

Modelo de propagação de sinais de rádio na selva equatorial: uma proposta para otimizar os sistemas de telecomunicações em regiões hostis II

Manolo Paredes-Calderón¹, Federico Rodas¹, Elena Giménez de Ory², Luis Manuel Diaz Angulo³

dmparedes@espe.edu.ec, fmrodas@espe.edu.ec

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. El Progreso, 170105, Sangolquí, Ecuador, Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación de Aplicaciones Militares CICTE.

² Universidad Internacional de la Rioja (UNIR), Av. de la Paz, 137, 26006 Logroño, La Rioja, España

³ Universidad de Granada (UGR), Av. del Hospicio, s/n C.P. 18010 Granada, España

Pages: 385–392

Resumo: O artigo expõe o resultado da pesquisa feita na amazonia equatoriana, mesma tem o objetivo de achar um modelo de propagação de sinais de rádio nesse ambiente hostil. O trabalho toma maior interesse porque aquela área selvática não tem sido caracterizada ainda e apresenta não conformidades nos serviços de telecomunicações. A caracterização procura um modelo matemático que através de um ajuste regressivo possa estimar com maior precisão a potência do sinal recebido. As medições na selva foram feitas a partir de sinais geradas por equipes de rádio com padrões militares, os quais garantem a qualidade do sinal. Simultaneamente, utilizando analisadores do espectro eletromagnético várias equipes de pessoas adentradas na selva medem a potência do sinal recebido. As provas foram feitas numa região como vegetação densa e no horário de verão, utilizou-se uma estação meteorológica para conferir dados. Os resultados obtidos mostram que nenhum modelo atual atinge com precisão a forma de computar as perdas de potência nesse ambiente.

Palavras-chave: Ajuste regressivo, Modelo de propagação; Radiomobile; Sinais de rádio frequência.

Radio signal propagation model in the equatorial jungle environment: a proposal to optimize telecommunication systems in hostile regions II

Abstract: The article exposes the results of the research carried out in the Ecuadorian Amazon, which has the objective of finding a model of propagation of radio signals in this hostile environment. The work takes more interest because that jungle area has not been characterized yet and presents nonconformities in the telecommunications services. The characterization looks for a mathematical model that through a regressive adjustment can estimate more accurately the power of the received signal. The measurements in the jungle were made from signals generated

by radio equipment with military standards, which guarantee the quality of the signal. Simultaneously, using electromagnetic spectrum analyzers, several teams of people in the jungle measure the power of the received signal. The probes were made in a region like dense vegetation and during the summer time, a meteorological station was used to check data. The results show that no current model accurately achieves the computation of power losses in this environment.

Keywords: Regression, propagation model; Radiomobile; Radio Frequency Signals.

1. Introdução

O mistério da cobertura efetiva dos sistemas de telecomunicações utilizados nas instituições civis e militares de um Estado, e a qualidade dos serviços de comunicações tem uma longa data, nasceu com a humanidade, e sua solicitação é exigente devido ao crescimento exponencial da população; portanto, os retos tecnológicos e a necessidade de levar estes sinais eletromagnéticos até os últimos cantos da terra é uma necessidade imperante tornando-se um reto para instituições públicas e privadas.

O discutido descobrimento das comunicações de rádio sem fio relatado parcialmente por (Falquiasecca, 2010), (Jeszenzky, 2011) e (Balbi, 2011) é a gênese de um desejo veemente por dispor de uma capacidade abrangente de comunicações, indiferente da posição, lugar, hora e distância entre o emissor e o receptor de uma mensagem, mensagem que hoje já não é simplesmente um texto, é pode também ser uma imagem ou um vídeo, gerando além a necessidade de transmitir grandes volumes de dados.

O passo do tempo e a permanente atenção dos pesquisadores tem permitido idealizar que uma comunicação tem muitas variáveis de análise, muitas vezes não consideradas. A partir da definição de um sistema de comunicações proposta por (Haykin, 2001) é importante reparar que qualquer comunicação precisa de um **canal**, canal que mesmo sendo conhecido, nem sempre recebe a atenção requerida, posto que ele é o médio pelo qual os sinais propagam-se desde o emissor até o receptor, e é precisamente ele, a causa principal de que uma comunicação possa ser robusta, audível e compreensível ou todo o contrário.

As instituições e as pessoas que precisam se comunicar ocupando posições geograficamente distantes, podem confundir a prioridades na hora de escolher o equipamento, as vezes, a marca ou prestígio da equipe são considerados essenciais, deixando por fora a caracterização do canal de comunicações, sendo que este é a quem garante a comunicação (Salous, 2013) e (Xuefeng, 2016).

