

# Determinação da Eficiência de Reuso de Frequência de um Sistema DS-CDMA Através de Modelos de Radiopropagação

Halysson Barbosa Mendonça e Adaildo Gomes d'Assunção

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Elétrica, Caixa Postal 1655, CEP: 59072-970, Natal, RN

**Resumo** — Atualmente, existe um grande interesse no uso da técnica de múltiplo acesso por divisão de código em seqüência direta (DS-CDMA) para sistemas móveis celulares. A capacidade de um sistema CDMA é diretamente ligada a eficiência de reuso de frequência (F). A determinação do fator F através de modelos que assumem uma lei exponencial simples para encontrar a perda de percurso pode gerar valores imprecisos para a capacidade. Esse trabalho propõe a utilização dos modelos de radiopropagação, empíricos e teóricos, para estimar a eficiência de reuso de frequência e analisar a influência dos parâmetros destes sobre a capacidade do sistema.

**Palavras-Chave** — Eficiência de reuso de frequência, capacidade, modelos de propagação, CDMA.

**Abstract** — Lately it was observed a growing interest in the use of direct-sequence code division multiple access technique (DS-CDMA) for cellular mobile systems. The capacity of a CDMA system is directly related to the frequency reuse efficiency (F). Furthermore, the factor F determination by models, that assume a simple exponential law to find the pathloss, can generate inexact values for the capacity. This work considers the use of empirical and theoretical radio propagation models to estimate the frequency reuse efficiency and to analyze the influence of their parameters on the system capacity.

**Index Terms** — Frequency reuse efficiency, capacity, propagation models, CDMA.

## I. INTRODUÇÃO

Em sistemas celulares a escolha do modelo de propagação é de vital importância, pois deseja-se estimar precisamente a cobertura e a capacidade das células. Isso é particularmente verdadeiro em sistemas CDMA, onde capacidade de uma célula é limitada pela interferência recebida na sua ERB. No enlace reverso, as interferências totais vêm dos móveis dentro da própria célula e de móveis dentro das células vizinhas. A eficiência de reuso de frequência (F) expressa a razão entre a interferência devido aos usuários internos em uma célula qualquer e a interferência total experimentada na ERB desta célula.

H. B. Mendonça, [halyssonbarbosa@uol.com.br](mailto:halyssonbarbosa@uol.com.br), A. G. d'Assunção, [adaildo@ct.ufm.br](mailto:adaildo@ct.ufm.br), Tel/Fax: +55 (84) 215-3732

Um modelo de propagação que assume uma lei de perda de percurso com a forma  $1/d^\gamma$ , sendo  $\gamma$  o expoente de propagação, é constantemente utilizado para determinar da eficiência de reuso de frequência [1]-[5]. Este modelo nem sempre é adequado para qualquer tipo de ambiente de propagação, o que pode produzir valores sem precisão para a capacidade. Em [6], a perda de percurso de  $1/d^\gamma$  foi também adotada, mas o expoente de propagação não era uma constante e variava em função da perda apresentada por outros dois modelos de propagação e da distância. Neste trabalho, vamos utilizar modelos de propagação teóricos e derivados de medições de campo (empíricos) para determinar diretamente a perda de percurso e utilizá-la no cálculo do fator F para o enlace reverso de um sistema DS-CDMA. Com isso, vamos poder verificar a influência de tais modelos e de parâmetros como frequência e altura da antena fixa sobre a capacidade.

Primeiramente, são descritos de forma precisa todos os modelos de radiopropagação que serão utilizados no decorrer deste trabalho. Depois, apresenta-se o desenvolvimento teórico utilizado para encontrar a eficiência de reuso de frequência. Logo após, os resultados para o fator F considerando cada modelo de propagação são mostrados e, por último, são apresentadas as conclusões.

## II. MODELOS DE PROPAGAÇÃO

Os modelos de radiopropagação teóricos, normalmente, são baseados em generalizações físicas consideradas para o ambiente de propagação, enquanto que os empíricos são baseados em medições de campo e utilizam equações de aproximação de curva para modelar a propagação. Aqui, vamos utilizar dois modelos teóricos, o modelo de perda de percurso no espaço livre e o de tela de difração, e três empíricos: o de Hata, o de Hata modificado e o de Ibrahim e Parsons. A seguir todos esses modelos de propagação serão detalhados e todos os seus parâmetros especificados, conforme mostrado em [7].

