

Estudo de Arquitetura de Comunicação para a Missão BiomeSat

Sergio R. S. Teixeira Jr., Juner M. Vieira, Jognes Panasiewicz e Luciano B. C. da Silva

Resumo— Este trabalho apresenta um estudo preliminar de arquitetura de comunicação para o nanossatélite BiomeSat do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São previstas até quatro cargas úteis embarcadas, o que requer um adequado dimensionamento do sistema de comunicação, além de simulações de posicionamento das antenas em consideração à maquete radioelétrica. Duas configurações são apresentadas, considerando as regulamentações de radiocomunicações e opções comerciais disponíveis para os equipamentos empregados, de forma a evidenciar os compromissos existentes entre eficiência em banda, potência e complexidade, no atendimento aos requisitos de aplicação da missão.

Palavras-Chave— Nanossatélite, arquitetura de comunicação, cálculo de enlace, posicionamento de antenas.

Abstract— This work presents a preliminary study of the communication architecture for the BiomeSat nano-satellite of the National Institute for Space Research (INPE). The project includes the provision of up to four onboard payloads, which requires an adequate dimensioning of the communication system, as well as simulations of the positioning of the antennas in consideration of the radioelectric mockup. Two configurations are presented considering the radiocommunications regulations and commercial options available for the equipment employed to highlight the existing trade-offs among bandwidth efficiency, power, and complexity, in attending to the mission application requirements.

Keywords— Nano-satellite, communication architecture, link budget, antenna positioning.

I. INTRODUÇÃO

As crescentes demandas por aplicações relacionadas ao espaço, sejam para fins científicos, ambientais ou de comunicação, vêm impulsionando tanto os institutos de pesquisa como as indústrias do setor espacial a envidarem esforços no projeto de satélites miniaturizados, conhecidos e padronizados como *CubeSats*. Dessa forma, dentre tais aplicações, pode-se nacionalmente enfatizar aquelas em sensoriamento remoto terrestre, tais como o monitoramento de biomas e dos diversos recursos naturais [1].

Nesse contexto, em concordância com os objetivos e metas estratégicas governamentais atualmente traçadas, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem desenvolvendo o nanossatélite BiomeSat [1], [2]. Essa missão possui objetivos tanto científicos, através da disponibilização de dados à comunidade brasileira de sensoriamento remoto, quanto

Sergio R. S. Teixeira Jr., Juner M. Vieira, Jognes Panasiewicz e Luciano B. C. da Silva, Divisão de Eletrônica Espacial e Computação - DIEEC, INPE, e-mail: (sergio.junior, juner.vieira, jognes.panasiewicz, luciano.silva)@inpe.br. Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através dos Processos 407444/2022-0 e 300060/2023-8.

tecnológicos, por meio do desenvolvimento de uma plataforma satelital de classe 10 kg, com capacidade de controle de atitude e órbita em três eixos. Adicionalmente, define-se que o satélite deve operar em uma órbita heliossíncrona, cuja altitude considerada nesse estudo é de 625 km, de forma a garantir os requisitos de aplicação para as cargas úteis embarcadas. Por fim, a vida útil operacional dessa missão é estimada em 24 meses [3].

Quanto à sua estrutura, o padrão *CubeSat* é baseado em modelos cúbicos de arestas de 10 cm, definidos como unidades U [4]. Portanto, para acomodar seus módulos de serviço e cargas úteis, o BiomeSat é projetado com a dimensão 6U, ou seja, possui arestas de aproximadamente 30 cm x 20 cm x 10 cm. O modelo inclui ainda duas abas articuladas, as quais oferecem uma maior área para a instalação de painéis solares para a geração de energia elétrica necessária para seu funcionamento. O esquemático é ilustrado na Figura 1.

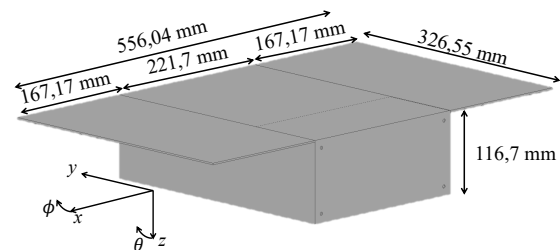


Fig. 1. Esquemático da estrutura do BiomeSat.

