

Influência da Vegetação na Cobertura de Sinal V2I em 5.8 GHz

João Lucas S. Teixeira, Luisa H. V. Freitas, Diogo A. Magalhães, Carlos A. T. Coelho, Andrea L. Santos, Pedro V. G. Castellanos e Leni J. Matos

Resumo - O objetivo deste artigo é pesquisar um modelo de cobertura apropriado para o sistema de comunicação veículo à infraestrutura (V2I), em um cenário de ruas com vegetação nas laterais e/ou no canteiro central, na frequência de 5,8 GHz, comumente empregada no sistema de comunicação veicular padrão IEEE 802.11p, na maior parte do mundo. Para tal, medições foram realizadas e diversos modelos são ajustados aos dados, concluindo sobre o modelo mais adequado à cobertura V2I em um canal arborizado.

Palavras-chave - Cobertura Rádio, Comunicação V2I, Modelos de Cobertura, Propagação em Vegetação.

Abstract - The objective of this article is to research for a coverage model appropriate to a vehicle-to-infrastructure (V2I) communication system in a scenario of streets with lateral and/or centered vegetation, in the 5.8 GHz frequency, generally used in the IEEE 802.11p standard of vehicular system worldwide. For accomplish this, measurements were performed and several models are adjusted to the data in order to conclude about the most adequate V2I coverage in a vegetated channel.

Keywords - Radio Coverage, V2I Communication, Coverage Models, Propagation in Vegetation.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de veículo conectado (CVT) requer transmissão de dados sem fio entre veículos (V2V) e veículo à infraestrutura (V2I). O avanço desse tipo de tecnologia está aliado à previsão de melhorias na segurança em rodovias e na eficiência do transporte, pois, por meio de mensagens de alerta dos veículos nas estradas, é possível evitar colisões e reduzir problemas de tráfego.

Embora a comunicação veicular já seja uma realidade em alguns países, o Brasil ainda soma esforços para implementá-la. Exemplo disso é a indefinição da frequência de operação a ser direcionada para este tipo de comunicação. Especula-se que deve ser na faixa de 5.8 GHz a 5.9 GHz, seguindo a tendência mundial, como nos Estados Unidos, União Europeia, China e Coreia do Sul.

No cenário atual, a avaliação do desempenho do canal rádio móvel para comunicação V2V e V2I é um pré-requisito para projetar e desenvolver um sistema de comunicação sem fio robusto e eficiente. Para garantir que o sistema de comunicação veicular seja eficiente, seguro e confiável, torna-se primordial o estudo e análise do canal rádio móvel e, principalmente, a modelagem da perda de percurso utilizando modelos amplamente aceitos na literatura.

Extensos estudos e medições vêm sendo realizados para caracterizar a propagação de um sinal rádio no ambiente veicular e encontrar o modelo mais adequado de perda no

canal veículo-a-veículo (V2V), entretanto, para o canal veículo à infraestrutura (V2I), encontra-se pouca bibliografia. Sepulcre [1] propôs um estudo de modelos computacionais empíricos de desempenho de comunicação veicular baseado em medições V2V realizadas na Espanha. Kihei e Copeland [2] realizaram extensas campanhas de medições em que a orientação na situação de aproximação e de separação entre veículos e a perda de percurso do sinal foram consideradas para aprimorar um modelo de canal em que os veículos se movem em velocidades diferentes nos EUA. Mecklenbrauker *et al.* [3] realizaram medições V2I em autoestradas, provendo resultados da dispersão tanto no tempo quanto na frequência, além de discutir sobre os modelos disponíveis. Rubio [4] realizou estudos de modelagem da perda de percurso no canal V2I. Granda [5] gerou um algoritmo para cenário urbano, com base na técnica de traçados de raios 3D, para comunicação V2I, em 5,9 GHz, obtendo boa comparação com os dados obtidos em medições. Oliveira estudou a cobertura empírica em canais V2I, tanto em ambiente de túnel [6], quanto em ambiente urbano, com visada [7], chegando ao modelo Log-Distância como o mais apropriado para tal tipo de comunicação à curta distância.

