

# Análise da Perda de Percurso de Rádio-Enlaces Táticos num Bosque de Mata Atlântica

M. H. C. Dias, A. Rotava, F. G. Andrade, R. A. Alem, M. A. K. Melo, e J. C. A. Santos  
Instituto Militar de Engenharia – IME, Praça General Tibúrcio, 80 – Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 22290-270

**Resumo** — No contexto das radiocomunicações táticas militares em florestas, a forte atenuação imposta ao sinal é um problema técnico que se destaca. Um dos poucos modelos de predição de perda de percurso neste cenário é o de Tamir, que considera a onda lateral como mecanismo de propagação dominante. Apesar de corroborado experimentalmente em alguns trabalhos disponíveis na literatura, há poucos relatos detalhados sobre as medidas de validação dessa abordagem. A escassez é ainda maior quando se analisa o cenário das florestas ombrófilas brasileiras. Este artigo descreve uma recente campanha de medidas de sinal de rádio HF/VHF no Bosque da Freguesia, uma pequena reserva urbana de Mata Atlântica na cidade do Rio de Janeiro. Os dados coletados são apresentados na forma de perda de percurso em função da distância e frequência, e comparados a modelos pertinentes. Observou-se boa aderência das medidas ao modelo de Tamir, apesar das distâncias relativamente curtas.

**Palavras-Chave** — Comando e Controle, Guerra Eletrônica, radiopropagação HF/VHF, vegetação.

## I. INTRODUÇÃO

A presença de grandes extensões de florestas ombrófilas densas é uma das características mais marcantes de dois grandes biomas terrestres brasileiros: a Mata Atlântica e a Amazônia [1]-[2]. Este último, em particular, é de grande interesse estratégico para o Brasil, e representa o cenário prioritário de atuação do Exército Brasileiro há mais de uma década.

Entre as diversas dificuldades de execução de operações militares nesse tipo de ambiente, destaca-se a limitação de desempenho das radiocomunicações, em especial dos enlaces táticos terrestres. A floresta atenua significativamente o sinal transmitido nas faixas típicas de emprego de rádios portáteis, em função da absorção e do espalhamento das ondas de rádio pela vegetação. Levando-se em conta, ainda, que o alcance dos rádios portáteis já é normalmente reduzido pela necessidade de operação com baterias, a viabilidade da radiocomunicação nos limites operacionais requeridos fica comprometida em muitos casos. Neste cenário, as faixas de HF e VHF são as menos susceptíveis à forte perda de percurso imposta pela floresta ao sinal de rádio, sendo as mais indicadas para enlaces táticos de até alguns poucos quilômetros de alcance [3]-[6].

M. H. C. Dias, mhcdias@ime.eb.br, Tel +55-21-3820-4135; A. Rotava, rotava.andre@gmail.com; F. G. Andrade, andrade210\_fernando@yahoo.com.br; R. A. Alem, ramon\_alem@yahoo.com.br; M. A. K. Melo, kamiroski.ime@gmail.com; J. C. A. Santos, araujo@ime.eb.br.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERJ (proj. E-26/101497/2010) e pelo CNPq (bolsa PQ-2 ao 1º autor – proj. 306375/2009-5).

A busca por técnicas de mitigação para os efeitos da floresta no desempenho de radioenlaces requer estudos aprofundados sobre o comportamento da propagação de ondas nesse cenário. A literatura científica dispõe de algumas referências gerais sobre o assunto, embora a ênfase seja maior nas faixas de UHF para cima, adotadas por sistemas de comunicações de maior apelo comercial [7]-[10]. Os trabalhos referentes às faixas de HF e VHF são mais escassos, e remetem, em sua maioria, ao modelo de propagação por onda lateral, descrito por Tamir em [11]-[13].

A metodologia empírica é imprescindível para o adequado entendimento e modelamento da propagação de ondas em florestas. Medidas de campo podem servir de base para gerar modelos empíricos ou semi-empíricos, úteis para aplicação em certos cenários específicos, como em [14]-[15] (dois exemplos dos poucos trabalhos brasileiros sobre o assunto). Dados experimentais servem também para validar modelos teóricos ou numéricos, seja por parte dos próprios autores dos modelos, seja por outrem, para averiguar a reprodutibilidade daqueles resultados. Em [16], por exemplo, foram realizadas medidas de campo em florestas nos arredores de Manaus, que foram comparadas ao modelo de Tamir, com razoável aderência.

A importância e a escassez relativa dos relatos sobre medidas experimentais de perda de percurso em florestas, especialmente nas brasileiras, motivaram o presente trabalho. Neste artigo, descreve-se uma inédita campanha de medidas de sinal de rádio HF e VHF em um trecho representativo de floresta densa de Mata Atlântica – o Bosque da Freguesia, no Rio de Janeiro. Esta descrição inclui uma análise comparativa dos dados coletados com alguns modelos disponíveis na literatura, em especial com o clássico modelo de Tamir.

