

Estatísticas de Tempo de Conexão e Atraso de Propagação para Sistemas 5G-NTN

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4655

Alex Santos Ferreira - alex.ferreira@unifesspa.edu.br
UNIFESSPA

DIEGO DE AZEVEDO GOMES - DIAGOMES@UNIFESSPA.EDU.BR
UNIFESSPA

Valdez Aragão de Almeida Filho - valdez.filho@unifesspa.edu.br
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Junior - aldebaro@ufpa.br
UFPA

DIORGE DE SOUZA LIMA - diorgelima@unifesspa.edu.br
UNIFESSPA

Resumo: *As redes 5G prometem trazer grandes taxas de dados, baixa latência e alto desempenho. Porém ainda não trazem ubiquidade. Este artigo aborda o uso da comunicação via satélite, destacando sua relevância para as redes 5G e, apresenta um estudo das estatísticas de parâmetros orbitais para atender usuários em terra com satélites de baixa órbita, para a comunicação por satélite, as simulações feitas sugerem que o sistema proposto pode ser uma solução de conexão às cidades com pouca ou nenhuma infraestrutura de cobertura por rede terrestre.*

Palavras-chave: 5G NR, 5G NTN, Comunicações via satélite

Estatísticas de Tempo de Conexão e Atraso de Propagação para Sistemas 5G-NTN

1 INTRODUÇÃO

Grande parte da população mundial está sempre conectada, o que permite que as pessoas conversem, comprem coisas e conheçam lugares diferentes sem sair de casa. A conectividade tornou-se importante para o trabalho e a vida pessoal, e que foi viabilizado através dos sistemas de comunicação. Todavia, a universalização desses serviços ainda está em andamento, a qual pode ser alavancada pelas redes aeroembarcadas e em satélite, pode se tornar realidade (SANDRI, 2022).

O 5G é a quinta geração das redes móveis, que vem sendo desenvolvida para ser a sucessora da rede 4G. Esta nova geração promete maiores velocidades de conexão e download de dados. Após anos de desenvolvimento e especulação, foi lançado em 2019, ainda que de forma bastante limitada, e tem como principais vantagens, baixa latência e alto desempenho. Na prática o 5G proverá acesso de conexões entre 1 e 10 Gbps, com latência de 5ms a 20ms, o que resulta em tempos de resposta mínimos, quando comparado às gerações anteriores. Para quem gosta de jogar online vai poder contar com uma conexão sem aqueles típicos "gargalos" que atrapalham a experiência online. Mas não é só isso: esses dois recursos também permitem uma experiência mais tranquila em outras situações, como na telemedicina, uso de óculos de realidade aumentada, conexão automática do veículo controlado por inteligência artificial, serviços em nuvem, internet das coisas, e etc (VICENTIN - 2022).

Nesse contexto, a utilização em conjunto de sistemas satelitais com as redes 5G pode trazer a ubiquidade necessária a essa nova geração. Em entrevista ao TudoCelular, Sandro Barros, Diretor regional da SES (uma das principais proprietárias e operadoras de satélite do mundo, cobrindo cerca 99% do globo terrestre) destacou quatro pilares de aplicação, que tornam as operações em satélite importantes para o ecossistema do 5G. A primeira é levar a tecnologia a áreas remotas. Além disso, Sandro mencionou o uso da rede móvel de quinta geração em mobilidade onde a fibra não chega, por exemplo, dentro de um avião, em navios durante cruzeiros, dentro de um carro autônomo.

"Destacaria quatro pilares de aplicação: a primeira é capacidade de levar esse tipo de tecnologia para vários lugares. O segundo ponto é a questão da mobilidade, como nos aviões, nos barcos e nos cruzeiros, que nós revolucionamos essa indústria. Plataformas de petróleo; mesmo os barcos menores, como iates; conectividade terrestre, em trens e carros autônomos. Em tudo o que você não pode atender por fibra, os satélites vão ser cada vez mais importantes. As pessoas estão se comunicando cada vez mais em movimento. E o 5G vai fazer com que isso seja ainda maior."

O terceiro pilar está linkado a simultaneidade, a qual consiste em diminuir a latência ao utilizar processamento nas bordas da rede.

