

# Estudo Estatístico dos Desvanecimentos Associados à Perda de Propagação Móvel no Bioma Cerrado

Giovanni C. G. Alves, João P. Leite, Paulo H. P. de Carvalho, Plínio R. G. Alves

**Resumo** – Este trabalho apresenta o resultado da avaliação estatística dos dados obtidos campanhas de medição desenvolvidas nas variantes fitofisionômicas e geomorfológicas do bioma cerrado nas frequências de 144 e 435 MHz. O enfoque do artigo são os desvanecimentos associados à propagação móvel. Os programas foram desenvolvidos no ambiente computacional Matlab, versão 2008. A metodologia aplicada permite determinar a margem de potência a ser adicionada de forma incremental ao valor estimado da perda de propagação com o objetivo de acomodar os efeitos dos tipos de desvanecimentos. A estatística dos desvanecimentos no ambiente de floresta no domínio espaço-tempo permite identificar com razoável precisão a provável localização das estruturas morfológicas do ambiente de medidas que acentuam o desvanecimento. A caracterização dos desvanecimentos e da perda de propagação dão suporte ao planejamento de avançadas redes móveis.

**Palavras-Chave**–Cerrado, sombreamento, desvanecimento em pequena escala, distribuição estatística, Matlab.

**Abstract** – This paper presents the evaluation of the fading results on mobile propagation channel at distinct phytophysionomic and geomorphological sorts of *cerrado* biome. The tested frequencies were 144 and 435 MHz. The programming tasks were developed on Matlab language, release 2008. The methodology applied allowed to set up an appropriate margin level to be added at the estimated propagation path loss value. By doing this, the fading effects may be useful for planning mobile network in *cerrado* biome. The fading statistics on the forest environment in space-time domain allows, with a reasonable precision, to localize morphological structures that accentuate long-term fading. The characterization of the fading and the propagation path loss supports advanced mobile networks planning.

**Keywords**–Cerrado, long-term and short-term fading, statistics, shadowing, Matlab.

## I. INTRODUÇÃO

O cerrado é o bioma com maior taxa de desflorestamento no Brasil superando até mesmo a floresta Amazônica, de acordo com recentes relatórios publicados [1]. Uma robusta estrutura de comunicações móveis com larga cobertura em áreas de preservação de cerrado faz se necessária para atender objetivos de monitoração, segurança e ocupação demográfica com contingente populacional de elevada consciência ecológica [2].

O estudo experimental foi desenvolvido em uma área de preservação permanente sob a administração da Universidade de Brasília (UnB), Fazenda Água Limpa (FAL).

A área de abrangência da FAL compreende as circunvizinhas das coordenadas geográficas GPS: sul 15°57'55,34" e oeste 47°54'38,79"-localização da torre de 24

metros, sul 15°57'14,81" e oeste 47°54'57,38"-localização da torre de 10 metros.

Os gráficos, tabelas e análise estatística das perdas de propagação no cerrado, relacionando o enfraquecimento do sinal transmitido em função da distância, fazem parte do estudo publicado em [3]. Em geral, os fenômenos que intervêm no canal móvel podem ser tipificados na forma de ruídos aditivo e multiplicativos [4-8]. Os multipercursos inerentes à propagação do sinal no ambiente faz com que distintas versões do sinal se sobreponham na antena do receptor móvel. A composição vetorial dos sinais, devido ao fenômeno do multipercurso na antena receptora, poderá reforçar (amplificar), enfraquecer (atenuar), modificar a envoltória do sinal recebido, ou até mesmo, aniquilá-la [9].

Os resultados experimentais, em particular, o sombreamento e o desvanecimento em pequena escala, são explicitados mediante histogramas confrontadas com histogramas teóricos na busca de atingir como meta a melhor similaridade entre as distribuições estatísticas teórica e experimental [10]. O teste de ajuste das curvas escolhido é o da máxima verossimilhança. A estatística do sombreamento é modelada como uma função de distribuição de densidade de probabilidade de formato gaussiano. O sombreamento geralmente está relacionado a obstáculos de dimensões maiores que o comprimento de onda do sinal transmitido ( $\lambda$ ) localizados entre a estação rádio base e o usuário da rede móvel. A sobreposição do sombreamento com a perda de propagação é o desvanecimento em larga escala. O desvanecimento de pequena escala tem que ser validado por critérios de aderência, testes de similaridade com distribuições pertinentes ao estudo de processos estocásticos aplicados aos sinais randômicos [5,7,11]. O desvanecimento em pequena escala está relacionado aos multipercursos que o sinal percorre até chegar ao receptor. A designação “escala” refere-se a múltiplos e submúltiplos do comprimento de onda.

