

Modelos de Perda de Sinal Dependentes da Localização do Usuário para Avaliação Precisa do Desempenho da RAN no Simulador SAMA

Nicholas Freitas Elias, Christian Fragoas F. Rodrigues e Lisandro Lovisoló

Resumo— A localização onde os usuários acessam uma rede móvel pode afetar significativamente seu desempenho. Neste artigo, aplicam-se modelos de propagação dependentes da posição do usuário para a avaliação do desempenho de uma rede móvel sem fio, com o objetivo de retratar de forma mais precisa o comportamento de redes reais. Utilizam-se dados e mapas públicos de construções para gerar informações que indicam qual modelo de propagação é mais adequado para um determinado usuário em uma localização específica, considerando as classificações *indoor*, *outdoor*, LOS (*Line Of Sight*, visada direta) e NLOS (*Non-Line Of Sight*, sem visada direta). Esses dados são utilizados no cálculo dos enlaces entre o equipamento de usuário UE e a estação rádio-base BS, auxiliando na simulação do comportamento de uma RAN (*Radio Access Network*, rede de acesso de rádio). Essa classificação é incorporada ao simulador SAMA. Os modelos 3GPP TR 38.901 e WINNERII, definidos por recomendações recentes da ITU, permitem, por meio da aplicação de modelos de propagação mais adequados ao território, aproximar o cenário de simulação do ambiente real. Isso possibilita uma avaliação mais fiel do desempenho da rede móvel celular, com a derivação de indicadores típicos para esse tipo de análise, como evidenciam os resultados apresentados.

Palavras-Chave— 5G, Modelos de Propagação, Dados Georreferenciados.

Abstract— The location where users access a mobile network can significantly affect its performance. In this paper, location-dependent propagation models are applied to evaluate the performance of a wireless mobile network, aiming to more accurately portray the behavior of real-world networks. Public building data and maps are used to determine which propagation model is most suitable for a specific user at a given location, considering the classifications *indoor*, *outdoor*, LOS (*Line Of Sight*), and NLOS (*Non-Line Of Sight*). These data are used to compute the links between the user equipment (UE) and the base station (BS), supporting the simulation of the behavior of a RAN (*Radio Access Network*). This classification is integrated into the SAMA simulator. The 3GPP TR 38.901 and WINNERII models, defined by recent ITU recommendations, allow for the application of propagation models that are more appropriate to the territory, bringing the simulation scenario closer to the real environment. This enables a more accurate evaluation of cellular mobile network performance, with the derivation of typical indicators for this type of analysis, as demonstrated by the results presented.

Keywords— 5G, Path Loss models, Geo-referenced data.

Nicholas Freitas Elias, Christian Rodrigues, Lisandro Lovisoló, Laboratório de Processamento de Sinais, Aplicações Inteligentes e Comunicações (PROSAICO), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, e-mails: nickfelias@gmail.com, christian.rodrigues@uerj.br, lisandro@uerj.br. Este projeto foi parcialmente financiado por CNPq (processos 312743/2023-8 e 403645/2023-9) e pela FAPERJ.

I. INTRODUÇÃO

A densificação de construções em regiões urbanas e suburbanas [1] implica mudanças socioambientais, morfológicas e técnicas nessas áreas [2]. No campo das telecomunicações, a escassez de espectro leva a técnicas de transmissão e recepção cada vez mais complexas, com impacto significativo da presença e densidade de construções [3]. Para tornar projetos de telecomunicações mais realistas, modelos de propagação específicos para diferentes cenários, aplicações e faixas de frequências são desenvolvidos, como os modelos ITU-1546 [4], 3GPP TR 25.996 [5], COST2100 [6], WINNER [7], QuaDRiGa [8] e os modelos IEEE 802.11 [9].

