

# Avaliação de Link Budget em Sistemas 5G-NTN nas Bandas S e Ka com MATLAB

Carla Loureiro, Renato Santos, Aldebaro Klautau e Diego Gomes

**Resumo**— Este estudo analisa o link budget satelital nas bandas S e Ka, na direção de downlink, com base nos cenários de referência definidos no 3GPP e propagação de sinal de acordo com o ITU-R P.618, que inclui as perdas de caminho na comunicação via satélite. Os códigos foram implementados na plataforma MATLAB, em que examinamos como os principais elementos da transmissão afetam a perda de percurso e seus impactos na capacidade canal.

**Palavras-Chave**— Link Budget, 5G-NTN, Satélite.

**Abstract**— This study analyzes the satellite link budget in the S and Ka bands, in the downlink sense, based on the reference scenarios defined in 3GPP and signal propagation according to ITU-R P.618, which includes path losses in satellite communication. The codes were implemented on the MATLAB platform, where we examined how key transmission elements affected path loss and their impacts on channel capacity.

**Keywords**— Link Budget, 5G-NTN, Satellite.

## I. INTRODUÇÃO

O 3rd Generation Partnership Project (3GPP) estabeleceu um grupo de estudos para adaptar o sistema 5G à comunicação via satélite, conhecido como 5G-NTN (Non-Terrestrial Networks). Essa integração é fundamental para expandir a cobertura em áreas rurais e remotas, onde a infraestrutura terrestre é limitada [1], e para melhorar a inclusão digital ao conectar comunidades isoladas. Devido às grandes distâncias envolvidas nas comunicações via satélite, é essencial realizar uma avaliação detalhada do *link budget*, que calcula as perdas e ganhos do sinal de acordo com os parâmetros definidos pelo 3GPP [2] e [3]. As bandas S e Ka são usadas para diferentes tipos de enlace. A banda S, que opera em torno de 2 GHz, é utilizada para conectar diretamente os equipamentos do usuário (User Equipment, UE) no enlace de *service link*. Essa banda é conhecida por sua capacidade de penetrar melhor em ambientes com obstáculos, resultando em menor atenuação do sinal. Em contraste, a banda Ka, que opera em torno de 20 GHz, é empregada para a conexão com a estação terrestre *ground station* no enlace de alimentação *feeder link*.

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade e o desempenho da comunicação 5G-NTN nas bandas S e Ka em cenário rural da cidade de Macapá no Brasil, onde há menos obstruções e a probabilidade de linha de visão (LOS, do inglês *line of sight*) é geralmente maior. Fornecemos uma análise detalhada do *link budget*, das condições de propagação do sinal e capacidade do canal, considerando um caso com um único satélite de baixa órbita (LEO, do inglês *low Earth orbit*) a 600 km de altitude, na direção de downlink. Em áreas rurais, geralmente se tem visada direta, porque há menos edifícios, e outras estruturas, como resultado, é mais provável que o sinal viaje diretamente do satélite para o receptor sem enfrentar grandes obstáculos [2]. Assim, tanto as ligações entre a estação terrestre e os satélites, como as ligações diretas entre satélites e UE são favorecidas pela ausência de obstruções, resultando em sinais mais confiáveis.

## II. METODOLOGIA

### A. link budget

O link budget oferece uma análise de todos os ganhos e perdas que um sinal experimenta ao viajar do transmissor para o receptor através do canal de comunicação [1]. Nessa análise, foi aplicada a relação entre ruído e interferência na transmissão entre o satélite e os terminais terrestres, obtida por meio da métrica de relação portadora/ruído (CNR) [3], em que EIRP é a potência isotrópica radiada efetiva,  $G/T$  é a relação ganho-temperatura da antena,  $k$  é a constante de Boltzmann,  $PL_{FS}$  representa as perdas de espaço livre,  $PL_A$  é a atenuação por chuva,  $PL_{SM}$  é o sombreamento,  $PL_{SL}$  é a perda de cintilação,  $PL_{AD}$  representa perdas adicionais e  $B$  é a largura de banda do canal. A equação abaixo mostra a CNR, em dB.