Ocorre, entretanto, que mesmo as avenidas apresentam cada vez mais vegetação nas laterais e/ou no canteiro central e que, de certa forma, essa vegetação influi na propagação do sinal, visto que a mesma é absorvedora e espalhadora de sinal rádio. Assim, este trabalho visa complementar a análise empírica da cobertura de sinal V2I em 5.8 GHz, mas considerando um tipo de cenário, onde vegetação não densa, típica de ruas, se acha entre a transmissora e a receptora. Sendo assim, as medições foram realizadas dentro de um estacionamento, com arborização ao longo das rotas, com o objetivo de analisar o modelo de predição de cobertura que melhor se ajusta ao sinal recebido em tais ambientes arborizados.

Na continuidade, são apresentados os principais modelos que têm tido boa aplicabilidade à cobertura V2I e outros aplicáveis às áreas com presença de vegetação, visando verificar a influência da mesma no sinal e validar algum desses modelos para sistemas V2I. Em seguida, especifica-se o sistema de medições e o ambiente sondado, seguido dos resultados obtidos e, então, as conclusões, com indicação dos trabalhos futuros.

MODELOS DE PREDIÇÃO

Diversos pesquisadores desenvolveram modelos que têm sido empregados na predição da perda de percurso do sinal, tanto em V2V quanto em V2I. Neste trabalho, além dos

João L. S. Teixeira, joao_lucas@id.uff.br, Luisa H. V. Freitas, luisafreitas@id.uff.br, Diogo A. Magalhães, diogo.magalhaes80@gmail.com, Carlos A. T. Coelho, carlosaugustocoelho@id.uff.br, Andrea L. Santos, andrea.ouro@hotmail.com, Pedro V. G. Castellanos, pcastellanos@id.uff.br e Leni J. Matos, lenijm@id.uff.br, Programa de PGSS em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense - UFF.

modelos mais comuns na bibliografia na área de comunicação veicular, serão investigados alguns modelos típicos aplicados em áreas onde a vegetação (densa ou leve) é encontrada.

A. Modelo Log-distância

Este modelo [8], conhecido por modelo simplificado de perda, define o nível médio de sinal recebido, como sendo:

$$PL(d) = PL(d_0) - 10.\gamma.\log(d/d_0) \quad (1)$$

onde d é a distância de separação entre o transmissor (Tx) e o receptor (Rx), em metros; $PL(d_0)$ é a perda de percurso média para uma distância de referência d_0 ; e γ é o expoente de perda no percurso, obtido de medições móveis no canal a ser estudado. É um modelo que apresenta boa predição, em geral, pois utiliza os dados da medição no ajuste do parâmetro γ .

B. Modelo ITU

É um modelo empírico, conhecido como *Early ITU*, aplicável para a faixa de frequências de 0,2 a 95 GHz e distâncias menores que 400 metros [9]. Fornece a perda em excesso devido à vegetação, que deve ser somada a do espaço livre, descrita no item seguinte. Em dB, essa perda é calculada por:

$$L = 0,2 \cdot f^{0,3} \cdot d^{0,6} \quad (2)$$

onde f está em MHz e d , em metros, significando a espessura da vegetação.

C. Modelo do espaço livre

Conhecida como equação de Friis [10] para a perda de sinal em ambiente sem multipercurso e obstruções, é descrita como:

$$L_0 = 32,4 + 20.\log_{10}(d_{km}) + 20.\log_{10}(f_{MHz}) \quad (3)$$

onde d_{km} é a distância entre as antenas transmissora e receptora, em km, e f_{MHz} é a frequência da portadora transmitida, em MHz.