Este artigo foi estruturado da seguinte forma. A campanha de medidas é descrita na seção II, contemplando dados sobre o local do trabalho, as configurações de testes e o processamento dos dados coletados. A seção III analisa os dados de perda de percurso obtidos, avaliando a sua aderência aos modelos escolhidos para comparação. Por fim, a seção IV conclui o artigo.

## II. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

### A. Local da Campanha de Medidas

A campanha de medidas foi realizada no Bosque da Freguesia, localizado no bairro de Jacarepaguá, na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro. O bosque é um parque público municipal de 0,31 km<sup>2</sup>, de vegetação abundante, composto por exemplares típicos da Mata Atlântica. Observou-se, no local, que a altura média do topo da floresta fica entre 15 e

20 m. As poucas e necessárias intervenções urbanísticas no parque foram a abertura de trilhas, a instalação de algumas edificações para a administração da área e espaços de lazer coletivo (como quadra de futebol e parque de brinquedos). Ainda assim, a característica original de floresta ombrófila densa mantém-se preservada, como pode ser constatado na Fig. 1, uma foto aérea extraída do aplicativo Google™ Earth. Destaca-se que as trilhas do parque são relativamente estreitas e fechadas, não sendo possível visualizá-las mesmo na escala máxima de resolução daquele *software*.

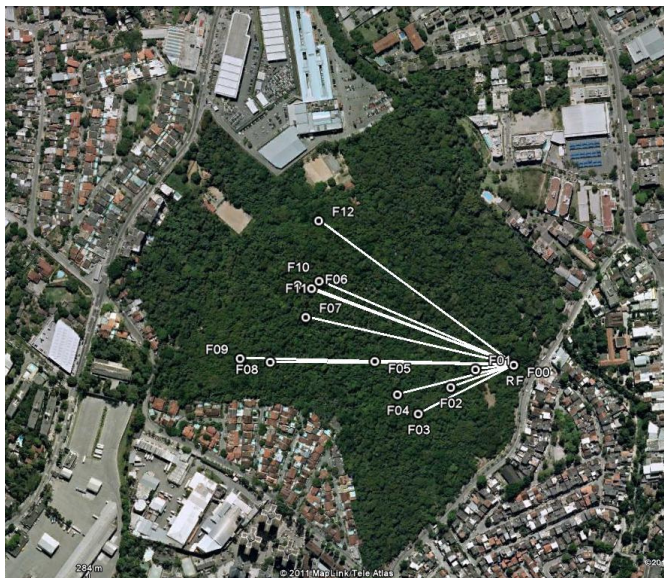


Fig. 1. Vista aérea do Bosque da Freguesia, extraída do Google™ Earth, com indicação dos pontos de teste.

A escolha desta área para realização dos testes se justifica pelos seguintes fatores: primeiramente, por ser uma floresta densa típica da Mata Atlântica; em segundo lugar, pela conveniência logística de sua localização em área urbana, com condições de acesso facilitadas por suas trilhas; por fim, pela relativa regularidade da altimetria do terreno, com variações de altura de até 6 m na maior parte do bosque. A avaliação do efeito específico da vegetação em terrenos regulares é bem mais simples e evidente que em áreas acidentadas, como nas encostas de serras que compõem boa parte do bioma Mata Atlântica.

### B. Equipamentos Utilizados e Configurações de Testes

Uma equipe composta por quatro co-autores deste artigo realizou as medidas. Para tal, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- analisador portátil vetorial de rede e de espectro AEA Echo 1000, com pré-amplificador;
- dois conjuntos-rádio *manpack* M3TR M3060, com combinado de mão e antena de fita VHF HV 3004, da Rohde & Schwarz;
- receptor GPS Garmin 60CSx, de alta sensibilidade;
- antena monopolo de 3 m, de alumínio, especialmente montada para o experimento.

O plano de trabalho adotado consistiu no seguinte. Dois membros da equipe permaneciam parados em um ponto dentro da mata, e os outros dois compunham o grupo móvel.