Em relação às suas cargas úteis, o BiomeSat tem como objetivos primários obter imagens no espectro visível em RGB e infravermelho próximo (NIR) do território brasileiro com resolução melhor ou igual a 50 m, além de realizar a coleta de informações das Plataformas de Coleta de Dados (PCD) como parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA). Adicionalmente, a missão prevê alguns objetivos considerados secundários. Uma breve descrição de cada carga útil é apresentada a seguir:

- **BIO** – Câmera BiomeSat: trata-se de uma câmera COTS (*Commercial Off-the Shelf*) que atende aos requisitos básicos da missão, tais como a coleta de dados em diversas bandas espectrais, com resolução geométrica de 20 a 50 metros e radiométrica de 10 a 12 bits (ex. Camera xScape50 da *Simera Sense* ou Camera Mantis da *Dragonfly Aerospace*);
- **EDC** – *Environmental Data Collection*: trata-se de um receptor digital a bordo para coleta de dados ambientais, que irá integrar o SBCDA. As PCDs, espalhadas pelo território nacional, coletam parâmetros ambientais e os transmitem em UHF para o BiomeSat. O EDC demodula

e decodifica esses dados recebidos. Subsequentemente, esses dados são descarregados juntamente com o enlace de telemetria do satélite para as estações terrenas (ET), sendo processados e disponibilizados aos usuários;

- SEM – *Space Environment Monitor*: trata-se de uma carga útil científica com objetivo de detectar e medir o impacto do efeito de radiações de evento único (SEE) e dose total ionizante (TID) em ambiente espacial. A captação destes dados irá resultar em um melhor conhecimento e caracterização do ambiente espacial no qual um dispositivo está inserido, criando condições mínimas para elaboração de métodos de atuação em ambientes inóspitos, em especial em relação com a região da zona de anomalia do Atlântico-Sul;
- AIS - *Automatic Identification System*: é um sistema originalmente desenvolvido para a comunicação entre embarcações e sistemas-base instalados em região costeira. O AIS opera na faixa de VHF marítimo e é limitado por um alcance máximo de transmissão de, aproximadamente, 100 km. O sistema é utilizado para identificação e localização, com troca de informações como nome, posição, velocidade e curso das embarcações. A solução de se implementar um receptor AIS embarcado no satélite permite um monitoramento global das embarcações distantes das regiões costeiras, devido a uma maior cobertura da antena a bordo (em torno de 5000 km para uma altitude satelital de 600 km). Dessa forma, esse sistema possibilita maior monitoramento do tráfego de embarcações e segurança marítima (ex. Receptor AIS Polaris da *Satlab*).

Uma vez estabelecidas as características básicas do BiomeSat e suas cargas-úteis, pode-se delinear sua arquitetura de comunicação. O monitoramento das condições e controle da configuração do BiomeSat é feito por uma ET (Cuiabá-MT), através do subsistema de Telemetria, Rastreo e Telecomando (*Telemetry, Tracking and Command – TT&C*) embarcado no satélite. Basicamente, o transmissor do TT&C é ligado somente quando há visada entre o satélite e uma ET, enquanto o receptor permanece sempre em operação. O serviço de telemetria (TM) transmite ao Centro de Rastreo e Controle (CRC) os dados captados por sensores a bordo distribuídos por todos os subsistemas, informando as condições internas do satélite (*housekeeping*). O serviço de telecomando (TC), por sua vez, é responsável pela recepção de um sinal oriundo do CRC, para a execução de uma ação dentro do satélite. Dessa forma, além dos sistemas de comunicação das cargas úteis, é necessário estabelecer os enlaces para funcionamento do subsistema TT&C.

Este artigo tem por objetivo analisar duas opções de arquitetura de comunicação para o nanossatélite BiomeSat, de forma a atender aos requisitos das cargas úteis citadas. As opções consideradas envolvem diferentes graus de complexidade, além do estudo do posicionamento das antenas, enfatizando seus impactos radioelétricos numa estrutura realística. Dessa forma, o trabalho tem como contribuição evidenciar os compromissos existentes entre eficiência em banda, potência e complexidade, no atendimento aos requisitos da missão.

Após essa introdução, na seção II, a primeira solução para

arquitetura de comunicação é apresentada, na qual considera-se as bandas de UHF e S. Na seção III, uma segunda arquitetura é discutida, mais complexa que a anterior, na qual considera-se as bandas S e X. Finalmente, na seção IV, são apresentadas as considerações finais desse estudo e sugestões para trabalhos futuros.

