

Cobertura de Sinal Rádio Móvel em Ambiente com Vegetação na Frequência de 850 MHz

Diogo A. Magalhães, Vitor C. Paes, Carlos A. T. Coelho, Rian T. D. Moreira, João L. S. Teixeira, Pedro V. G. Castellanos e Leni J. Matos

Resumo— Objetivando a determinação da cobertura de sinal rádio móvel na faixa de 850 MHz em ruas, com vegetação presente, experimentos foram realizados no estacionamento do Clube Naval Charitas, na cidade de Niterói, Rio de Janeiro. Comparações do nível de potência média de sinal medido são realizadas com alguns modelos de predição ajustados e os modelos Log-distância e BRLJ mostram-se os mais ajustados ao canal em questão.

Palavras-Chave — Cobertura de sinal rádio, Modelos de predição, Propagação em vegetação, Variabilidade de sinal.

Abstract— In order to calculate the coverage of the radiomobile signal in the 850 MHz frequency band in streets with the presence of vegetation, measurements were performed in the Naval Club of Charitas, in Niterói city, Rio de Janeiro. Comparisons of the average signal level measured and adjusted by some prediction models confirm that the Log-distance and BRLJ models present the better fitting to the measured channel.

Keywords — Signal coverage, Prediction models, Propagation through vegetation, Signal variability.

INTRODUÇÃO

O sinal rádio móvel, até chegar ao receptor, sofre forte influência do canal, com variações no nível do sinal recebido devido aos mecanismos de propagação e, desta forma, é de grande importância a caracterização experimental dos mais variados tipos de canal, de forma a contribuir com os projetistas de sistema rádio móvel. Devido à aleatoriedade do sinal rádio móvel, a caracterização do canal e a análise de cobertura do sinal são mais facilmente realizadas através de estatísticas obtidas dos dados de medições nestes canais.

Na literatura, vários autores têm caracterizado a atenuação devido à vegetação, porém os modelos não fornecem valores de predição próximos à realidade brasileira e, em geral, são para vegetação mais densa. Dentre eles, estudos têm sido realizados em meios arborizados como pomares ou fileiras de árvores [1 - 3] e florestas [4 - 6], em várias frequências. No que diz respeito a sistemas de comunicação móvel pessoal, dada a sua abrangência, e onde o receptor está mudando constantemente as condições de recepção, é de grande importância o estudo em parques, estacionamentos e ruas com alguma arborização. Ocorre, porém, que existe pouca bibliografia para a modelagem de cobertura nestes ambientes. Partindo do modelo de Erceg [7], o modelo de SUI [8] foi

desenvolvido para distâncias maiores que 100 m para três tipos de regiões (A, B e C), onde C é relativo a regiões planas de leve vegetação, sendo o mais próximo a parques e estacionamentos; Castro [9] partiu do modelo Log-distância e desenvolveu um modelo apropriado em função de medições realizadas em regiões de cidades amazônicas, com ruas arborizadas; Mello [10] realizou medições no Horto do Fonseca, em Niterói, envolvendo clareira, vegetação lateral e alguma vegetação no percurso, desenvolvendo modelo para parque urbano na faixa de 900-2400 MHz e aplicando no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, com excelente ajuste aos dados obtidos de medições em 1880 MHz.

Neste contexto, este trabalho visa contribuir com mais resultados de medições em ambientes com vegetação, dentro de um estacionamento, com arborização do tipo mata Atlântica, no Clube Naval Charitas. A frequência do sinal CW de teste escolhida foi 850 MHz e, a partir dos dados coletados através da campanha de medições, é realizada a análise de cobertura do sinal e o ajuste de modelos encontrados na literatura, de forma a identificar o melhor modelo para a cobertura em região de leve vegetação em ruas, com presença de carros.

Na sequência, serão apresentados alguns modelos para ambiente com vegetação, a descrição do ambiente e do *setup* de medições, os resultados, conclusões, e os trabalhos futuros.