O par móvel carregava um conjunto-rádio e o receptor GPS, percorrendo as trilhas do bosque. A cada 50 a 100 m, eles paravam, registravam a posição no receptor GPS e entravam em contato com o grupo fixo, para iniciar os procedimentos de medição. O par fixo dispunha do outro conjunto-rádio, do analisador de redes e da antena de 3 m, suportada por um tripé metálico de cerca de 1,5 m de altura, conectada ao analisador por um cabo coaxial de 1,5 m. Ao receber o contato via rádio do grupo móvel, na frequência pré-determinada, solicitava-se que eles iniciassem uma transmissão de rádio, com o equipamento a cerca de 1 m do solo, por cerca de 5 a 10 s, período este suficiente para observar o sinal no analisador de espectro e gravá-lo. O analisador foi configurado em sua resolução máxima, com faixa de varredura de 2,5 MHz e resolução de largura de banda de 10 kHz. No mesmo ponto, de forma coordenada, esta rotina era repetida para mais duas frequências na faixa de interesse. Os rádios operavam na potência nominal máxima (10 W), no modo F3E (FM com canal de 25 kHz). A transmissão do sinal de teste era feita com o combinado de mão próximo à boca do operador, que ficava calado enquanto o botão PTT (*Push-To-Talk*) era pressionado. Fechado este ciclo, o grupo móvel partia para outro ponto. No total, foram realizadas medidas em 12 pontos distintos espalhados pelo bosque, indicados na Fig. 1 (F01 a F12). F00 representa o ponto de medição dos sinais.

Como preparativos para o procedimento previamente descrito, inicialmente fez-se a medida da perda de retorno da antena de 3 m e observou-se a ocupação do espectro de interesse (4 a 104 MHz) no ponto F00. A resposta da antena foi gravada no analisador, a qual é reproduzida na Fig. 2. Não se mediu a resposta da antena do rádio em função do conector não-padrão da antena, incompatível com o conector tipo N do analisador. De qualquer forma, o prospecto dessa antena, disponibilizado pelo fabricante em [17], continha as informações sobre ganho e perda de retorno necessárias para o trabalho. A partir da análise conjunta da disponibilidade de espectro e das respostas das antenas, foram escolhidas as frequências de 25, 60 e 81 MHz. A posição da antena receptora do sinal de teste era marcada no receptor de GPS, antes do grupo móvel iniciar sua caminhada.

### C. Processamento dos Dados Coletados

Os dados referentes às posições de transmissão e recepção dos sinais medidos foram transferidos do receptor GPS para um PC, através do *software* que acompanha o equipamento (Map Source). Nesse aplicativo, foram identificadas as distâncias, em linha reta, entre o ponto de medição e os pontos de transmissão. Esses dados foram exportados para o Google™ Earth, para uma visualização mais adequada como a da Fig. 1. As distâncias variaram entre 63 e 443 m.

A aquisição dos dados gravados no analisador foi feita pelo *software* que acompanhava o equipamento (Echo PC Vision). Inicialmente, o registro da resposta da antena foi lido e gravado como planilha. A Fig. 2 foi gerada a partir da leitura dos dados de perda de retorno nela contidos. A planilha gerada pelo programa dispunha a informação vetorial em 8 formas distintas, inclusive na de coeficiente de

reflexão, cujo módulo é necessário para a análise da perda de percurso, nas 3 frequências de medição.

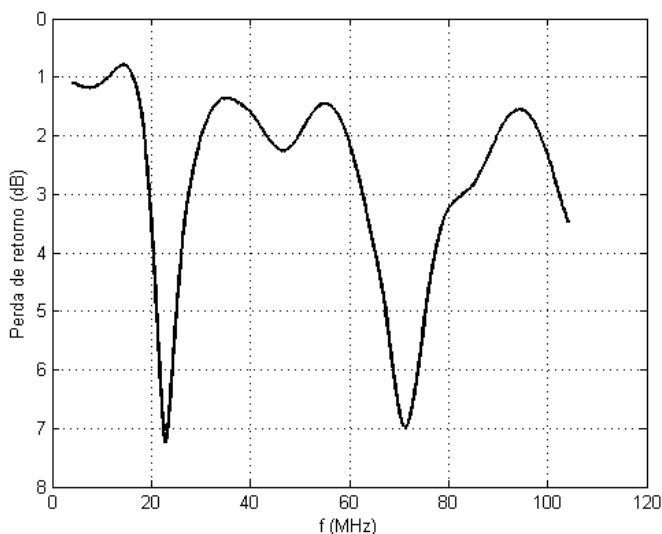


Fig. 2. Perda de retorno da antena utilizada na recepção, medida no local.

Na sequência, foram lidos os registros dos espectros de potência recebida. Para cada registro, uma planilha correspondente era criada. Em cada espectro, o valor de pico na faixa de 25 kHz em torno da frequência da portadora observada era tomado como representativo da medida. Este valor era passado para uma tabela de consolidação das potências recebidas, para cada frequência de trabalho.

