

Um Breve Panorama do Desenvolvimento da Parte Elétrica do Gerador Solar do Satélite Amazonia 1

Jaqueline Vaz Maiolino¹, Prof. Dr. Marcelo Lopes de Oliveira e Souza²

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, Brasil

¹Aluna de Doutorado no Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais - ETE, Opção Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais– CSE, do INPE

²Professor Colaborador no Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais - ETE, do INPE

jaquelinevazm@gmail.com

Resumo: *O Amazonia 1 é o primeiro satélite de Observação da Terra baseado na Plataforma Multi-Missão (PMM). Ele foi completamente projetado, integrado e testado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, e foi lançado com sucesso pelo India's Polar Satellite Launch Vehicle PSLV-C51 em 28 de fevereiro de 2021. Nele, o Gerador de Solar foi um dos primeiros sistemas críticos a operar. Este artigo apresenta um breve panorama do desenvolvimento da parte elétrica do Gerador Solar do Satélite Amazonia 1. Para isto, inclui: a descrição, as principais etapas do projeto, fabricação do Gerador Solar, e os principais resultados dos testes de aceitação. Estes, especialmente os de desempenho elétrico, demonstram que o Gerador Solar é capaz de gerar mais de 1100 Watts (AM0, 25°C, 1353W/m²), excedendo o requisito mínimo de geração de energia de 1000 W. O sucesso da missão em órbita demonstra que o satélite Amazonia 1 possui uma tecnologia de geração de energia plenamente confiável.*

Palavras-chave: Confiabilidade; Desenvolvimento; Gerador Solar; Satélite Amazonia 1.

1. Introdução

O objetivo da missão Amazonia 1 é prover dados de sensoriamento remoto para observar e monitorar o desflorestamento, especialmente na região amazônica, e a agricultura altamente diversificada com alta taxa de revisita e em sinergia com os programas existentes. A missão tem, como principal requisito, prover imagens do território brasileiro completo a cada 5 dias. Além das imagens do território nacional, o satélite possui um sistema de gravação de imagens, o que permite a aquisição de imagens de qualquer região do globo (BRAZ; D'ALGE, 2021).

O Amazonia 1 é o primeiro satélite de Observação da Terra baseado na Plataforma Multi-Missão (PMM), de órbita polar sol síncrona. Ele foi completamente projetado, integrado e

testado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e foi lançado com sucesso pelo *India's Polar Satellite Launch Vehicle PSLV-C51* em 28 de fevereiro de 2021.

Este artigo apresenta um breve panorama do desenvolvimento da parte elétrica do Gerador Solar do Satélite Amazonia 1. Para isto, inclui: a descrição, as principais etapas do projeto, a fabricação do Gerador Solar, e os principais resultados dos testes de aceitação.

A Figura 1 (BRAZ; D'ALGE, 2021) apresenta o Satélite Amazonia 1 em preparação para lançamento.



Figura 1. Satélite Amazonia 1 em preparação para o lançamento [BRAZ; D'ALGE, 2021].

2.O Gerador Solar do Satélite Amazonia 1

O Gerador Solar do Satélite Amazonia 1 é composto por uma Parte Estrutural, uma Parte Elétrica e os Mecanismos. O conjunto é denominado Asa. O Gerador Solar é composto por duas Asas (+X e -X). A Parte Estrutural de cada Asa é formada por três painéis (*Inner*, *Center* e *Outer*), e um braço de fixação e interface com o Satélite (*Yoke*). A Parte Elétrica é o circuito elétrico responsável pela conversão de energia solar em elétrica, composto pelas células solares, fios, diodos, conectores e resistores. Os Mecanismos são formados pelo conjunto de componentes mecânicos (dobradiças, molas, cabos, suportes) que interconectam as diversas partes da Parte Estrutural e são responsáveis pela retenção, liberação e abertura sincronizada do Gerador Solar. Após a montagem da Parte Estrutural com a Parte Elétrica e os Mecanismos, o conjunto passa a ser designado Gerador Solar (*Solar Array Generator – SAG*).