Para entender o impacto das construções em uma RAN urbana, este trabalho desenvolve um decisor de contexto baseado na análise espacial da localização do UE na região de operação da RAN, utilizando os cenários descritos nas recomendações 3GPP TR 38.901 e WINNER II. Ferramentas GIS (*Geographic Information System*) são usadas para importar dados georreferenciados e classificar os UEs como *indoor* ou *outdoor*, e, em seguida, os modelos 3GPP e WINNER II são aplicados para classificar o canal como LOS ou NLOS, gerando três cenários: *outdoor-LOS*, *outdoor-NLOS* e *indoor-NLOS*. O fluxograma da árvore de decisão é mostrado na Figura 1.

Avaliamos o impacto dessa modelagem em regiões urbanas e suburbanas, simulando redes celulares operando em 3,5 GHz. Considera-se que todas as BSs estão configuradas como macrocélulas e os UEs demandam o exclusivamente o serviço eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*) [10].

As simulações foram realizadas com o simulador SAMA [11], [12], permitindo observar o impacto da contextualização dos modelos em redes com grande número de UEs e BSs. Em todos os casos, as redes em ambiente urbano consideram a subclassificação do canal como *indoor* ou *outdoor*, e como LOS ou NLOS. As simulações contemplam ROIs com diferentes densidades de construções.

Após esta introdução, a Seção II apresenta os modelos de propagação utilizados. A Seção III descreve o processo de obtenção de dados georreferenciados e a classificação da localização do UE. A Seção IV apresenta os cenários estudados, e os resultados são discutidos na Seção V. Finalmente, as conclusões estão na Seção VI.

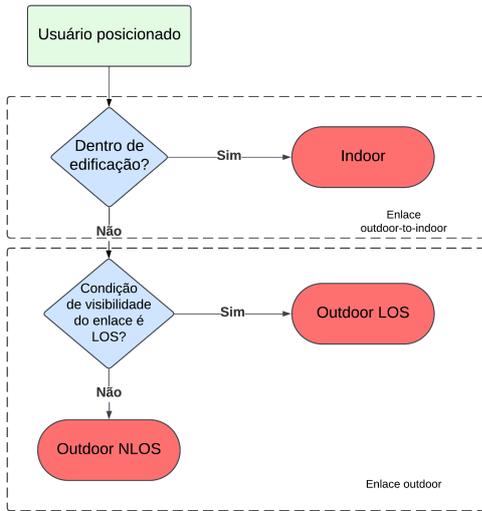


Fig. 1. Fluxograma para classificação de um UE em função de sua localização em uma ROI (*region of interest*) e avaliação da condição de visibilidade do enlace de rádio entre o UE e a BS (*base station*).

II. MODELOS DE PERDA DE PROPAGAÇÃO DEPENDENTES DO ARRANJO ENTRE O USUÁRIO E A ESTAÇÃO BASE

Modelos de canais estocásticos representam diferentes cenários de propagação de ondas eletromagnéticas, refletindo as incertezas de cada cenário [13]. Neste trabalho, utilizam-se modelos de perda de propagação estocásticos do tipo NGSM (*Non-Geometry Based Stochastic Model*), que não dependem de informações geométricas, considerando apenas as propriedades estatísticas dos canais. Dessa forma, podem ser facilmente integrados ao simulador SAMA, utilizado neste estudo.

São usados modelos de perda de propagação recomendados por 3GPP TR 38.901 [14] e os do projeto WINNER II [15]. Eles foram escolhidos pela similaridade na classificação dos cenários e a simplicidade de implementação derivada, ambos derivados do modelo TR 25.996 [5]. A classificação entre *outdoor* e *indoor* é feita com base em dados georreferenciados de construções, enquanto a distinção entre LOS e NLOS é determinada pela modelagem estatística definida em cada um.