A métrica de análise escolhida foi a perda de percurso. Como as tabelas de consolidação continham apenas os valores de potência recebida, era necessário realizar cálculos de balanço de enlace para se chegar aos correspondentes valores de atenuação desejados. A expressão de referência para esses cálculos foi:

$$L = \frac{P_t \cdot G_t \cdot e_{rt} \cdot G_r \cdot e_{rr}}{P_r} \quad (1)$$

onde  $L$  é a perda de percurso,  $P_{t,r}$  são as potências de transmissão e recepção (W), respectivamente,  $G_{t,r}$  são os ganhos das antenas de transmissão e recepção, respectivamente, e  $e_{rt,r}$  são as eficiências de reflexão na transmissão e recepção, respectivamente. As eficiências de reflexão, segundo [18], são dadas por:

$$e_{rt,r} = 1 - |\Gamma_{t,r}|^2 \quad (2)$$

em que  $\Gamma_{t,r}$  são os coeficientes de reflexão medidos nas antenas de transmissão e recepção, respectivamente, com relação a uma carga de 50  $\Omega$ .

A potência de transmissão foi de 10 W para todas as medidas. O ganho da antena de transmissão nas 3 frequências estava disponível no seu prospecto técnico [17], assim como os respectivos valores de SWR (*Standing Wave Ratio*), dos quais a eficiência de reflexão da antena é calculada. A eficiência de reflexão da antena receptora também pôde ser

calculada, a partir dos dados da planilha com sua resposta. Para fechar a equação de balanço, restava apenas estimar o ganho da antena receptora.

A eficiência de perdas da antena receptora era maior que 90%, uma vez que os valores de resistência de radiação registrados na planilha foram em torno de 16  $\Omega$  para as 3 frequências, e a resistência de perdas estimada era < 1  $\Omega$  [18]. Com isso, o ganho pôde ser considerado aproximadamente igual à diretividade.

Para estimar a diretividade da monopolo de 3 m, usou-se o software EZNEC, baseado no método dos momentos [18]. Um modelo aproximado da situação real foi considerado, com caixa metálica de plano de terra e tripé, como ilustrado na Fig. 3. A influência do solo foi computada, assumindo os valores de parâmetros elétricos do solo indicados em [12] para florestas densas: permissividade relativa  $\epsilon_{rs} = 50$  e condutividade  $\sigma_s = 0,1$  S/m. Os diagramas de radiação foram calculados para as 3 frequências de interesse, como exemplificado na Fig. 4 para 25 MHz.

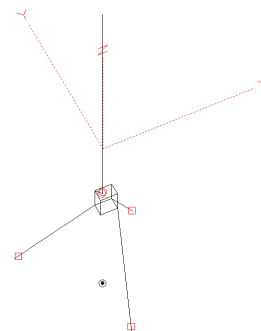


Fig. 3. Configuração aproximada da antena de recepção no EZNEC.

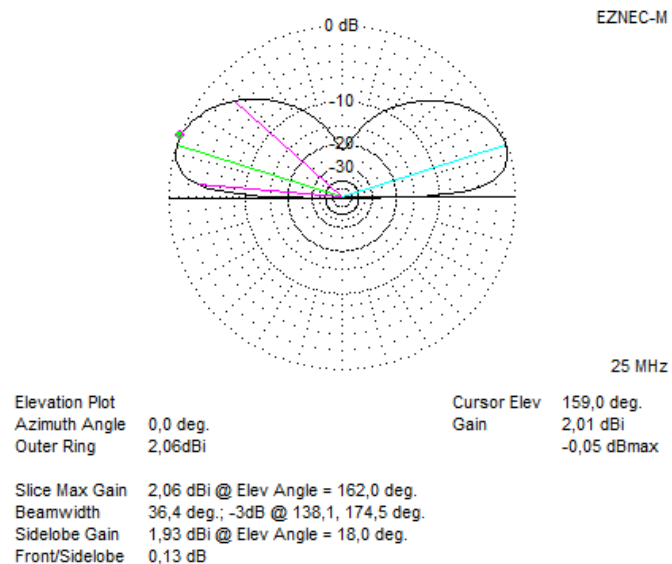


Fig. 4. Diagrama de radiação de elevação da antena simulada no EZNEC, em 25 MHz.

No cenário analisado, tomou-se por referência o modelo de Tamir em [11]-[13], que assume a onda lateral como mecanismo de propagação dominante. Essa onda lateral é uma onda de superfície que se propaga ao longo da interface

floresta-ar, decorrente da refração sob incidência em ângulo crítico  $\theta_c$ , dado por:

$$\theta_c \cong \sin^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{rf}}} \right) \quad (3)$$

onde  $\epsilon_{rf}$  é a permissividade relativa da floresta. Em função disso, o valor de diretividade estimado foi escolhido na direção ao redor do ângulo crítico para florestas densas. Tomando os mesmos valores de parâmetros elétricos de floresta densa indicados em [12], quais sejam,  $\epsilon_{rf} = 1,3$  e condutividade da floresta  $\sigma_f = 0,3$  mS/m, tem-se  $\theta_c \cong 60^\circ$  (com relação à normal ao terreno). Para as 3 frequências de trabalho, a estimativa da diretividade ficou em torno de 2 dB seguindo esta metodologia.

