

CAPÍTULO 2

O estudo da perda de propagação em ambiente *indoor* segue dois métodos principais: método empírico e método determinístico. No método empírico, a maioria dos modelos caracteriza a perda de percurso *indoor* tal como no espaço livre, expoente de perda de percurso fixado em 2, e adiciona os fatores de perdas relativas ao número de pisos n_f e paredes n_w interceptadas pela distância d em linha reta entre os terminais transmissor e receptor, para caracterizar o ambiente *indoor* [13].

No método determinístico, a teoria de traçados de raios, que utiliza a teoria geométrica da difração, tem sido aplicada na predição determinística de propagação *indoor*. Esse método, que consiste em se determinar todos os possíveis raios entre o transmissor e o receptor, possui com desvantagem o grande tempo computacional utilizado e o grande número de detalhamento requerida para o ambiente. Contudo os mesmos modelos determinísticos podem ser usados para fornecer um discernimento dos fenômenos principais que afetam a propagação dentro de edifícios.

A seguir serão apresentados alguns modelos de perda de propagação, tanto empíricos como determinístico.

2.1 – MODELOS EMPÍRICOS

2.1.1 - Modelo do fator Piso e Parede

Nesse modelo o expoente de perda de percurso é fixado em 2, tal como no espaço livre, e à perda do espaço livre adicionam-se os fatores de perdas relativas ao número de pisos n_f e paredes n_w interceptadas pela distância em linha de reta d entre os terminais. Assim[13]:

$$L = L_1 + 20 \log d + n_f a_f + n_w a_w \quad (2.1)$$

onde a_f e a_w são fatores de atenuação (em dB) por piso e por parede, respectivamente, e L_1 é a perda em $d = 1\text{m}$.

2.1.2 – Modelo ITU –R

Uma aproximação similar é dada por um modelo da ITU-R [ITU, 1238], exceto que somente a perda devido ao piso é considerada explicitamente. A perda entre pontos do mesmo andar é incluída implicitamente pela mudança no expoente da perda de percurso. Considera-se que a variação com a frequência é a mesma do espaço livre, produzindo o seguinte modelo de perda de percurso total (em dB)[13]:

$$L_T = 20 \log f_c + 10 n \log d + L_f(n_f) - 28 \quad (2.2)$$

onde n é o expoente da perda de percurso (Tabela 2.1) e $L_f(n_f)$ é perda de penetração no piso, que varia com o número de pisos penetrados n_f (Tabela 2.2).

Tabela 2.1 : Expoentes n da perda de percurso para o modelo da ITU-R (2.2)^a[13]

Frequência [GHz]	Ambiente		
	Residencial	Escritório	Comercial
0,9	-	3,3	2,0
1,2 - 1,3	-	3,2	2,2
1,8 - 2,0	2,8	3,0	2,2
4,0	-	2,8	2,2
60,0	-	2,2	1,7

^a O valor de 60 GHz foi aplicado somente dentro de uma única sala para distâncias menores que 100 m, desde que não haja perda de transmissão nas paredes ou não esteja incluída a absorção gasosa.

Tabela 2.2: Fator de penetração nos pisos, $L_f(n_f)$ [dB] para o modelo da ITU-R (2.2)^a
[13].

Frequência [GHz]	Ambiente		
	Residencial	Escritórios	Comercial
0,9	-	9 (1 andar)	-
		19 (2 andares)	
		24 (3 andares)	
1,8 - 2,0	$4 n_f$	$15 + 4 (n_f - 1)$	$6 + 3 (n_f - 1)$

^a Note que a perda de penetração pode ser superestimada para grandes números de andares, por razões descritas na seção 2.4.1. Valores de perda para outras frequência não são dadas.

2.1.3 - Modelos de Multi - Parede COST231

Esse modelo de perda de percurso *indoor* [COST 231, 98] incorpora uma componente linear de perda, proporcional ao número de paredes penetradas, mais um termo mais complexo que depende do número de andares penetrados. Produzindo uma perda que aumenta lentamente com o aumento do número do andar depois que o primeiro for adicionado[13]:

$$L_T = L_F + L_c + \sum_{i=1}^w L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{((n_f+2)/(n_f+1)-b)} \quad (2.3)$$

onde L_F é a perda no espaço livre para o percurso em linha reta entre o transmissor e o receptor, n_{wi} é o número de paredes do tipo i atravessadas pelo percurso direto, w é número de tipos de paredes, L_{wi} é a perda de penetração para uma parede do tipo i , n_f é o número de pisos atravessados pelo percurso, b e L_c são constantes obtidas empiricamente e L_f é a perda por andar. Alguns valores recomendados para 1800 MHz são $L_w = 3,4$ dB para paredes finas; 6,9 dB para paredes grossas; $L_f = 18,3$ dB e $b = 0,46$. Para a frequência de 900 MHz encontrou-se $L_f = 136,164$ dB e $b = 1$. A perda no piso, isto é, o último termo na (2.3), é mostrado na Figura 2.1. Note que a perda adicional por andar diminui com o aumento do número de andares.