Os desvanecimentos seletivos em frequência, no domínio do tempo e da distância, designados como rápidos e lentos, não fazem parte do escopo deste estudo. O trabalho enfoca a propagação no domínio tempo-distância a partir da transmissão de um sinal de banda estreita [11] de forma a minimizar os erros devido às influências de outros componentes de desvanecimento. Os resultados da composição dos fenômenos citados são algumas vezes, de forma genérica, designados como fading. Os desvanecimentos estão diretamente relacionados às variações bruscas e lentas na envoltória do sinal transmitido e de certa forma, relacionados às variações bruscas e lentas na fase das componentes espectrais do sinal transmitido.

A variação da envoltória e a variação de fase, em geral, a composição de ambas provoca a variabilidade do

nível de sinal recebido no ponto em que o sinal é captado pelo receptor móvel [9-10]. A Eq. (1) relaciona o sinal recebido ao sinal transmitido em um instante de tempo qualquer em função dos desvanecimentos envolvidos no enlace transmissor-receptor [5].

$$s_{RX}(t) = p(t) \times m(t) \times r(t) \times s_{TX}(t), \quad (1)$$

Em que:  $S_{TX}$ , sinal de transmissão;  $S_{RX}$ , sinal de recepção;  $p(t)$ , perda de propagação;  $m(t)$ , sombreamento; e  $r(t)$ , desvanecimento em pequena escala.

## II. DESVANECIMENTOS

A extração dos desvanecimentos dos dados de medidas é obtida pela aplicação da técnica das médias móveis ou janela móvel [5] e segue o seguinte raciocínio: primeiramente, a filtragem é aplicada ao conjunto de amostras contidas nos arquivos de dados experimentais, desta forma, obtém-se o desvanecimento em pequena escala; em seguida, reaplica-se a filtragem nas amostras descorrelacionadas, amostras distanciadas de aproximadamente  $0,38\lambda$ , conforme teoria desenvolvida nos trabalhos basilares de modelagem estatística aplicada a comunicações móveis R. H. Clarke e W. C. Jakes [12-13]. O resultado desta segunda filtragem é o desvanecimento em larga escala. O perfil de perdas do sinal é obtido pela aplicação da regressão linear nos dados experimentais descorrelacionados, tendo como meta a minimização do erro quadrático médio [3]. Ao subtrair a perda de propagação do desvanecimento de larga escala resulta no sombreamento. A Fig. 1 esboça a progressão incremental da janela pelos dados obtidos em uma fictícia campanha de medidas, para  $K=2$ . A média móvel é a média em  $2K+1$  valores, centrada neste intervalo, tomada de ponto em ponto.

O tamanho da janela define o grau de suavização ou amortecimento dos acréscimos e decréscimos em torno da média.

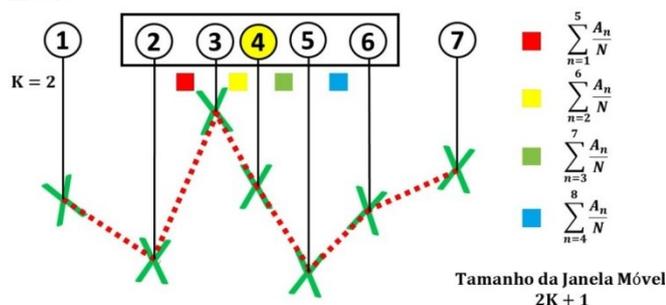


Fig. 1 – Progressão da janela móvel pelos pontos de medida.

O método de extração é flexível no sentido de que a filtragem não é forçada a adaptar-se a uma função matemática específica.

No âmbito deste trabalho aplicou-se o critério de Parsons [5] para definir o tamanho da janela móvel, a saber: 20 metros para UHF, 435 MHz e 40 metros para VHF, 144 MHz. De acordo com Lee [4] o tamanho da janela é  $20\lambda$  para UHF e  $40\lambda$  para VHF. Observou-se em [3] que os resultados divergem pouco, quanto à escolha do critério de definição do tamanho da janela móvel.