D. Modelo UFPA para ruas arborizadas

Este modelo de perda é uma adaptação ao modelo SUI [11], feita através de uma campanha de medições com mobilidade, realizadas na frequência de 5,8 GHz, em cidades arborizadas da região amazônica. Assim, o modelo parte das equações do modelo de SUI e faz ajuste de parâmetros, sendo calculada por:

$$L = A + 10.\gamma.\log_{10}(d/d_0) + \Delta L_f + \Delta L_h \quad (4)$$

onde são definidos:

$$A = 20.\log_{10}(4\pi d_0/\lambda) \quad (5)$$

$$\gamma = a - bh_t + c/h_t \quad (6)$$

$$\Delta L_f = 20,35.\log_{10}(f/2000) \quad (7)$$

$$\Delta L_h = 4,5 - 9,78.\log_{10}(h_t/2) \quad (8)$$

e os parâmetros assumem os seguintes valores: $a = 1,7$, $b = 0,0024$ e $c = 9,49$ [12], com ΔL_f representando o fator de correção de frequência e ΔL_h , o fator de correção para altura da antena de recepção, ambos em dB. Vale lembrar que no modelo de SUI, d_0 era a distância de referência igual a 100 m e, neste trabalho, adotamos valores diferentes para cada rota, descritas na seção seguinte: 39,5 m para a Rota Principal; 52,5 m para a Rota 1; 62,5 m para a Rota 2; 93 m para a Rota 3; 45,5 m para a Rota 4; e 127,5 m para a Rota 5.

E. Modelo BRLJ para parque urbano

Neste modelo [13], foram geradas duas equações para o nível de potência recebida a uma distância d em dois ambientes distintos dentro de um parque com vegetação, para distâncias $d \geq 10$ m, frequências na faixa de 900 a 2400 MHz e mobilidade do receptor. Apesar da limitação a 2400 MHz, um deles, denominado BRLJ1, teve um bom ajuste aos dados obtidos nas medições aqui realizadas, como será visto na seção de Resultados, e sua equação é dada por:

$$P = 1,24 - 49,7.\log_{10}(d/10) - 20.\log_{10}(f/1000) + 20.\log_{10}(h_t) \quad (9)$$

onde f é a frequência de operação do sistema, em GHz, h_t é a altura da antena transmissora, em metros, e P é o nível de sinal recebido.

F. Modelo de decaimento exponencial (REZA)

Partindo de medições em local de colégio residencial, na faixa de 5,8 GHz, os autores [14] realizaram medições em diversas radiais do Tx ao Rx, sem mobilidade. A perda em excesso devido à vegetação, a ser somada à perda no espaço livre, é calculada por:

$$L = 4,15.d^{0,53} \quad (10)$$

onde d é a espessura da vegetação, em metros.

SETUP E CENÁRIO DE MEDIÇÕES

As medições ocorreram no estacionamento do Clube Naval Charitas, no bairro Jurujuba, em Niterói, local com vegetação pouco densa e algumas construções nos arredores. O dia da medição apresentava boas condições climáticas para o experimento. O sistema de transmissão estava localizado à altura de 4,7 metros acima das rotas onde foram realizadas as medições, valor próximo a 5 metros, usualmente empregado na transmissão de infraestrutura para o veículo (V2I). A Figura 1 mostra tal sistema montado e a Figura 2, o sistema de recepção.



Fig. 1. Sistema de transmissão utilizado.

A antena receptora foi fixada no teto do veículo, a uma altura aproximada de 1,5 metros, como mostra a Figura 2, e está conectada ao sistema receptor (analisador de espectro e *laptop*) mostrado na mesma figura, e montado no interior do veículo, que se deslocou a uma velocidade média de 20 km/h, enquanto era efetuada a medição do sinal rádio móvel.



Fig. 2. Sistema de recepção: antena externa e equipamentos de recepção.

A Tabela I fornece os valores das distâncias percorridas pelo carro em cada rota, mostrada no esquemático da Figura 3.

TABELA I. COMPRIMENTOS DAS ROTAS.