A. 3GPP TR 38.901

O modelo de canal descrito na recomendação TR 38.901 cobre uma ampla gama de cenários, fazendo distinção entre ambientes *indoor* e *outdoor* e entre áreas rurais e urbanas, além de cenários de mobilidade do receptor. Neste trabalho, será utilizado o cenário UMa (*Urban Macrocell*) e uma variação desse modelo para enlaces O2I (*outdoor-to-indoor*). O cenário UMa é restrito para situações nas quais a altura do transmissor (BS) é fixa em 25 metros, a altura do receptor (UE) se encontra entre 1,5 e 2,5 metros, e a ISD (*intersite distance* – a menor distância entre duas BSs adjacentes) não ultrapasse 500 metros.

1) *Cenário outdoor*: Neste cenário, a TR 38.901 faz a distinção entre a condição LOS e NLOS através da probabilidade do enlace ser classificado como LOS

$$Pr_{\text{LOS}} = \begin{cases} 1, & d'_{\text{out}} \leq 18 \text{ m} \\ \left[\frac{18}{d'_{\text{out}}} + e^{\left(\frac{-d'_{\text{out}}}{63}\right)} \left(1 - \frac{18}{d'_{\text{out}}}\right) \right] \times \\ \left[1 + C'(h_{\text{UE}}) \frac{5}{4} \left(\frac{d'_{\text{out}}}{100}\right)^3 e^{\left(\frac{d'_{\text{out}}}{150}\right)} \right] & \text{no resto} \end{cases}, \quad (1)$$

na qual, $C'(h_{\text{UE}})$ representa o impacto da altura do UE h_{UE} na probabilidade do canal ser LOS e d'_{out} é a distância entre UE e BS no plano horizontal. Sorteia-se se um UE está em condição LOS e NLOS usando essa probabilidade

Após sorteada a condição de visibilidade ou não, para o caso LOS usa-se um modelo de perda de propagação dependente da distância entre BS e UE

$$PL_{\text{LOS}} = \begin{cases} PL_1, & 10\text{m} \leq d' \leq d'_{\text{BP}} \\ PL_2, & d'_{\text{BP}} \leq d' \leq 5 \text{ Km} \end{cases}. \quad (2)$$

Acima, PL_1 e PL_2 são os modelos de baixa perda e alta perda de percurso, respectivamente, descritos em [14]; eles são escolhidos de acordo com a distância horizontal d' e a distância limite d'_{BP} , com a adição de uma variável aleatória Gaussiana com desvio padrão $\sigma_{SF} = 4\text{dB}$, para modelar o *fading*.

No caso de ter-se condição de visibilidade NLOS, a perda de percurso, é calculada encontrando o máximo entre a perda de percurso com condição de visibilidade LOS e uma perda de percurso específica para NLOS [14]. Assim temos,

$$PL_{\text{NLOS}} = \max(PL_{\text{LOS}}, PL'_{\text{NLOS}}) \quad (3)$$

2) *Cenário outdoor-to-indoor*: Este cenário ocorre quando o enlace é classificado como O2I, isto é, quando a BS *outdoor* precisa atender um UE *indoor*. Neste caso, é importante considerar a perda de penetração que é a atenuação sofrida quando a onda atravessa um obstáculo [16].

No modelo de perda de percurso do 3GPP TR 38.901 [14], a perda de penetração, em enlaces *outdoor-to-indoor*, é adicionada às perdas definidas na subseção II-A. Assim, a perda de percurso é dada por

$$PL = PL_b + PL_{\text{tw}} + PL_{\text{in}} + N(0, \sigma_p^2), \quad (4)$$

onde PL_b é a perda de percurso do modelo para macrocélulas urbanas, descrita na Seção II-A, PL_{tw} é a perda de penetração pela passagem através da parede externa, PL_{in} é a perda de percurso *indoor* dependente da distância do usuário para a parede externa e N é uma distribuição normal de média zero e desvio padrão σ_p [17].

B. WinnerII

No projeto WINNERII [15], os modelos de propagação já implementados do projeto WINNER [7] foram atualizados e novos cenários foram introduzidos, como *outdoor-to-indoor* em macrocélula urbana e de macrocélulas urbanas em situação de visada direta (LOS). Neste trabalho, usam-se os cenários C2 (*outdoor*) e C4 (*indoor*).