Vários estudos têm sido validados pela *Internacional Telecommunication Union-ITU*, chamados como modelos de propagação; sendo que existem modelos para diferentes faixas de frequências e médios, seja urbano, rural ou uma mistura entre eles.

Então, sabendo com certeza o comportamento do médio de propagação do sinal e a frequência, pode-se apenas agora continuar na escolha da potência, antena e equipe de transmissão da informação, esta ordem de planejar um sistema de telecomunicações as vezes é esquecida.

No entanto, nossa pesquisa visa determinar as causas que provocam uma comunicação deficiente na selva equatorial numa faixa específica de frequência. Para isso, começamos por caracterizar o canal de comunicação (neste caso a selva), baseados em simulações feitas em *radiomobile* e em medições de campo utilizando equipes de comunicação robustos, típicos para forças militares.

O artigo apresenta na Seção 2 uma leve explicação dos modelos de propagação existentes, depois na Seção 3 se apresenta uma primeira aproximação a um modelo de propagação útil para caracterizar o médio selvático, inclui também o protocolo utilizada para as medições do campo. Finalmente, a Seção 4 expõe as conclusões do trabalho.

2. Modelo de Propagação do Sinais de Rádio

O modelo de propagação permite computar as perdas ou a enfraquecimento da potência do sinal num médio determinado. A determinação dos modelos de propagação foi um fato importante para a humanidade, dado que graças a eles pode-se otimizar os recursos empregados na hora de instalar um sistema de telecomunicações, diminuindo a incerteza e acrescentando as possibilidades de uma transmissão efetiva de informação entre locais geograficamente separados.

A tabela 1 resume algumas características e considerações que têm-se que considerar na hora de escolher um modelo de propagação no planejamento de redes de telecomunicações, além, é importante ressaltar que os modelos expostos, não são os únicos existentes, mas, são os mais utilizados.

Modelo	Frequência [MHz]	Distância [Km]	Equação de Calculo
Longley Rice	20 – 40000	1 a 2.000	$L_{fs} = 32.45 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + A_{cr}$
Okumura	150 – 1500	1 a 100	$L_{fs} = 69.82 - 6.16 \log_s(f) + 13.82 \log(h_t) + a(h_r) - [44.9 - 6.55 \log(h_t)] [\log(d)]^b$
Hata Model	150 - 1500	1 a 20	
COST231	1.500 - 2.000	1 a 20	$L_{fs} = 46.3 + 33.9 \log(f) + 13.82 \log(h_t) - a(h_r) + [44.9 - 6.55 \log(h_t)] \log(d) + C_M$

Tabela 1 – Resumo de vários modelos de propagação de sinais de rádio (Salous, 2013), (ITU-R P.1546, 2013), (Longley, A. & Rice, P., 1978), (Pinto et.al., 2016).

Para computar os valores das perdas de potência que sofre o sinal no espaço têm-se algumas aproximações (1), (2), (ITU-R P.525-3, 2016); as quais, mesmo sem ser uma garantia de que a comunicação vai ter sucesso, oferecem uma ideia da potência do sinal recebido.

$$L_{fs} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Além, pode expressar a equação anterior da forma escrita em (2):

$$L_{fs} = 20 \log(4\pi d/\lambda) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Para a tabela 1 e para as equações (1) e (2) considere o seguinte:

A_{CR} atenuação relativa no espaço livre,

C_M é a *cero*(dB) em cidades medianas e suburbanas, e 3 dB para metrópoles

f é a frequência em MHz,

d é a distância em km,

h_1 é altura da antena da estação base, considere a faixa de 30 a 200m,

h_2 é altura da antena do aparelho móvel, considere na faixa de 1 até 10 m,

$a(h_2) = (1.1 \log(f) - 0.7) h_2 - (1.56 \log(f) - 0.8)$,

$b = 1$ para $d \leq 20$ km,

$b = 1 + (0.14 + 0.000187f + 0.00107 h_1) (\log [0.05 d])^{0.8}$ para $d > 20$ km,

$h'_1 = h_1 / \sqrt{1 + 0.000007 h_1^2}$,

λ é o comprimento de onda,

d e λ têm que se expressar em unidades semelhantes.

