

PREDIÇÃO GEO-FUZZY DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA APLICADA AO MAPEAMENTO DA POTÊNCIA DE RF EM UMA REGIÃO

PAULO TIBÚRCIO PEREIRA¹
MARIA DAS GRAÇAS DE ALMEIDA¹

¹ CEFET-MG/DPPG, Av. Amazonas 7675, 30510-000 Belo Horizonte MG, Brazil
Paulotiburcio@aol.com, graca@dppg.cefetmg.br

Abstract: In this work, a geo-fuzzy radiofrequency's prediction technique is presented. Using fuzzy logic and georeferenced maps, this technique is used to predict radiofrequency signal in a choiced region. The performance of this technique is showed, for the region of Viçosa, in Minas Gerais state, in order to test and map the power levels of RF signals at 879,660 Mhz, the frequency used by the A band Operators in Minas Gerais State, Brazil.

Keywords: Radiofrequency, geoprocessing, prediction, fuzzy logic, power level mapping.

1. Introdução

A propagação das ondas eletromagnéticas entre as antenas transmissora e receptora tem suas características definidas pelas propriedades do meio de transmissão entre essas antenas. O sinal deve ser propagado sem distorção excessiva e a potência do sinal recebido em relação ao ruído recebido deve ser suficiente para ser percebida.

Para analisar o sinal de radiofrequência (RF) são consideradas as ondas eletromagnéticas, as condições topográficas, meteorológicas, ionosféricas e espaciais. Se estas ondas de RF propagassem no espaço livre, sem ocorrência dos fenômenos da reflexão, difração, refração, atenuação por absorção e espalhamento, teríamos as condições ideais para a medição do sinal de RF.

Na realidade, tem-se que os parâmetros do meio que especificam as características de propagação, se modificam em função da região envolvida como florestas, desertos, lagoas, montanhas, edifícios, cidades, bem como sofrem variações ao longo do tempo devido à temperatura, pressão, umidade e ruído, de acordo com Bertoni et al.(1988), Hata(1980) e Faruque (1996).

Neste trabalho é apresentada uma técnica fuzzy-georeferenciada de predição, aplicada para o mapeamento contínuo da potência do sinal de RF de uma determinada região. Na seção 2, introduzimos os modelos clássicos de predição de sinais de RF e o modelo geo-fuzzy de predição, foco deste trabalho. Na seção 3, a verificação da predição e o mapeamento contínuo da cobertura de RF são realizados. Na seção 4, a conclusão é feita.

2. Modelos de predição

2.1 Modelos clássicos

Os modelos de Okumura-Hata e Walfisch-Ikegami em Bertoni et al.(1988) e Hata (1980), são os mais significativos e provém a fundamentação do serviço de comunicação terra-móvel de hoje.

No modelo Walfisch-Ikegami, em Bertoni et al.(1988), a atenuação do sinal para linha direta de visada é:

$$L_p(\text{LOS}) = 42,6 + 20\log(f) + 26\log(d) \quad (1)$$

Para propagação fora da linha de visada, a formula para a perda no caminho é:

$$L_p(\text{NLOS}) = 32,4 + 20\log(f) + 20\log(d) + L(\text{diff}) + L(\text{mult}) \quad (2)$$

d é a distância, $L(\text{diff})$ representa a perda por difração no topo dos telhados, e $L(\text{mult})$ a perda por difração múltipla devido a edifícios circunvizinhos.

No modelo Okumura-Hata, em Hata(1980), a atenuação do sinal na propagação é dado por:

$$L_p = C1 + C2\log(f) - 13,82\log(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55\log(h_b)]\log(d) + C_o \quad (3)$$

onde L_p é a perda no caminho em ambiente urbano em dB; f é a frequência em MHz; d é a distancia entre a estação base e o móvel em km e deve estar na faixa de $1 \text{ km} < d < 20 \text{ km}$; h_b é altura efetiva da estação base em metros e deve estar na faixa de $30 \text{ m} < h_b < 200 \text{ m}$. Em ambiente urbano tem-se que:

$$a(h_m) = [1,1\log(f) - 0,7]h_m - [1,56\log(f) - 0,8] \quad (4)$$

Em ambiente urbano denso tem-se que:

$$a(h_m) = 3,2[\log(11,75h_m)]^2 - 4,97 \quad (5)$$

onde h_m é altura da antena móvel e deve estar na faixa de $1 \text{ m} < h_m < 10 \text{ m}$, e