II. ARQUITETURA A – UHF E BANDA S

A primeira opção de arquitetura, considerada de menor complexidade, propõe um sistema de comunicação composto por duas cadeias de transmissão para o envio de TM, sendo uma em UHF e outra em banda S. Dessa forma, os dados de serviço (TT&C), conjuntamente com os dados da carga útil (quando disponíveis), trafegarão em uma dessas bandas, de acordo com o modo de operação do satélite.

Resumidamente, durante a fase de LEOP (*Launch Early Orbit Phase*), além do modo de emergência de operação, o serviço de TT&C é realizado em UHF, onde os transponders comerciais utilizam uma mesma frequência para subida e descida de TM/TC (*half-duplex*). Nessa fase, as cargas úteis encontram-se desligadas e não há dados científicos a serem transmitidos, reduzindo a taxa do enlace de descida apenas aos dados de TM de *housekeeping*.

Por outro lado, no modo de operação nominal do BiomeSat, o serviço de TC continua sendo realizado em UHF e o envio de TM passa a ser em banda S juntamente com os dados das cargas úteis (ex. UHF Transceiver II e S-band transmitter, ambos da *Endurosat*). Dessa forma, os dados da Câmera (BIO), AIS, EDC, SEM e TM são agrupados e formatados pelo Computador de Bordo (OBC) e, em seguida, são enviados ao transmissor de dados (DT) em banda S, com uma taxa de bits máxima especificada em 13 Mbps. O diagrama em blocos dessa arquitetura é apresentado na Figura 2.

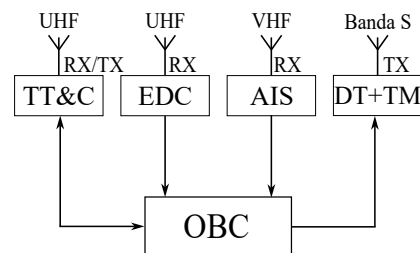


Fig. 2. Diagrama da arquitetura de comunicação do BiomeSat - Solução A.

A. Análise de posicionamento de antenas e resultados

Com base na descrição anterior, as antenas do subsistema de TT&C, principalmente durante a fase de LEOP e no modo de emergência, devem fornecer uma cobertura omnidirecional, pois nesta fase o satélite ainda não está estabilizado e, portanto, não é possível determinar sua orientação. Para atingir esse requisito de diagrama, propõe-se o uso de um conjunto de quatro monopolos dispostos na face $-y$ do satélite BiomeSat. Para fornecer polarização circular, as antenas foram dispostas com rotação sequencial e excitadas por correntes de mesma amplitude e fase progressiva de $\pm 90^\circ$.

A exemplo do que ocorreu com o conjunto de antenas para TT&C, as antenas de VHF para o AIS e as de UHF para o EDC também empregam monopolos defasados para obtenção de polarização circular. Essas antenas deverão estar posicionadas em face oposta à da antena de TT&C, ou seja, na face $+y$. Para este estudo, o *software* Ansys HFSS foi usado para realizar as simulações eletromagnéticas. A Figura 3 ilustra a disposição das antenas de TT&C, AIS e EDC (ex. NanoCom ANT-6F da *GomSpace*).

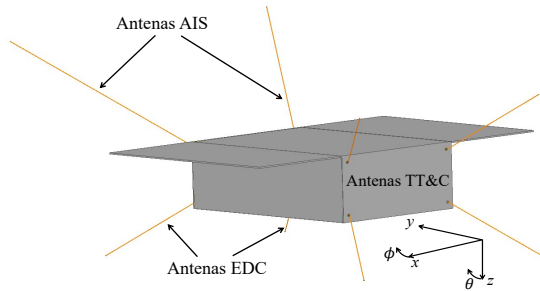


Fig. 3. Configuração do posicionamento das antenas dos sistemas TT&C, AIS e EDC.

Os resultados computacionais dos diagramas de irradiação para o subsistema TT&C são apresentados na Figura 4. Nota-se que a presença das abas articuladas dos painéis solares influencia significativamente no funcionamento das antenas de UHF, resultando em uma redução do ganho na direção da Terra ($+z$). Como consequência, a confiabilidade ou margem do enlace é reduzida. Isso ocorre devido ao comprimento dos monopolos, que são menores que a envergadura total do BiomeSat, que é de 556,04 mm (vide Figura 1).