$$CNR[dB] = EIRP[dBW] + \frac{G}{T} [dBW/K] - k[dBW/K/Hz] - PL_{FS}[dB] - PL_A[dB] - PL_{SM}[dB] - PL_{SL}[dB] - PL_{AD}[dB] - B[dBHz] \quad (1)$$

### B. Modelo de perdas em grande escala

O 3GPP desenvolveu um modelo de perdas para avaliar as bandas S e Ka, considerando as principais atenuações

$$PL = PL_b + PL_g + PL_s + PL_e + PL_{cf} + PL_r \quad (2)$$

em que  $PL_b$  é a perda básica, que engloba tanto a perda por desordem (CL) quanto a atenuação por sombreamento (SF);  $PL_g$  é a atenuação por gases atmosféricos, que é mais acentuada em frequências elevadas,  $PL_r$  é a perda por chuva,  $PL_{cf}$  é a perda por nuvem, e devem ser consideradas em frequências acima de 6 GHz [2], sendo a chuva especialmente prejudicial na banda Ka. A perda por cintilação (PLs), é resultante de flutuações na intensidade do sinal devido a mudanças atmosféricas, também requer atenção. Por fim,  $PL_e$  é a perda por entrada de edifício, que é insignificante em ambientes rurais.

### C. Cálculo da capacidade de canal

Para avaliar a eficiência do sistema de comunicação via satélite, calcula-se a capacidade do canal, que é a taxa máxima de transferência de dados que o canal pode suportar.

$$C = B \log_2(1 + SNR) \quad (3)$$

A capacidade do canal (C) é determinada pela fórmula de Shannon, que relaciona a largura de banda (B) à relação sinal-ruído (SNR), que é empregada para avaliar o *feeder link* e o *service link* no sistema de comunicação satelital.

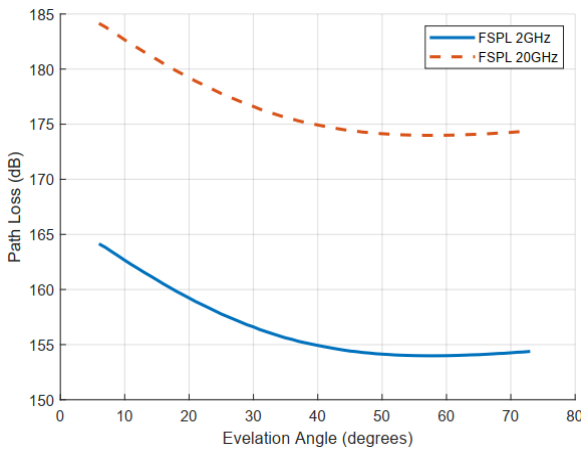
## III. RESULTADOS

O modelo de propagação simulado no MATLAB, conforme as diretrizes da P.618 [4], foi aplicado para análise de downlink na cidade de Macapá, escolhida por estar localizada na linha do equador, o que permite simular órbitas menos complexas. Os dados de trajetória da órbita foram obtidos com o pacote de comunicações satelitais do MATLAB. Os parâmetros da simulação estão sumarizados na Tabela I.

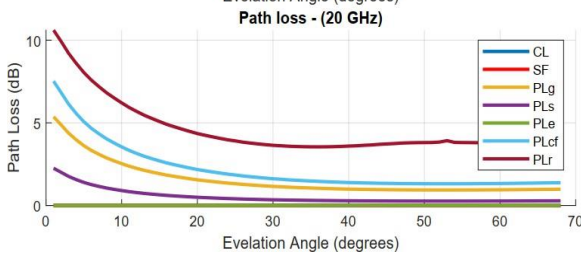
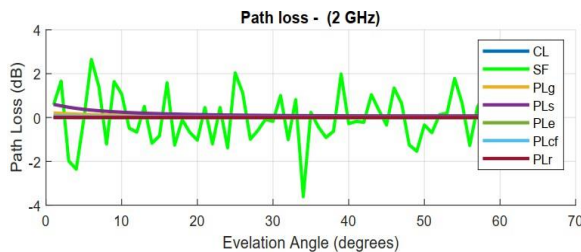
TABELA I. Parâmetros do link budget para downlink