$$C1 = 69,55 \text{ para } 150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.000 \text{ MHz} \quad (6)$$

$$C1 = 46,30 \text{ para } 1.500 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz} \quad (7)$$

$$C2 = 26,16 \text{ para } 150 \text{ MHz} \leq f \leq 1.000 \text{ MHz} \quad (8)$$

$$C2 = 33,90 \text{ para } 1.500 \text{ MHz} \leq f \leq 2.000 \text{ MHz} \quad (9)$$

$$C_o = 0 \text{ dB para urbano} \quad (10)$$

$$C_o = 3 \text{ dB para urbano denso} \quad (11)$$

2.2 Modelo geo-fuzzy de predição

Diferentemente dos modelos clássicos que utilizam abordagens restritas e empíricas do problema de propagação de RF em determinadas regiões, bem como a complexidade das equações dos fenômenos físicos envolvidos no processo de propagação das ondas eletromagnéticas, este novo modelo utiliza mapas geo-codificados de altitude e tipo de região como algumas das variáveis de entrada do processamento Fuzzy.

A metodologia para a predição e mapeamento da potência do sinal de RF é mostrada na Fig. 1.

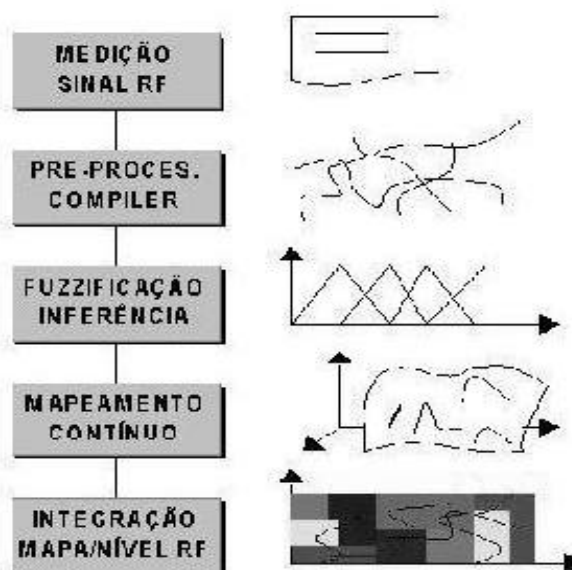


Figura 1- Fluxograma de predição de sinais de RF georeferenciados por lógica fuzzy.

Primeiramente foi feita uma amostragem automática dos níveis de potência de RF de alguns pontos da região em estudo, que é realizada utilizando um receptor de RF acoplado a um GPS dentro de um veículo em movimento, relacionando assim os diversos níveis medidos do sinal de RF com a longitude e latitude.

Após esta etapa, estes dados são tabelados e juntamente com os mapas geo-codificados de altitude e tipo de região, formam as variáveis do processo de fuzzificação. Seis fatores geofísicos são considerados: longitude, latitude, distância, altitude, tipo de região e nível de potência do sinal de RF. Portanto, este modelo de predição tem 5 variáveis de entrada e 1 variável de saída. As funções de associação das variáveis distância, tipo de região e nível de potência do sinal de RF estão mostradas nas Fig. 2, 3 e 4:

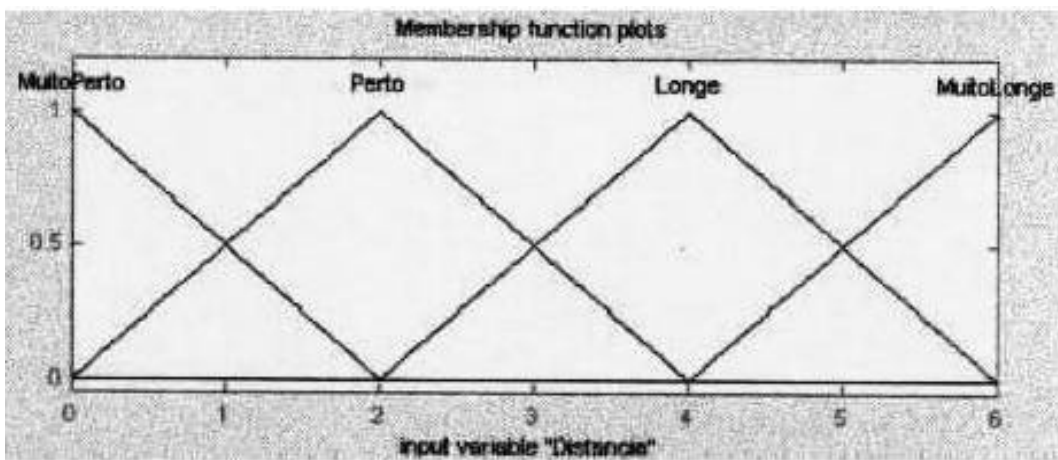


Figura 2 - Função de associação da variável tipo distância.

