

## **Análise comparativa entre modelos de predição de cobertura móvel celular na cidade de Pau dos Ferros/RN**

**Thiago C. Moreira<sup>1</sup>, Francisco C. G. S. Segundo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Engenharia da Computação – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

CEP: 59900-000 – Pau dos Ferros – RN – Brasil

<sup>2</sup>Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

CEP: 59900-000 – Pau dos Ferros – RN – Brasil

{tthiagocm@hotmail.com, francisco.segundo@ufersa.edu.br}

**Abstract.** *The development of wireless technologies has modified the way of communication over the years. Through these, today, practically the whole world is connected. With the great advance and advent of wireless communication systems, the need arises to study and develop new techniques so that its implementation is feasible, with the minimum of signal loss and provide the best service to the end user. There are several studies, techniques and propagation models that can be implemented to ensure the user a better service. Thus, the present work demonstrates a simple analysis of the coverage and quality of the cellular signal of a Radio Base Station (ERB) of the mobile system, in the city of Pau dos Ferros / RN. From there, one can gauge if the users are receiving in their devices a signal of quality and that conforms to the norm.*

**Resumo.** *O desenvolvimento das tecnologias sem fio tem modificado a forma de comunicação ao longo dos anos. Por meio destas, hoje, praticamente todo o mundo está conectado. Com o enorme avanço e advento dos sistemas de comunicação sem fio, surge a necessidade de estudar e desenvolver novas técnicas para que a sua implementação seja viável, com o mínimo de perda de sinal e proporcione o melhor serviço para o usuário final. Existem vários estudos, técnicas e modelos de propagação que podem ser implementados para garantir ao usuário um melhor serviço. Assim, o presente trabalho demonstra uma análise simples da cobertura e qualidade do sinal celular de uma Estação Rádio Base (ERB) do sistema móvel, na cidade de Pau dos Ferros/RN.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento das tecnologias sem fio, tem modificado a forma de comunicação ao longo dos anos, por meio destas, hoje, praticamente todo o mundo está conectado. Com o enorme avanço e advento dos sistemas de comunicação ao meio sem fio, surge a necessidade de estudar e desenvolver novas técnicas para que a sua

implementação seja viável, com o mínimo de perda de sinal e proporcione o melhor serviço para o usuário final.

O sistema de telefonia móvel vem se aprimorando ao longo dos anos, com isso surge a necessidade de novas técnicas e estudos para garantir a qualidade dos serviços prestados pelas operadoras. Assim, o presente trabalho demonstra uma análise simples da cobertura e qualidade do sinal celular de uma Estação Rádio Base (ERB) do sistema móvel, na cidade de Pau dos Ferros/RN.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar a potência do sinal transmitida por uma ERB, localizada na cidade de Pau dos Ferros, e assim, comparar o ambiente de propagação através dos modelos Espaço livre, Okumura-Hata, Okumura-Hata Estendido, Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami realizando o confronto entre os valores preditos e os valores medidos.

## 3. MÉTODO

Os primeiros pontos a serem determinados são operadora e a ERB que será analisada. Para nosso estudo, analisaremos a operadora TIM, a qual disponibiliza serviços de telefonia móvel na cidade de Pau dos Ferros/RN. Para obtermos os dados referentes as ERB instaladas na cidade, consultamos as informações no site da Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL (2016), como podemos ver na figura a seguir:

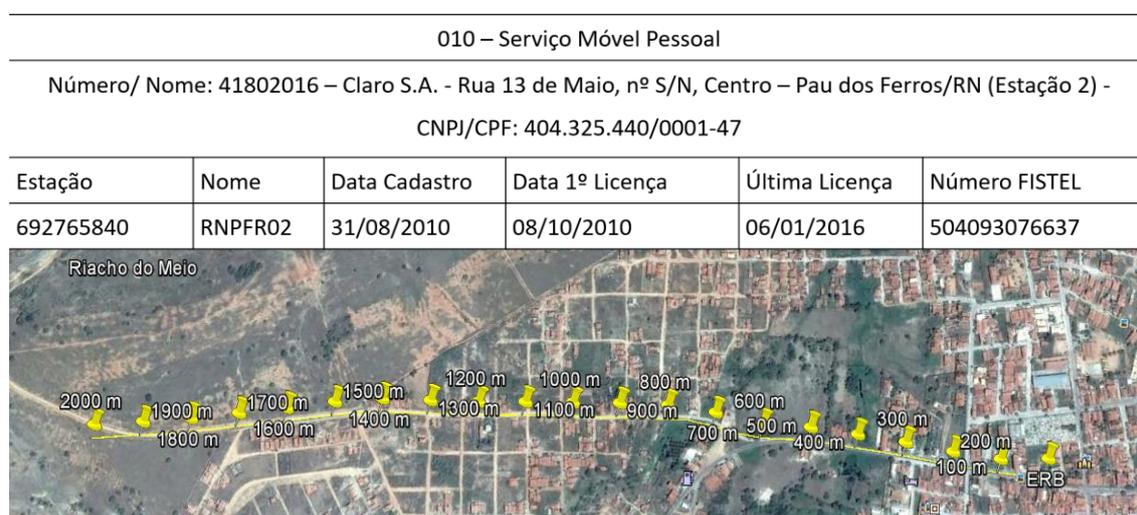


Figura 1: Dados da ERB e Percurso de Coleta de Dados

Fontes: Tabela: <http://gatewaysiec.anatel.gov.br/mobileanatel/>, Figura: Google Earth.

Devido aos altos custos para instalação de uma ERB, antes da sua implantação é necessário um estudo detalhado, onde existem várias variáveis que influenciam na propagação do sinal, tais como, reflexão, difração e etc.

Nossa análise se limitará a apenas uma ERB na qual o aparelho celular está conectado. Os celulares possuem a capacidade de medir a potência recebida da ERB, assim usando o celular podemos coletar *in loco*, dados da potência recebida e analisar segundo os modelos de propagação propostos neste trabalho. Utilizando dados fornecidos pela ANATEL e *GoogleEarth*, podemos marcar pontos de coleta a cada 100 m, partindo da posição da ERB até uma distância de 2 km (figura 1). A cada 100 m, é realizada a coleta da potência recebida pelo aparelho celular.

### 3.1 – Modelos de propagação

#### 3.1.1 - Modelo Espaço Livre

Este modelo é aplicado em regiões onde não temos nenhum tipo de obstrução entre a ERB e o receptor, ou seja, temos uma visada direta entre o transmissor e o aparelho móvel receptor.

Para este modelo temos que a potência do sinal que é recebido varia inversamente com o quadrado da distância móvel-transmissor, com a frequência de operação e com o tipo de ambiente. Assim pode medir a perda de sinal usando a equação 1.

$$L(dB) = 32,44 + \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) \quad (1)$$

Em que  $f$  é a frequência em MHz e  $d$  a distância do transmissor até a aparelho móvel em km.

Segundo Silva (2011), a equação 1 é válida para antenas isotrópicas em regiões de campos afastados, também conhecidas como regiões de Fraunhofer. E caso seja necessário adicionar ganho das antenas, basta incluir essas parcelas no final da fórmula com sinais negativos, pois o ganho na equação 1 representará o inverso da perda.

#### 3.1.2 - Modelo Okumura-Hata e Okumura-Hata Estendido

Em 1968 Okumura publicou em um artigo uma série de tabelas e gráficos que representam a intensidade de sinal recebido variando com a distância em ambientes urbanos. Com base nesses dados foi possível caracterizar a atenuação do sinal ao longo do percurso. Após 12 anos um novo estudo utilizando ferramentas computacionais foi realizado por Hata, que traduziu os gráficos e tabelas de Okumura em fórmulas matemáticas que eram fieis aos resultados anteriores nas frequências entre 50 e 1500 Hz.

A partir desse novo modelo proposto por Hata, temos fórmulas padrão para a perda de propagação de sinal em regiões urbanas e fatores de correção e adaptação para aplicação em regiões suburbanas e rurais. Neste modelo temos a incorporação de alguns parâmetros do modelo de espaço livre. A atenuação para um ambiente urbano é definida pelas seguintes equações.