Observa-se na Fig. 2 que o desvanecimento de pequena escala pode ocasionar um abrupto afundamento do sinal recebido, a uma taxa de queda acentuada. A taxa de

queda do desvanecimento de larga escala é mais suave do que o do desvanecimento de pequena escala. O gráfico da Fig. 2 é ilustrativo, foi esboçado de acordo com conceito e a teoria atinente a desvanecimentos de pequena e larga escala.

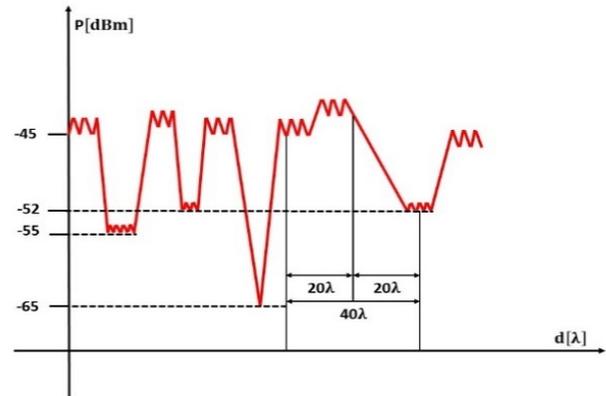


Fig. 2 – Ilustração da variação do nível do sinal recebido em função dos desvanecimentos

A Fig. 3 ilustra os tipos de desvanecimentos levados em consideração no escopo deste trabalho, quando separados pela técnica das médias móveis, e a atenuação em função da distância, impactam negativamente o nível de sinal captado pelo *set-up* de medidas embarcado no *drive-test* [3,10,11].

O tamanho da janela define o grau de suavização ou amortecimento dos acréscimos e decréscimos em torno da média. Sabendo-se que em geral as variações do desvanecimento de pequena escala impactam negativamente a perda de propagação com picos de até 20 dB e as variações do desvanecimento de larga escala com picos de até 15 dB [23], como ilustrado na Fig. 2, a caracterização dos desvanecimentos e da perda de propagação são parâmetros de especificação importantes para o planejamento de uma rede móvel.

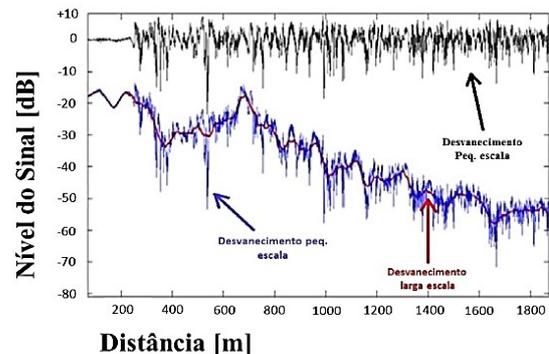


Fig. 3 – Registro experimental dos tipos de desvanecimento via Matlab.

## III – AMBIENTE DE MEDIDAS

O cerrado possui a maior diversidade biológica entre as savanas mundiais [2], o porte do estrato arbóreo situa-se na faixa de 4 a 7 metros (80 % da vegetação das espécies cerrado denso e cerrado *stricto sensu*). Os ensaios foram realizados em três percursos de cerrado nativo delimitando áreas poligonais constituídas das principais variantes fitofisionômicas do bioma. O percurso “edge” é o mais heterogêneo, possui fragmentos representativos das várias espécies de cerrado: campo limpo, campo sujo, cerrado denso, cerrado ralo, cerrado *stricto sensu*, pastagens naturais e

cultivadas. O percurso “cerradão” é constituído de cerrado denso em toda sua extensão. O percurso “mix” é constituído por cerrado denso, cerrado *stricto sensu* e grande área de silvicultura de eucalipto. A Fig. 4 mostra a bifurcação localizada no ponto de interseção dos percursos ensaiados, tomando como referência a localização da torre de 10 [m], vem: à esquerda, início do “cerradão” e início/fim do “edge”; à direita, fim do “cerradão” e fim do “mix”; saindo do plano do papel, início do percurso “mix”.