A função principal do Gerador Solar é gerar a energia de bordo necessária para manter operacional todos os subsistemas do satélite, dentro das faixas de consumo especificadas, durante todas as fases da missão, vida útil e condições orbitais (VAZ, 1999).

3. O Desenvolvimento da Parte Elétrica do Gerador Solar do Satélite Amazonia 1

A indústria espacial brasileira, que já possuía histórico de voo (nível de prontidão tecnológica - TRL 9: sistema real comprovado em voo), foi contratada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)/INPE, através da concorrência pública, para fornecer o Gerador Solar do Satélite Amazonia 1.

O Desenvolvimento da Parte Elétrica do Gerador Solar constitui principalmente dos processos de projeto, fabricação, montagem, integração e testes. As principais revisões de projeto realizadas foram: Revisão de Projeto Preliminar (PDR), Revisão de Projeto Detalhado (CDR) e Revisão de Aceitação (AR).

O Planejamento do Desenvolvimento constitui da elaboração de um conjunto de documentos gerenciais e de planejamento dos quais definem a organização do desenvolvimento a ser realizado.

O Projeto do Gerador Solar consiste na elaboração da documentação de projeto, fabricação, montagem e testes em conformidade com os requisitos de projeto estabelecidos na referência INPE (2010).

A Fabricação do Gerador Solar consiste nos seguintes processos:

- a) Fabricação do Conjunto Célula Solar (*Solar Cell Assembly - SCA*);
- b) Fabricação dos Módulos Solares;
- c) Isolamento Elétrico das Estruturas;
- d) Colagem dos Módulos Solares;
- e) Processo de Fabricação das Cablagens;
- f) Processo de Instalação dos Componentes Elétricos, Cablagens e Mecânicos nos Painéis Solares.

A Montagem e Integração do Gerador Solar consistem na montagem dos Painéis Solares, *Yoke* e Mecanismos: *SAG + X Wing*, *Lower SAG Hinge*, *Yoke Hinge*, *Upper SAG Hinge*, *Lower SAG Hinge to Yoke – Inner Panel*, *Upper SAG Hinge to Yoke – Inner Panel*, *SAG – X Wing* e alinhamento dos Painéis Solares e *Yoke*.

Os Testes de aceitação são realizados para demonstrar a conformidade com os requisitos de desempenho e agir como controle de qualidade, detectando deficiências de manufatura e material.

4. Inspeções e Testes de Aceitação dos Painéis Solares e Cablagens de Sinal e Potência

Os Painéis Solares e as Cablagens de Sinal e Potência foram submetidos às inspeções e testes de aceitação indicadas na Tabela 1 (OLIVEIRA, 2013). Os resultados de todas as inspeções e testes mostraram que atenderam os requisitos especificados (MAIOLINO, 2013).

Tabela 1. Matriz de Inspeções e Testes dos Painéis Solares e das Cablagens de Sinal e Potência [OLIVEIRA, 2013].

Inspeções / Testes	Painéis Solares	Cablagens de Sinal e Potência
Medidas Físicas (Massa)	X	X
Inspeção Dimensional	X	
Inspeção Visual	X	X
Isolamento Elétrico	X	
Continuidade Elétrica	X	X
Aterramento Elétrico	X	
Desempenho Elétrico	X	
Vácuo	X	
Vácuo-Térmico	X	

Teste de Desempenho Elétrico dos Painéis Solares

O objetivo do teste de desempenho elétrico foi submeter os Painéis Solares a pulsos luminosos de espectro e intensidade equivalente à luz solar incidente no espaço em órbita próxima da Terra, e medir sua caracterização fotovoltaica através da curva corrente versus tensão (IxV). O teste foi realizado utilizando o equipamento Simulador Solar Pulsado do Laboratório de Integração e Testes - LIT/INPE. O teste de desempenho elétrico apresentou resultado de capacidade de gerar mais de 1100 Watts (AM0, 25°C, 1353W/m²) (VAZ, 2013a), excedendo o requisito mínimo de geração de energia de 1000W (INPE, 2010). A Figura 2 (VAZ, 2013a) mostra um dos Painéis Solares disponíveis para o teste de desempenho elétrico.