Para o Ambiente Urbano temos:

$$L(\text{urbano})(dB) = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_B) - a(h_M) + (44,9 - 6,55 \log(h_B)) \log(d) \quad (2)$$

$$a(h_M) = [1,1 \log(f) - 0,7] \cdot h_M - [1,56 \log(f) - 0,8] \quad (\text{Cidade Pequena}) \quad (3)$$

$$a(h_M) = 8,29(\log(1,54) \cdot h_M)^2 - 1,1 \text{ dB para } f \leq 300 \text{ MHz} \quad (\text{Cidade Grande}) \quad (4)$$

$$a(h_M) = 3,2(\log(11,75) \cdot h_M)^2 - 4,97 \text{ dB para } f \geq 300 \text{ MHz} \quad (\text{Cidade Grande}) \quad (5)$$

Para o ambiente suburbano, temos:

$$L(\text{suburbano})(dB) = L(\text{urbano}) - 2 \left[ \log\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2 - 5,4 \quad (6)$$

Para o ambiente rural, temos:

$$L(\text{rural})(dB) = L(\text{urbano}) - 4,78 (\log(f))^2 + 18,33 \log(f) - 40,94 \quad (7)$$

Onde temos,  $f$  como a frequência da portadora (MHz),  $d$  a distância (km) da ERB,  $H_b$  a altura da ERB (m) e  $h_m$  - Altura do receptor (m).

Já o modelo Okumura-Hata estendido permite o cálculo da atenuação na faixa de 1500 MHz até 2000 MHz. A expressão da atenuação é dada conforme a fórmula abaixo.

$$L(dB) = 46,3 + 33,9 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 h_b) \log(d) + C_m \quad (8)$$

Onde,  $C_m$  será igual a 0 dB para áreas suburbanas e de tamanho médio e 3 dB para centros metropolitanos.

### 3.1.3 - Modelo de Walfisch-Bertoni

Modelo desenvolvido para áreas urbanas, que pode ser considerado como semi-empírico. Com ele possível calcular a atenuação de um sinal mesmo que não haja uma visada direta entre a ERB e o receptor, situação conhecida como NLOS (no line of sight).

Esse modelo leva em consideração as características das construções atuais que são responsáveis pela maior parte da atenuação do sinal. O desenvolvimento desse modelo se baseia na ideia de que, se temos uma ERB irradiando sinal acima das construções, as ondas eletromagnéticas iram se propagar sofre um processo de múltiplas difrações nos topos das mesmas, e assim atingem o nível da rua onde estão os receptores.

Podemos determinar a atenuação excedente  $L_{ex}$ , em dB, para um sistema que possui um ERB elevada e um receptor móvel que estejam separados por uma distância  $r$ , através da equação 9.

$$L_{ex} = 57,1 + A - \log(f) + 18 \log(H) - 18 \log \left[ \frac{1 - r^2}{17H} \right] \quad (9)$$

Onde,  $H$  (m) é a diferença entre a altura da antena na ERB e a altura média das construções.

O fator  $A$  leva em consideração a geometria das construções, que pode ser determinado através da equação 10.

$$A = 5 \log \left[ \left( \frac{d}{2} \right)^2 + (h - h_m)^2 \right] - 9 \log(d) + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{2(h - h_m)}{d} \right] \right\} \quad (10)$$

Onde  $h$  é a altura média das construções e  $d$  a distância entre as construções.

Com o modelo de Walfisch-Bertoni, também podemos determinar a atenuação global  $L_p$ , que é calculada a partir da soma da atenuação excedente (que é provocada pelo ambiente) com a atenuação de espaço livre,  $L_0$ .

$$L_p(dB) = L_0(dB) + L_{ex}(dB) \quad (11)$$

### 3.1.4 – Modelo de Walfisch-Ikegami

É uma modelo semi-empírico, que seu desenvolvimento foi baseado em características de regiões urbanas, levando em consideração a densidade e altura média das edificações, assim como a largura das ruas.

Este modelo se mostra bastante eficiente quando tratamos de casos em que a altura das antenas da ERB é menor que a altura média das construções, nesses casos temos o guiamento do sinal ao longo das ruas. Neste modelo temos duas abordagens para o cálculo da atenuação média de percurso entre a antena da ERB e o receptor.

a) Existência de visada direta (LOS - line of sight);

Para esse tipo de ambiente urbano podemos determinar a atenuação de percurso através da equação 12.

$$L_p(LOS) = 42,6 + 20 \log(f) + 26 \log(r) \quad (12)$$

b) Ausência de visada direta (NLOS - no line of sight)

Para esse tipo de ambiente urbano podemos determinar a atenuação de percurso através da equação:

$$L_p(NLOS) = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(r) + L(diff) + L(mult) \quad (13)$$

Onde,  $L(\text{diff})$  é a atenuação do sinal devido à difração do mesmo no topo da construção mais próximo ao receptor;  $L(\text{mult})$  representa a atenuação devido à múltipla difração das construções que estão anteriores à edificação mais próxima ao receptor.