A climatologia do cerrado possui uma sazonalidade cíclica que alterna entre duas estações bem definidas: o verão úmido e o inverno seco. Na FAL há predominância do solo do tipo latossolo vermelho-amarelo que possui alta concentração de alumínio e elevada acidez. O relevo varia de ondulado a fortemente ondulado, possui boa permeabilidade ao fluxo pluvial. As altitudes variam de 1040 metros, no percurso “edge”, a 1170 metros no percurso “mix”.



Fig. 4 – Interseção dos percursos ensaiados no cerrado.

#### IV. DESVANECIMENTO EM PEQUENA ESCALA

Os testes estatísticos do Matlab facilitam a obtenção da melhor função de distribuição de probabilidade que se ajusta ao comportamento do desvanecimento de pequena escala experimental. A sequência de acionamento do programa é a seguinte: *tool boxes, statistics e distribution fitting tool-dftool*. O procedimento de ajuste obedece a seguinte ordem: 1-Verificação visual da função de distribuição das densidades de probabilidades (recurso *probability distribution function* (PDF)), a PDF que melhor se ajusta à PDF do desvanecimento experimental. A Fig. 5 apresenta a PDF experimental e a PDF do Matlab para o percurso “cerradão”, torre de 24 metros, frequência de 435 MHz, clima seco. Percebe-se visualmente que a distribuição de Nakagami é a que melhor se aplica.

Caso exista incerteza quanto ao ajuste da melhor PDF, parte-se para a comparação visual da *cumulative distribution function* (CDF). Primeiramente faz-se uma análise visual da região de maior amplitude, em seguida parte-se para análise da região central das distribuições estatísticas e, finalmente, da região de baixa amplitude. Em geral, um bom critério para caracterizar o canal em termos de desvanecimento de pequena escala é admitir a CDF que melhor se aproxima dos resultados experimentais na região central. Com isso assegura-se que 50 % das ocorrências do desvanecimento de pequena escala foram levadas em conta no dimensionamento da rede. A Fig. 6 ilustra a concordância entre a CDF teórica e a CDF experimental para o percurso “edge”.

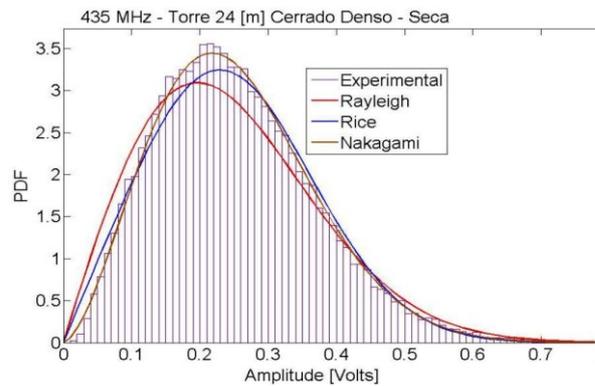


Fig. 5 – Plotagem da PDF experimental versus PDFs teóricas para o desvanecimento em pequena escala.

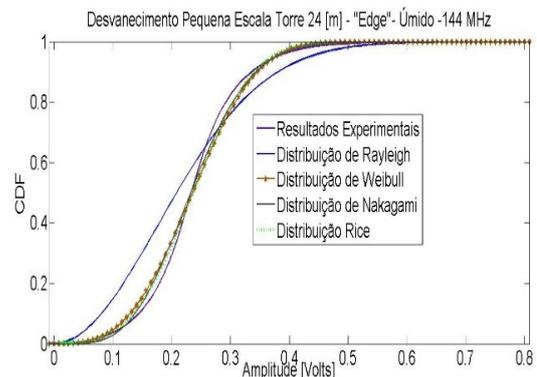


Fig. 6 – Plotagem da CDF experimental versus CDFs teóricas para o desvanecimento em pequena escala.

Existe ainda um terceiro recurso para discriminar qual seria o melhor modelo de desvanecimento em pequena escala, o *Probability Plot*, que é um teste de aderência constante do Matlab e consiste na confrontação das plotagens das PDFs teórica e experimental em termos de probabilidade de aderência ao experimental. A Fig. 7 apresenta a plotagem para o percurso “cerradão”. Percebe-se que o traçado da distribuição de Nakagami cobre um patamar ligeiramente superior aos resultados experimentais, acomodando as abruptas quedas de sinal melhor do que a distribuição de Rayleigh.