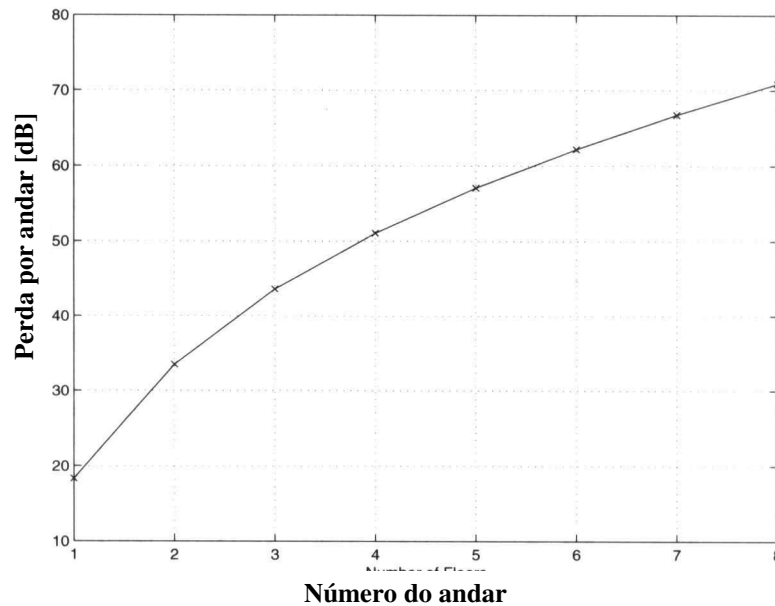


Figura 2.1 - Perda por andar para o modelo de multi - parede COST231[13].

2.1.4 - Modelo Ericsson

Nesse modelo, desenvolvido para ser usado em torno de 900 MHz, a perda de percurso, incluindo sombreamento, é considerada como sendo uma variável aleatória, uniformemente distribuída entre limites que variam com a distância como indicado na Tabela 2.3. O expoente da perda de percurso varia de 2 até 12 com o aumento da distância, indicando um decrescimento muito rápido da potência do sinal com a distância. Uma predição típica do modelo é mostrado na Figura 2.2. O modelo pode ser estendido para um uso a 1800 MHz pela adição de 8,5 dB de perda de percurso extra para todas as distâncias [6].

Tabela 2.3 - Modelo Ericsson de propagação *indoor* [13].

Distância (m)	Limite inferior da perda de	Limite superior da perda de
	percurso [dB]	percurso [dB]
$1 < r < 10$	$30 + 20 \log r$	$30 + 40 \log r$
$10 \leq r < 20$	$20 + 30 \log r$	$40 + 30 \log r$
$20 \leq r < 40$	$-19 + 60 \log r$	$1 + 60 \log r$
$40 \leq r$	$-115 + 120 \log r$	$-95 + 120 \log r$

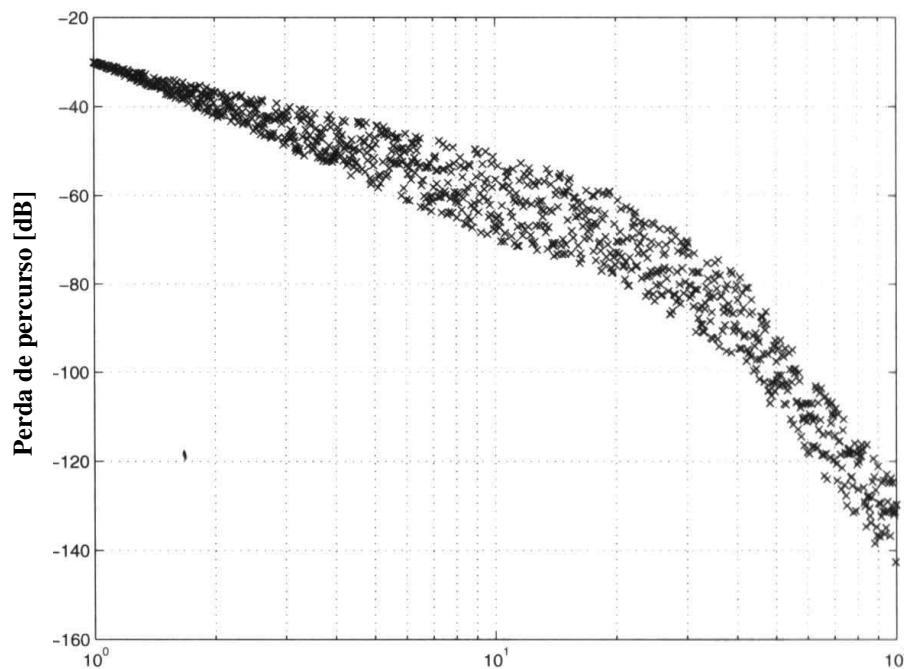


Figura 2.2 - Predição no modelo de perda de percurso da Ericsson dentro de edifícios[13].

