

CAPÍTULO 2 – MEDIÇÕES EM AMBIENTE INDOOR

2.1 - Introdução

O desempenho das comunicações sem fio em prédios é limitado pelas características de perda de percurso. Dessa forma, é importante entender como o meio físico influencia o meio de propagação no prédio.

O presente trabalho apresenta análises estatísticas de medições de perda de percurso na frequência de 890,07 MHz dentro de um prédio de escritórios de 09 (nove) andares (cuja análise utilizou 06 (seis) andares para estudo) e então classifica as medidas baseadas no ambiente físico.

Foram utilizados modelos determinísticos da forma d^n para relacionar a perda de percurso médio ao logaritmo da distância, sendo d a distância entre o transmissor e o receptor, e n o expoente de perda de percurso médio, o qual indica quão rápido a perda de percurso cresce com a distância, por exemplo ($n = 2$ para o espaço livre). Valores do expoente de perda de percurso médio n são encontrados para cada tipo de prédio. Em prédios de multipisos, a predição torna-se mais precisa quando é possível tratar o parâmetro n como uma função do número de pisos entre o transmissor e receptor.

Para medições no prédio de escritórios considerado, quando o transmissor e o receptor estão localizados no mesmo piso, ou não, a perda de percurso médio causada por divisórias de escritório e paredes de concreto entre o transmissor e receptor foi quantificada. Isto fornece um modelo de propagação físico adequado que é mais preciso que o modelo estatístico mais geral que considera somente a distância entre o transmissor e o receptor, e não informações específicas do ambiente.

2.2 – Ambiente *Indoor* analisado

Há uma grande diferença com relação à atenuação do sinal de rádio entre diferentes tipos de materiais comumente usados em construção de prédios. Estudos têm mostrado que na frequência de 850 MHz, a atenuação pode variar de

aproximadamente 1 dB para paredes feitas de vidro e compensado, e chegar a 40 dB para uma parede grossa ou piso de concreto armado [5].

O prédio de escritórios utilizado para as medições tem 09 andares, sendo que foram analisados apenas 06 andares. Esses andares são divididos com divisórias e paredes de concreto. As partições móveis são assim chamadas desde que elas possam ser facilmente realocadas.

A área de cada andar do prédio é de 39,5 m (comprimento) x 18,4 m (largura), sendo que em cada andar há janelas de vidro, corredores e mobílias.

2.3 – Configuração da antena

Vários fabricantes projetam antenas para uso *indoor*. A principal diferença no projeto de novas antenas é o tamanho. Antenas *indoor* são projetadas para serem tão discretas quanto possíveis, e o tamanho e forma são as principais restrições.

A antena transmissora utilizada no prédio foi uma antena *indoor* omnidirecional, como mostrada na Figura 2.1.