Por último recorre-se ao parâmetro *log likelihood* de cada distribuição confrontada com a distribuição dos resultados experimentais. O valor deste parâmetro é lido no *manage fit*, opção *edit fit*. Quanto maior for o valor do *log likelihood*, melhor será a adequação da distribuição teórica à distribuição dos resultados experimentais.

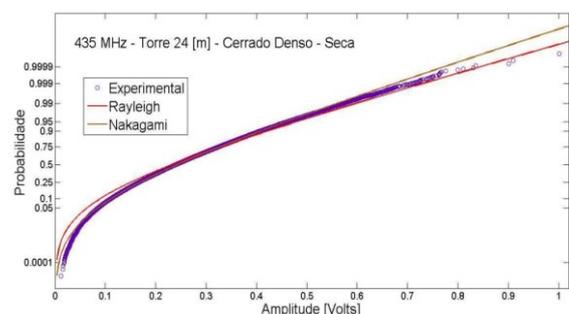


Fig. 7 – *Probability Plot* experimental versus distribuições teóricas.

## V. SOMBREAMENTO

O sombreamento é relevante no sentido de que a ocorrência de acentuada distorção no envelope gaussiano de seu histograma, constitui um forte indício de que a reta de regressão da nuvem de pontos experimentais não se ajustou com boa aproximação a toda faixa de distâncias do *drive-test* à torre de transmissão [3]. O sombreamento pode revelar provável sobreposição de fenômenos de propagação ou revelar estruturas que modificam seu efeito realçando a dispersão do sinal além do estimado pela regressão dos resultados experimentais. Desta forma, o sombreamento é uma variável de controle quanto à estimativa realizada pela reta de regressão dos resultados experimentais. A Fig. 8 mostra o sombreamento no percurso “cerradão”, estação seca, 435 MHz, torre de 24 metros. Na Fig. 8 percebe-se que o extremo direito da cauda do sombreamento não é coberto pela função distribuição de densidade de probabilidade gaussiana.

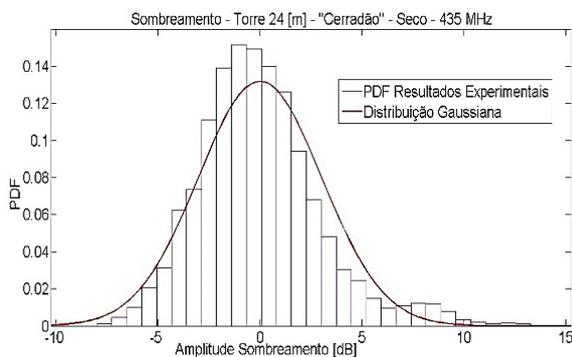


Fig. 8 – Sombreamento: PDF experimental versus PDF teórica gaussiana.

Uma forma de observar o comportamento do sombreamento é aplicar instruções do Matlab na área de trabalho do programa. Ao plotar o sombreamento em função da distância obtém-se o perfil como mostrado na Fig. 9, observa-se que na distância de 1030 metros da torre o sombreamento atinge o ápice a um patamar de 15 dB. De posse desta distância de 1030 metros o programa em Matlab, implementado neste estudo, tendo como entradas o arquivo de medidas georeferenciada, ponto-a-ponto, bruto e o arquivo oriundo da primeira filtragem pela técnica das médias móveis, permite traçar uma região circular corresponde à possível localização das estruturas morfológicas impactantes à resposta do sombreamento, conforme ilustrado na Figura 10.

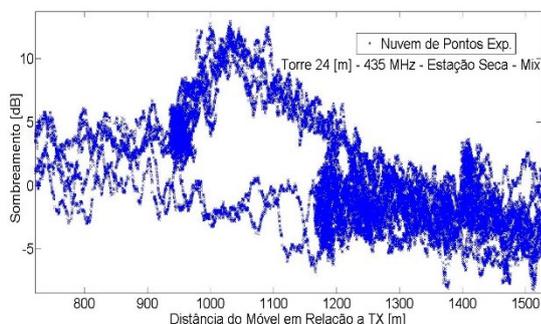


Fig. 9 – Plotagem Matlab do sombreamento versus distância.

Examinando os dados topográficos e geográficos do ambiente sob análise, percurso “mix”, pode-se inferir que a

estrutura que sobressai como intensificadora do sombreamento localizada dentro da área de abrangência do círculo traçado na Fig. 10 é a plantação de eucalipto que alcança cotas de até 20 metros de altura. Na Fig. 10 o contorno poligonal representa o real traçado da via do percurso “mix” na FAL.