1) *Cenário outdoor*: No caso do cenário *outdoor* (ou C2), o modelo de perda de percurso, divide-se em mais dois cenários: em visada direta (C2 LOS) e sem linha de visada (C2 NLOS). A probabilidade de visada direta é dada por

$$Pr_{\text{LOS}} = \min\left(\frac{18}{d'}, 1\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{d'}{63}}\right) + e^{-\frac{d'}{63}}. \quad (5)$$

Assim, usam-se as equações de perda de percurso, PL_{LOS} e PL_{NLOS} , para o regime LOS e regime NLOS, respectivamente,

$$PL_{\text{LOS}} = \begin{cases} PL_1, & 10\text{m} \leq d' \leq d'_{\text{BP}} \\ PL_2, & d'_{\text{BP}} \leq d' \leq 5\text{Km} \end{cases}, \quad (6)$$

e

$$PL_{\text{NLOS}} = (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_{\text{BS}})) \log_{10}(d) + 34,46 + 5,83 \log_{10}(h_{\text{BS}}) + 23 \log_{10}\left(\frac{f_c}{5}\right); \quad (7)$$

novamente PL_1 e PL_2 são os modelos de baixa perda e alta perda de percurso, respectivamente [15], h_{BS} é a altura da BS, d é a distância euclidiana entre UE e BS e f_c é a frequência do enlace em G Hz. Ambas as equações são acrescidas de uma parcela estocástica referente ao sombreamento, tal qual no modelo anterior.

2) *Cenário outdoor-to-indoor*: Similar ao 3GPP TR 38.901 [14], a perda de penetração em enlaces *outdoor-to-indoor* do cenário C4 do WINNER II é adicionada à PL do cenário *outdoor* (C2). Assim,

$$PL = PL_{\text{LOS}}(d_{\text{out}} + d_{\text{in}}) + 17,4 + 0,5d_{\text{in}} - 0,8h_{\text{UE}}, \quad (8)$$

onde PL_{LOS} é a perda de percurso calculada em (6), h_{UE} é a altura do UE, e d_{out} e d_{in} são as distâncias euclidianas das parcelas *outdoor* e *indoor*, respectivamente, da enlace entre o UE e a BS.

C. Comparação entre modelos

A Figura 2 mostra a diferença entre os modelos de propagação 3GPP TR 38.901 e WINNERII, acima descritos. Nela, pode-se observar que o modelo de canal do WINNERII considera que um enlace tem perda de percurso maior em cenário *outdoor* e que o modelo do 3GPP TR 38.901 tem perda de percurso maior quando o UE está *indoor*.

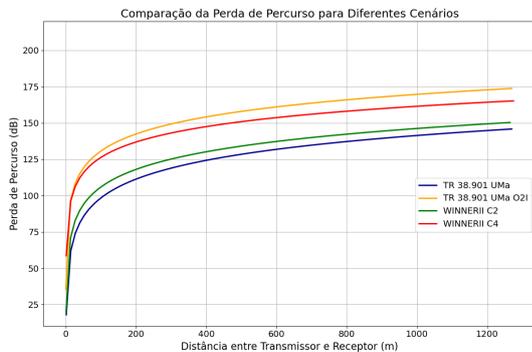


Fig. 2. Comparação entre as curvas de perda de percurso de ambos os modelos de canal.

III. INCORPORAÇÃO DE DADOS GEO-REFERENCIADOS NA SIMULAÇÃO

A região de interesse é a região onde se encontram os UEs atendidos pela RAN. No caso deste trabalho, o conjunto de ROIs corresponde a recortes de bairros da cidade do Rio de Janeiro, onde cada bairro visa representar uma concentração de construções diferente. O recorte de bairros é feito com auxílio da ferramenta QGIS [18], de onde são obtidos os dados vetoriais de recortes de bairros, extraídos do OSM (*Open Street Map*) [19].