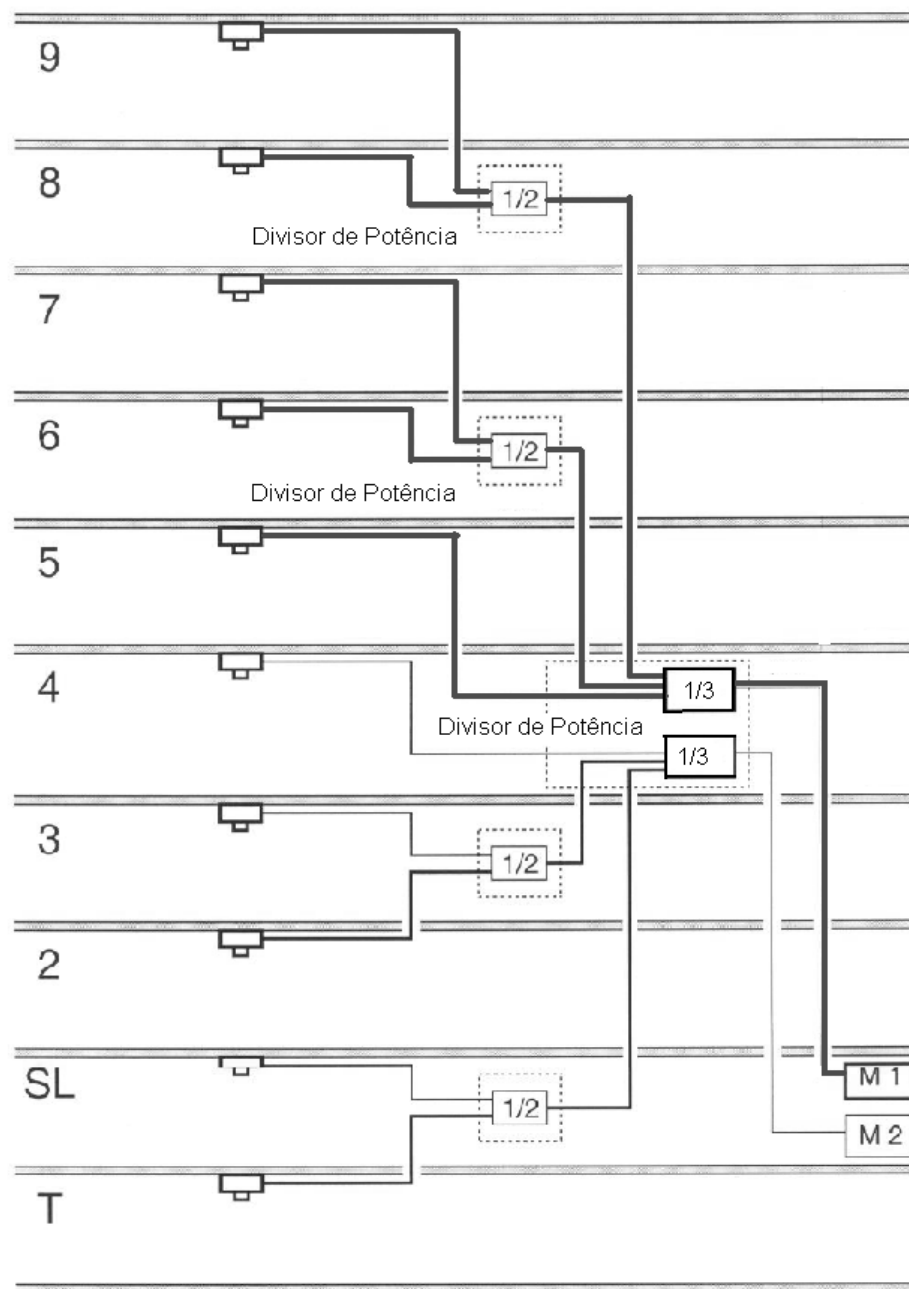
Figura 2.1 – Antena omnidirecional usada no prédio

A configuração das antenas para a aplicação *indoor* utilizada nesse prédio é de antenas distribuídas ligadas por uma rede de cabos de RF (Rádio Frequência) coaxiais.