“Outro aspecto importante que o satélite vai contribuir muito para o 5G é na parte de simultaneidade. Uma das características do 5G é levar o processamento para as bordas da rede, justamente para minimizar a latência e ter uma comunicação mais eficiente. Ninguém melhor que o satélite para fazer uma comunicação multiponto, distribuindo o mesmo conteúdo de forma simultânea.”

Por fim, Sandro aborda a segurança como quarto pilar para a aplicação do 5G via satélite. Nesse pilar, uma das vantagens do satélite seria a impossibilidade de rompimento, que pode ocorrer com uma fibra ou um cabo.

“Um quarto pilar é o de segurança. Quanto mais aplicações críticas têm, você vai precisar de segurança, seja ela a nível de backup ou por uma questão de disponibilidade – porque não está sujeito a romper uma fibra ou um cabo –, além de ser digitalizada por natureza.”

A associação entre redes 5G e satelitais criará uma nova tecnologia que ainda está em desenvolvimento, a qual tem sido chamada de 5G-NTN (do inglês 5G non-terrestrial networks – redes 5G não-terrestres). Para esta nova tecnologia são previstos alguns casos de uso que são baseados nos serviços básicos do 5G (eMBB – Enhanced Mobile Broadband, URLLC – Ultra-Reliable Low-Latency Communication, and mMTC – Massive Machine-Type Communication), as quais incluem: multiconectividade para áreas com baixa cobertura, fronthaul para conectar sistemas terrestres em áreas remotas ao núcleo da rede, conexão de backup, transmissões de broadcast para aliviar a carga da rede terrestre, conexão de dispositivos IoT ao núcleo da rede, comunicação robusta em situações de desastres, etc (5G Americas, 2023).

No que tange às arquiteturas que poderão ser utilizadas, têm-se a proposta da Arquitetura Transparente Baseada em Satélite e a Arquitetura Regenerativa Baseada em Satélite. Na primeira abordagem pretende-se utilizar o satélite como um repetidor de RF, o qual executará algumas aplicações de filtragem e amplificação. Já na arquitetura regenerativa se tem a possibilidade de embarcar várias das funções da gNB no nó aéreo. Vários estudos estão sendo realizados para viabilizar essas redes, que vão desde mapeamento de condições orbitais a ajustes nos protocolos do 5G (5G Americas, 2023).

Este trabalho apresenta um estudo das estatísticas de parâmetros orbitais, atraso de propagação e tempo médio de conexão ininterrupta, para atender usuários em terra com satélites de baixa órbita (low Earth orbit - LEO). O estudo foi desenvolvido com a utilização de simulações realizadas com o suporte do software Matlab, e com parâmetros baseados em recomendações do 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

2 NTN - NON TERRESTRIAL NETWORKS (REDES NÃO-TERRESTRES)

É uma tecnologia que usa satélites e outros veículos não terrestres para conectar as comunicações a áreas inacessíveis às redes terrestres, como montanhas, desertos, oceanos e outras áreas remotas. A exemplo, a conexão de um smartphone a um satélite, que transmite para uma estação terrestre, que transmite para uma torre de rede 5G a outro smartphone, e vice-versa.

Com o surgimento de novos cenários de uso que exigem a adoção de sistemas de comunicação sem fio, apresentam-se novos desafios para a capacidade do sistema, bem como para a cobertura da rede e confiabilidade do serviço. Há também a possibilidade de extensão dos sistemas terrestres existentes que fornecem cobertura de banda larga para áreas rurais onde as torres de transmissão não podem ser instaladas, e abre novas oportunidades para conectividade econômica em partes remotas do mundo.

Segundo (GIORDANI; ZORDI - 2021, pp. 244-245), além disso, a introdução de veículos espaciais/aéreos pode complementar a infraestrutura terrestre e melhorar a continuidade do serviço e a confiabilidade das redes existentes.

Todavia, devido à maior distância de propagação alguns desafios são potencializados como a perda de caminho (path loss - PL), a ação de atenuadores atmosféricos adicionais como, chuva, nuvens, tempestades, deslocamento Doppler causado pela velocidade orbital do satélite, e o tempo de propagação estendido.