#### 4. METODOLOGIA

As medições foram realizadas nos pontos determinados na figura 1, percorrendo uma distância total de 2 km, sendo medida a potência recebida com o aparelho celular LG L65 a cada 100 metros. Após as medições em campo, foi realizado rotinas no software Matlab com o objetivo de confrontar os valores medidos com os preditos dos modelos de propagação.

#### 5. RESULTADOS

Com base nos dados coletados e o auxílio do *software* MATLAB pode-se plotar as curvas características que representam os modelos de propagação de Espaço Livre, Okumura-Hata, Okumura-Hata Estendido, Walfisch-Bertoni e Walfisch-Ikegami. E comparar com os dados coletados in loco. Nos modelos de propagação, foi considerado a cidade de Pau dos Ferros como um ambiente suburbano, pois é uma cidade com média de construções em dois pavimentos.

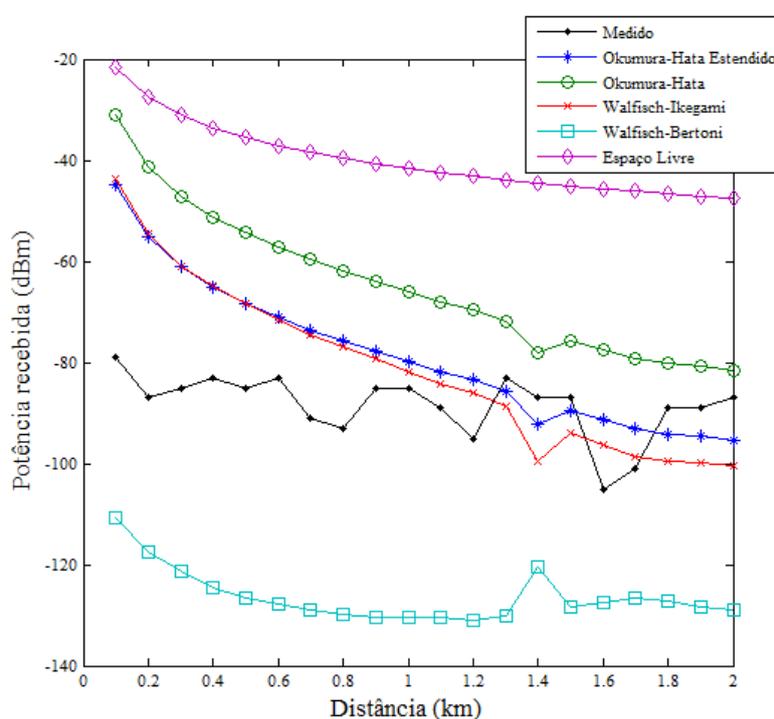


Figura 2 - Comparação entre os modelos de propagação e os valores medidos

Pela figura 2, pode-se perceber que os modelos de Okumura-Hata Estendido e Walfisch-Ikegami obtiveram os melhores resultados comparado com os valores

medidos, pois leva em consideração o relevo, urbanização etc. Como o ambiente existem pontos de obstrução, tais como edificações, árvores, ou seja, fatores que aumentam a perda de propagação seja por reflexão, dispersão, difração, o modelo espaço livre não se adequa aos valores medidos, já que o mesmo leva em consideração apenas a distância e a frequência de operação.

A figura 3 apresenta o erro relativo em percentual de cada modelo em relação aos valores medidos.