MODELOS DE PROPAGAÇÃO EM AMBIENTE DE VEGETAÇÃO

Dentre os modelos relevantes encontrados na bibliografia, que fornecem a perda de propagação devido à vegetação, quatro deles são descritos a seguir. Também é descrito o modelo de Friis de perda no espaço livre, necessário para uso em modelos que apenas fornecem a perda em excesso, já que esta deve ser somada àquela do espaço livre.

A. Modelo de Friis

Este modelo prevê a perda levando em consideração somente a distância transmissor-receptor e a frequência de operação, pressupondo não haver obstáculos entre a antena transmissora e receptora, nem multipercursos vindos de reflexões do sinal que poderiam chegar ao receptor. Ele é básico, devendo ser somado à perda em excesso na vegetação, definida em alguns modelos descritos adiante. Para a perda no espaço livre [11], em dB, tem-se:

$$FSL(dB) = 32.45 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) \quad (1)$$

onde d é a distância entre as antenas transmissora e receptora, em km, e f é a frequência do sinal transmitido, em MHz.

Diogo A. Magalhães, diogo.magalhaes80@gmail.com, Vitor C. Paes, vitorpaes@id.uff.br, Carlos A. T. Coelho, carlosaugustocoelho@id.uff.br, Rian T. D. Moreira, rhandias@id.uff.br, João L. S. Teixeira, joao_lucas@id.uff.br, 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 - UFF.

B. Modelo BRLJ para parque urbano

Mello [10] desenvolveu modelo empírico para parque urbano, considerando dois ambientes distintos, que permite o cálculo de nível de sinal recebido (P_r), em dBm, a uma distância d metros da transmissora, sendo $d \geq 10$ m, e f em MHz, mobilidade do receptor. A equação mais genérica, obtida para ambiente composto de clareira e presença de algumas construções à volta, com vegetação lateral e alguma vegetação entre transmissora e receptora, é calculado por:

$$P_r = -32,01 - 36,4 \cdot \log(d/10) - 20 \cdot \log(f/900) - 20 \cdot \log(h_t/3) \quad (2)$$

onde f é a frequência de operação do sistema, em GHz; h_t é a altura da antena transmissora, em metros, e \log é logaritmo decimal.

C. Modelo ITU

É um modelo empírico, desenvolvido pelo ITU, em 1988, aplicável para a faixa de frequências de 0,2 a 95 GHz e distâncias menores que 400 metros. É conhecido como *Early ITU* [12]. O cálculo da perda em excesso à perda de espaço livre, devido à propagação através da vegetação, em dB, é dada por:

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

onde f está em MHz e d , em metros, é a largura da vegetação.

D. Modelo Log-distância

Este modelo de perda independe diretamente da frequência do sinal transmitido, cujo efeito está intrínseco em $P_{rm}(d_0)$ [13]. Para a potência média recebida em d metros, por um receptor móvel, tem-se:

$$P_{rm}(d) = P_{rm}(d_0) - 10 \cdot \log(d/d_0)^n \quad (4)$$

onde n é o coeficiente de perda no percurso e $P_{rm}(d_0)$ é o nível de potência média recebida no ponto de referência d_0 .

E. Modelo UFPA

Desenvolvido para regiões típicas das cidades amazônicas, com ruas arborizadas, este modelo empírico, cujas medições foram realizadas em 5,8 GHz, com mobilidade do receptor, é descrito por [9]:

$$L = K_1 \cdot \log_{10}(d) + K_2 \cdot \log_{10}(f) + K_0 \quad (5)$$

onde d está em metros, f em MHz, $K_1 = 16,5$ e $K_2 = 14,2$, obtidos com mínimos quadrados lineares, a partir das medições, e:

$$K_0 = 79,6 - 15,5 \cdot (h_t + h_r) \cdot \lambda / (0,1 \cdot H_{ob}) \quad (6)$$

é o fator de correção, onde h_t e h_r são as alturas das antenas transmissora e receptora, respectivamente, e H_{ob} é a altura média das obstruções.