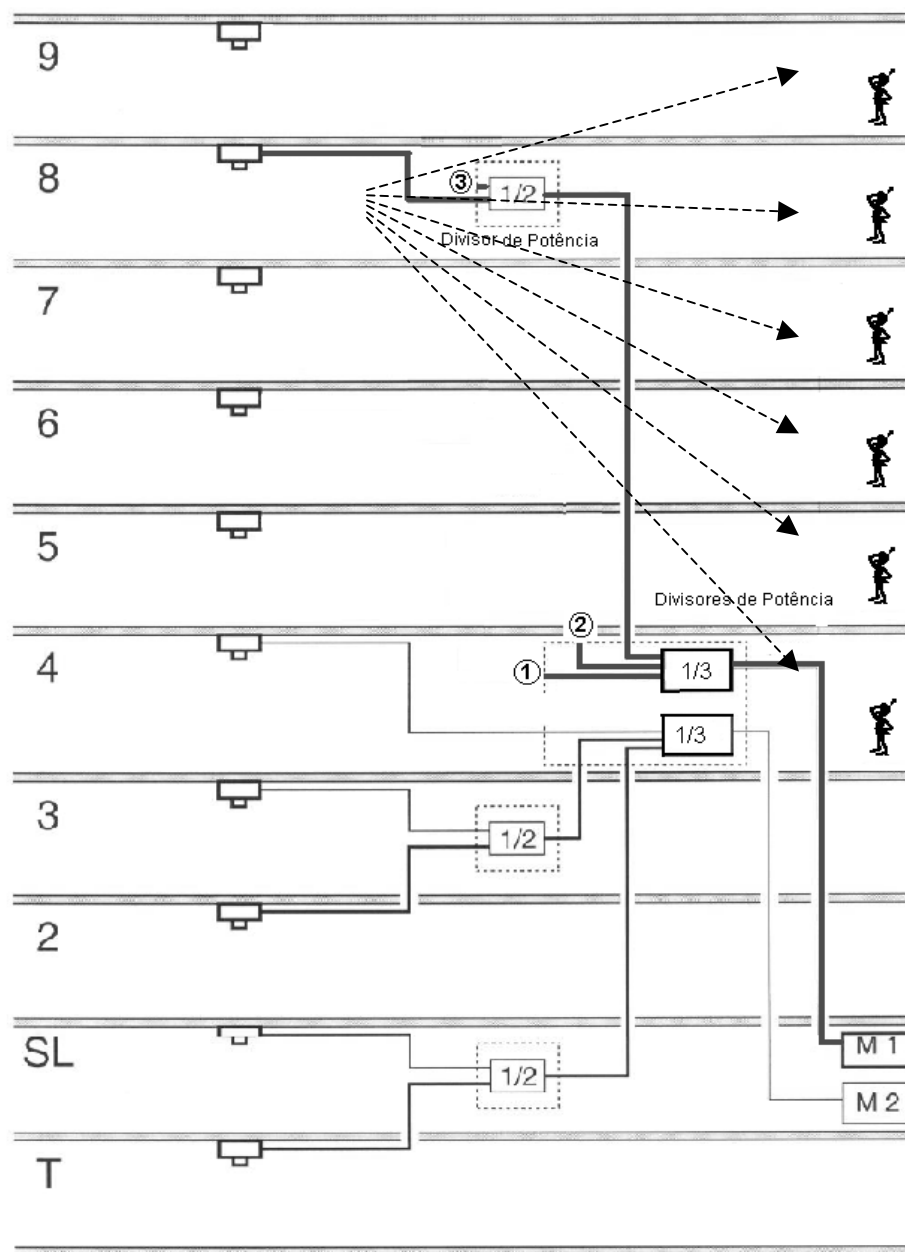
Com esta configuração, o prédio é dividido dentro de áreas de cobertura, cada uma servida de um sistema de antenas distribuídas que é instalado através do prédio, conforme ilustrado na Figura 2.2(a). Para prédios de tamanho e forma

retangulares, uma antena da estação base omnidirecional situada centralmente no teto de um andar é a posição recomendada para a antena *indoor* de forma que possa cobrir o piso inteiro. O sistema de antenas distribuídas reduz também o número de estações base [5].

Para o emprego de um sistema de antenas distribuídas é necessário o uso de divisores de potência. Os divisores de potência são utilizados para combinação de antenas de forma a se obter formatos de irradiação particulares ou ainda, como no caso empregado, para distribuição do sinal, formando um sistema de antenas *indoor*. Os divisores de potência dividem igualmente a potência sobre as portas de saída. Um divisor de potência de duas saídas, $1/2$ (lê-se: um para dois, como mostrado na Figura 2.2(b)) tem uma atenuação básica de 3 dB e o de três saídas $1/3$ basicamente 5 dB e assim por diante ($10 \cdot \log(X)$ para X saídas). A Figura 2.3 ilustra divisores de potência conforme empregados no sistema de distribuição de antenas do prédio.



(a)



(b)

Figura 2.2- (a) Sistema de antenas distribuídas utilizadas usualmente em prédios de escritórios. (b) Configuração utilizada neste trabalho.