### A. Perda no espaço livre

A perda de propagação no espaço livre, em decibéis (dB), é dada por:

$$PL_{el} = 32,448 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (1)$$

onde  $f$  é a frequência, em MHz, e  $d$  é a distância entre a antena transmissora e a receptora, em km.

*B. Modelo de Maciel, Bertoni e Xia (tela de difração)*

Maciel, Bertoni e Xia [7] assumiram que áreas urbanas e suburbanas são relativamente homogêneas. Com isso, admitiram que os prédios da cidade estão dispostos em filas e modelaram estas como uma série de telas de difração de altura uniforme. Na Fig. 1 estão ilustrados os dois tipos de difração que o modelo considera, uma direta, ao longo da tela, e uma final, em direção ao nível da rua onde se encontra a unidade móvel.



Fig. 1 – Modelo da tela de difração.

A expressão resultante da perda de propagação para o modelo de Maciel, Bertoni e Xia é escrita em termos da perda no espaço livre  $PL_{el}$ , de acordo com (1), da perda de difração ao longo do topo dos prédios  $Le_2$  e da difração final  $Le_1$ . Portanto, tem-se [7]:

$$PL_{ds} = PL_{el} + Le_1 + Le_2 + 18 \log \left[ \frac{17 h_b + d^2}{17 h_b} \right] \quad (2)$$

onde  $h_b$  é a altura da antena fixa (ERB) em metros. A geometria para o termo de  $Le_1$  está mostrada na Fig. 2 e indica a difração final em direção à unidade móvel. Pode-se escrever esse coeficiente de difração como:

$$Le_1 = -10 \log \left[ \frac{G_m(\theta)}{\pi \kappa \sqrt{(b-h_m)^2 + w^2}} \left[ \frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right]^2 \right] \quad (3)$$

onde  $G_m(\theta)$  é o ganho da antena móvel na direção do topo do prédio (aqui será sempre considerado igual a 1),  $\kappa$  é o número de onda,  $h_m$  é a altura da antena móvel,  $b$  a altura dos prédios,  $w$  a distância da unidade móvel para o prédio, todas em metros, e  $\theta$  é dado por:

$$\theta = a \tan \left[ \frac{b - h_m}{w} \right] \quad (4)$$

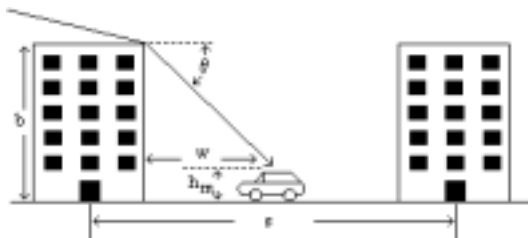


Fig. 2 – Difração final em direção à unidade móvel ( $Le_1$ ).

O fator  $Le_2$ , incluindo o ganho da antena da fixa  $G_b$  na direção do topo dos prédios (aqui será considerado igual a 1), é:

$$Le_2 = -10 \log [G_b Q^2] \quad (5)$$

onde  $Q$  é igual a  $Q_E$  ou  $Q_L$ , dependendo da antena da ERB está localizada, respectivamente, acima ou abaixo do nível do topo dos prédios. Aplica-se  $Q_E$  quando a altura  $h_b$  é  $\sqrt{\lambda s}$  maior do que o topo dos prédios. Por sua vez,  $Q_L$  é usado quando  $h_b$  é menor que  $b$ , por mais do que  $0,5\sqrt{\lambda s}$ . Valores intermediários são interpolados linearmente para  $Q_E$  e  $Q_L$ , avaliados em  $\sqrt{\lambda s}$  e  $0,5\sqrt{\lambda s}$ , respectivamente. A expressão do fator  $Q_L$  é:

$$Q_L = \frac{\frac{s}{d \cdot 1000 - s}}{\sqrt{2\pi \kappa \sqrt{(b-h_b)^2 + s^2}}} \left[ \frac{1}{a \tan \left[ \frac{b-h_b}{s} \right]} \dots \right] \quad (6)$$

onde  $s$  é a separação entre as filas de prédios dada em metros. Acima do nível do topo dos prédios, a expressão para  $Q_E$  é:

$$Q_E = 2,35 \left[ a \tan \left[ \frac{h_b}{d \cdot 1000} \right] \sqrt{\frac{s}{\lambda}} \right]^{0,9} \quad (7)$$

*C. Modelo de Hata*

Okumura e seus colaboradores [7] fizeram medições de intensidade de sinal, na vizinhança de Tóquio, em diversas frequências, alturas de antenas fixas e alturas de antenas móveis, em terrenos irregulares e condições de desordem ambiental. Em seguida, eles geraram um conjunto de curvas que relacionam a intensidade de campo com esses diversos fatores.