AMBIENTE E SETUP DE MEDIÇÕES

O ambiente onde foram realizadas as medições foi o Clube Naval Charitas, no bairro Jurujuba, em Niterói, local com vegetação do tipo mata Atlântica, pouco densa, algumas construções ao redor e com movimentação de carros. A Figura 1 mostra o estacionamento do Clube, com a indicação das rotas de medições, onde as setas indicam o sentido do movimento do receptor em relação ao transmissor. Observa-se que a vegetação, atualmente, está limitada às laterais das rotas.

Na Figura 2, está um desenho do estacionamento para melhor visualização do ambiente e suas rotas. O sistema de

transmissão estava localizado em uma área mais alta do que as rotas de medições, a uma altura de 4,7 metros.

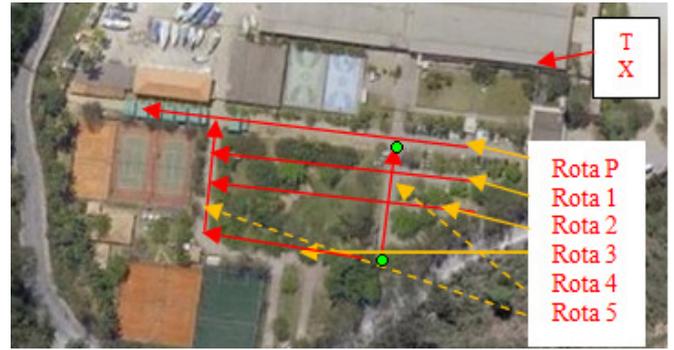


Fig. 1. Vista aérea das rotas no estacionamento. (Google earth, 2013)

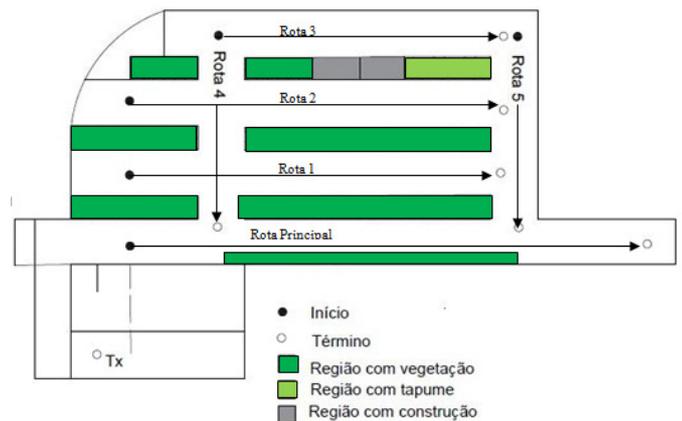


Fig. 2. Esquemático das rotas de medições.

A Figura 3 mostra a visada, a partir da antena transmissora, em direção ao estacionamento, destacando a rota principal e o sentido de deslocamento do sistema de recepção. As rotas 1, 2 e 3 se acham, praticamente, paralelas à principal, se distanciando para o fundo da figura, e as rotas 4 e 5, perpendiculares a ela. Seus comprimentos são, respectivamente: 188 m, 130 m, 108 m, 66 m, 45 m, e 42 m.



Fig. 3. Vista da antena transmissora para o estacionamento.

Os equipamentos, dispositivos e acessórios usados tanto na transmissão quanto na recepção do sinal, estão listados na Tabela I.

No dia da medição, o céu estava claro e não choveu. Foi transmitido um sinal CW, em 850 MHz, com 2,93 dBm à saída do gerador, e o sistema receptor foi montado em um automóvel que se deslocou a uma velocidade média de 20

km/h, no sentido de afastamento em relação à estação transmissora.