O processo de obtenção de regiões de interesse pode ser visto na Figura 3. A partir dos dados vetoriais, representados por *shapefiles*, são gerados os *rasters*. Os *rasters* são usados como parte dos parâmetros de entrada do simulador e sua implementação é feita através de uma classe chamada *Map()*, representada na Figura 3, e alimentam os modelos de propagação implementados.

Por exemplo, observa-se na Figura 4 o recorte do bairro de Botafogo obtido através da base OSM e convertido em raster para ser incorporado à simulação e usado para selecionar entre os cenários *outdoor* e O2I.

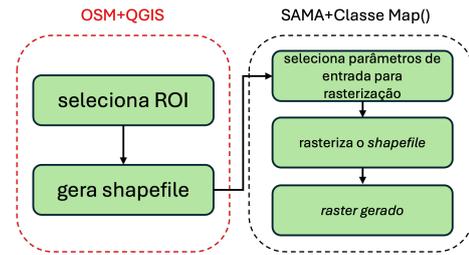


Fig. 3. Obtenção de *rasters* com a ROI. Primeiro é necessário selecionar a ROI e gerar o *shapefile* correspondente; após gerar o *shapefile*, é realizada a operação de rasterização para obter o *raster* que representa a ROI.

IV. METODOLOGIA

Para verificar o impacto da presença das construções numa rede móvel, compara-se o desempenho da RAN quando a perda de propagação é calculada usando os modelos do 3GPP TR 38.901, WINNER II e o modelo ABG (Alfa-Beta-Gama), pois o último não considera múltiplos cenários como os outros dois.

A. Parâmetros de Simulação

Os parâmetros da Tabela I modelam uma RAN operando para o serviço eMBB na faixa de 3,5 GHz. Simula-se um intervalo de 1 segundo, durante o qual os UEs permanecem estáticos, ativos e solicitando dados continuamente (modelo *full buffer*). Como as posições iniciais dos UEs são definidas aleatoriamente, o processo é simulado múltiplas vezes até que, por meio do teste de Mann-Whitney U [20], [21], se considere que não há mais variações significativas nos indicadores avaliados [12], [22].

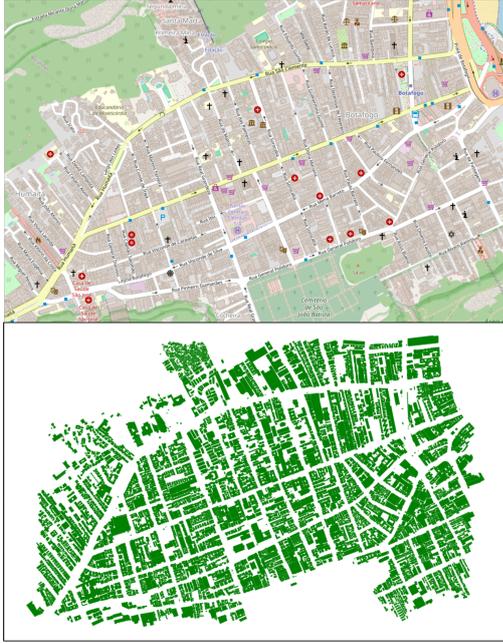


Fig. 4. Acima, a captura do mapa extraído da base de dados OSM; abaixo, a conversão para o formato *raster*, em que cada pixel colorido representa a classificação de edificação.