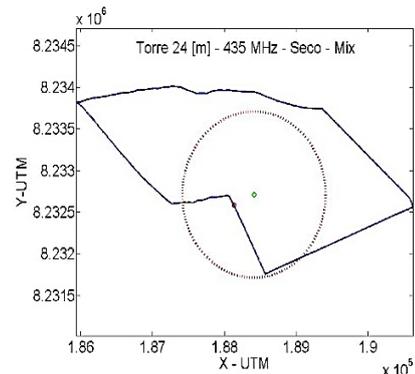


Fig. 10 – Plotagem Matlab: círculo delimita a região intensificadora do sombreamento.

## VI. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados gráficos na frequência de 144 MHz, torre de 10 e 24 metros, bem como, os resultados em 435MHz torre de 10 metros, não constam do texto devido à limitação de espaço. Depreende-se da análise dos resultados estatísticos que o sombreamento na frequência de 144 MHz apresenta um envelope mais distorcido em relação a uma gaussiana ideal do que nas medias tomadas para frequência de 435 MHz. A princípio isto pode ser atribuído à maior interação da transmissão com os elementos florísticos constituintes do bioma cerrado (galhos, gravetos, ramos e troncos secundários e primários da vegetação), com métricas proporcionais a múltiplos e submúltiplos do comprimento de onda em 144 MHz.

Nota-se que em ambas frequências as PDFs do sombreamento, nos percursos “mix” e “cerradão”, subestimaram a perda para distâncias maiores que 1000 metros. Em outras palavras, a perda medida é maior que a perda estimada para situações em que o receptor móvel está mais distante da torre de transmissão, conforme relatado por [14-15]. Este é um resultado esperado para ambientes de morfologia complexa como é o caso de florestas.

O clima do cerrado afeta os desvanecimentos da seguinte forma: no percurso “edge” o sombreamento em 435 MHz, estação úmida, apresenta maior variabilidade que os resultados analisados para os percursos “mix” e “cerradão”. Isto ocorreu devido a maior dispersão provocada pela vegetação arbustiva constituída de aglomerados de arvoretas, gramíneas e leguminosas, característica prevalente em formações campestres, com componentes florísticos de dimensões mais próximas ao comprimento de onda na frequência de 435 MHz.

No percurso “cerradão” nota-se que, no comparativo entre histogramas do sombreamento, tomando para efeito de análise as estações seca e úmida, torre de 10 metros, frequência de 144 MHz, há um significativo salto de 18 para 35 dB no alargamento da faixa de atenuação desfavorável à estação seca. O cerrado por ser uma floresta aberta classificada como semi-decídua [2] perde grande parte de sua massa foliar na estação seca, quando então sobressai o dossel desnudo povoado de galhos, ramos, gravetos e troncos de

arquitetura de feições irregular: retorcidos, contorcidos, nodosos, tortuosos e rugosos. Assim, na estação seca a estatística do sombreamento não tem um comportamento próximo a de uma distribuição gaussiana principalmente na frequência de 144 MHz. A Fig. 11 contrasta o sombreamento no clima seco e clima úmido no percurso “mix”.

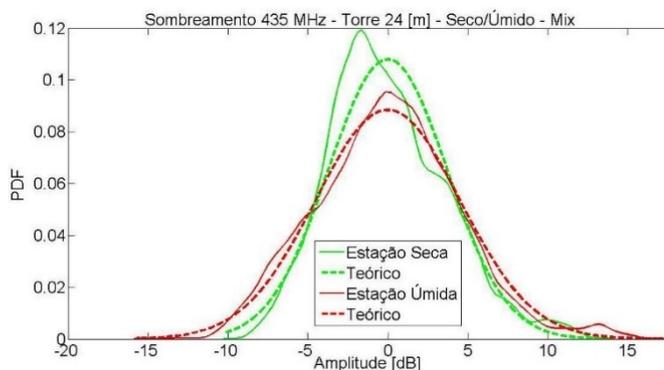


Fig. 11 – PDFs do Matlab: experimental versus distribuição gaussiana, estações seca e úmida.

