de Janeiro, RJ.

Palavras chaves: CELULAS SOLARES, PAINÉIS SOLARES, CÉLULA SOLAR DE SILÍCIO MONOCRISTALINO.