Parâmetros	Unidade	Service link	Feeder link
Potência transmitida	dBW	20	
Ganho de antena Tx	dB	28	
Ganho de antena Rx	dB	0	42
Largura de banda	MHz	30	400
Constante de Boltzmann	dBW/K/Hz	$1.38^{-23}$	
Temp. de ruído do sistema	dBK	86	

As perdas de caminho para as bandas S e Ka são representadas (em dB) conforme o ângulo de elevação varia de 0 a 70 graus. Na Fig. 1(a), a perda de espaço livre (FSPL) é maior a 20 GHz do que a 2 GHz, pois este parâmetro decresce com o quadrado da frequência da portadora. Na Fig. 1(b), as perdas como CL, SF, PLg, PLe e PLr têm impacto mínimo na banda S (2 GHz). Em contraste, na banda Ka (20 GHz), observa-se um aumento significativo nas perdas, especialmente em ângulos de elevação baixos. Essas perdas diminuem à medida que o ângulo de elevação aumenta, uma vez que o sinal viaja através de uma porção menor da atmosfera, reduzindo os efeitos da absorção atmosférica e dispersão. Assim, na banda Ka, as perdas CL, SF, PLg, PLe e PLr se tornam mais significativas, apresentando valores de até 10 dB nos ângulos de elevação mais baixos.



(a)



(b)

Fig. 1 - Perda por espaço livre (a) e perdas adicionais nas bandas S e Ka (b).

Na Fig. 2 notamos que a capacidade do *feeder link* é bem maior que o *service link*, embora atenuações estejam mais presentes no primeiro. Essa é uma característica importante, pois este tipo de conexão servirá como *fronthaul* para as comunicações 5G-NTN. Tal fato é explicado pela maior largura de banda do *feeder link* (400 MHz) e pelo ganho da antena receptora ser mais elevado que no *service link* (42 dB). Além disso, foi analisado que a capacidade de canal cresce conforme o ângulo de elevação aumenta. Este resultado indica que conexões em 5G-NTN devem ser efetivadas nos ângulos de elevação mais altos.

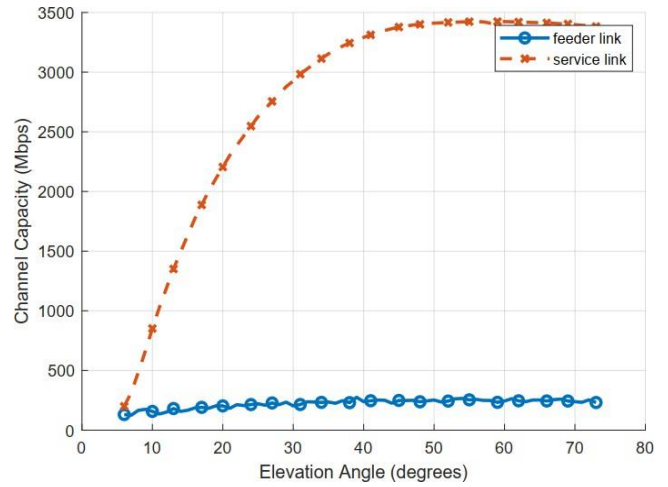


Fig. 2 - Capacidade de canal das bandas S e Ka

#### IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado uma análise de link budget de sistemas 5G-NTN, para as faixas de 2 GHz *service link* e 20 GHz *feeder link*, para a cidade de Macapá. Embora o *feeder link*, na banda Ka, tenha maior variação nas perdas por condições atmosféricas, possui maior capacidade de canal devido ao ganho da antena e largura de banda. A banda Ka é ideal para aplicações de alta capacidade, como em *ground stations*, mas pesquisas futuras devem explorar cenários urbanos e sem linha de visada para entender melhor os desafios e oportunidades.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela PROPIT-Unifesspa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] T. Pratt, J. Allnutt, "Satellite Communications". (7th ed). John Wiley & Sons. 2020.
- [2] Study on New Radio to support non-terrestrial networks (NR-NTN) [Report]. 3rd Generation Partnership Project (3GPP). 2020.
- [3] TR 38.821 V17.6.0 Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) rel-16 (Technical Report). 3rd Generation Partnership Project (3GPP). 2023.
- [4] Recommendation ITU-R P.618 - Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems. International Telecommunication Union (ITU). 2015.
- [5] <https://www.3gpp.org/>, acessado em 22/05/2024.