O desvanecimento em pequena escala teórico não sofreu alterações relevantes quanto ao clima e à geomorfologia do cerrado. No entanto as distribuições estatísticas dos resultados experimentais em 144 MHz apresentaram PDFs de envelopamento mais concentradas do que em 435 MHz revelando assim menor probabilidade de queda de sinal recebido por conta da dinâmica de multipercursos no cerrado. Observou-se que a estatística do desvanecimento em pequena escala difere muito pouco devido a mudança de fisionomia de verão úmido para o inverno seco.

Observou-se também que no verão úmido o verde dossel quando umedecido por uma forte chuva provoca um acréscimo de aproximadamente 3 dB na perda devido ao sombreamento na frequência de 435 MHz.

## V. CONCLUSÃO

A técnica das médias móveis foi empregada na extração dos fenômenos de desvanecimento que distorcem o canal móvel de forma aleatória. A separação dos fenômenos de propagação foi realizada mediante filtragem apropriada, aplicada aos dados coletados na fase de processamento dos arquivos de medidas. A técnica da filtragem por médias móvel separa os desvanecimentos causados pelas obstruções da perda intrínseca à propagação no ambiente ensaiado pelo *drive-test*. Os programas escritos no Matlab permitem estimar a localização das barreiras pertinentes à morfologia do ambiente, que intensificam o sombreamento, e estimar o comportamento dos desvanecimentos embasados no pareamento de distribuições estatísticas teóricas residentes no pacote Matlab com os resultados experimentais.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Klink, R. B. Machado, *A conservação do cerrado Brasileiro, Microdiversidade*, Vol. 1, nº 1, pp. 147-155, julho 2005, Brasília, DF, Brasil.
- [2] Coletânea de Publicações do Departamento de Conservação da Biodiversidade do Ministério do Meio Ambiente: *Cerrado e Pantanal*

- *Áreas e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade, Avaliação, Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade do Cerrado e do Pantanal-Sumário Executivo*, 2008 e *Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação*, editadas em outubro de 2008.
- [3] G. C. G. Alves, J. P. Leite, P. H. P. Carvalho, e P. R. G. Alves, *Evaluation of Mobile Radio Wave Propagation by Measurements Campaigns Through Different Types of "Cerrado" Biome*, Momag, Curitiba 2014.
  - [4] W. C. Y. Lee, *Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal*, IEEE Transactions on vehicular technology, vol. VT-34, no. 1, February, 1985.
  - [5] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Second Edition. John Wiley&Sons.2000.
  - [6] T. S. Rappaport. *Wireless Communications: Principles and Practice*, Second Edition. Prentice Hall PTR, 2001.
  - [7] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC, 1993.
  - [8] S. R. Saunders and A. A. Zavala, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, 2nd edition, John Wiley & Sons, 2007.
  - [9] U. S. Dias, *Distribuição de Fase e Estatísticas Correlacionadas em Ambientes Sem Fio: Teoria e Validação Experimental*, Tese de Doutorado, Unicamp, Campinas, 2010.
  - [10] A. J. M. Soares, C. G. Rego, E. V. Melo, F. J. S. Moreira, G. W. O. Costa, J. P. D. M. Pinto, M. A. S. Mayrink, N. Pasquali, P. H. P. Carvalho, W. K. Guimarães, *Signal Sampling Method for Power Measurements in Mobile UHF Environments International*, Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC 05), pp. 407—410, July 2005, Brasília, DF, Brazil.
  - [11] E. P. L. de Almeida, J. P. Leite, P. H. P. Carvalho e R. G. A. de Oliveira, *Narrowband Fading Characterization in Brasilia to Aid in The Design of Public Safety Communication systems*, International Microwave and Optoelectronics Conference, 2007.
  - [12] R. H. Clarke, *A Statistical Theory of Mobile-Radio Mobile-Radio Reception*, Bell Syst. Tech. Journal, Vol. 47, pp.957-1000, 1968.
  - [13] W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 1974.
  - [14] F. M. Soares, A. M. Cavalcante, G. P. S. Cavalcante e J. C. W. A. Costa, *Modelos Neuro-Adaptativos para Predição de Rádio-Propagação em Ambientes Florestais*, MOMAG Belo Horizonte, 2006.
  - [15] M. Ghorashi, J. I. Takada and T. Imai, *Radio Wave Propagation Through Vegetation*, Intech Open Science Open Minds, Chapter 6, 2013, pp 155-176.