Hata [7], por sua vez, preparou uma expressão simples, que representa as medições de Okumura, na seguinte forma:  $A \log(d) + B$ , onde  $d$  é a distância e  $A$  e  $B$  são funções da frequência e das alturas das antenas. As fórmulas propostas incluem correções para alturas da antena móvel e configuração do terreno. A fórmula básica que representa a perda de percurso média para o modelo de Hata é:

$$PL_{Hata} = \left[ 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) \dots \right] \quad (8)$$

onde  $f$  é a frequência em MHz,  $d$  é a distância em quilômetros e  $h_m$  é altura da antena da estação base em metros. Uma função de correção  $a_x(h_m)$  é aplicada para a altura da antena móvel. Em uma cidade média, a função de correção para a antena móvel é escrita como:

$$a_m(h_m) = [0,7 - 1,1 \log(f)] h_m + 1,56 \log(f) - 0,8 \quad (9)$$

enquanto em uma cidade grande e numa frequência menor que 200 MHz é dada por:

$$a_2(h_m) = 1,1 - 8,29 \log^2(1,54h_m) \quad (10)$$

e numa frequência maior que 400 MHz essa função de correção é dada por:

$$a_4(h_m) = 4,97 - 3,2 \log^2(11,75h_m) \quad (11)$$

Em áreas suburbanas, a perda de percurso é dada por  $PL_{\text{Hata}} - L_{ps}$ , onde:

$$L_{ps} = -2 \log^2 \left[ \frac{f}{28} \right] - 5,4 \quad (12)$$

e em áreas abertas por  $PL_{\text{Hata}} - L_{po}$ , sendo que:

$$L_{po} = -4,78 \log^2(f) + 18,33 \log(f) - 40,94 \quad (13)$$

#### D. Modelo de Hata modificado

Modificações foram feitas nas fórmulas de Hata para melhorar a precisão em relação às curvas de Okumura. Usando os parâmetros definidos na Tabela 1, as fórmulas de Hata podem ser estendidas sobre a faixa total de validade das curvas de Okumura. Expressam-se as funções de correção para as frequências como:

$$F_1 = \frac{300^4}{f^4 + 300^4} \quad (14)$$

$$F_2 = \frac{f^4}{300^4 + f^4} \quad (15)$$

Tabela 1 – Parâmetros do modelo de Hata modificado.

Parâmetro	Valor
U	0 = pequena/média e 1 = grande cidade
$U_r$	0 = área aberta, 0,5 = suburbana e 1 = área urbana
$B_1$	Porcentagem de prédios no solo (3 a 50%)

Uma correção para a curvatura da Terra mais a propagação para além do horizonte de rádio, foi incluída por meio de:

$$S_{ks} = \left[ 27 + \frac{f}{230} \right] \log \left[ \frac{17(h_b + 20)}{17(h_b + 20) + d^2} \right] + 1,3 - \frac{|f - 55|}{750} \quad (16)$$

A correção para área urbana/suburbana pode ser introduzida linearmente utilizando-se o parâmetro de urbanização  $U_r$  da seguinte forma:

$$S_0 = (1 - U_r) \left[ (1 - 2U_r) L_{po} + 4U_r L_{ps} \right] \quad (17)$$

Combinando-se as funções de correção de altura, dadas por (9) a (11), com (14) e (15) de transição de frequência e o parâmetro U, uma expressão para a correção de altura completa  $a_x$  pode ser escrita como:

$$a_x = (1 - U) a_m(h_m) + U [a_2(h_m) F_1 + a_4(h_m) F_2] \quad (18)$$

Um novo termo que leva em conta a porcentagem de prédios sobre o solo é dado por:

$$B_0 = 25 \log(B_1) - 30 \quad (19)$$

Normalmente, considera-se que  $B_1 = 15,849$  %. Portanto, de (8) e (16) a (19), pode-se escrever a fórmula de Hata modificada como:

$$PL_{mh} = (PL_{\text{Hata}} + S_0 + a_x + S_{ks} + B_0) \quad (20)$$

#### E. Método de Ibrahim e Parsons (modelo de Londres)

Ibrahim e Parsons [7] notaram que a propagação em ambientes urbanos depende principalmente de fatores como a densidade, a altura dos prédios e a configuração do terreno. A partir de dados de propagação medidos em Londres, uma equação empírica que incorpora parâmetros como o fator de ocupação do terreno, o grau de urbanização e a variação da altura do terreno entre a ERB e a unidade móvel, foi obtida. As medições foram realizadas em quadrados com lados de 500 m (grades). O fator de ocupação do terreno L vai indicar a quantidade em porcentagem de grades que possuem edificações (3 a 50%). O grau de urbanização, U, indica a porcentagem de área construída em cada grade, com edifícios de 4 ou mais pisos (0 a 100%) e H é a diferença de altura, em metros, entre a grade que contém a ERB e a grade onde está localizada a unidade móvel. A equação que caracteriza a perda de percurso estimada pelo modelo de Londres é obtida de:

$$PL_p = \left[ \begin{array}{l} -20 \log(0,7h_b) - 8 \log(h_m) + \frac{f}{40} + 26 \log\left(\frac{f}{40}\right) \dots \\ -86 \log\left(\frac{f+100}{156}\right) + \left[ 40 + 14,15 \log\left(\frac{f+100}{156}\right) \right] \log(d \cdot 1000) \dots \\ + 0,26L - 0,37H + 0,087U - 5,5 \end{array} \right] \quad (21)$$

### III. DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REUSO DE FREQUÊNCIA

O número de usuários no enlace reverso de um sistema CDMA [1]-[5] é dado por:

$$N_u = \frac{W}{b} \cdot \frac{1}{(E_b/N_0)_{req}} \cdot \frac{1}{v} \cdot F + 1 \quad (22)$$

onde W é a largura de banda do canal, b é a taxa de bits da informação,  $(E_b/N_0)_{req}$  é a razão sinal-ruído requerida, v é o fator de atividade vocal e F é a eficiência de reuso de frequência. Pode-se ver, em (22), que F está diretamente

relacionada com a capacidade do sistema. Sabe-se que F representa uma relação de interferências na seguinte forma:

$$F = \frac{1}{1 + P_{ext}/P_{int}} \quad (23)$$

onde  $P_{ext}$  é a potência interferente gerada por usuários de células adjacentes à célula central e  $P_{int}$  é a potência interferente que vem dos móveis internos a essa célula.

Para o cálculo das potências interferentes, serão necessárias as distâncias entre as ERBs do sistema. Para isso, usaremos o sistema de coordenadas (n,i), mostrado na Fig. 3. Adequando-se a geometria de célula hexagonal para uma circular, encontraremos a distância D, do centro de uma célula (n,i) para o centro da célula de referência (ERB<sub>0</sub>), que é dada por:

$$D(n, i) = fR_c \sqrt{3(n^2 + i^2 - ni)} \quad (24)$$

onde f representa um fator de ajuste e  $R_c$  o raio da célula em metros. Na análise, utilizaremos  $f = \sqrt{2\pi/3\sqrt{3}}$ , pois vamos considerar que as células hexagonais serão substituídas por células circulares de áreas iguais.

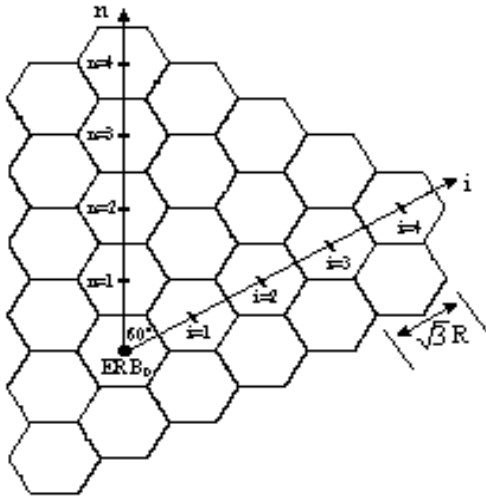


Fig. 3. Sistema de coordenadas para as células hexagonais.