### III. ANÁLISE DA PERDA DE PERCURSO

#### A. Metodologia e Modelos Considerados

A metodologia de análise escolhida foi a comparação da perda de percurso (ou atenuação) medida com a estimada a partir de modelos de predição pertinentes. O modelo principal de comparação foi o de Tamir [11], um dos poucos disponíveis especificamente para o cenário em questão. A atenuação  $L_{TAMIR}$  (dB) prevista por esse modelo é dada por:

$$L_{TAMIR} = 20 \log_{10} \left[ |n^2 - 1| \operatorname{Re}\{n\} e^{-k_0 \cdot s \cdot \operatorname{Im}\{\sqrt{n^2 - 1}\}} \left( \frac{8\pi d}{\lambda_0} \right)^2 \right] \quad (4)$$

com

$$s = 2h_f - h_T - h_R \quad (5)$$

$$n = \sqrt{\hat{\epsilon}_{rf}} \quad (6)$$

$$\hat{\epsilon}_{rf} = \epsilon_{rf} - j \frac{\sigma_f}{\omega \epsilon_0} \quad (7)$$

Em (4) a (7),  $n$  é o índice de refração da floresta,  $\epsilon_0$  a permissividade do vácuo (8,85 pF/m) e  $k_0$ ,  $\lambda_0$  (m) e  $\omega$  (rad/s) são a constante de fase, o comprimento de onda e a frequência angular do sinal no espaço livre, respectivamente. Há ainda  $d$  (m) como a distância percorrida pelo sinal,  $h_f$  (m) como altura da floresta, e  $h_{T,R}$  (m) como alturas das antenas de transmissão e recepção respectivamente.

Para o cálculo da atenuação em (4), os parâmetros elétricos da floresta considerados foram os correspondentes a florestas densas indicados no parágrafo final da subseção II.C. Para altura da floresta, tomou-se um valor intermediário de 17 m, tendo em vista a variação de alturas observada no local, indicada na subseção II.A.

Uma questão relevante quanto à pertinência do modelo de Tamir para a presente análise é o correto entendimento da distância mínima a partir da qual o modelo é válido. A faixa de distâncias indicada em [11]-[13] é de 1 a 100 km. Entretanto, verifica-se em [11] que, formalmente, a distância mínima varia com a frequência e com os parâmetros elétricos

da floresta, e que o valor *nominal* de 1 km foi escolhido como representativo geral. A solução em (4) é uma aproximação assintótica, que é tanto mais exata quanto maiores forem os parâmetros de referência (distância e frequência), dentro dos limites de validade da hipótese do modelo de camada homogênea (frequências menores que 200 MHz e distâncias menores que 100 km).

Para que a onda lateral seja o mecanismo de propagação predominante, a distância observada deve ser muito maior que dois parâmetros numéricos, definidos em [11]: a distância mínima de pólo ( $d_p$ ); e a distância mínima de ponto de ramificação ( $d_b$ ). A Fig. 5 apresenta curvas de variação dessas distâncias mínimas com a frequência, para florestas densas, comparando-as com o limite nominal de 1 km. Assumindo a razão típica de 10 vezes o valor de referência como critério mínimo do que seja “muito maior”, verifica-se que as distâncias mínimas nas frequências deste trabalho são, aproximadamente: 130 m (25 MHz); 60 m (60 MHz); e 50 m (81 MHz). Com isso, a comparação das medidas com o modelo de Tamir é pertinente, apesar das distâncias cobertas no experimento serem menores que 1 km.

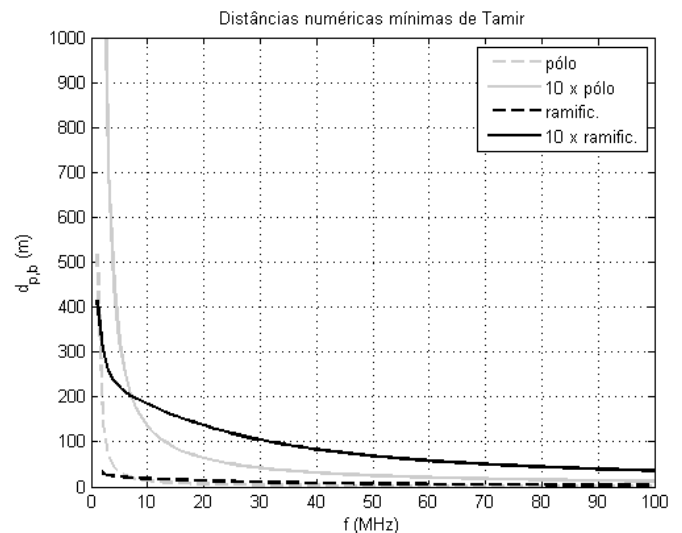


Fig. 5. Distâncias numéricas a partir das quais o modelo de Tamir é válido, para floresta densa (como definida em [12]).