TABELA I

PARÂMETROS UTILIZADOS PARA UMA SIMULAÇÃO COM 2000 UES

Parâmetros da RAN	
Frequência central	3,5 GHz
Largura de banda	100 MHz (em cada setor)
Número de BSs na RAN	Iterável de [1,2,3,4 ... 25] BSs
Parâmetros da Rasterização	
Região de interesse	Botafogo, Tijuca e Recreio
Valor de célula	Float32 (32 bits)
Tamanho da célula (graus por pixel)	0,00000325872
Datum utilizado	EPSG: 4326 (WGS84)
Parâmetros da BS	
Altura da BS	25 m
Número de setores por BS	3
Apontamentos dos setores (ϕ , θ)	$\phi = (60^\circ, 180^\circ, 300^\circ)$, $\theta = (0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$
Modelagem e Parâmetros dos Setores	
Potência de transmissão	100 W
Arranjo da antena setorial	8 x 8 (espaçamento de $0,5\lambda$)
Ganho do elemento do arranjo	5 dBi
Número de feixes	20 por antena
Modelagem e Parâmetros dos UEs	
Altura do UE	1,5 m
Diagrama da antena do UE	Omnidirecional
Ganho da antena do UE	0 dBi
Parâmetros de Simulação	
Modelos de canal	TR 38.901 e WINNERII
Duração do slot de tempo	1 ms
Duração da iteração T	1000 slots de tempo
Scheduler	Round-Robin
Método de duplexação	TDD (50% downlink)
Critério de Parada	
Teste de Mann-Whitney U	p -valor=0,05

B. Cenário Estudado

O cenário estudado busca ilustrar o impacto de enlaces O2I na rede; assim, avalia-se o desempenho da rede em regiões com diferentes densidades de construções. Para

isso, foram utilizados três bairros com distintas proporções de área *indoor*, conforme apresentado na Tabela II. Foram escolhidos os bairros de Botafogo, Tijuca e Recreio, todos localizados na cidade do Rio de Janeiro, com base na quantidade de edificações: Botafogo representa alta densidade, Recreio baixa densidade e a Tijuca um caso intermediário. Espera-se que, à medida que a fração de área *indoor* aumenta, maior seja o impacto do uso de modelos adequados no desempenho da rede móvel.

TABELA II

REGIÕES DE INTERESSE ESCOLHIDAS PARA O CENÁRIO DE ESTUDO

Raster	Píxeis	Metros	Indoor (%)
Botafogo	3692x6258	1104,72x2270,14	39,63
Tijuca	3757x6180	1124,80x2241,85	17,95
Recreio	4029x6588	1204,09x2389,85	10,97

V. RESULTADOS

Incorporando os modelos de perda de percurso em função da posição/situação do UE ao SAMA [12], [22], obtêm-se a SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) e a capacidade para cada UE e as SINR e capacidade média, a no *downlink*, em RANs compostas de diferentes quantidades de BSs na RAN. Os resultados são comparados com os obtidos com o modelo ABG [23].

Na Figura 5, observa-se que, com até 8 BSs, a SINR do modelo ABG é superior à dos modelos introduzidos neste trabalho. Contudo, à medida que se aumenta o número de BSs na RAN, a interferência entre os feixes dos diferentes setores passa a influenciar mais fortemente a SINR. Isso evidencia que o modelo ABG, por não apresentar perda de penetração, obtém melhores resultados em cenários com poucas BSs, onde a distância entre UE e BS é maior. No entanto, sob maior densidade de BSs, a menor perda de propagação intensifica a interferência, reduzindo a SINR.

Para os modelos que consideram LOS, NLOS e O2I, nota-se que, em Botafogo — bairro com maior densidade de construções —, a SINR é inferior à dos bairros com menor número de construções. Dentre estes modelos, o WINNER II apresentou menor SINR, devido à maior presença de enlaces *outdoor*, nas quais o modelo impõe maior perda de propagação.

Na Figura 6, onde se observa a capacidade média, vê-se o reflexo do SINR observado na Figura 5, a rede simulada em Botafogo apresenta menor *throughput* quando comparada a rede de mesma densidade de BSs em outros bairros. Esse resultado mostra o impacto de enlaces O2I na capacidade de canal.