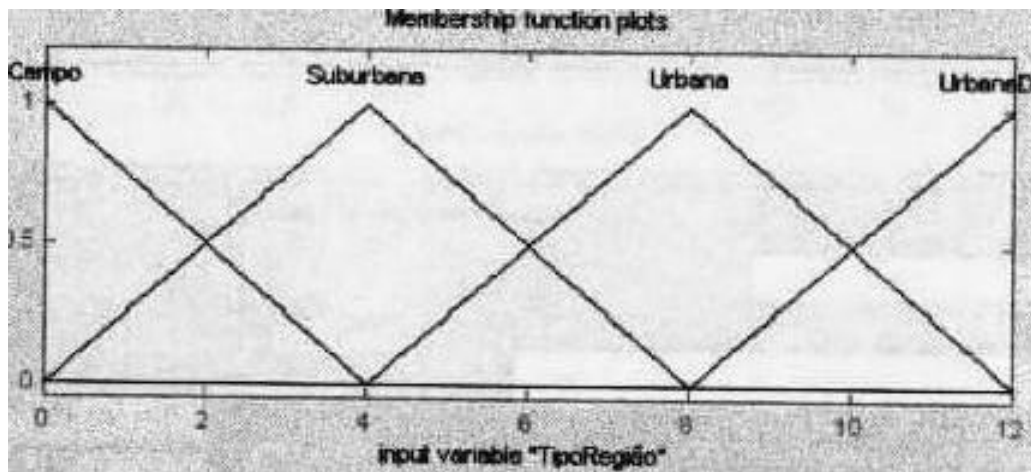


Figura 3 - Função de associação da variável tipo de região

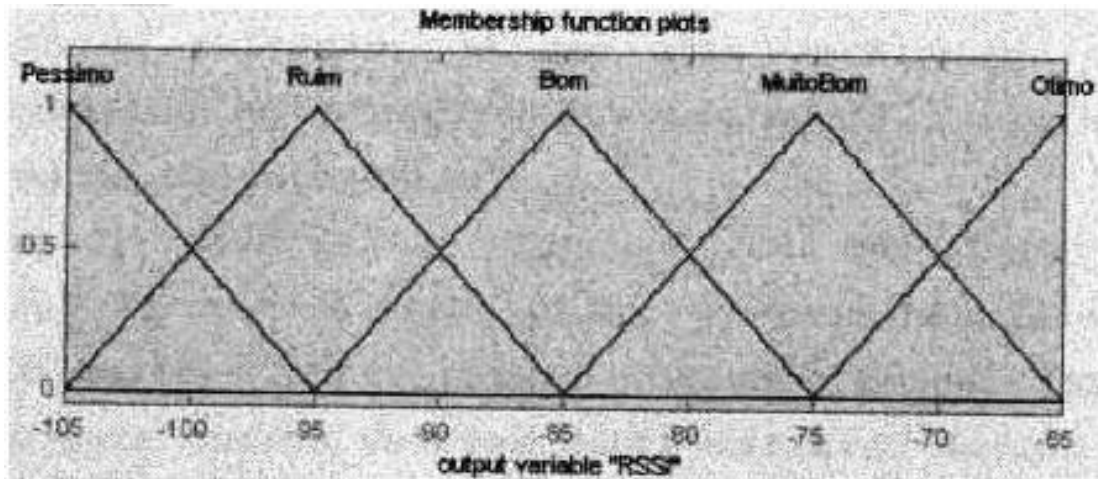


Figura 4 - Função de associação da variável nível de potência de RF.