Para ampliar o escopo de comparação, dois outros modelos empíricos de perda por vegetação foram adotados, ainda que com restrições. O primeiro foi o modelo do CCIR [19], cuja faixa de validade é de 0,2 a 95 GHz, ou seja, acima da faixa deste trabalho. Ainda assim, ele foi considerado por falta de opções mais pertinentes. A perda de percurso em excesso à observada no enlace desobstruído  $L_{CCIR}$  (dB) prevista pelo modelo é dada por:

$$L_{CCIR} = 0,2 \cdot f^{0,3} \cdot d^{0,6} \quad (8)$$

onde  $f$  (MHz) é a frequência. A perda total é dada pela soma de (8) com a atenuação observada na mesma distância se o enlace estivesse desobstruído. Uma boa estimativa para essa atenuação complementar é obtida do modelo de dois raios para terra plana [7]. Na zona de difração do enlace, esta perda

$L_{M2R}$  (dB) é dada por:

$$L_{M2R} = 20 \log_{10} \left( \frac{d^2}{h_T \cdot h_R} \right) \quad (9)$$

que é uma boa aproximação para  $d > 20 h_T h_R / \lambda_0$  [7]. Nas frequências, distâncias e alturas das antenas deste trabalho, essa condição se aplica com folga.

O outro modelo considerado foi proposto por Meng *et al.* [20], que mediram a atenuação de sinais VHF e UHF em uma plantação de palmeiras tropicais em Singapura. No experimento, as antenas transmissora e receptora ficavam fora da floresta, próximas às suas bordas. Especificamente na faixa de VHF, os autores em [20] propuseram o seguinte modelo empírico para atenuação total  $L_{LITU-R}$  (dB) em enlaces até 1,2 km:

$$L_{LITU-R} = 0,48 \cdot f^{0,43} \cdot d^{0,13} + L_{M2R} \quad (10)$$

As medidas de Meng não apresentam as características ideais de similaridade com as realizadas pelos presentes autores. Mesmo assim, um modelo derivado de seu trabalho foi escolhido para compor esta análise, por falta de opções melhores, como no caso do modelo do CCIR.

### B. Análise dos Dados

Os dados de perda de percurso obtidos através do procedimento descrito na subseção II.C estão reproduzidos nas Figs. 6 a 8, para as frequências de 25, 60 e 81 MHz, respectivamente. Essas figuras apresentam também as respectivas curvas de perda de percurso em função da distância geradas a partir das expressões dos três modelos escolhidos para esta análise.

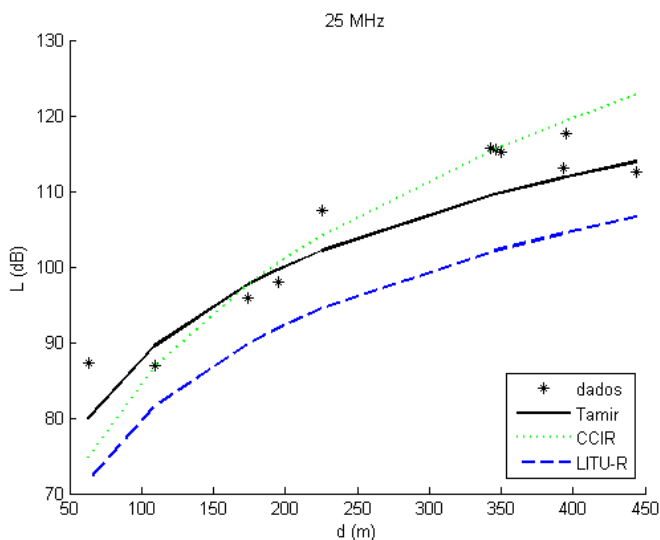


Fig. 6. Perda de percurso nos pontos testados – 25 MHz.

De modo geral, os resultados obtidos corroboram a expectativa de desempenho esperada. O modelo de Tamir, na configuração adotada, apresentou boa aderência ao conjunto de medidas, mesmo tendo em vista as distâncias

relativamente curtas do experimento. A convergência foi melhor nas frequências mais altas (60 e 81 MHz), em que as folgas das distâncias observadas com relação às respectivas distâncias mínimas de validade do modelo de Tamir (Fig. 5) eram maiores.