3. Determinação do modelo de propagação de sinais radioelétricas para ambiente selvático

3.1. Protocolo de medições

Vários são os caminhos que podem se estabelecer para aproximar um modelo matemático, porém, nossa proposta inclui uma amostragem não probabilística, onde as populações de análise são assumidas pela experiência dos pesquisadores. Depois, daquela escolha é necessário estabelecer um protocolo de planejamento a simulação dos enlaces ou comunicações a estabelecer na selva, e também é preciso planejar a metodologia para capturar as medições; nossa proposta é a seguinte:

- Estabelecer um lugar geográfico. - Neste caso foi escolhida a fronteira norte do Equador, ambiente típico de operações militares na selva;
- Escolher um ponto de transmissão dos sinais de rádio. - para este caso o ponto está locado em uma zona aberta, mas, dentro da selva;
- Escolher uma faixa de frequências de transmissão. – o teste foi feito em 20, 25, 40 MHz;
- Escolher vários pontos de recepção do sinal. - neste caso escolheram mais de 100 pontos de recepção e em cada ponto se fizeram três medições em cada frequência, que dizer na mesma frequência se transmite em baixa, meia e alta potência;
- Simular as comunicações usando *radiomobile*, com todas as considerações detalhadas anteriormente;
- Implementar a rede de comunicação com rádios de performance confiável, neste caso foram utilizadas rádios que pertencem as Forças Armadas do Equador;
- Usando um rádio e um analisador do espectro, medir a potência do sinal

recebido e as condições de escuta do sinal, isto deve ser feito em cada ponto planejado para a recepção;

- Análise dos dados coletados.

Além do protocolo, algumas considerações são fundamentais para levar na frente a pesquisa na busca de um modelo de propagação ajustado à realidade do ambiente tipo selva. Por exemplo, a situação climática, dado que as condições podem mudar o comportamento dos sinais de rádio, sim embargo, devido a que nesta primeira aproximação do modelo de propagação são utilizadas frequências de 20-40 MHz, que dizer na faixa HF, portanto, consideramos desprezíveis as condições climáticas. Deve-se considerar também as condições de propagação do sinal para cada faixa de frequência, neste caso, a faixa HF pode transmitir de forma direta o troposférica e também por reflexão na ionosfera.

Do mesmo jeito, a simulação deve ser feita em base as condições reais da comunicação planejada, quer dizer, com um modelo de propagação ajustado a realidade, com tipos de antenas existentes e baseado na performance dos rádios utilizados como transmissor e receptor.

3.2. Determinação do Modelo

Uma das alternativas para determinar o modelo é um ajuste de mínimos quadrados, para isso, simbolizamos $L=y(x)$, como um vetor de dados contínuo. Na análise y_i teria que ser semelhante a y^\wedge , tal que $y^\wedge=a+bx$ (3). Onde, y_i é a potência simulada ou esperada e y^\wedge é a potência medida no campo.

Note que os pontos y_i estão associados aos elementos de x_i , por tanto, os dados têm forma de função linear e o ajuste procura diminuir a distância entre y_i e y^\wedge assim $(y^\wedge - y_i)^2$.

Supondo n observações e k variáveis, y_i pode incluir valores para $\beta_j x_j$, onde $j=1,2,\dots,k$ e β uma constante. Pode-se de forma geral expressar (4) e (5) como segue:

$$y_i = \beta_0 + \sum (\beta_j x_{ij} + \varphi_i) \quad (4)$$

$$\sum \varphi_i^2 = \sum (y_i - \beta_0 - \sum \beta_j x_{ij})^2 \quad (5)$$

A regressão múltipla é útil para ajuste de curvas e retas, podendo também ter valores fictícios e variáveis qualitativas. Por enquanto, nossa pesquisa procura minimizar a forma:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)^2 \right\}$$

O erro padrão da estimação pode-se calcular a partir de (6):

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum (y - y^\wedge)^2}{n - k - 1}} \quad (6)$$

O coeficiente de determinação múltipla é a porção da variável total e sua formula expressada em (7) é semelhante para regressão do tipo lineal simples:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (7)$$

Logo, considere-se válido computar a potência recebida P_{RX} como em (8), onde A é a ganancia.

$$P_{RX} = AP_{TX} \quad (8)$$

Computando ambos lados da equação (8) como o logaritmo decimal e sendo que L representa as perdas do modelo, escrevemos (9) assim:

$$L = \log(P_{RX}) - \log(P_{TX}) \quad (9)$$

Nós consideramos modelar as perdas por uma família de funções expressada como sendo $L(f,d,h) = A \log(f) + B \log(d) + C * h + D$, modelo que permite escrever também o seguinte: $L(f,d,h) = A * F + B * Di + C * h + D$. Note claramente que é uma função puramente lineal, pelo que o modelo de ajuste pode ser obtido aplicando uma regressão lineal múltipla.

No final do ajuste, nós achamos que para os primeiros dados obtidos nas medições feitas na amazonia equatoriana a função de ajuste que expressa uma aproximação para o modelo de propagação como em (10), onde a distância deve-se escrever em quilômetros, a frequência em *MHz* e a potência em *dB*.

$$\log(P_{RX}) = 8.762 - 4.218 \log(d) - 2.955 \log(f) + \log(P_{TX}) \quad (10)$$

4. Conclusões

O trabalho procura uma primeira aproximação do modelo matemático para computar as perdas da potência do sinal transmitido num médio selvático, repare que o modelo tem um foco para transmissão troposférica, dado que a comunicação na faixa HF propaga-se de forma troposférica e ionosférica.