Rota	Comprimento (m)
Principal	188
1	130
2	108
3	66
4	45
5	42

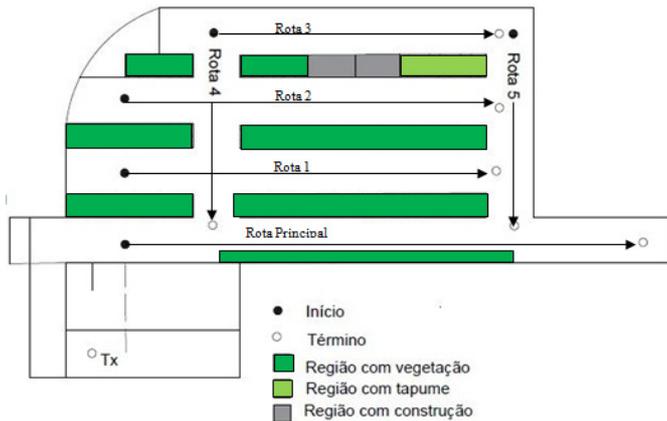


Fig. 3. Esquemático do ambiente sondado.

Os equipamentos, dispositivos e cabos, utilizados no sistema de sondagem empregado, estão especificados na Tabela II.

TABELA II. ESPECIFICAÇÕES DOS DE SONDAEM

Transmissão	Especificação
Gerador Vetorial de Sinal MG3700A da Anritsu	250 kHz a 6 GHz
Antena AIR-ANT2547V-N	5.25 – 5.875 GHz Ganho: 7 dBi
Cabos RG 213 (Anritsu) Cabo Draka RG 213 (R&S)	1 m, perda total = 0,4 dB 2 m, perda total = 0,5 dB
Recepção	Especificação
Antena AIR-ANT2547V-N	5.25 – 5.875 GHz Ganho: 7 dBi
Analizador de Espectro MS2724B da Anritsu	9 kHz a 20 GHz
Laptop	Dell Inspiron 15
Cabos RG 213 (2)	1 m, perda total = 0,2 dB

Foi transmitido um sinal CW (*Continuous Wave*) na frequência de 5,8 GHz, com nível -10,64 dBm à saída do gerador de sinal, entregando -4,04 dBm para irradiação, e realizadas medições ao longo das rotas da Figura 3, no sentido indicado pelas setas.

RESULTADOS

Os dados de nível de sinal recebido ao longo do comprimento das rotas foram processados em um programa desenvolvido em MATLAB®, que permitiu calcular a distância real entre a transmissora e cada ponto de recepção. Em seguida, do mesmo programa, foi obtido o sinal de variabilidade em grande escala, após a passagem dos dados por um filtro de média móvel [15], e o nível de potência média no percurso de cada rota foi determinado por ajuste de curva. Além disso, o expoente de perdas foi determinado para o modelo Log-distância, através da reta de ajuste, quando os dados foram dispostos em escala logarítmica de d/d_0 . Dessa forma, calculou-se o coeficiente de perdas pela seguinte equação:

$$\gamma = PL(d_0) - PL(d)/[10.\log(d/d_0)] \tag{11}$$

e os resultados são mostrados na Tabela III.

TABELA III. COEFICIENTE DE PERDA

Rota	P	1	2	4
Coeficiente γ	4,07	3,66	4,85	8,77

Observa-se, para as rotas transversais, que o coeficiente de perdas variou na faixa de 3,66 a 4,85. Não foi possível garantir sinal na Rota 3, uma vez que não se usou amplificador de potência na transmissão e o sinal estava muito próximo do patamar de ruído do equipamento de recepção, se confundindo com o ruído em diversos trechos, levando a um falso coeficiente de perdas. O mesmo ocorreu para a Rota 5, radial, enquanto a Rota 4 apresentou um valor elevado, face à vegetação no percurso Tx-Rx.

Da Figura 4 à Figura 7, estão mostrados os modelos ajustados à curva de nível médio de potência dos dados coletados.

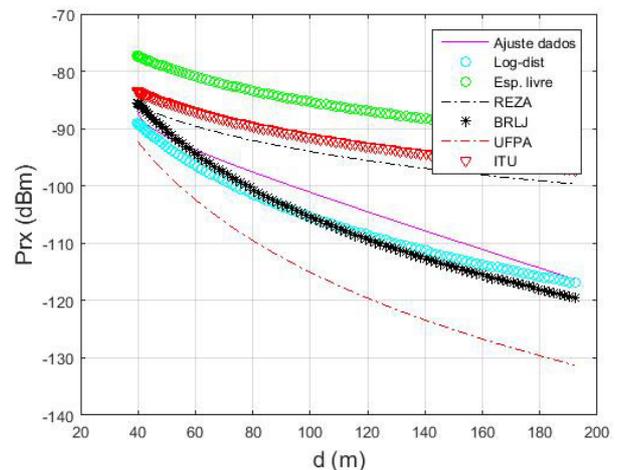


Fig. 4. Ajuste dos modelos à potência média dos dados na rota principal (P).