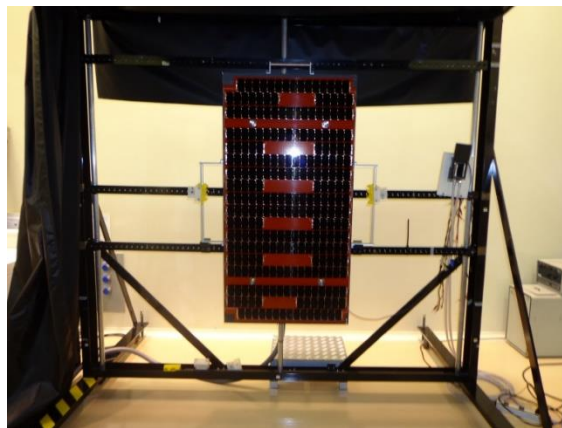


Figura 2. Teste de Desempenho Elétrico dos Painéis Solares no LIT/INPE [VAZ, 2013a].

Teste de Vácuo dos Painéis Solares

Durante o teste de vácuo, os Painéis Solares foram submetidos às condições de ambiente espacial em termos de pressão, em conformidade com os requisitos (INPE, 2001) para

verificação do isolamento elétrico dos Painéis Solares. O teste ocorreu com sucesso: o isolamento elétrico não apresentou defeitos devido à exposição ao ambiente de vácuo, tais como, áreas descoladas devido à expansão de “bolhas de ar” presas entre a estrutura e o filme isolante (VAZ, 2013b). A Figura 3 (VAZ, 2013b) apresenta os seis Painéis Solares prontos para o início do teste de vácuo.

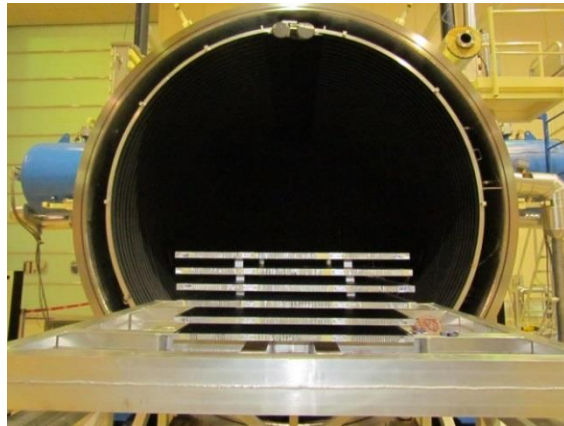


Figura 3. Painéis Solares disponíveis para Teste de Vácuo do Isolamento Elétrico no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE [VAZ, 2013b].

Teste de Vácuo-Térmico dos Painéis Solares

Durante o teste de vácuo-térmico, os Painéis Solares foram submetidos às condições de ambiente espacial em termos de temperatura e pressão, em conformidade com os requisitos (INPE, 2001). O teste ocorreu com sucesso - os Painéis Solares suportaram as condições de teste sem apresentar degradação elétrica maior que 2%; os seus componentes de interconexão elétrica não apresentaram falhas por circuito aberto; as células solares não apresentaram trincas e quebras; os *cablholders*, módulos solares, quadros de diodos e resistores não apresentaram descolamentos; os conectores, suportes de cablagem e cablagens não soltaram (VAZ, 2013b). A Figura 4 (VAZ, 2013b) apresenta os seis Painéis Solares prontos para o início do teste de vácuo-térmico.