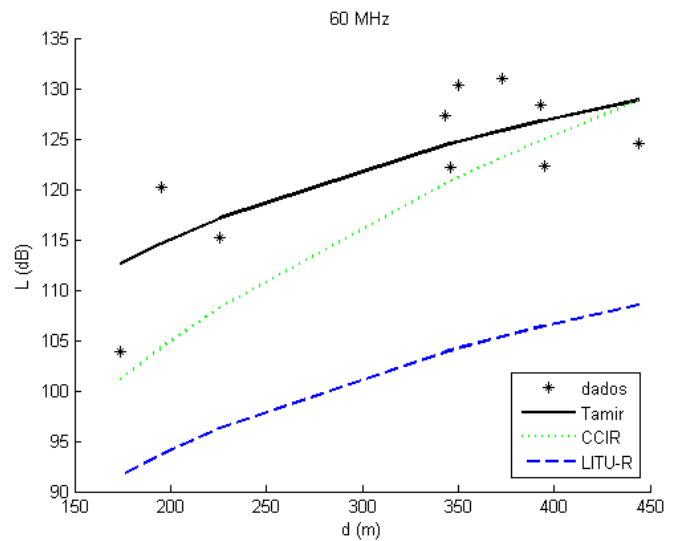


Fig. 7. Perda de percurso nos pontos testados – 60 MHz.

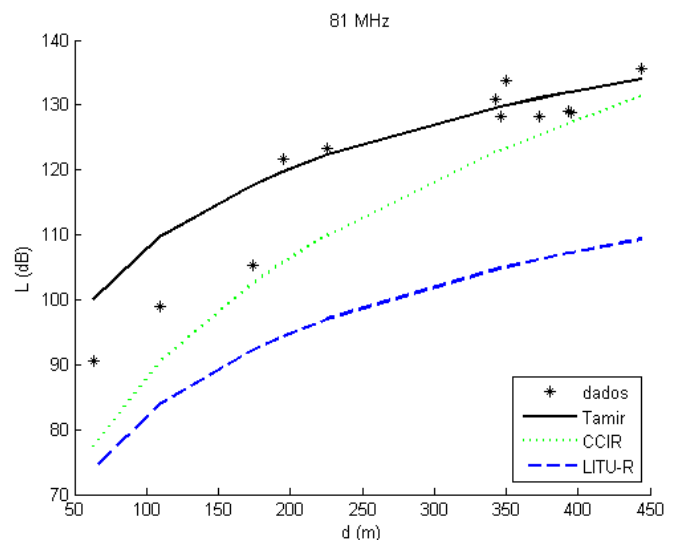


Fig. 8. Perda de percurso nos pontos testados – 81 MHz.

A expectativa geral de convergência dos modelos extrapolados complementares considerados nesta análise era baixa, o que também se confirmou. A aparente boa aderência do modelo do CCIR às medidas em 25 MHz parece ter sido casual, uma vez que os resultados não foram tão bons nas outras frequências. Além disso, a tendência da curva de variação com a distância do modelo do CCIR não coincide com a de Tamir, indicando dependência exponencial maior (atenuações maiores em distâncias maiores).

O modelo de Meng também não se aproximou das medidas, como esperado, principalmente nas frequências mais altas. Entretanto, é interessante registrar que a tendência da curva de variação com a distância de (10) ficou muito parecida com a do modelo de Tamir testado. Pelas diferenças

marcantes de (4) com (8) e (10), conclui-se que a expressão geral de dependência exponencial da perda por vegetação com a frequência e com a distância, comumente adotada em modelos empíricos nas faixas de UHF para cima, não é uma boa escolha para ajustes a medidas em HF ou na banda inferior de VHF.

#### IV. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu uma campanha de medidas de sinal de rádio tático terrestre HF/VHF em uma floresta típica da Mata Atlântica, o Bosque da Freguesia, no Rio de Janeiro. Até onde foi a revisão bibliográfica de base para os autores, a presente campanha é inédita neste tipo de bioma terrestre brasileiro, nas faixas de frequência em questão.

As medidas de potência recebida foram processadas para se calcular as perdas de percurso respectivas. Esta foi a métrica escolhida para a análise do trabalho, que consistiu numa comparação dos valores obtidos em campo com estimativas calculadas a partir de modelos disponíveis na literatura. Foram escolhidos o modelo de Tamir, um modelo do antigo CCIR (atual UIT-R) e um modelo empírico proposto por pesquisadores de Singapura. O primeiro modelo era o mais pertinente. Os demais foram considerados de forma extrapolada para o cenário em questão por falta de opções analíticas fechadas mais apropriadas.