Para determinar os níveis de potências interferentes recebidos de células adjacentes, vamos considerar a estrutura do enlace reverso mostrada na Fig. 4. Seguindo a análise de [1], considera-se que o controle de potência é empregado e o desvanecimento por sombreamento está ausente. O controle de potência em cada ERB determina que a potência recebida de todos os móveis dentro daquela célula é limitada a  $P_{int}$ .

Esses níveis de potência serão determinados admitindo que a perda de percurso apresentada pelo sinal que sai da unidade móvel e chega na ERB será dada pelos modelos de propagação apresentados na seção anterior. Portanto, a relação entre as potências transmitida e recebida tem a seguinte forma:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{1}{10^{PL(d)/10}} \quad (25)$$

onde d é a distância entre a ERB e a unidade móvel em quilômetros e PL a perda de percurso calculada pelo modelo de propagação adotado. A partir disso, pode-se escrever a potência transmitida por um usuário para a ERB de sua célula como:

$$P_{i,j}(r) = (P_{int}/N) \cdot 10^{PL(r_{i,j})/10} \quad (26)$$

onde N é o número de usuários da célula e  $r_{i,j}$  é a distância em quilômetros entre o j-ésimo móvel e a estação base para qual ele está operando (denotada pelo índice i).

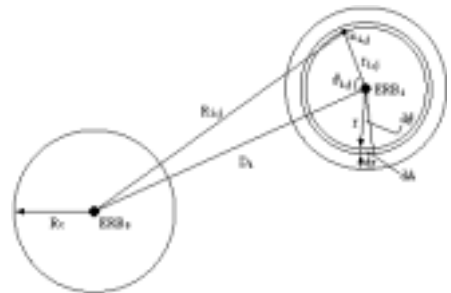


Fig. 4. Estrutura do enlace reverso para o cálculo das potências interferentes.

Utilizando (25) e (26), pode-se escrever a interferência recebida na célula de referência (ERB<sub>0</sub>), devido a um usuário  $x_{i,j}$  localizado em uma célula adjacente, da seguinte forma:

$$I(ERB_0, x_{i,j}) = \frac{(P_{int}/N) \cdot 10^{PL(r_{i,j})/10}}{10^{PL(R_{i,j})/10}} \quad (27)$$

onde  $R_{i,j}$  é a distância, em quilômetros, entre o móvel  $x_{i,j}$  e a célula de referência. Se os usuários estiverem distribuídos uniformemente nas células, então pode-se escrever a potência interferente externa recebida na ERB<sub>0</sub> a partir de uma célula adjacente ERB<sub>i</sub> como sendo:

$$dP_{ext}(ERB_0, ERB_i) = I(ERB_0, x_{i,j}) dN \quad (28)$$

Sabe-se que a densidade de usuários,  $\rho$ , é dada por:

$$\rho = \frac{dN}{dA} = \frac{N}{\pi R_c^2} \quad (29)$$

Substituindo (29) e (27) em (28), obtém-se:

$$dP_{ext}(ERB_0, ERB_i) = \frac{P_{int} 10^{PL(r)/10}}{\pi R_c^2 10^{PL(R)/10}} dA \quad (30)$$

onde  $R_c$  é o raio da célula, r é a distância de qualquer elemento de área para a estação base na qual opera um móvel posicionado dentro dessa área infinitesimal, R é a

distância do mesmo elemento de área para a célula de referência e  $dA=rdrd\theta$ . Determinando R através da lei dos cossenos, pode-se expressar a interferência recebida de uma célula adjacente i na célula de referência como:

$$P_{ext} = \frac{P_{int}}{\pi R_c^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{R_c} \frac{10^{PL(r)/10}}{10^{PL(\sqrt{D_i^2+r^2-2D_i r \cos\theta})/10}} r dr d\theta \quad (31)$$

onde  $D_i$  é a distância do centro da célula i ao centro da célula de referência. A equação (31) pode ser generalizada para todo o sistema de células interferentes através do seguinte somatório:

$$P_{ext} = \frac{P_{int}}{\pi R_c^2} \sum_{i=1}^{N_c} \int_0^{2\pi} \int_0^{R_c} \frac{10^{PL(r)/10}}{10^{PL(\sqrt{D_i^2+r^2-2D_i r \cos\theta})/10}} r dr d\theta \quad (32)$$

onde  $N_c$  é dado por  $\sum_{j=1}^n 6 \cdot j$  e representa o número de células adjacentes à célula de referência, sendo n o número de anéis do sistema.