TABELA I. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA DE MEDIÇÕES

	Equipamento/Dispositivo	Especificação
T X	Gerador Vetorial de Sinal MG3700A, Anritsu	250 kHz a 6 GHz
	Amplificador de Potência, Minicircuits ZHL-16W-43+	G = 37 dB em 850 MHz
	Fonte Digital PS-5000, Icel	2 fontes de 0-30 V/0-3 A e 1 de 0-5V/3 A
	Antena Superbat Omni LTE 4G	698-960 MHz, 1,71-2,,17 e 2,5-2,7 GHz Ganho: 5 dBi
	Cabo RG 213, Anritsu Cabo Draka RG 213 (R&S)	1 m, com perda total igual a 0,4 dB 2 m, com perda total igual a 0,5 dB
R X	Antena Superbat Omni LTE 4G	698-960 MHz, 1,71-2,,17 e 2,5-2,7 GHz Ganho: 5 dBi
	Analizador de Espectro MS2724B, Anritsu	9 kHz a 20 GHz
	Laptop	Dell Inspiron 15
	1 Cabo RG 213, Anritsu	1 m, com perda total igual a 0,4 dB

A antena receptora, com as mesmas características da antena transmissora, foi fixada no teto do veículo, a uma altura de 1,57 metros, e as rotas onde foram realizadas as medições estão mostradas da Figura 4 à Figura 8.



Fig. 4. Rota principal e sentido de sondagem.



Fig. 5. Rota 1 e sentido de sondagem.



Fig. 6. Rota 2 e sentido de sondagem.



Fig. 7. Rota 3 e sentido de sondagem.



Fig. 8. Rota 4 (esquerda) e Rota 5 (direita) e sentido de sondagem.

PROCESSAMENTO E RESULTADOS

Foi desenvolvido um *software* de captura no *Matlab*[®], que coleta o *trace* de medida do analisador de espectro no *Span Zero*, a cada segundo. Cada *trace* fornece 551 pontos de medição, com isto levando à taxa de amostragem igual a 551 amostras/s, suficiente para capturar os *fadings* profundos [10] do sinal medido. Os dados foram adquiridos pelo analisador de espectro e salvos em arquivos no *laptop*, para posterior processamento. Vale a pena ressaltar que existe um tempo entre a captura e o armazenamento dos dados no *laptop* de, aproximadamente, 3 segundos.

Através do processamento dos dados obtidos nas medições, foi obtida a curva do nível de potência média recebida ao longo de cada rota. Para tal, foi empregado o filtro de média móvel [14], de forma a se obter, primeiramente, o sinal de variabilidade de grande escala [11]. A partir deste, obteve-se uma curva de ajuste para o nível de sinal médio recebido, que será comparado aos modelos ajustados. Antes, porém, tomando-se o eixo de distâncias normalizado para o valor inicial na rota, definido por d_0 , em escala logarítmica, o coeficiente de perda n com a distância é calculado para cada rota, partindo de (11):

$$n = [P_{rm}(d_0) - P_{rm}(d_1)]/[10 \cdot \log(d_1/d_0)] \quad (7)$$

A Tabela II apresenta os resultados obtidos para o fator de atenuação de sinal em todas as rotas.

TABELA II. FATOR DE ATENUAÇÃO DAS ROTAS

Rota	P	1	2	3	4	5
Coefficiente n	3,64	5,13	1,86	6,29	4,55	5,30

Os resultados mostram o coeficiente de perda crescendo na faixa de 3,64 a 6,29 nas rotas transversais (P, 1 e 3), à medida em que mais vegetação era atravessada pelo sinal. Exceção ocorreu na rota 2, que apresentou valor igual a 1,86, indicando que a queda do sinal ficou mais suave que no espaço livre, onde o coeficiente é igual a 2. Isto ocorre quando os multipercursos que chegam ao receptor mais contribuem, porque estão em fase, do que diminuem o sinal vindo direto do transmissor. É comum em rotas confinadas, formando um duto para as reflexões vindas das laterais. O que se observa, pela Fig. 2, é que a Rota 2 tinha construção e tapume na divisão com a Rota 3, em grande parte da parte da rota, o que pode ter contribuído com o confinamento do sinal. Nas rotas radiais (4 e 5) o sinal teve atenuação mais acentuada, entretanto, menores que na rota 3, que é a rota transversal onde o receptor recebe um sinal que mais atravessou a vegetação (Figura 2).

De posse do coeficiente de perda, a cobertura nas rotas foi calculada pelos diversos modelos de predição descritos anteriormente. As curvas obtidas para o nível de potência recebida foram traçadas juntamente com a curva média de ajuste dos dados, como se vê da Figura 9 até a Figura 14.