Os resultados obtidos constituem uma base forte para determinar o verdadeiro modelo de propagação dos sinais de rádio no médio selvático, além, são uma importante contribuição científica para as futuras gerações e pesquisas.

O erro de estimação determinado usando o modelo achado em nossa pesquisa foi de 0,34% e melhora substancialmente o erro de 12,93% achado na investigação feita por (Cevallos, S. et. al.,2017) utilizando o modelo de *LongleyRice*.

Dispor de um modelo de propagação ajustado à realidade das condições de transmissão e ao médio onde se propagam os sinais é um fato fundamental para planejar e executar operações militares com maior segurança e um adequado comando e controle. Além, permite otimizar os recursos utilizados para implantar uma rede de comunicações em médios não caracterizados.

Note que as medições da potência recebida foram feitas no verão, por tanto, no futuro próximo deve-se coletar medições no inverno e aplicar o mesmo protocolo feito nesta pesquisa, logo, pode-se achar um modelo mais geral, que possa ser utilizado em qualquer estação do ano. Uma vez que o modelo matemático seja conferido com mais testes, tem que ser submetido a revisão por parte da União Internacional de telecomunicações.

Agradecimentos

Os autores desejam dar as graças à empresa ESPE INNOVATIVA E.P. por contribuir economicamente com a presente investigação.

Referências

- Falciasecca, G. (2010). **“Marconi’s Early Experiments in Wireless Telegraphy, 1895,”** in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 52, no. 6, pp. 220-221, Dec. 2010. DOI: 10.1109/MAP.2010.5723274.
- Cevallos, S. & Paredes, M. & Rodas, F. & Reyes, R. (2017). **Statistical Study to determine the samples size to define a propagation model adjusted to the Equatorial Jungle environment: A proposal to optimize the telecommunications resource.** Developments and Advances in Defense and Security: Proceedings da 2018 Multidisciplinary International Conference of Research Applied to Defense and Security (MICRADS’18), abril 2018.
- Balbi, G. (2012). **“Marconi’s diktats. How Italian international wireless policy was shaped by a private company, 1903–1911,”** *Third IEEE History of Electro-technology Conference (HISTELCON)*, Pavia, 2012, pp. 1-6. DOI: 10.1109/HISTELCON.2012.6487559.
- Haykin, S. (2001). **Communication Systems**, WILEY, 4ª Ed., New York, 2001, pp 1-8, ISBN 0-471-178-69-1.
- Jeszszenszky, S. (2011). **“From Electric Oscillations to Marconi’s Wireless Telegraph,”** in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 53, no. 2, pp. 221-228, April 2011. DOI: 10.1109/MAP.2011.5949373.
- ITU-R P.525 (2016). União Internacional de Telecomunicações, Recomendação, UIT P.525-3, **Cálculo da atenuação no espaço livre**, Série P: Propagação de Ondas Radioelétricas, Nov. 2016.
- ITU-R P.1546 (2013). União Internacional de Telecomunicações, Recomendação, UIT P.1546-5, **Método para computar predições ponto-área de serviços de telecomunicações terrestres na faixa de frequências de 30 a 300 MHz**, Série P: Propagação de Ondas Radioelétricas, Nov. 2016.
- Longley, A. G., Rice, P.L. 1968. **Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss over Irregular Terrain. A Computer Method. s.l.: Environmental Science Services Administration**, ESSA Technical Report ERL79-ITS67, Tropospheric Communication Laboratory, Institute for Telecommunication Science, Boulder-Colorado, 1968.

- Pinto, A. Torres, J. García A., Pérez, N., Uzcátegui, J. (2016) ***Modelo para Estimação de perdas de propagação em Sistemas de Televisão Digital Aberta***, RIELAC, Vol. XXXVII 2/2016 pp. 67-81, Mai. 2016, ISSN: 1815-5928 67.
- Salous, S. (2013). ***Radio Propagation, Measurement and channel Modelling***, WILEY, 3ª Ed., pp 1-8, West Sussex, ISBN 978-0-470-75184-8.
- Xuefeng, Y. and Xiang Ch. (2016). ***Propagation Channel Characterization, Parameter Estimation and Modelling For Wireless Communications***, IEEE PRESS, WILEY, Fusionopolis, pp 1-7, ISBN 978-1-118-18823-1.

© 2019. This work is published under <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>(the “License”). Notwithstanding the ProQuest Terms and Conditions, you may use this content in accordance with the terms of the License.