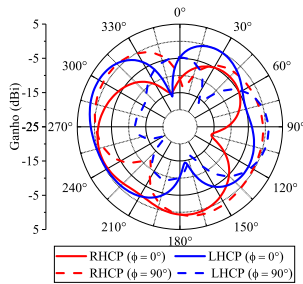


Fig. 4. Diagrama de irradiação das antenas do TT&C.

Os resultados simulados dos diagramas de irradiação das antenas dos serviços EDC e AIS são apresentados na Figura 5. Nota-se que a estrutura do nanossatélite afeta a característica de irradiação das antenas de recepção do EDC, que operam em UHF, fazendo com que o ganho na direção da Terra não corresponda ao máximo do diagrama. O diagrama das antenas do AIS, que operam em 162 MHz (VHF), não sofreu grandes perturbações pela presença das abas dos painéis solares.

Para a transmissão de dados em banda S, devido às limitações de peso e espaço no satélite, será utilizada uma antena planar do tipo microfita. Esse tipo de antena possui o ganho máximo na direção de *boresight*. Assim, seu ganho próximo de 60° a 65° é reduzido, exigindo que o cálculo de enlace seja elaborado com atenção à essa característica. Nesse caso, considera-se um ganho de -3 dBi nesta direção (ex. NanoCom AM2150-P/PS da *GomSpace*).

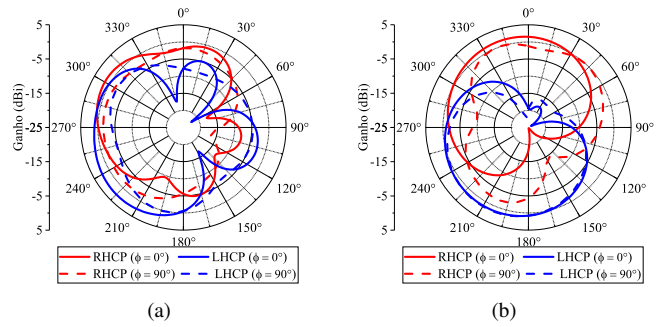


Fig. 5. Diagramas de irradiação das antenas do (a) EDC e do (b) AIS.

B. Cálculo de enlace de comunicações

Para as análises de desempenho dos enlaces de comunicação, foram consideradas as características de irradiação das antenas e as especificações dos elementos COTS empregados em cada subsistema. Considera-se o pior caso de posicionamento do satélite em relação à estação terrena, obtida com o satélite na visada da ET em uma elevação mínima de 5° . Nesse caso, o ângulo da antena do satélite em relação ao *boresight* corresponde à $\pm 65, 15^\circ$. Para a altitude do satélite em análise (625 km), a distância é de 2390 km.

A Tabela I(a) sumariza os principais pontos dos cálculos dos enlaces de TM/TC em UHF e banda S, conforme os modos de operação descritos e as especificações dos subsistemas. Observa-se que uma margem igual ou superior a 6 dB é atingida em cada enlace, conforme usualmente recomendado para satélites [5].

No enlace em UHF, nota-se que foi atribuído um erro de apontamento de 10 dB [5], levando em conta uma eventual ausência de controle de atitude na fase de LEOP do satélite. No enlace em banda S, onde a operação do satélite é nominal, implementa-se um código concatenado de controle de erro de canal (FEC) na transmissão (especificamente, RS(255,223) e convolucional de taxa $r = 1/2$ [6]), possibilitando um ganho na margem do enlace que atenda a confiabilidade (através da BER) especificada.

Entretanto, a implementação de código concatenado resulta em adição de dados redundantes transmitidos, de forma que a taxa total transmitida é maior que a taxa de bits de informação (*throughput*), especificada em 13 Mbps. Como o canal em banda S é limitado em largura de banda (10 MHz) [7], torna-se necessário reduzir a taxa de informação a ser transmitida, no caso redimensionada em 7 Mbps. Dessa forma, ao adicionar a redundância de código e implementar um filtro digital com fator de *roll-off* igual a 0,2, atinge-se uma largura de banda de 9,6 MHz, que cumpre a limitação regulatória.

É importante notar que, como a taxa nominal transmitida (7 Mbps) é menor que a taxa requerida (13 Mbps), não é possível descarregar os dados em uma única passagem, sendo necessária uma passagem adicional para o descarregamento dos dados remanescentes, podendo impactar na aplicação da missão.