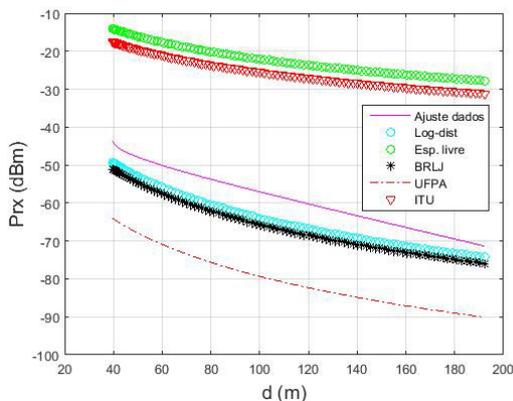


Fig. 9. Ajuste dos modelos à potência média na rota principal (P).

Pela observação nos gráficos, verifica-se que o sinal medido estava forte, sempre com média acima de -80 dBm.

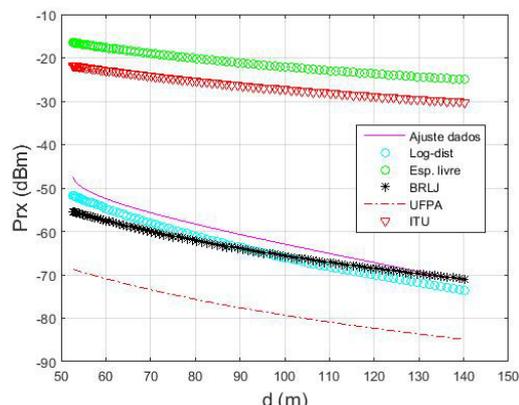


Fig. 10. Ajuste dos modelos à potência média na rota 1.

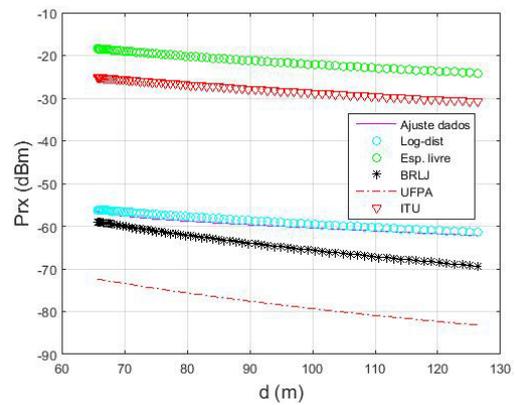


Fig. 11. Ajuste dos modelos à potência média na rota 2.

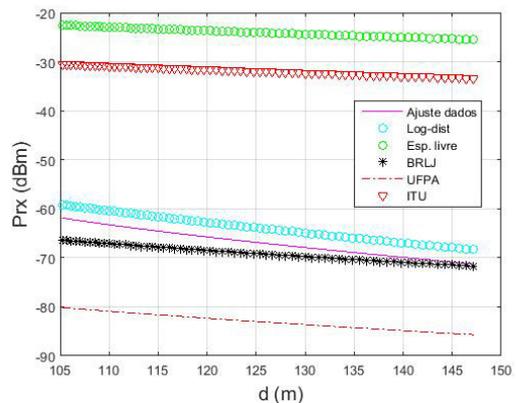


Fig. 12. Ajuste dos modelos à potência média na rota 3.

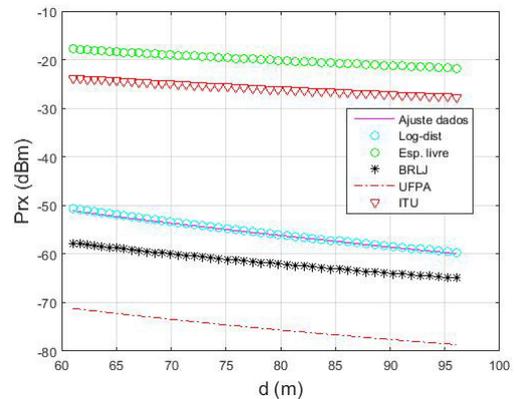


Fig. 13. Ajuste dos modelos à potência média na rota 4.