Indo da Rota P à Rota 2, com vegetação crescente no enlace, os modelos do ITU e REZA se afastam mais do espaço livre, indo em direção ao valor experimental da potência média, embora ainda longe dos dados.

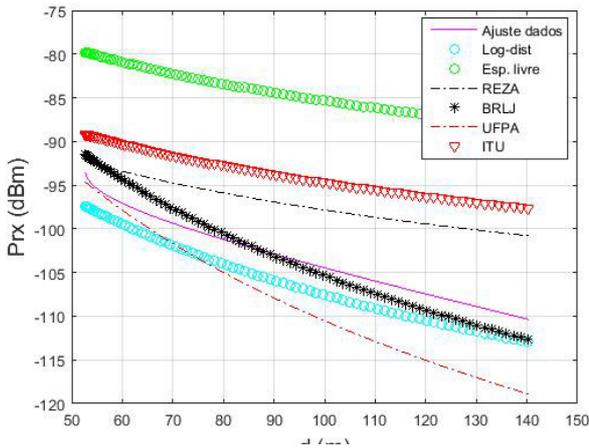


Fig. 5. Ajuste dos modelos à potência média dos dados na rota 1.

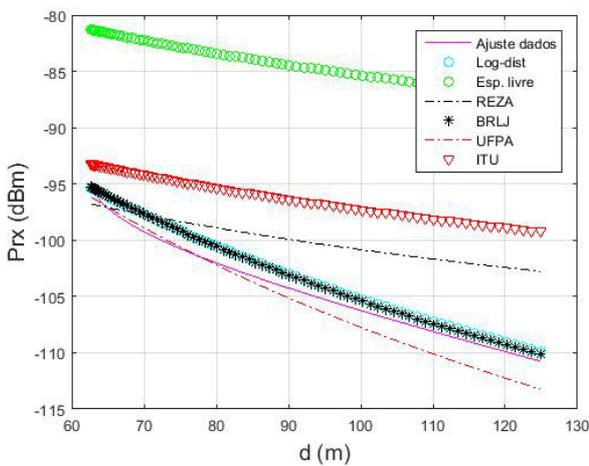


Fig. 6. Ajuste dos modelos à potência média dos dados na rota 2.

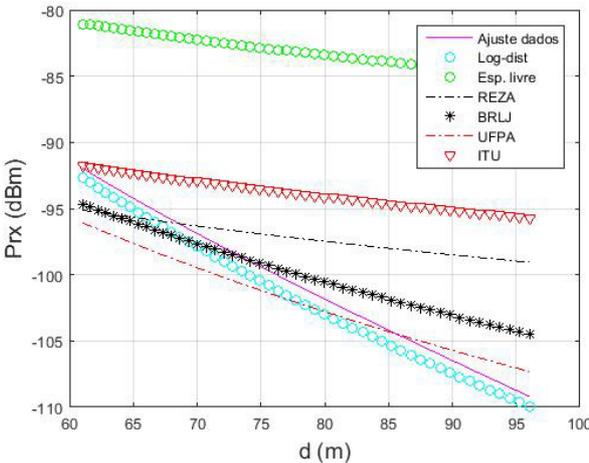


Fig. 7. Ajuste dos modelos à potência média dos dados na rota 4.

O cálculo do nível de potência de sinal recebido ao longo das rotas foi também comparado ao nível de potência média através do erro quadrático médio (EQM), de forma a verificar o ajuste dos modelos. Tal erro [16] é, normalmente, muito utilizado na análise estatística de sinais, sendo definido como:

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^N [V_{exp} - V_{mod}]^2}{N} \quad (12)$$

onde V_{mod} são as amostras do sinal experimental, V_{exp} são as amostras do sinal predito e N é o número de amostras do sinal. Os resultados para EQM estão apresentados na Tabela IV.