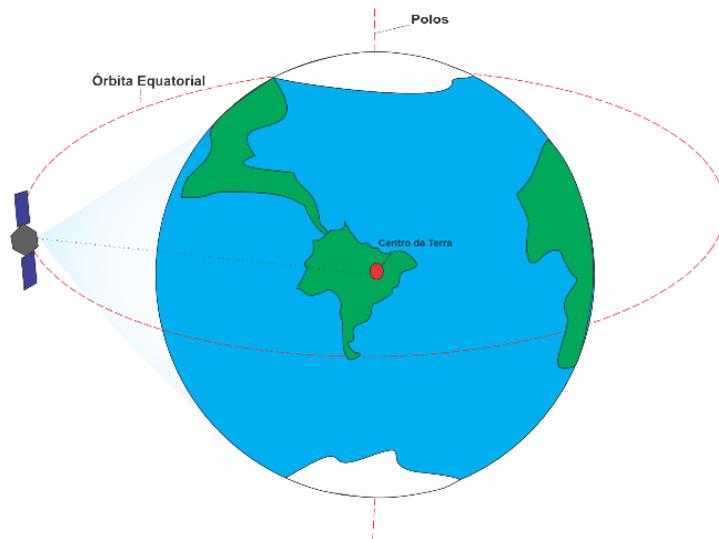
3 PARÂMETROS ORBITAIS

3.1 ÓRBITAS GEOESTACIONÁRIAS

O uso de satélites para fornecer serviços telefônicos, torna seu uso muito limitado devido à sua alta latência e baixa capacidade de largura de banda. As comunicações por satélite em órbita geoestacionária (GEO), orbitando em 35.786km, causam atrasos significativos. Satélites geoestacionários são aqueles que orbitam o equador na mesma velocidade que a Terra. Esse tipo de órbita foi escolhida como base para alguns sistemas de comunicação porque oferece maior cobertura, requer menos lançamentos de satélites e permite ofertas comercialmente viáveis, e também porque os primeiros lançadores de satélites na Terra tinham pouca ou nenhuma capacidade de alterar a inclinação de suas órbitas. O resultado foi que a inclinação orbital dos primeiros satélites era aproximadamente igual à latitude do local de lançamento. A órbita equatorial era uma escolha lógica se as conexões norte e sul do equador fossem mantidas iguais (ALLNUTT - 2021).

O plano orbital de satélites GEO deve coincidir com o plano equatorial da Terra, para que o satélite não se mova em relação ao referencial da superfície da Terra e deve ir na mesma direção da rotação da Terra (Figura 1). Em um sistema de referência alinhado a uma região da superfície da Terra o caminho percorrido é circular paralelo ao equador e ao redor do eixo de rotação da Terra, enquanto um satélite geossíncrono descreve um caminho circular ao redor do centro da Terra, com órbitas localizadas dentro do plano do equador. O satélite então parece estacionário em relação a um sistema de referência na superfície da Terra, mas sua altura acima do horizonte diminui com o aumento da latitude na superfície da Terra.

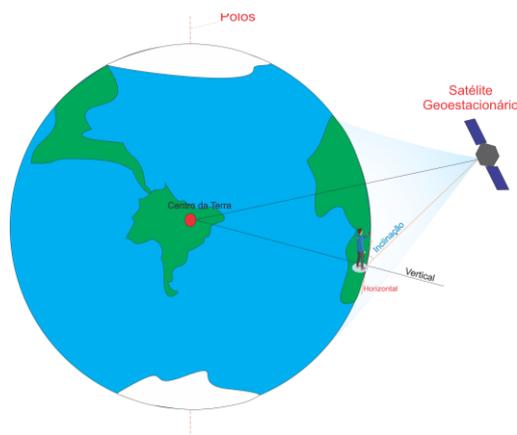
Figura 1 – Satélite em órbita equatorial.



Fonte: Próprio autor

Como vimos, o satélite tem uma posição fixa e precisamos direcionar uma antena para sua localização exata no céu. No entanto, acontece que a Terra é redonda. Isso significa que se estivermos no equador, logo abaixo do satélite, basta apontar a antena para cima para encontrá-lo. Mas conforme se distancia do equador, ou seja, em altas latitudes, o satélite fica "baixo" em relação ao horizonte, conforme mostra a Figura 2.