Embora as distâncias dos enlaces medidos tenham sido relativamente curtas, menores que o limite nominal de 1 km do modelo de Tamir, ainda assim estavam acima dos limiares efetivos desse modelo, que na verdade variam com a frequência. De fato, a análise comparativa confirmou as expectativas de boa aderência do modelo de Tamir. Os demais modelos testados apresentaram baixa convergência, também como esperado.

Por fim, o presente relato é mais uma constatação detalhada da dificuldade de radiocomunicação em florestas, cenário de grande interesse para aplicações operacionais das Forças Armadas, especialmente da Terrestre. Em que pese a disponibilidade de referências de autores estrangeiros sobre o assunto em geral, é importante a geração de conhecimento específico relacionado aos cenários das florestas brasileiras. Este artigo buscou contribuir para esse contexto.

#### AGRADECIMENTOS

À direção do Bosque da Freguesia, subordinada à Fundação Parques e Jardins do município do Rio de Janeiro, por permitir a realização das medidas. À Divisão de Tecnologia da Informação do Centro Tecnológico do Exército, pelo empréstimo dos conjuntos-rádio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Serviço Florestal Brasileiro - Ministério do Meio Ambiente, Florestas do Brasil em resumo, 2010. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 20/06/2011.
- [2] IBGE, Manual Técnico da vegetação brasileira, 1992. Disponível em <<http://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20/06/2011.
- [3] W. R. Vincent, G. H. Hagn, "Comments on the Performance of VHF Vehicular Radio Sets in Tropical Forests", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 18, no. 2, p. 61-65, Agosto 1969.
- [4] G. H. Hagn, W. R. Vincent, "Comments on the Performance of Selected Low-Power HF Radio Sets in the Tropics", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 23, no. 2, p. 55-58, Maio 1974.
- [5] J. C. R. Dal Bello, M. S. Assis, "Comunicações Táticas na Região Amazônica", Revista Militar de Ciência e Tecnologia, vol. IX, no. 3, p. 12-20, 3º trimestre 1992.
- [6] J. C. R. Dal Bello, M. S. Assis, "Comunicações Táticas na Região Amazônica – Projeto M.11.14: Propagação de Ondas Eletromagnéticas na Região Amazônica", Revista Militar de Ciência e Tecnologia, vol. IX, no. 4, p. 7-19, 4º trimestre 1992.
- [7] H. L. Bertoni, Radio Propagation for Modern Wireless Systems. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- [8] E. B. Atutov, Y. L. Lomukhin, "Average Field in a Forest Medium", Journal of Communications Technology and Electronics, vol. 52, no. 11, p. 1259-1264, 2007.
- [9] Y. S. Meng, Y. H. Lee, B. C. Ng, "Study of Propagation Loss Prediction in Forest Environment", Progress In Electromagnetics Research B, vol. 17, p. 117-133, 2009.
- [10] V. A. Dmitriev, M. G. Lima, B. W. Martins, "Predição de Perda de Propagação de Ondas de Rádio em Ambientes Florestais: uma Revisão de Métodos Analíticos e Numéricos de Modelagem", Anais do XII SIGE, São José dos Campos, vol. 1, p. 184-188, Setembro-Outubro 2010.
- [11] T. Tamir, "On Radio Wave Propagation in Forest Environments", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 15, no. 6, p. 806-817, Novembro 1967.
- [12] D. Dence, T. Tamir, "Radio loss of lateral waves in forest environments", Radio Science, vol. 4, no. 4, p. 307-318, Abril 1969.
- [13] T. Tamir, "Radio Wave Propagation Along Mixed Paths in Forest Environments", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 25, no. 4, p. 471-477, Julho 1977.
- [14] G. P. S. Cavalcante, M. A. R. Sanches, R. A. N. Oliveira, "Mobile Radio Propagation Along Mixed Paths In Forest Environment", Journal of Microwaves and Optoelectronics, vol. 1, no. 4, p. 42-52, Setembro 1999.
- [15] M. H. C. Dias, M. S. Assis, "An Empirical Model for Propagation Loss Through Tropical Woodland in Urban Areas at UHF", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 1, p. 333-335, Janeiro 2011.
- [16] J. C. R. Dal Bello, Propagação de Ondas Eletromagnéticas na Floresta Amazônica, dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ, 1984.
- [17] Rohde & Schwarz, VHF Manpack Antenna R&S HV 3004 - data sheet, 2005. Disponível em <[www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)>. Acesso em 20/06/2011.
- [18] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 3<sup>rd</sup> Ed. New York: John Wiley & Sons, 2005.
- [19] CCIR, Influences of terrain irregularities and vegetation on troposphere propagation, CCIR Report 236-6, 1986.
- [20] Y. S. Meng, Y. H. Lee, B. C. Ng, "Empirical near ground path loss modeling in a forest at VHF and UHF bands", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 5, p. 1461-1468, Maio 2009.