TABELA IV. ERRO QUADRÁTICO MÉDIO DOS MODELOS AJUSTADOS

Rota\Mod	L.Distance	BRLJ	UFPA	ITU	REZA
P	9,50	0,47	163,15	129,78	83,93
1	8,25	3,67	26,23	81,29	36,48
2	1,37	1,27	1,55	55,4	19,08
4	0,99	5,49	4,73	61,27	27,11

Para se estabelecer a qualidade do modelo ajustado, é necessário observar, pelo menos, uma medida de erro relativo, e uma medida de erro absoluto. Como os valores do erro absoluto calculado (EMQ) estão próximos na Rota 2, optou-se por calcular o erro médio percentual absoluto (EMPA) [16], que é a média da diferença absoluta entre os valores previstos e experimentais, expressa em porcentagem dos valores experimentais. Seu cálculo é feito por:

$$EMPA = \frac{\sum_{i=1}^N |V_{exp} - V_{mod}| / V_{exp}}{N} \cdot 100 \quad (12)$$

Os valores encontrados para este erro estão na Tabela V.

TABELA V. ERRO MÉDIO PERCENTUAL ABSOLUTO

Rota\Mod	L.Distance	BRLJ	UFPA	ITU	REZA
P	0,47	0,35	0,91	17,74	9,62
1	0,48	0,19	0,54	7,48	3,14
2	0,29	0,27	0,16	4,94	1,63
4	0,20	0,38	0,19	5,96	2,22

Analisando os gráficos apresentados e as tabelas, percebe-se que o modelo BRLJ e Log-distância são os de melhor ajuste ao canal em questão, já que apresentaram baixos valores de erros. Log-distância é um modelo que usa os valores medidos para a determinação do coeficiente de perdas, esperando-se um bom ajuste. Ressalta-se, entretanto, que é importante se ter um modelo para predição de sistemas V2I, que leva em conta a vegetação existente nas ruas, no percurso entre transmissor e receptor. Dentre os modelos aqui usados, que estimam a influência da vegetação no sinal de comunicação, são relevantes na caracterização de canais V2I o modelo BRLJ seguido do UFPA, comprovando a eficácia desses modelos em um mesmo cenário de comunicação veicular com presença de vegetação na faixa de 5,8 GHz.

CONCLUSÕES

Com o advento da comunicação veicular, tornam-se importantes os modelos de predição de sinal para a faixa de 5,8 GHz, adotada por grande parte do mundo. Poucos modelos têm sido empregados para este fim. Além disso, no caso de haver alguma vegetação no ambiente, há pouca referência, uma vez que muitos modelos encontrados na bibliografia são para vegetação mais densa, diferente daquela de parques, estacionamentos e ruas arborizadas. Assim, o foco deste artigo foi verificar o modelo de melhor ajuste para estes ambientes. Para isto, medições de sinal rádio móvel foram realizadas em um ambiente de estacionamento, na faixa de 5,8 GHz para sistemas V2I.

Dos resultados, o que se observa é que o modelo BRLJ e Log-distância apresentam melhor ajuste à potência média experimental. Como nem sempre se dispõe de medições,

buscou-se um modelo independente das mesmas, que fosse melhor ajustado ao sinal medido. Primeiramente, foram empregados dois modelos de decaimento exponencial, dentre os muitos existentes: o *early* ITU e o proposto por um grupo de autores, aqui denominado de modelo REZA. Ambos mostraram-se otimistas, sendo ITU mais otimista, e foram melhor se ajustando aos dados à medida em que se utilizava uma rota mais distante do transmissor, com mais vegetação entre transmissor e receptor. O modelo UFPA também mostrou-se melhor ajustado à medida que a rota estava mais afastada do transmissor, entretanto, vale lembrar que foi um modelo criado para distâncias superiores a 100 metros, confirmando sua aplicação para distâncias maiores. O modelo BRLJ, embora desenvolvido para frequências até 2400 MHz, para parque urbano, com uma parte em clareira e outra com vegetação mais densa em rota transversal, mostrou-se, praticamente, muito bem ajustado aos resultados experimentais. Acredita-se que a perda devido à maior frequência tenha sido compensada pela perda que houve na vegetação do modelo criado.