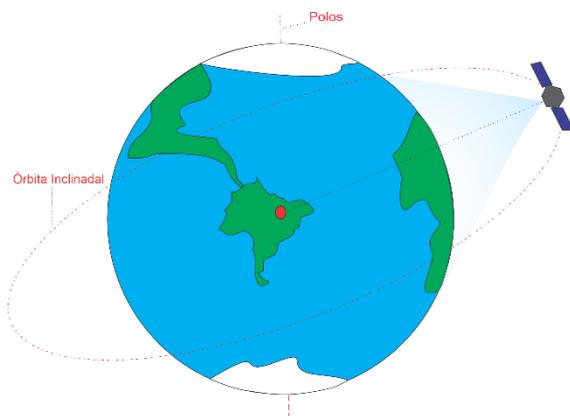
Figura 2 – Radiação do satélite geostacionário segundo uma direção inclinada em relação a horizontal.



Fonte: Próprio autor

Existem duas limitações físicas fundamentais da órbita geostacionária: cobertura de latitude bem longe do equador e atraso de transmissão. O problema de cobrir altas latitudes pode ser resolvido usando uma órbita inclinada ao eixo equatorial, como exibido na Figura 3.

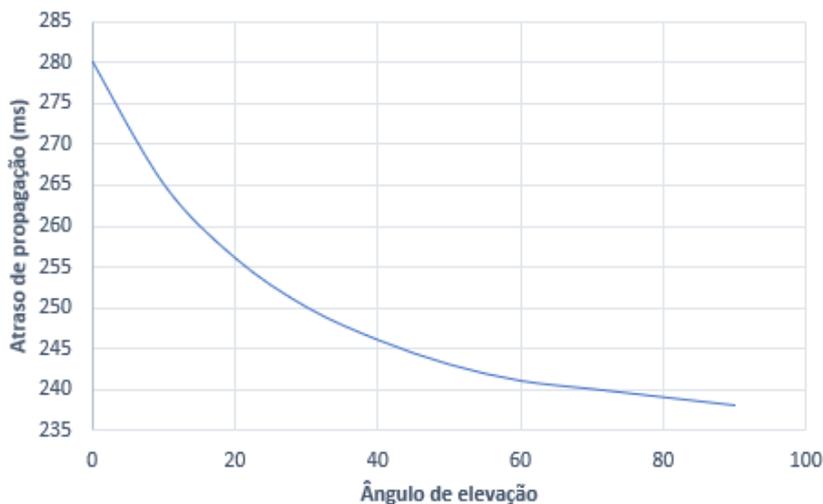
Figura 3 – Órbita inclinada.



Fonte: Próprio autor

Em sistemas satelitais quanto maior o ângulo de elevação (graus) menor é o atraso de propagação. Na Figura 4, é exibido um gráfico de atraso de propagação (ms) de acordo com o ângulo de elevação, para um satélite GEO. Note que nessa situação o atraso de transmissão bidirecional pode ser de aproximadamente 0,6 s, o que pode ser danoso em algumas situações (ALLNUTT - 2021). Uma solução para esse grande tempo de transmissão é a utilização de órbitas mais baixas (low Earth orbit - LEO), em que, por exemplo, pode-se alcançar atrasos de apenas 2 ms com um satélite a 600 km, sendo observado a um ângulo de elevação de 90 graus.

Figura 4 - Atraso de propagação versus ângulo de elevação para um link de satélite geostacionário.