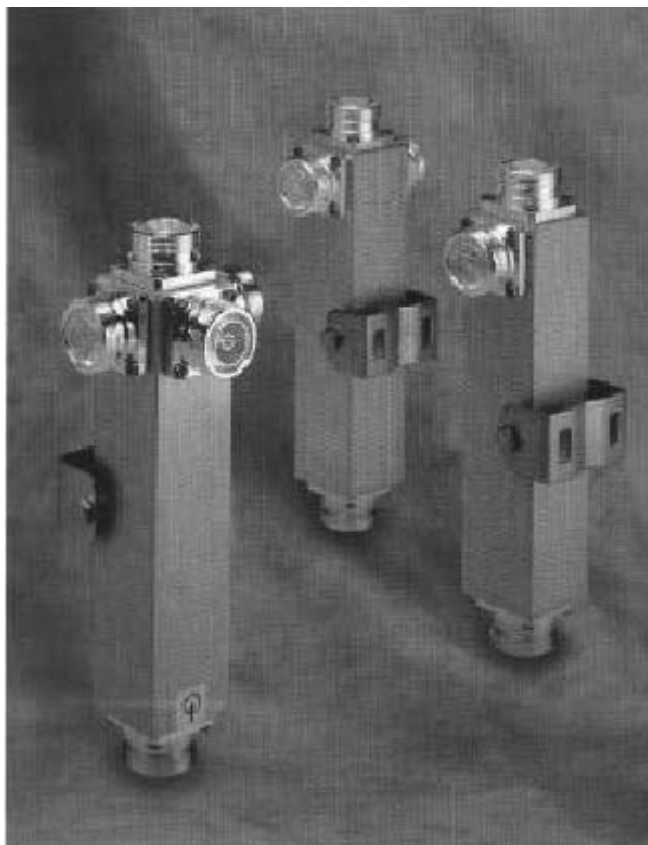


Figura 2.3 – Exemplo de divisores de potência

2.4 - Equipamento

O sistema utilizado para a realização das medições de intensidade de sinal foi constituído de um receptor, uma antena monopolo e um equipamento para coleta de dados, como mostra a Figura 2.4, este equipamento possui um *software* que permite a coleta de intensidade de sinal na frequência que foi escolhida para a medição, que é de 890,07 MHz ($f=0,03*\text{Canal}+870$, Canal=669 – Banda A), assim como permite configurar como entrada a planta baixa de cada andar em que será realizada a coleta do sinal, para auxiliar na locomoção e referência do operador que for realizar a medição *indoor*.