TABELA I
 CÁLCULO DE ENLACE

(a) Cálculo de enlace em UHF e banda S					(b) Cálculo de enlace em banda S e X				
Parâmetros	Subida (TC)	Parâmetros	Descida (TM)	Descida (TM + dados)	Parâmetros	Subida (TC)	Parâmetros	Descida (TM)	Descida (TM + dados)
Modo de Operação	LEOP/Nominal	Modo de Operação	LEOP	Nominal	Modo de Operação	LEOP/Nominal	Modo de Operação	LEOP/Nominal	Nominal
Banda	UHF	Banda	UHF	S	Banda	S	Banda	S	X
Frequência	401,5 MHz	Frequência	401,5 MHz	2208 MHz	Frequência	2033 MHz	Frequência	2208 MHz	8300 MHz
Modulação	GMSK	Modulação	GMSK	QPSK + FEC	Modulação	GMSK	Modulação	GMSK	QPSK + FEC
Taxa de dados	4 kbps	Taxa de dados	9,6 kbps	7 Mbps	Taxa de dados	4 kbps	Taxa de dados	9,6 kbps	13 Mbps
ET EIRP	32 dBW	Pot. TX	1W	1W	ET EIRP	62 dBW	Pot. TX	1W	1W
Perdas no espaço livre	152,1 dB	Ganho antenna Sat (65, 15°)	-3 dBi	-3 dBi	Perdas no espaço livre	166,2 dB	Ganho antenna Sat (65, 15°)	-3 dBi	-1,5 dBi
Erro de apontamento	10 dB	Satélite EIRP	-8,5 dBW	-4 dBW	Erro de apontamento	10 dB	Satélite EIRP	-9 dBW	-2,5 dBW
Perdas adicionais (chuva e polarização)	3,5 dB	Perdas adicionais (chuva e polarização)	3,5 dB	2 dB	Perdas adicionais (chuva e polarização)	3,5 dB	Perdas adicionais (chuva e polarização)	3,5 dB	2,3 dB
Ganho antenna Sat (65, 15°)	-3 dBi	Perdas no espaço livre	152,1 dB	166,9 dB	Ganho antenna Sat (65, 15°)	-3 dBi	Perdas no espaço livre	166,9 dB	181,2 dB
Temperatura de ruído	880,42 K	Erro de apontamento	10 dB	0,5 dB	Temperatura de ruído	427 K	Erro de apontamento	10 dB	0,5 dB
Satélite G/T	-37,9 dB/K	ET G/T	4,7 dB/K	23 dB/K	Satélite G/T	-35,3 dB/K	ET G/T	23 dB/K	35,5 dB/K
C/N_0	57,1 dB-Hz	C/N_0	59,2 dB-Hz	78,2 dB-Hz	C/N_0	75,6 dB-Hz	C/N_0	62,2 dB-Hz	80,4 dB-Hz
E_b/N_0	21,1 dB	E_b/N_0	19,4 dB	9,8 dB	E_b/N_0	39,6 dB	E_b/N_0	22,4 dB	9,3 dB
E_b/N_0 req. BER 10^{-5}	9,6 dB	E_b/N_0 req. BER 10^{-5}	9,6 dB	2,5 dB	E_b/N_0 req. BER 10^{-5}	9,6 dB	E_b/N_0 req. BER 10^{-5}	9,6 dB	2,5 dB
Perdas de demodulação	3 dB	Perdas de demodulação	3 dB	1,3 dB	Perdas de demodulação	3 dB	Perdas de demodulação	3 dB	1,3 dB
Margem do enlace	8,5 dB	Margem do enlace	6,8 dB	6,0 dB	Margem do enlace	27 dB	Margem do enlace	9,8 dB	5,5 dB

C. Análise sistêmica e discussões complementares

Em conformidade com órgãos regulatórios (União Internacional de Telecomunicações - ITU), o serviço de TT&C pode operar em UHF, utilizando a faixa de 401 – 402 MHz. Entretanto, observa-se que essa faixa de frequências coincide com a frequência de operação de recepção do EDC, especificamente 401,635 MHz. Assim, devido a dois conjuntos de antenas operando em faixas de frequências muito próximas, eventuais problemas devem ser levados em conta no projeto.

Primeiramente, nota-se que a dimensão da estrutura do *CubeSat* (326,55 mm) faz com que as antenas UHF de TT&C e de recepção do EDC estejam eletricamente próximas ($0,43\lambda_0$). Além disso, através de simulações computacionais para o nível de acoplamento entre as antenas, verifica-se que 5% da potência do sinal transmitido (TM) é acoplada na antena do EDC, podendo possivelmente danificá-lo.