Medições, empregando um amplificador de potência na transmissão, para a faixa de 5.8 GHz, continuarão a ser realizadas, de forma a se atingir maiores alcances também em outros parques e estacionamentos e se aperfeiçoar o modelo de BRLJ para frequências até 6 GHz, uma vez que o mesmo tem se mostrado promissor para estes ambientes.

AGRADECIMENTOS

Ao Clube Naval Charitas, pela oportunidade de lá realizar as medições, além do suporte para as mesmas.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Sepulcre, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, "Empirical Performance Models for V2V Communications", in *2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing, Pervasive Intelligence and Computing*, 2015, pp. 737-742.
- [2] B. Kihei, J. A. Copeland, and Y. Chang, "Vehicle-to-Vehicle LOS Large-Scale Doppler Channel Model Using GSCM", in: *IEEE Int. Conf. on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems - MASS*, Orlando, Florida, USA, 2017.
- [3] C. Mecklenbrauker, A. Molisch, J. Karedal, F. Tufvesson, A. Paier, L. Bernado, T. Zemen, O. Klemp and N. Czink, "Vehicular Channel Characterization and Its Implications for Wireless System Design and Performance", *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, 2011, pp. 1189-1212.
- [4] L. Rubio, H. Fernandez, V. Rodrigo-Penarrocha and J. Reig, "Path loss characterization for vehicular-to-infrastructure communications at 700 MHz and 5.9 GHz in urban environments", *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015.
- [5] F. Granda et al., "Spatial Characterization of Radio Propagation Channel in Urban Vehicle-to-Infrastructure Environments to Support WSNs Deployment", *Sensors*, vol.17(6), 01 June 2017, p.1313.
- [6] F. J. Oliveira, *Caracterização do Canal de Rádio Veículo-Infraestrutura na Faixa de 5,8 GHz*. Dissertação de Mestrado, UFF, 2018.
- [7] F. J. Oliveira, "Channel Characterization on Vehicle to Infrastructure Scenarios in 5.8 GHz", in *Latin America Microwave conference - LAMC 2018*.
- [8] W.C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1990.
- [9] J. C. Silva, G. L. Siqueira and P. V. G. Castellanos, "Propagation Model for Path Loss through Vegetated Environments at 700-800 MHz Band". *Journal of Microwaves, Optoelectronics, and Electromagnetic Applications*, vol. 17, N. 1, March 2018.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 4th Ed., 1072 p., 2016.
- [11] J. G. Andrews, A. Gosh, and R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, 449 p., 2007.
- [12] M. F. do Vale, I. R. Gomes, G. P. S. Cavalcante, B. S. L. Castro e F. J. B. Barros. "New Terrain Proposal for SUI Model Equations Based on 5.8 GHz Measurements in Wooded Cities Found in Amazon Region". In: *6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, 1187-1189, 2011.
- [13] B. R. S. Mello, P. A. Pinna, M. S. Dias, F. J. B. Fonseca, and L. J. Matos. "Measurements in vegetation and modeling of a radio mobile channel in an urban park". In: *International Telecommunications Symposium - ITS 2014*, 2014, São Paulo. SBrT - International Telecommunications Symposium - ITS 2014, 2014.
- [14] N. Ziela, A. Rahman, K. G. Tan, A. Omer, T. A. Rahman, and A. W. Reza, "Radio Propagation Studies at 5.8 GHz for Point-to-Multipoint Applications Incorporating Vegetation Effect", *Wireless Pers. Commun.* 72:709-728, Springer, 2013.
- [15] J. G. Proakis, *Digital Communications*. 4th Ed., Mc Graw-Hill, 2000.
- [16] A. M. F. Mood, *Introduction to the Theory of Statistics*, McGraw-Hill, 1963.