2.2.1 Identificação do modelo fuzzy

O método de identificação do modelo fuzzy consiste em encontrar os centros de agrupamentos para estabelecer o número de regras fuzzy e as propriedades das regras e otimizar as regras consequentes. Considera-se cada centro de agrupamento como a base de uma regra fuzzy que descreve o comportamento do sistema. Seja $x_1^1, x_2^2, \dots, x_n^n$ em um espaço M-dimensional, onde as N primeiras dimensões são as variáveis de entrada e as M-N dimensões correspondem às variáveis de saída. As regras fuzzy Se-Então possuem a seguinte forma, de acordo com Chui(1994):

$$\text{Se } Y_1 = A_1 \ \& \ Y_2 = A_2 \ \& \ \dots \ \text{Então } Z_1 = B_1 \ \& \ Z_2 = B_2 \ \dots \quad (12)$$

onde Y_j é a j-ésima variável de entrada, Z_j é a j-ésima variável de saída, A_j é uma função exponencial e B_j é um singleton, como definidos em Chui(1994):

$$A_j(q) = e^{(-\alpha(q - y_{ij}^*))} \quad (13)$$

$$B_j = Z_i^{j*} \quad (14)$$

onde y_{ij}^* é o j-ésimo elemento de y_i^* e Z_{ij}^* é o j-ésimo elemento de Z_i^* .

O problema é então convertido de otimização de parâmetros da equação em problema de estimação dos mínimos-quadráticos, como visto em Chui(1994):

$$AX=B \quad (15)$$

onde A é uma matriz constante, B é uma matriz dos valores da saída e X é uma matriz dos parâmetros a serem estimados. A solução que minimiza $|AX-B|^2$ é, de acordo com Chui(1994):

$$X=(A^T \cdot B)^{-1} \cdot A^T \cdot B \quad (16)$$

que de modo iterativo é, como definidos em Chui(1994):

$$X_{i+1} = X_i + S_{i+1} \cdot a_{i+1} \cdot (b_{i+1}^T - a_{i+1}^T \cdot X_i) \quad (17)$$

$$S_{i+1} = S_i - \frac{S_i \cdot a_{i+1} \cdot a_{i+1}^T \cdot S_i}{1 + a_{i+1}^T \cdot S_i \cdot a_{i+1}} \quad (18)$$

onde $i=0,1, \dots,n$, X_i é o valor estimado de X, S_i é uma matriz de covariância, a_i^T é o i-ésimo vetor linha de A e b_i^T é o i-ésimo vetor linha de B.

3. O mapeamento contínuo da cobertura de RF

O treinamento da predição dos níveis de potência do sinal de RF, foi realizado com as amostras coletadas, e na **Fig. 5** é mostrado o resultado do treinamento. Se o valor proveniente do treinamento for igual ao valor real medido, o ponto estará localizado na linha tracejada.

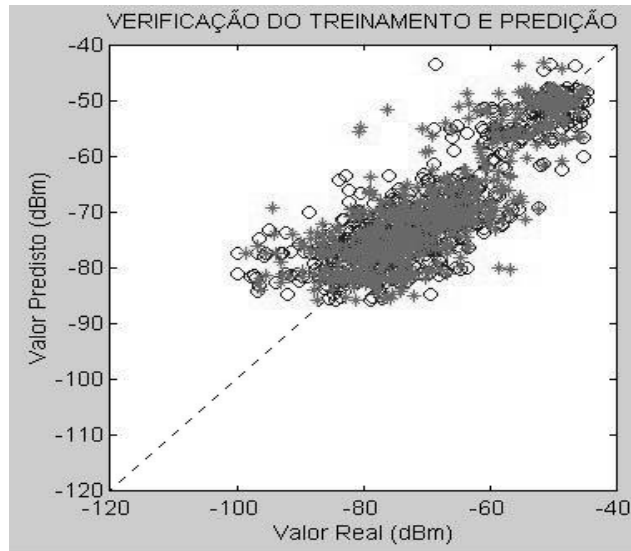


Figura 5 – Verificação do treinamento e predição

Foram calculados as médias aritméticas dos erros absolutos das predições em (dBm) para os diversos métodos, e são mostrados na **Tabela 1**:

Tabela 1. Comparação dos erros médios dos métodos de predição

Métodos de predição	Médias dos erros (dBm)
Okomura-Hata clássico	9,8596
Walfish-Ikegami clássico	16,7718
Modelo fuzzy-georeferenciado	5,9645

Após esta etapa, estes dados são tabelados e juntamente com os mapas geo-codificados de altitude e tipo de região, formam as variáveis de entrada do processo de fuzzificação. A inferência composicional é feita utilizando o método Sugeno, como em Sugeno et al.(1985), que proporciona uma maior eficiência computacional. Na desfuzzificação obtém-se o mapeamento contínuo da cobertura de RF. Para facilitar a localização dos pontos importantes, o mapeamento contínuo de RF foi integrado com o mapa geocodificado das ruas de Viçosa, conforme está mostrado na **Fig. 6**.