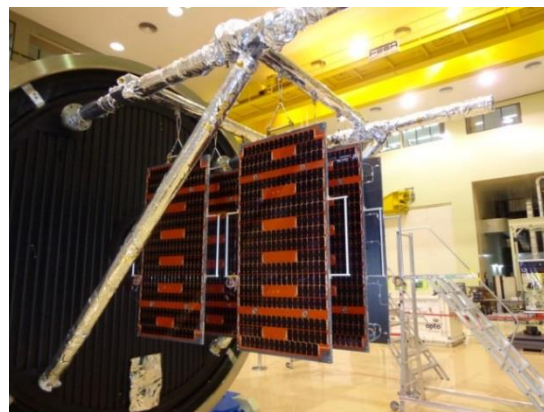


Figura 4. Painéis Solares disponíveis para o Teste de Vácuo-Térmico no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE [VAZ, 2013b].

5. Inspeções e Testes de Aceitação do Gerador Solar (SAG) e do *Yoke*

O Gerador Solar (SAG) e o *Yoke* foram submetidos às inspeções e testes de aceitação indicadas na Tabela 2 (OLIVEIRA, 2013). Os resultados de todas as inspeções e testes mostraram que atenderam aos requisitos especificados (VAZ, 2013a).

Tabela 2. Matriz de Inspeção e Teste do SAG e do *Yoke* [OLIVEIRA, 2013].

INSPEÇÃO / TESTE	SAG	<i>Yoke</i>
Isolamento Elétrico	X	X
Aterramento Elétrico	X	X
Continuidade Elétrica	X	
Teste de Iluminação	X	
Inspeção Visual	X	
Teste de Abertura	X	X
Teste de Vibração Acústica	X	X
Teste de Vibração Senoidal	X	X
Teste de Vibração Randômica	X	X

Teste de Iluminação do SAG

O teste de iluminação é realizado para verificar possíveis falhas nos circuitos. Não foram detectadas falhas durante o teste de iluminação do SAG (VAZ, 2013a). A Figura 5 (VAZ, 2013a) ilustra o teste de iluminação realizado no LIT/INPE.

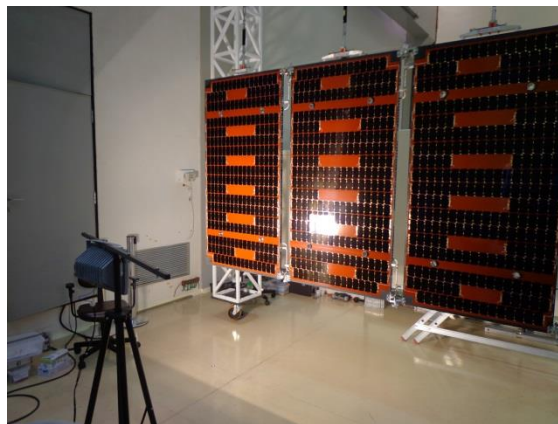


Figura 5. Teste de Iluminação do Gerador Solar (SAG) [VAZ, 2013a].

Inspeção Visual do SAG

A inspeção visual é realizada para verificar a integridade dos Conjuntos Células Solares (SCAs), dos Módulos Solares, das Cablagens, dos Fixadores da Cablagem, dos Quadros de Diodos e Resistores.

As Figuras 6 e 7 (MAIOLINO, 2013) ilustram a inspeção visual do Gerador Solar (Asa +X e Asa -X) no LIT/INPE.



Figuras 6 e 7. Inspeções Visuais do Gerador Solar (SAG) no Laboratório de Integração e Testes (LIT) do INPE [MAIOLINO, 2013].

Teste de Abertura do SAG

O teste de abertura é importante, pois uma falha durante a abertura do Gerador Solar em órbita representa o fim da missão. O teste de abertura foi realizado no LIT/INPE (VAZ, 2013b).

Os Mecanismos que sustentam e promovem a abertura do Gerador Solar do Amazonia1 tem a seguinte função principal: sustentar os painéis na posição fechada (painéis junto ao corpo do satélite de forma a caber dentro da coifa do foguete lançador) de maneira a suportar as elevadas cargas de aceleração impostas durante o lançamento. Essa função é exercida por pinos e outros componentes de liga de titânio de elevada resistência mecânica e deve liberar os painéis da condição de retenção, quando o satélite já está separado do lançador. Essa liberação é promovida por guilhotinas pirotécnicas, instaladas nas bases dos dispositivos de sustentação dos painéis, que cortam os pinos de titânio e devem abrir coordenadamente os painéis até seu travamento na condição plenamente estendida. É um sistema que exerce uma força necessária para garantir a abertura e travamento dos painéis quando todos estão estendidos.