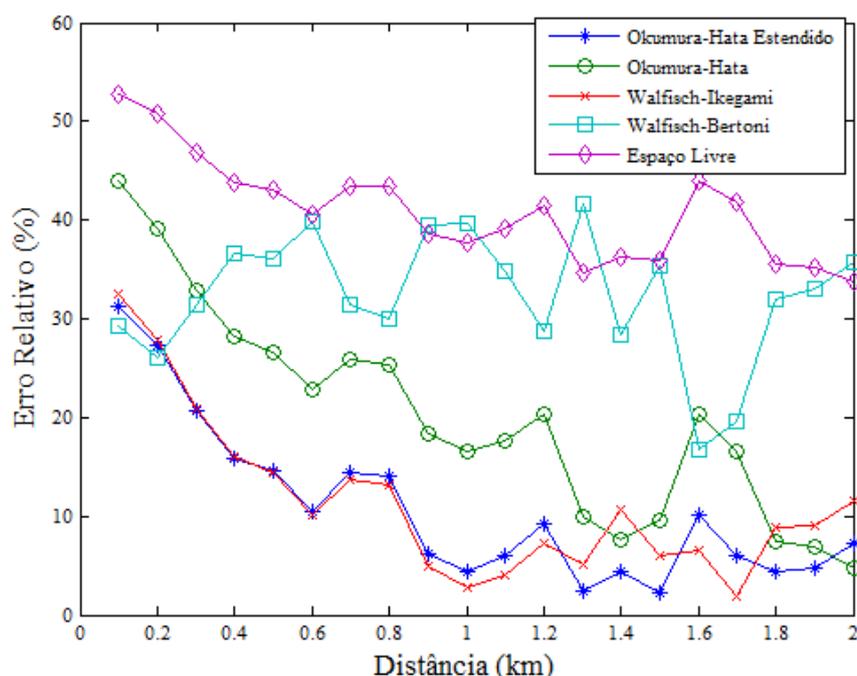


Figura 3 - Erro relativo percentual em relação a distância

Analisando a figura 3, pode-se perceber que o erro das medições do Walfisch-Ikegami e Okumura-Hata estendido possuem erro abaixo de 10% acima de 1 km de distância da torre, ou seja, os modelos considerados levando em consideração a cidade de Pau dos Ferros, esses dois modelos são os que representam melhor o modelo de propagação da cidade.

## 6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado um estudo dos modelos de propagação empírico e semi-empírico, como também, medições in loco da potência recebida do sinal de uma operadora celular na região de Pau dos Ferros/RN. E realizado o confronto entre os modelos de propagação e os valores medidos.

Por meio da análise dos gráficos plotados seguindo os modelos de propagação, concluímos que a ERB estudada se encaixa no modelo Okumura-Hata estendido e o modelo Walfisch-Ikegami.

Assim, para uma melhor análise em trabalhos futuros, poderíamos abranger outro modelo de propagação que leve em consideração outros fatores que interferem no

sinal e como também, fazer uso de técnicas computacionais, tais como, algoritmos genéticos e redes neurais para encontrar um modelo de propagação pertinente a região da cidade considerada.

## 7. REFERÊNCIAS

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações (2016). Acessado em 30/09/2016. Disponível em: <http://gatewaysiec.anatel.gov.br/mobileanatel/>.

Elias. M. E. P. e César. A. C. (2004); Comparação entre modelos empíricos e semi-empíricos de predição de cobertura móvel celular: Estudo de caso em ambiente urbano. XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBT’04, 6-9 de setembro de 2004, Belém-PA. Acessado em 03/03/2017. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br/anais/sbrt/SBrT22/artigos/paper209.pdf>.

Grzelak, L. (2002); Wireless Designer GUI Application, All rights reserved Copyright (c) 2008. Acessado em 03/10/2016. Disponível em: [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30188-wireless-designer-gui-application?s\\_tid=srchtitle](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/30188-wireless-designer-gui-application?s_tid=srchtitle).

MATHWORKS. Software *trial* MATLAB. Acesso em: 30 de Agosto de 2016. Disponível em: <http://www.mathworks.com/programs/trials/>.

Saraiva, J. (2005). Telefonia celular usa a mesma infra-estrutura. Fonte: Valor Econômico, 26/04/2005, TECNOLOGIA & TELECOMUNICAÇÕES, p. F1;2;3;4. Acessado em 28/09/2016. Disponível em: [https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/451513/complemento\\_5.htm?sequence=6](https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/451513/complemento_5.htm?sequence=6).

Silva, B. A. R. (2011), Predição De Cobertura De Sinal Celular Na Cidade De Anápolis Utilizando Modelos De Propagação Hata E Espaço Livre. Acessado em 02/03/2017. Disponível em: <http://www.anapolis.go.gov.br/revistaanapolisdigital/wp-content/uploads/2012/10/Artigo-Bruno-Augusto-Revista-Anapolis-Digital-final.pdf>.

Aparecido da Silva, V. (2002); Modelagem Computacional de Canais de Comunicação Móvel. Londrina. Pág. 28. Acessado em 01/10/2016. Disponível em: [http://www.uel.br/pessoal/taufik/PDF\\_files/tcc\\_VAS.pdf](http://www.uel.br/pessoal/taufik/PDF_files/tcc_VAS.pdf).