VI. CONCLUSÕES

Este estudo analisou o impacto de enlaces *outdoor-to-indoor* e a modelagem de canais sem fio em redes 5G, integrando os modelos de propagação TR 38.901 e WINNER II, diferenciando cenários LOS/NLOS e *indoor/outdoor* no simulador SAMA. Dados georreferenciados permitiram classificar as áreas como *outdoor* e *outdoor-to-indoor* com

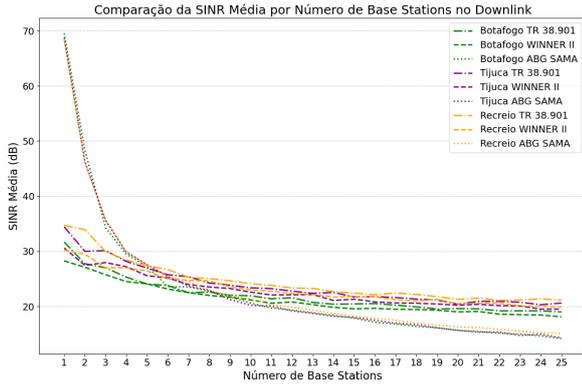


Fig. 5. Comparação da SINR média no *downlink* para os diferentes cenários simulados.

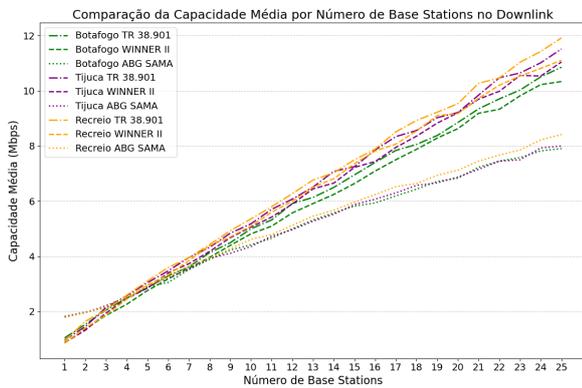


Fig. 6. Comparação da capacidade média no *downlink* para os diferentes cenários simulados.

base na posição dos usuários. Os resultados mostraram maior perda de percurso em áreas densamente edificadas, o que reduziu a capacidade média devido à prevalência de enlaces *outdoor-to-indoor*. O modelo WINNER II leva a capacidade menor do que o TR 38.901. Conclui-se que a escolha adequada dos modelos de canal, associada à classificação precisa do ambiente, é essencial para análises realistas, evidenciando a influência das perdas e interferências na capacidade da rede. Trabalhos futuros sugerem investigar perdas em ondas milimétricas e cenários com pico/femto-células para enlaces *outdoor-to-indoor*.

REFERÊNCIAS

- [1] Prefeitura do Rio de Janeiro. [análise qualitativa das densidades construídas em regiões da cidade do rio de janeiro]. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/7720635/4211818/3.1.pdf>, 2025. Acesso em: 1 abr. 2025.
- [2] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Tipologia Intraurbana: Espaços de diferenciação socioeconômica nas Concentrações Urbanas do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.
- [3] Nicholas Krawczeniuk. Analysis of LTE network rf performance in a dense urban environment. Honors college thesis, Pace University, Pforzheimer Honors College, May 2019. Presented to the Honors College, Seidenberg School of Computer Science and Information Systems.
- [4] International Telecommunication Union. Recommendation ITU-R P.1546: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4 000 MHz.