Fonte: Próprio autor

4 Metodologia

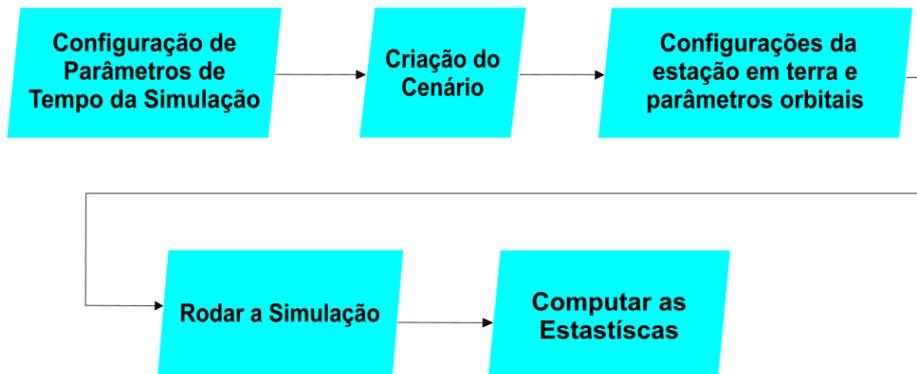
Neste trabalho utilizamos a biblioteca Satellite Communications Toolbox do Matlab para gerar os dados de trajetória de satélite. A Figura 5 mostra as etapas da simulação que foi realizada para gerar os dados para este estudo.

O processo inicia com a configuração do tempo de simulação, que deve ser configurado o período do passo da simulação (amostragem do tempo), e o tempo total de simulação. Em seguida criamos um cenário, em que as configurações de tempo são utilizadas como entrada para então se ter uma base para a simulação.

O próximo passo consiste em determinar as configurações associadas a estações em terra e a órbita do satélite: número de estações em terra, nomes das estações, ângulo de elevação mínimo para se estabelecer uma conexão, latitude e longitude, número de satélites, nome dos satélites, inclinação da órbita, parâmetros do formato da órbita.

Com as configurações acima é possível então rodar uma simulação, em que é feita uma representação do movimento do satélite ao redor da terra, e como este se conecta com as estações em terra de acordo com o passar do tempo. Após a simulação é gerado um arquivo com os registros dos momentos em que ocorreram conexões satélite-estação. A partir desse arquivo é possível computar estatísticas sobre o tempo total de cada conexão ininterrupta, a quantidade de conexões realizadas no período simulado, o atraso de propagação em cada instante, etc.

Figura 5 – Etapas da simulação.



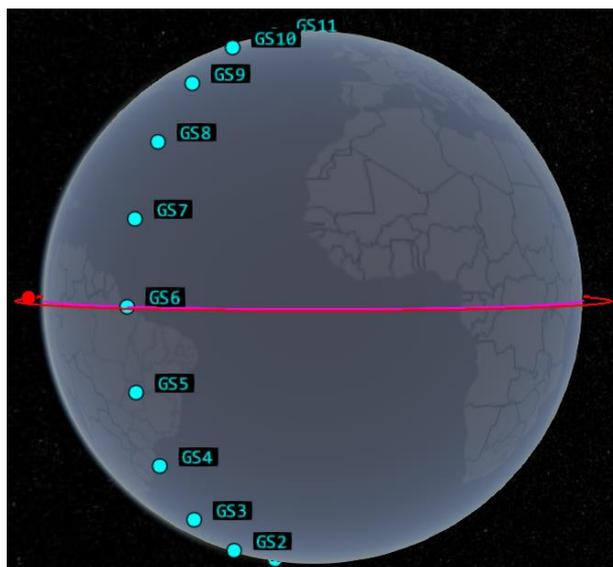
Fonte: Próprio autor

5 Resultados

Nas nossas simulações utilizamos um cenário com 1 satélite, e 11 estações em terra. O período de simulação foi de um mês, com período de amostragem na simulação de 60 segundos. Seria possível configurar um valor menor de amostragem na simulação, mas isso implicaria em um tempo maior para rodar a o cenário. Já o período de simulação de 1 mês foi escolhido para que tivéssemos várias ocorrências de conexão para as órbitas inclinadas e as estações em terra. O ângulo de elevação mínimo foi configurado como 5 graus, como indica o 3GPP TR 38.811, e a altitude do satélite foi de 600 km, o que o qualifica como baixa órbita.

As 11 estações em terra foram configuradas para estarem todas na mesma longitude (-48,4452 graus), mas com latitudes diferentes: -75, -60, -45, -30, -15, 0, 15, 30, 45, 60 e 70 graus. Dessa forma tivemos estações localizadas tanto abaixo como acima da linha do equador. A Figura 6 mostra como as estações em terra ficaram localizadas em relação ao globo terrestre.

Figura 6 – Localização das estações em terra.