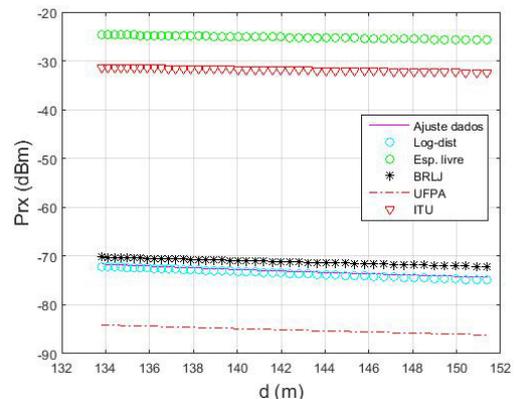


Fig. 14. Ajuste dos modelos à potência média na rota 5.

O modelo melhor ajustado aos dados foi o Log-distância, cujo parâmetro n foi calculado a partir dos dados. Claramente, BRLJ foi o segundo modelo melhor ajustado. O modelo ITU

foi melhor se ajustando à medida em que o receptor se deslocava nas rotas mais distantes, da Rota P à rota 3, entretanto, ainda ficou distante dos resultados, conforme se vê na Tabela III, onde são destacados, em negrito, os menores valores de erro quadrático médio (EQM) dos modelos ajustados.

TABELA III. ERRO QUADRÁTICO MÉDIO DOS MODELOS AJUSTADOS

Rota\Modelo	Log-distância	BRLJ	UFPA	ITU-R
Principal	32,95	54,03	44,0	1064,0
1	8,01	16,32	294,1	1141,3
2	0,80	16,69	314,9	1019,6
3	8,64	7,17	266,07	1203,8
4	0,06	35,47	379,64	883,67
5	0,21	3,57	146,17	1692,9

Ressalta-se que o modelo UFPA [9], desenvolvido para cobertura em ruas arborizadas de cidades amazônicas, mostrou-se pessimista em todas as rotas, variando entre 14 a 20 dB abaixo do valor médio experimental. Isto se explica, pois os parâmetros do mesmo foram obtidos para 5.8 GHz e, se calculamos a perda em frequência ($= 20 \cdot \log_{10} f_{\text{MHz}}$) para 850 MHz e 5800 MHz, obtemos 16,8 dB a mais de perda nesta última frequência, o que levaria a curva de ajuste do modelo UFPA a se aproximar da curva experimental.

Além do EQM, as médias e desvios padrões de cada modelo foram calculadas e são apresentadas na Tabela IV. Devido ao fato que o modelo ITU mostrou-se muito afastado dos resultados experimentais, optou-se por não apresentar seus resultados. Os valores das médias e desvios dos modelos ajustados, praticamente confirmam o Log-distância, seguido do BRLJ como os melhores modelos. Também estão destacados, em negrito, os melhores ajustes.

TABELA IV. MÉDIA/DESVIO DOS DADOS E DOS MODELOS AJUSTADOS

Rota\Modelo	Experim.	Log-dist	BRLJ	UFPA
Principal	-57,7/9,2	-63,2/7,8	-63,4/7,8	-79,0/8,2
1	-57,8/7,5	-62,2/7,0	-61,4/5,0	-76,4/5,2
2	-58,9/3,6	-58,4/1,7	-62,0/3,3	-77,0/3,5
3	-67,7/3,9	-63,7/2,7	-67,5/1,6	-82,9/1,7
4	-55,7/4,1	-55,3/2,7	-60,1/2,2	-75,0/2,2
5	-72,1/1,9	-73,4/0,9	-69,7/0,6	-85,1/0,6

CONCLUSÕES

Através de medições realizadas em estacionamento no Clube Naval Charitas, estudou-se a cobertura de sinal rádio móvel em ambiente arborizado, para velocidade do móvel igual a 20 km/h, próxima a de um pedestre se locomovendo no mesmo ou a de um veículo em baixa velocidade, típica de estacionamentos.