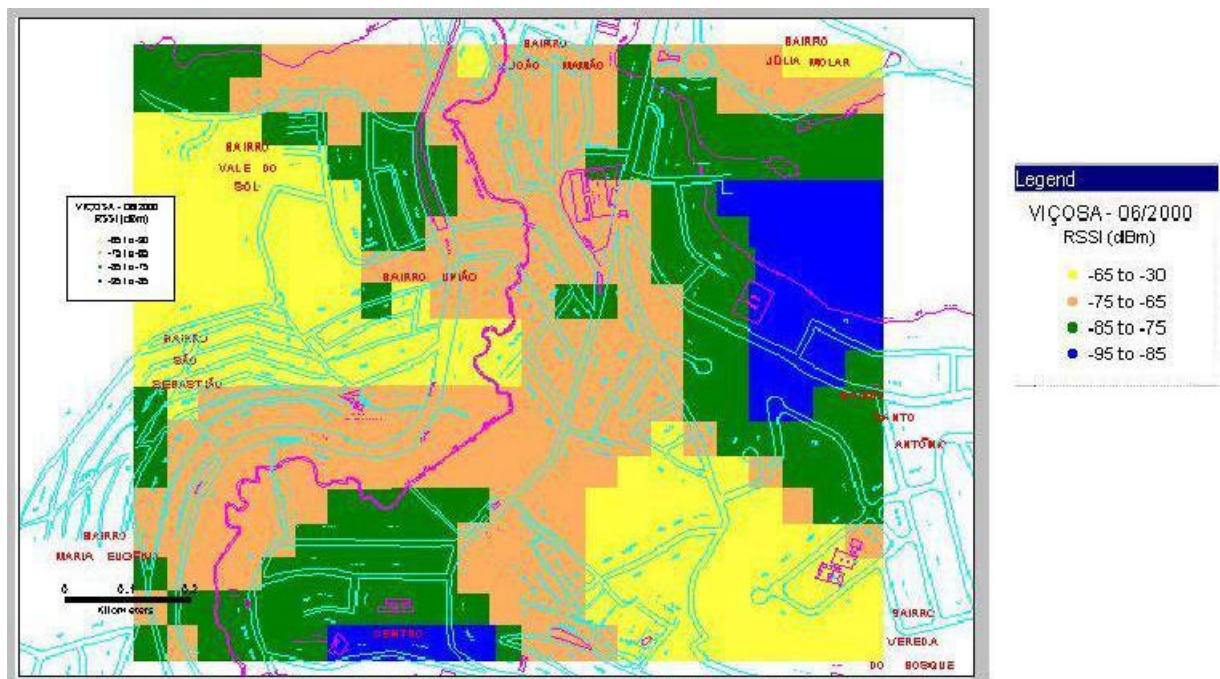


Figura 6 - Integração do mapeamento contínuo dos níveis de potência de RF, com o mapa das ruas de Viçosa.

5. Conclusão

Esta técnica geo-fuzzy de predição de sinais de RF, contribui para o meio científico, no mapeamento da potência e atenuação do sinal de RF de uma dada região. Como resultados tem-se que houve um grau de acerto melhor que os modelos clássicos e a criação de um sistema de integração geográfica para o mapeamento contínuo da potência do sinal de RF.

A tecnologia de geoprocessamento é fundamental nessa nova técnica de predição, podendo ser utilizada para qualquer um dos serviços de telecomunicações sem fio oferecidos atualmente, como rádio AM, FM, televisão, WLL, trunking, sistema móvel celular, satélite e PCS. Esta técnica desenvolvida proporciona maior exatidão no mapeamento dos níveis de RF, além de maior agilidade e diminuição dos custos operacionais das empresas prestadoras de serviços de telefonia móvel.

6. Referências

- Bandemer, H. & Gottwald, S., *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Methods with Applications*, John Wiley & Sons, 1996.
- Bertoni, H. L. & Walfisch, J., A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 36, no.12, 1988.
- Chui, S. L., Fuzzy Model identification based on Cluster Estimation", *Journal of Intelligence and Fuzzy Systems*, vol. 2, pp. 267-278, 1994.
- Faruque, S., *Cellular Mobile Systems Engineering*, Artech House, 1996.
- Hata, M., Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, no.3, August, 1980.
- Sugeno, M. & Takagi, T., Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol SMC-15, no. 1, 1985.
- Zadeh, L. A., Fuzzy Logic, *IEEE Computer*, 1988.