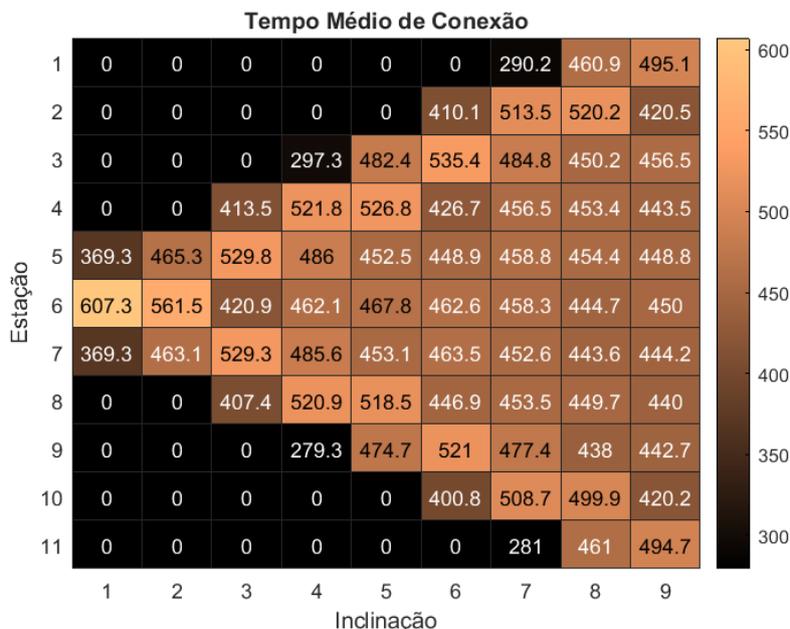
Fonte: Próprio autor

Para o satélite foram configurados os ângulos de inclinação de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 graus. Com esses valores de ângulo de inclinação é possível ter visada para todas as estações, em algum momento, e assim avaliar as estatísticas de conexão entre as estações e o satélite, de acordo com a posição em terra e a inclinação do satélite.

A Figura 7 mostra o tempo médio de conexão entre uma estação e o satélite, de acordo com o ângulo de inclinação. Note que nas colunas temos os ângulos de inclinação, que estão identificados pelo índice, e então 1 indica ângulo de inclinação de 0 graus, 2 denota ângulo de inclinação de 10 graus, e assim por diante. Já nas linhas estão apresentadas as estações, em que a estação 1 é a que está localizada na latitude de -75 graus, a estação 2 está localizada na latitude de -60 graus, etc. O estudo do tempo médio de conexão é importante porque determina se uma estação terá que fazer troca de conexão entre satélites com mais frequência, o que pode causar impactos na taxa de entrega de pacotes. Analisando a Fig. 7 identificamos que o maior tempo médio de conexão ininterrupta foi da estação localizada no equador (estação 6), quando se conectou com o satélite com inclinação de 0 graus, que apresentou valor de aproximadamente 10 minutos. Para as outras estações, observou-se que os maiores tempos de conexão ocorreram quando a inclinação do satélite tinha um ângulo próximo ao da latitude da estação. Por exemplo, a estação 4 (latitude de -30 graus) teve os maiores tempos médios de conexão com os satélites em inclinação de 30 e 40 graus. Também se observou que há uma simetria nos valores obtidos por estações que possuem latitudes simétricas, em que, por exemplo,

a estação 5 (latitude de -15 graus) apresentou valor similar ao da estação 7 (latitude de 15 graus).