2.2 - MODELOS DETERMINÍSTICOS

Assim como na predição microcelular, traçados de raios e teoria geométrica de difração têm sido aplicados na predição determinística de propagação *indoor*. Isso pode ser usado para predição em locais específicos, contanto que detalhes suficientes da geometria do edifício e material utilizado na construção do mesmo estejam disponíveis. Técnicas de predição eletromagnéticas mais avançadas, tais como diferenças finitas no domínio do tempo (FDTD) são, também, utilizadas em alguns casos. Tais modelos também fornecem informação de banda larga e a estatística de propagação de multipercurso diretamente. Mas, assim como nos modelos determinísticos de propagação microcelular, existem limitações no uso de modelos determinísticos para a predição prática de picocélulas devido à dificuldade de obter e usar dados físicos suficientemente precisos. Esses problemas são particularmente significantes para ambientes *indoor*, onde a influência da mobília e a movimentação das pessoas (e variação no tempo) podem ter um significativo efeito na cobertura. Dentre os métodos determinísticos, a principal aproximação de predição da propagação em ambiente *indoor* é o traçado de raios, por isso, será estudado com um pouco mais de profundidade [13].

2.2.1 – Traçados de Raios

Traçados de raios é um método computacional comumente utilizado para prever as características de um canal de rádio para um local específico dos sistemas de comunicação *wireless*. Esse método provê um alto nível de detalhamento na caracterização

dos canais de multipercurso fazendo com que esse método seja particularmente atraente para o ambiente de propagação *indoor*. Porém, alguns aspectos na implementação desse método devem ser considerados cuidadosamente no modelamento da propagação *indoor* ou a precisão do método pode decair.

No método de traçados de raios todos os possíveis percursos de raios entre o transmissor e o receptor em um canal de multipercurso são considerados. Uma vez que todos os percursos foram identificados, técnicas eletromagnéticas de alta frequência (tal como a teoria uniforme da difração) são aplicadas aos raios para calcular a amplitude, fase, atraso e polarização de cada raio[14]. Esse método utiliza, também, o princípio da óptica geométrica, onde raios discretos são considerados ao longo do percurso de propagação do transmissor ao receptor. Em geral, essa consideração é válida quando o comprimento de onda é pequeno quando comparado às dimensões dos objetos no ambiente de propagação, “aproximação de alta frequência”. Devido a essa inerente aproximação de alta frequência, a precisão do método pode depender, entre outras coisas, do tamanho dos espalhadores locais quando comparados com o comprimento de onda de operação. Esse é um assunto particularmente importante em ambientes de propagação *indoor*, onde as dimensões das mobílias podem estar na ordem do comprimento de onda de operação, especialmente nas mais baixas frequências dos sistemas de comunicação pessoal [900 MHz ($\lambda \approx 34$ cm) e 1800 MHz ($\lambda \approx 17$ cm)] [15]. Para esses casos um outro método vem sendo estudado, a aproximação de Rayleigh-Gans [3].

A técnica de traçado de raios inerentemente provê tempo de atraso e ângulo da informação de chegada para as condições de recepção de multipercurso. Isso é importante porque os sinais banda larga, utilizados em muito sistemas de comunicação modernos, são particularmente sensíveis ao detrimento dos efeitos de distorção e dispersão de multipercurso, que pode produzir um canal seletivo na frequência (ou canal de freq. Seletiva).

As técnicas de traçados de raios e teoria uniforme da difração são amplamente utilizadas no modelamento da propagação de rádio em locais específicos para aplicações *wireless*. As ferramentas de *software* que utilizam tais técnicas podem ter um tempo de computação considerável na análise das condições de propagação em um dado ambiente até mesmo para pequenos movimentos do terminal móvel. Vários métodos estão sendo pesquisados com a finalidade de reduzir esse tempo computacional (por exemplo, o método das imagens). A fim de que o método se torne mais eficiente.

Essa dissertação tem como objetivo propor um modelo empírico de propagação para ambientes *indoor*, assim como avaliar as previsões fornecidas pelos modelos empíricos descritos nesse capítulo. Para tanto, uma campanha de medição foi realizada e no capítulo seguinte o *set up* de medição será descrito.