Além disso, também através de simulação, observam-se nulos no diagrama de irradiação (Figura 4), onde o ganho total em 60° atinge valores em torno de -18 dBi, possivelmente resultando em perda de TM/TC.

Também enfatiza-se a possível interferência eletromagnética no enlace de subida, tanto na recepção dos dados das PCDs pelo EDC como nos telecomandos providos da ET, pois tanto o EDC como o serviço de TC estão em frequências próximas.

Por fim, como existe uma limitação de banda (10 MHz) na transmissão de TM em Banda S, deve-se utilizar duas passagens para descarregar completamente os dados. Tal prática pode dificultar a verificação imediata das TMs do satélite (*housekeeping*), além de exigir um maior consumo de potência e sobrecarregar o OBC pelo agrupamento de dados, uma vez que todos os dados deverão ser processados e armazenados antes do envio para o transmissor.

III. ARQUITETURA B – BANDA S E X

A segunda opção de arquitetura considera o sistema de comunicação igualmente composto por duas cadeias de transmissão, onde o serviço de TT&C e demais dados científicos trafegam em banda S e os dados da câmera são enviados em banda X. Durante o cenário de LEOP é realizado somente o serviço de TT&C, enquanto no modo nominal os dados científicos do AIS, EDC, SEM e TM são agrupados e formatados no Computador de Bordo (OBC), para serem então enviados à estação terrena. Os dados da câmera (BIO), por outro lado, são enviados para um gravador de dados a bordo do satélite e, subsequentemente, são encaminhados ao transmissor em banda X (ex. SRS-3 S-band Transceiver da *Satlab* e X-band Transmitter da *Endurosat*), diminuindo o processamento no OBC. O diagrama em blocos dessa arquitetura é apresentado na Figura 6.

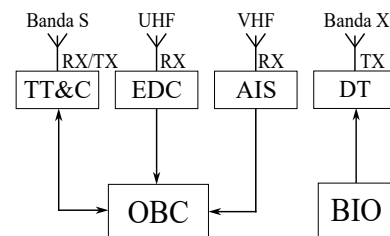


Fig. 6. Diagrama da arquitetura de comunicação do BiomeSat - Solução B.

A. Análise de posicionamento de antenas e resultados

Nessa arquitetura, uma vez que o subsistema de TM passa a operar em banda S, é proposta uma nova disposição das antenas para o EDC e AIS. Assim, passa-se a usar quatro

antenas na face $+y$ do BiomeSat para o serviço do AIS e outras quatro antenas, posicionadas na face $-y$, para atender o EDC. Nos dois casos, a alimentação de fase progressiva para obter polarização circular foi empregada. O esquemático do BiomeSat ilustrando a disposição das antenas é apresentado na Figura 7. Os resultados em termos de diagrama de irradiação das antenas dos serviços EDC e AIS são apresentados na Figura 8. Destaca-se que o aumento no número de antenas para o EDC faz com que o ganho seja aumentado, principalmente, na direção de 60° .

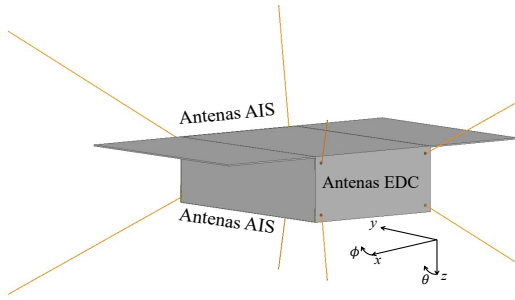


Fig. 7. Configuração do posicionamento das antenas dos serviços AIS e EDC.

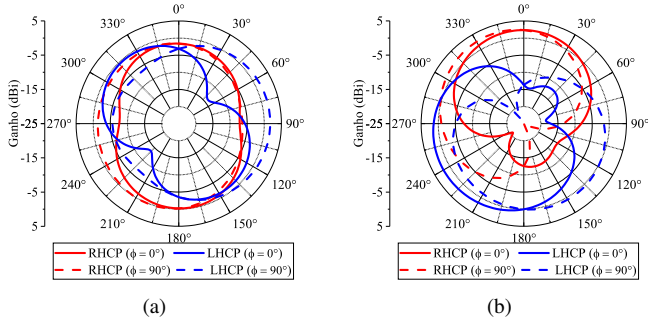


Fig. 8. Diagramas de irradiação das antenas do (a) EDC e do (b) AIS.