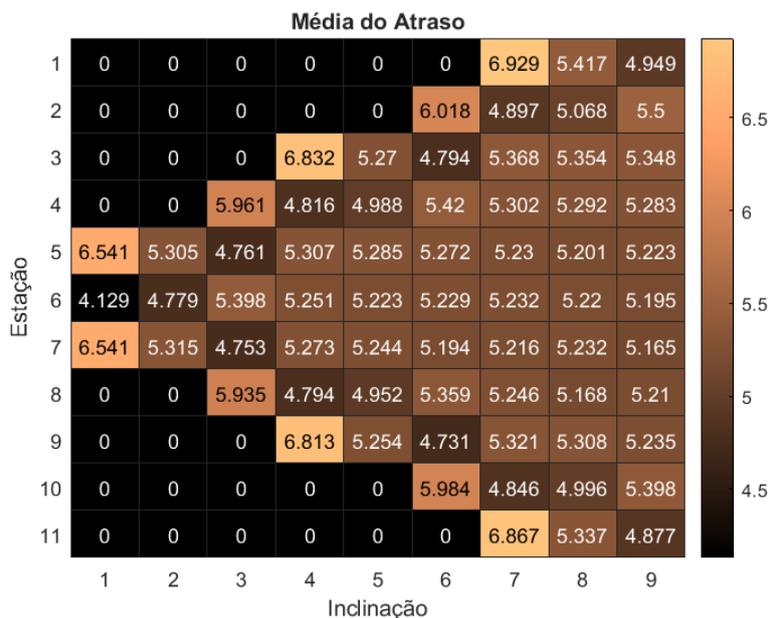
Figura 7 – Estatísticas do tempo médio de conexão entre as estações e o satélite, em segundos.



Fonte: Próprio autor

A Figura 8 mostra o atraso de propagação médio em milissegundos, que indica o tempo que o sinal leva para ir do satélite até a estação, de acordo com a inclinação do satélite e latitude da estação. O estudo dessa métrica é de grande valia para sistemas de comunicação satelitais, pois serve como base para ajustes nos protocolos relacionados retransmissão, alinhamento de envio de sinais, e estimativa de canal (3GPP TR 38.811). A Fig. 8 mostra que a estação com menor tempo médio de atraso foi a localizada no equador, 4,129 ms. Já as situações que apresentaram os maiores valores para essa medida foram aquelas em que as estações se conectaram com um satélite em um ângulo de inclinação menor que a latitude da estação. Por exemplo, a estação 3 (latitude de -45 graus) teve maior média no atraso, de 6,832 ms, quando se conectou com o satélite na inclinação de índice 4 (30 graus), e com satélites com inclinações menores que 30 graus não houve visada para estabelecer uma conexão.

Figura 8 – Estatísticas do atraso de propagação de médio, em milissegundos.



Fonte: Próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um estudo sobre as estatísticas de tempo de conexão entre estações em terra e satélites em órbitas baixas, 600 km. Foram configuradas estações de várias latitudes, e as órbitas determinadas para os satélites tiveram inclinações diversas. Esses estudos mostraram que as estações localizadas no equador apresentam melhores estatísticas para tempo de conexão e atraso de propagação. Todavia são necessários estudos adicionais para confirmar tais conclusões.

REFERÊNCIAS

ALLNUTT, J E. – **Satellite-to-Ground Radiowave Propagation 2nd edition**. The Institution of Engineering And Technology - IET Electromagnetic Waves Series 54 - 2011.

BARROS, Sandro. **Citação de referências e documentos eletrônicos**, publicado em, publicado em 26 de novembro de 2019. Disponível em: <https://www.tudocelular.com/planos/noticias/n149558/satelites-viabilizarao-5g-na-terra-no-mar-e-no-ar.html>. Acesso em: 19 mai. 2023.

GIORDANI, Marco. ZORZI, Michele. “**Redes não terrestres na era 6G: desafios e oportunidades**”. Em: IEEE Networks 35.2 (2021), pp. 244–251. doi: <https://arxiv.org/pdf/1912.10226.pdf>.

SANDRI, Mattia. **An ns-3 Module for Non-Terrestrial Network (NTN) Simulation: Implementation, Design and Performance Evaluation**. Master Thesis in ICT For Internet and Multimedia - Dipartimento di Ingegneria Dell’Informazione - Università Degli Studi di Padova. Academic Year 2022/2023.

VICENTIN, Tissiane. **Especial 5G: tudo o que você precisa saber sobre essa tecnologia**, publicado em 07 de agosto de 2022. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/09/24/pro/especial-tudo-sobre-5g/>. Acesso em: 20 mar 2023.

5G Americas - **5G & Non-Terrestrial Networks**. February 2022. Disponível em: <https://www.5gamericas.org/5g-and-non-terrestrial-networks/>. Acesso em: 22 fev 2023.

3GPP TR 38.811, Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks (Release 15), V15.4.0, 2020.