IV. RESULTADOS PARA O FATOR F

A eficiência de reuso de frequência é obtida através de (32) e (23). Para isso, a integral em (32) foi resolvida numericamente. O fator F é determinado para o modelo de propagação do espaço livre, da tela de difração (Maciel, Bertoni e Xia), de Hata, Hata Modificado e o modelo de Londres (Ibrahim e Parsons), cujas perdas de percursos PL são dadas, respectivamente, por (1), (2), (8), (20) e (21). Os parâmetros comuns a todos os modelos são mantidos constantes, a não ser que estejam sendo avaliados. Assim, vamos estabelecer que a frequência f de análise é igual a 900 MHz, a altura da antena da ERB  $h_b$  é igual a 30 metros e altura da antena móvel  $h_m$  é de 1,5 metros. Para o modelo da tela de difração, sempre utiliza-se  $b = 15$ ,  $s = 40$  e  $w = 20$  metros. No modelo de Hata modificado, fixam-se valores de parâmetros para uma cidade grande em área urbana, ou seja,  $U = 1$ ,  $U_r = 1$  e  $B_1 = 15,848 \%$ . No modelo de Londres, o fator de ocupação do terreno é dado por  $L = 50 \%$ , o fator de urbanização por  $U = 16 \%$  e a diferença de altura entre grades por  $H = 0$ .

A Fig. 5 mostra a influência de cada modelo de propagação na eficiência de reuso de frequência, considerando a variação do número de anéis da grade celular. Os resultados para uma perda de percurso de  $1/d^\gamma$ , com  $\gamma$  igual a 2, 3 e 4, são mostrados para efeito de comparação. Nota-se que cada modelo de propagação apresenta resultado particular para o fator F. Resultados similares são apresentados no modelo do espaço livre e para uma lei de perda de percurso de  $1/d^2$ . Os modelos de Hata, Hata modificado e da tela de difração podem ser modelados com expoentes de propagação entre 3 e 4. Os maiores resultados do fator F foram alcançados pelo modelo de Londres e são bem maiores do que os obtidos para um sistema modelado com  $\gamma = 4$ .

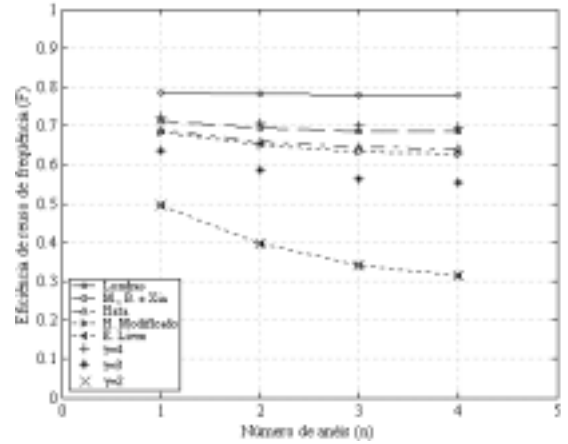


Fig. 5 – Comportamento do fator F para cada modelo de propagação.

As Figs. 6 e 7 mostram o comportamento da eficiência de reuso em função, respectivamente, da variação da altura da antena fixa e da frequência do sistema. Na Fig. 6 pode-se notar que o fator F cai quando a altura da antena aumenta, pois antenas maiores estão propícias a receber mais interferências externas. Verifica-se também que os modelos de Hata e Hata modificado são mais sensíveis às mudanças na altura da ERB do que o modelo da tela de difração. A Fig. 7 demonstra que o fator F aumenta quando a frequência também aumenta, já que frequências maiores apresentam maior perda de percurso. Entretanto, nota-se uma variação lenta de F com relação à frequência.