- Technical Report P.1546-6, ITU Radiocommunication Sector, 2019. Accessed: 2025-04-24.
- [5] 3GPP. Spatial channel model for multiple input multiple output (mimo) simulations: Tr 25.996 version 18.0.0, 2024.
- [6] Lingfeng Liu, Claude Oestges, Juho Poutanen, Katsuyuki Haneda, Pertti Vainikainen, François Quitin, Fredrik Tufvesson, and Philippe De Doncker. The cost 2100 mimo channel model. *IEEE Wireless Communications*, 19(6):92–99, 2012.
- [7] D.s Baum, Hassan El-Sallabi, Tommi Jämsä, Juha Meinilä, Pekka Kyösti, Xiongwen Zhao, Daniela Laselva, Jukka Nuutinen, Lassi Henttilä, Pertti Vainikainen, Jarmo Kivinen, Lasse Vuokko, Per Zetterberg, Mats Bengtsson, Kai Yu, Niklas Jalden, Terhi Rautiainen, Kimmo Kalliola, Marko Milojevic, and Jan Hansen. Ist-2003-507581 winner d5. 4 v. 1.4 final report on link level and system level channel models. 01 2005.
- [8] Stephan Jaeckel, Leszek Raschkowski, Kai Börner, and Lars Thiele. Quadriga: A 3-d multi-cell channel model with time evolution for enabling virtual field trials. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62(6):3242–3256, 2014.
- [9] B.P. Crow, I. Widjaja, J.G. Kim, and P.T. Sakai. Ieee 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications Magazine*, 35(9):116–126, 1997.
- [10] ITU. Itu-r m 2083.0: Imt vision–framework and overall objectives of the future development of imt for 2020 and beyond. *Recommendation ITU*, 2083(0):1–21, 2015.
- [11] Christian Fragoas Fernandez Rodrigues. Sama simulator, 2022. <https://github.com/cfragoas/Sama-simulator>.
- [12] Christian Fragoas Fernandez Rodrigues. *Simulação de Redes de Acesso Rádio: Posicionamento de Estações Base e Alocação de Recursos Usando um Critério de Utilidade*. PhD thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.63113>.
- [13] Wang, Cheng-Xiang and Bian, Ji and Sun, Jian and Zhang, Wensheng and Zhang, Minggao. A survey of 5G channel measurements and models. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(4):3142–3168, 2018.
- [14] 3GPP. Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 ghz (release 16): Ts 38.901, 2019.
- [15] Pekka Kyösti, Juha Meinilä, Lassi Henttilä, Xiongwen Zhao, Tommi Jämsä, Christian Schneider, Milan Narandzic, Marko Milojevic, Aihua Hong, Juha Ylitalo, Veli-Matti Holappa, Mikko Alatossava, R.J.C. Bultitude, Yvo Jong, and Terhi Rautiainen. Winner ii channel models. *IST-4-027756 WINNER II D1.1.2 V1.2*, 02 2008.
- [16] Carlos Eduardo Orihuela Vargas, Luiz da Silva Mello, and R Carlos Rodriguez. Measurements of construction materials penetration losses at frequencies from 26.5 ghz to 40 ghz. In *2017 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM)*, pages 1–4, 2017.
- [17] Qiuming Zhu, Cheng-Xiang Wang, Boyu Hua, Kai Mao, Shan Jiang, and Mengtian Yao. 3gpp tr 38.901 channel model. In *the wiley 5G Ref: the essential 5G reference online*, pages 1–35. Wiley Press Hoboken, NJ, USA, 2021.
- [18] QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation, 2009.
- [19] OpenStreetMap contributors. Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>, 2017.
- [20] Nadim Nachar. The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4, 03 2008.
- [21] Michael P Fay and Michael A Proschan. Wilcoxon-mann-whitney or t-test? on assumptions for hypothesis tests and multiple interpretations of decision rules. *Statistics surveys*, 4:1, 2010.
- [22] Christian Fragoas F Rodrigues, Lisandro Lovisollo, and LS Mello. Alocação de recursos da interface aérea 5g a partir de um critério de utilidade. In *XL Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais (SBRT)*, 2022.
- [23] Shu Sun, Theodore S Rappaport, Sundeep Rangan, Timothy A Thomas, Amitava Ghosh, Istvan Z Kovacs, Ignacio Rodriguez, Ozge Koymen, Andrzej Partyka, and Jan Jarvelainen. Propagation path loss models for 5g urban micro-and macro-cellular scenarios. In *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, pages 1–6. IEEE, 2016.