Testes de Vibração Acústica, Senoidal e Randômica do SAG

Os testes de vibração acústica foram realizados na Câmara Acústica Reverberante do LIT/INPE. Os testes de vibração senoidal e randômica (aleatória) foram realizados na área de Qualificação de Sistemas - Laboratório de Ensaios Dinâmicos do LIT/INPE.

A série de testes de vibração (testes de assinaturas; testes senoidais, testes aleatórios e testes acústicos em nível de aceitação) foi realizada e completada com sucesso, sem quaisquer ocorrências ao andamento dos testes ou a integridade física do SAG. Durante cada etapa e ao final dos testes, foram realizadas inspeções no SAG, constatando-se que não apresentava sinais de danos mecânicos externos ou partes soltas.

Após a conclusão de cada teste, foram realizadas inspeções visuais no Gerador Solar (SAG), através das quais se constatou que este não apresentou quaisquer indícios de ocorrências de danos mecânicos externos aparentes.

Após os testes de vibração, constatou-se que: a) O SAG apresentou a primeira frequência natural compatível com o SAG Modelo de Qualificação; b) As assinaturas antes e depois dos testes não apresentaram mudanças substanciais; c) Não ocorreram falhas estruturais no SAG; d) Os componentes de interconexão elétrica não apresentaram falhas por circuito aberto; e) As células solares não apresentaram trincas ou quebras; f) Os *cable holders*, módulos solares, quadros de diodos e de resistores não apresentaram descolamento; g) Não havia conectores, suportes de cablagem e cablagens soltos ou frouxos.

Os itens mencionados acima foram verificados posteriormente aos testes de vibração através da realização dos testes finais do SAG (teste de abertura, teste de iluminação, teste de continuidade elétrica, teste de isolamento elétrico, teste de aterramento elétrico e inspeção visual) (VAZ, 2013a). Conforme especificado (INPE, 2001), o SAG atendeu os critérios de sucesso definidos (VAZ, 2013a).

6. Conclusão

O Gerador Solar do Satélite Amazonia 1 atendeu aos requisitos de projeto e demonstra a capacidade do INPE e da indústria espacial nacional em desenvolver *hardware* de voo para um dos mais importantes programas do setor espacial no Brasil. Este, operacional em órbita, gera cerca de 1000W de potência elétrica durante o período iluminado da órbita (BRAZ.; D'ALGE, 2021). O sucesso da missão em órbita demonstra que o satélite Amazonia 1 possui uma tecnologia de geração de energia plenamente confiável.

Referências

BRAZ, B. C.; D'ALGE, J. C. L. A800000-DDD-001/01. **AMAZONIA 1: Descritivo da Missão e do Satélite**. INPE, 2021.

INPE. A820000-SPC-001 v06 **Multi-Mission Platform Environmental Specification**, 2001.

_____. A922600-SPC-001 **Solar Array Generator Specification**, 2010.

MAIOLINO, J.V. **Relatórios dos Testes Finais dos Painéis Solares Modelo de Voo - ORB-1018-RL-457-00**, 2013.

OLIVEIRA, W. J. **Matriz de Teste dos Painéis Solares Modelo de Voo - ORB-1018-RL-453-00**, 2013.

VAZ, C. C. **Geradores Solares**. Curso de Tecnologias de Satélites. Divisão de Eletrônica Espacial –DEA. São José dos Campos: INPE, 1999. 80 slides.

_____. **Matriz de Verificação do Gerador Solar - ORB-1018-PL-458-01**, 2013a.

_____. **Relatórios dos Testes Ambientais dos Painéis Solares Modelo de Voo - ORB-1018-RL-456-00**, 2013b.