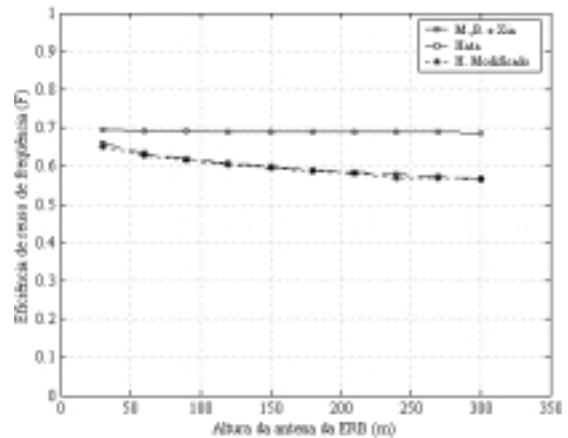


Fig. 6 – Variação do fator F em função da altura da antena da ERB.

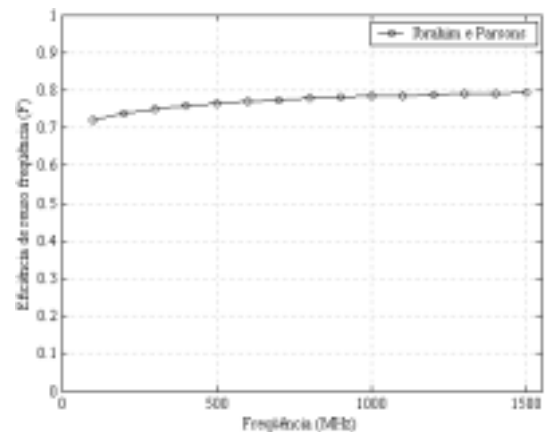


Fig. 7 – Variação do fator F em função da frequência.

## V. CONCLUSÕES

A técnica adotada aqui foi de grande importância, já que propôs o uso de modelos de radiopropagação na determinação da eficiência de reuso, em vez do tão utilizado modelo de  $1/d^{\gamma}$ . Com isso, pode-se analisar a influência de parâmetros como frequência e altura de antena fixa, até então não estudados.

Pode-se notar que cada modelo de propagação determina um nível diferente para o fator F. O modelo de Londres apresentou os maiores resultados para F e o do espaço livre os menores. Em relação à altura da antena da ERB, notou-se que a sua elevação contribuiu para a queda do reuso de frequência. Também foi verificado que sistemas com frequências elevadas tendem a ter maior capacidade. Também é importante ressaltar que nem todos os modelos apresentaram variação do fator F com relação a esses dois parâmetros. Isso se deve ao tipo de formulação de cada modelo, onde nesses casos a frequência e a altura da ERB não contribuíram para a mudança dos valores F.

O estudo também pode incorporar dados de medições específicas, ou modelos de propagação adaptados para uma determinada cidade, de modo que o sistema pode ser projetado com uma maior precisão.

## REFERÊNCIAS

- [1] P. Newson e M. R. Heath, "The capacity of a spread spectrum CDMA system for cellular mobile radio with consideration of system imperfections", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, pp. 673-684, maio 1994.
- [2] Z. Wan e H. H. Xia, "Simulation results on CDMA PCS system performance", *IEEE 44th Vehicular Technology Conf.*, Estocolmo, Suécia, pp.17-20, 1994.
- [3] T. W. Wong e V. K. Prabhu, "Optimum sectorization for CDMA 1900 base stations", *IEEE 47th Vehicular Technology Conf.*, Arizona, EUA, 1997.
- [4] C. G. Kang, M. Taeg. Lim e K. S. Jeong, "Frequency reuse efficiency under reverse-link closed-loop power control with unequal cell loading in a CDMA cellular system", *IEICE Transactions Communication*, vol. E83-B, n. 6, pp. 1366-1369, Junho de 2000.
- [5] H. B. Mendonça e A. G. d'Assunção, "Análise da eficiência de reuso de frequência no enlace reverso de um sistema DS-CDMA", V Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo - CBMag 2002, pp. 1-4, Novembro de 2002.
- [6] T. S. Rappaport e L. B. Milstein, "Effects of radio propagation path loss on DS-CDMA cellular frequency reuse efficiency for the reverse channel", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 41, n. 4, pp. 231-242, agosto 1992.
- [7] K. Siwiak, "Radiowave propagation and antennas for personal communications", Artech House, 326 p., 1995.