Tendo como indicadores de desempenho o erro quadrático médio e a média/desvio padrão de cada modelo, o modelo Log-distância foi o que melhor se ajustou para a cobertura das rotas, entretanto, é um modelo que emprega um parâmetro de perdas, que parte de resultados das medições. Como nem sempre se tem a disponibilidade de realizar as mesmas, chegue-se ao BRLJ como o melhor modelo ajustado, independentemente de se ter resultados de medições. Desenvolvido para parques, a partir de medições na faixa 900 - 2400 MHz, este trabalho confirma o emprego do modelo BRLJ, na frequência de 850 MHz, também em ambiente de estacionamento com alguma vegetação. Ressalta-se que outros modelos de decaimento

exponencial foram testados, mas os resultados ficaram longe do experimental, sugerindo que modelos como BRLJ e de Castro (UFPA), que foram criados partindo do modelo Log-distância são mais genéricos, além do que incluem a variação de frequência e altura de antena, dando melhores resultados.

Um outro artigo, com medições nas mesmas rotas do ambiente, mas na faixa de 5,8 GHz [15], trata da cobertura de sinal rádio móvel, que é aplicável a sistemas V2I (veículo-infraestrutura).

Na continuidade deste trabalho, uma grande campanha de medições será realizada, de forma a se chegar a um modelo de cobertura em parques e estacionamentos arborizados, cobrindo uma faixa maior de frequências, de 700 MHz a 6 GHz, além de estudar a variação do fator de perdas com a frequência e o tipo de rota, quer seja transversal ou radial.

AGRADECIMENTOS

Ao Clube Naval Charitas, pela disponibilidade do local e o suporte necessário para a realização das medições.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Tavakoli, K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, "Horizontal Propagation Through Periodic Vegetation Canopies", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 39, N. 7, July 1991.
- [2] N. Savage, D. Ndzi, A. Seville, E. Vilar, and J. Austin, "Radio Wave Propagation Through Vegetation: Factors Influencing Signal Attenuation", *Radio Science*, vol. 3, Issue 5, Oct. 2003.
- [3] M. O. AL-Nuaimi, R. B. L. Stephens, "Measurements and Prediction Model Optimization for Signal Attenuation in Vegetation Media at Centimeter Wave Frequencies", *IEE Proc. Microw. Antennas Propagat.*, vol. 145, N.3, pp. 201-206, 1998.
- [4] K. Low, "Measurements of Seasonal Field-Strength Variations in Forests", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.37, N.3, pp. 121-124, 1988.
- [5] S. S. Seker, A. Schneider. "Experimental Characterization of UHF Radiowave Propagation Through Forests", *IEE Proceedings*, vol.140, N.5, pp. 329-335, October 1993.
- [6] R. K. Tewari, S. Swarup, M. N. Roy. "Radio Wave Propagation Through Rain Forests of India", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 38, N.4, pp. 443-449,1990.
- [7] V. Erceg et. al, "An empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments", *IEEE Journal on Selected Areas Communications*, vol. 17, N. 7, pp. 1205-1211, July 1999.
- [8] J. G. Andrews, A. Gosh, and R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, 2007.
- [9] B. S. L. Castro, "Modelo de Propagação para Redes sem Fio Fixas na Banda de 5,8 GHz em Cidades Típicas da Região Amazônica". Dissertação de Mestrado, UFPA, 2010.
- [10] 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". SBRT - International Telecommunications Symposium - ITS 2014, 2014, São Paulo, 2014.
- [11] W.C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, 1990.
- [12] 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.
- [13] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall, 1996.
- [14] J. G. Proakis. *Digital Communications*, 4th Ed., Mc Graw-Hill, 2000.
- [15] J. L. S. Teixeira, L. H. V. Freitas, D. A. Magalhães, C. A. T. Coelho, A. L. Santos, P. V. G. Castellanos e L. J. Matos. "Influência da Vegetação na Cobertura de Sinal V2I em 5.8 GHz". Submetido e aprovado para o SBRT 2019, Petrópolis.