B. Cálculo de enlace de comunicações

Para as análises de desempenho dos enlaces de comunicação em banda S e X, como realizado anteriormente, foram consideradas as características de irradiação das antenas do tipo microfita, as especificações dos equipamentos COTS e da ET de Cuiabá. A Tabela I(b) sumariza o cálculo de enlace de TM/TC em banda S e o envio de dados em banda X. No enlace de TM/TC em banda S observa-se uma maior margem do enlace comparado ao enlace em UHF da configuração anterior (Tabela I(a)). Isso deve-se as características da ET com melhor EIRP e G/T. Caso necessário, em se considerando um acréscimo da taxa de dados de TM em função da transmissão das cargas úteis, a margem do enlace pode ser aumentada através do uso de código concatenado. Com isso, é possível manter a mesma potência de transmissão (1 W) e, conseqüentemente, o consumo de energia a bordo do satélite.

No enlace em banda X observa-se o uso da taxa de bits requerida pela missão (13 Mbps), uma vez que a máxima largura de banda é de 375 MHz. Assim, é possível descarregar todos os dados em única passagem sem utilizar gravador a

bordo. Nesse enlace, implementa-se o FEC de modo que a margem obtida seja suficiente para garantir uma recepção confiável dos dados da câmera.

C. Análise sistêmica e discussões complementares

Comparando com a solução anterior de arquitetura (opção A), a inclusão do sistema de comunicação em banda X, adicionalmente ao sistema em Banda S, acaba tornando a arquitetura mais complexa, o que pode elevar o custo da missão devido à inclusão tanto de um transmissor quanto de sua antena. No entanto, a separação entre os serviços, sejam AIS em VHF, EDC em UHF, TT&C em banda S e dados da câmera em banda X, resolve os desafios técnicos impostos na arquitetura anterior. Não há mais interferência entre os serviços, como no caso anterior, nem risco de dano ao receptor do EDC. Adicionalmente, devido à maior largura de banda disponível em banda X (375 MHz), os dados podem ser descarregados em uma única passagem, atingindo os requisitos de aplicação da missão.

IV. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou um estudo preliminar de arquitetura para o nanosatélite BiomeSat do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Para tanto, análises sistêmicas foram apresentadas assim como os desafios de projeto, levando em conta os compromissos existentes entre eficiência em potência, banda e complexidade. Duas opções de arquiteturas foram expostas, com base nas características encontradas em equipamentos COTS, além de simulação do posicionamento das antenas levando em conta o modelo dimensional do satélite. Por fim, através dos cálculos de enlaces, demonstrou-se a viabilidade da solução apresentada, atendendo aos requisitos da missão. Como trabalhos futuros, pretende-se incluir nesse estudo os impactos na recepção dos serviços de AIS e EDC, enfatizando os aspectos técnicos referentes ao projeto e dimensionamento das antenas do satélite.

REFERÊNCIAS

- [1] Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE) 2022-2031. Acessado em: 05-05-2023. Disponível em: "https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/politica-organizacao-programa-e-projetos/programa-nacional-de-atividades-espaciais".
- [2] Plano Diretor INPE 2022-2026. Acessado em: 05-05-2023. Disponível em: "https://www.gov.br/inpe/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/plano-diretor".
- [3] W. A. Dos Santos *et al.*, "BiomeSat: A Multi-Mission 6U Nanosat for Estimating Forests Health in Brazil," *Joint 5th IAA Latin American CubeSat Workshop and 3rd IAA Latin American Symposium on Small Satellites*, Brasília, Novembro 2022.
- [4] A. Johnstone. CubeSat Design Specification Rev. 14.1. Acessado em: 05-05-2023. Disponível em: "static1.squarespace.com/static/5418c831e4b0fa4ecac1bacd/t/62193b7fc9e72e0053f00910/1645820809779/CDS+REV14_1+2022-02-09.pdf".
- [5] Barbarić, Dominik, Josip Vuković, and Dubravko Babić. "Link budget analysis for a proposed Cubesat Earth observation mission." *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*. IEEE, 2018.
- [6] CCSDS 130.1-G-3 TM Synchronization and Channel Coding - Summary of Concept and Rationale, June 2020.
- [7] CCSDS 401.0-B-32 Radio Frequency and Modulation Systems - Part 1 Earth Stations and Spacecraft, October 2021.