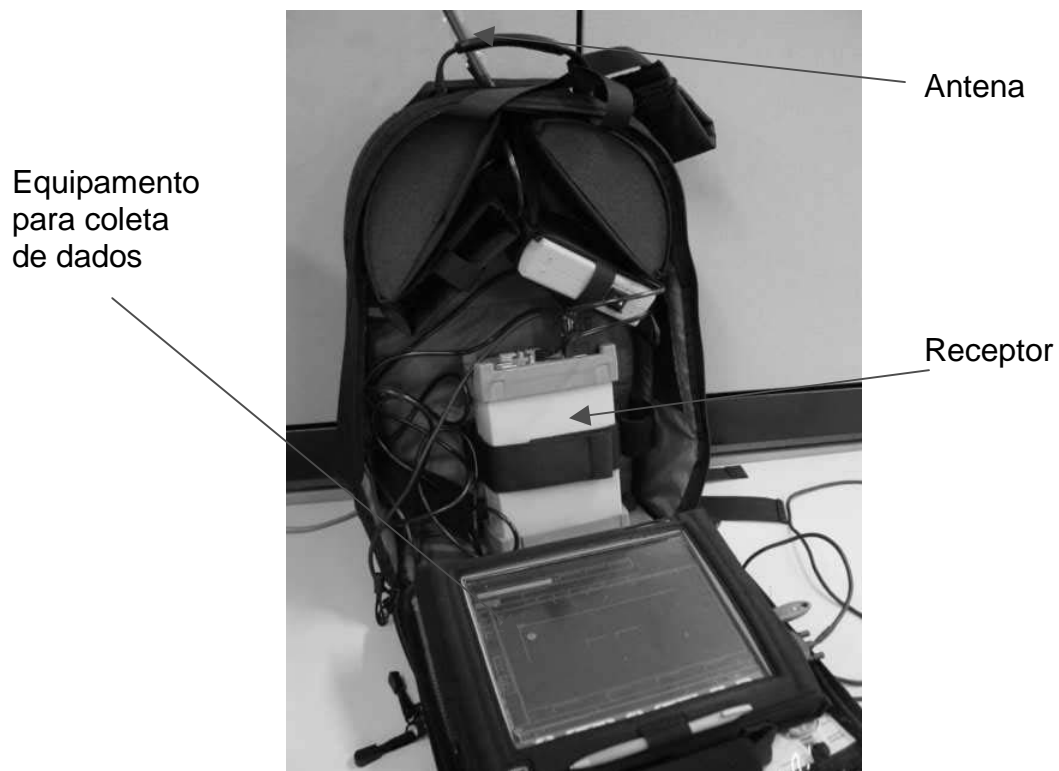
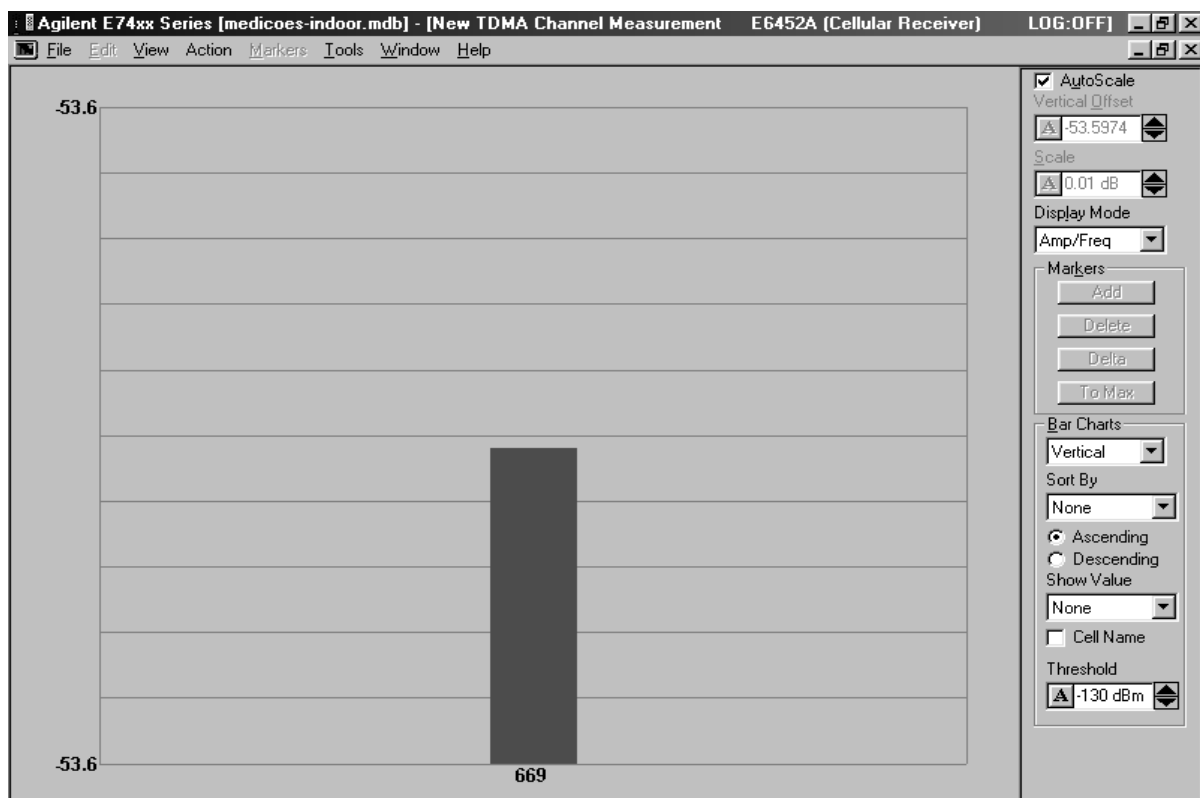
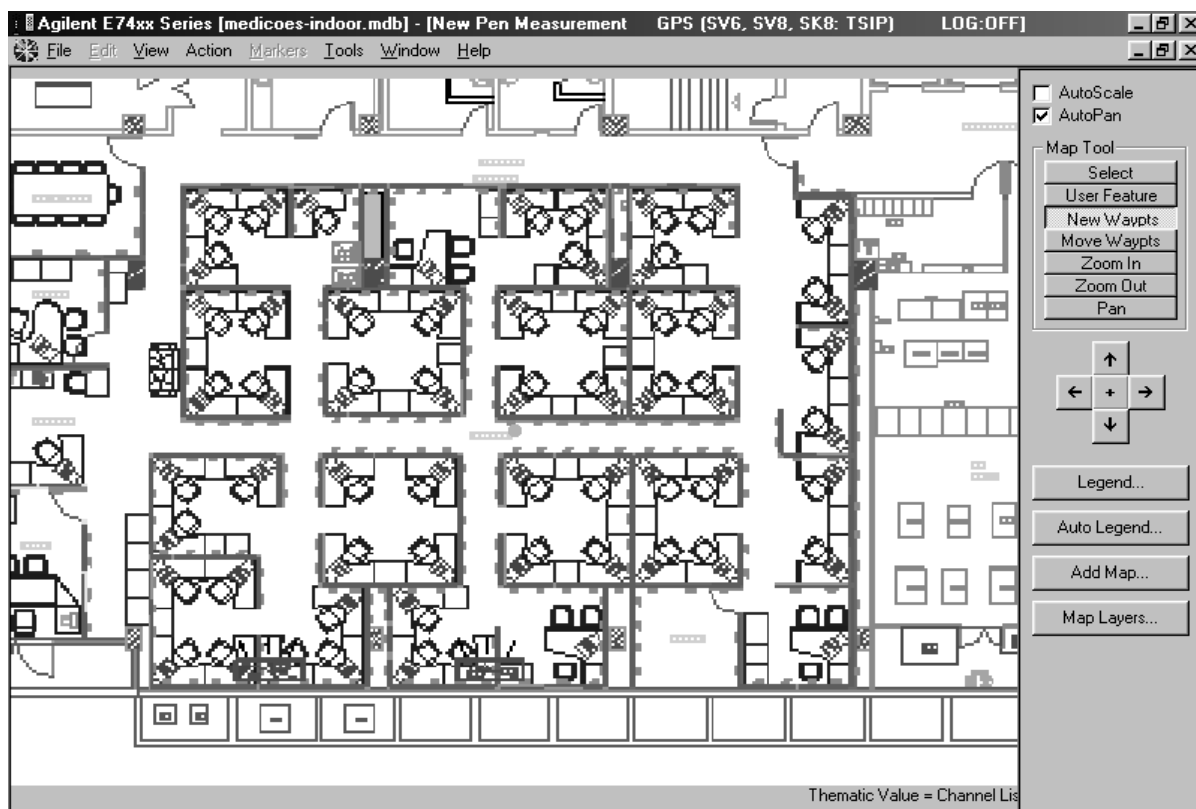


Figura 2.4 – Equipamento usado para medição *indoor*



(a)



(b)

Figura 2.5 – Telas do programa de coleta de dados – (a) Tela de medida do canal; (b) Tela de inserção do mapa para acompanhamento das medidas.

Utilizou-se também um equipamento HP 8921A *Cell Site Test Set*, um equipamento para teste de ERBs para medir a potência efetiva irradiada (EIRP) na antena, conforme mostra a Figura 2.6. O cabo de RF que chega na antena transmissora é conectado ao equipamento e mediu-se a potência do sinal no canal 669 de + 5,7 dBm.

Utilizou-se como medida o TDMA *Channel Measurement* (Medição de Canal TDMA), esta medida trata da medição de potência de canal. A medida de potência do canal reporta a potência total do sinal integrada através de uma largura de banda de canal especificada.



Figura 2.6 – HP 8921A Cell Site Test Set

2.5 - Procedimentos das Medições

Medições de intensidade de sinal foram feitas no Canal 669 (em 890,07 MHz) com o equipamento para uso *indoor*. A microcélula (ERB) estava configurada com uma potência de 1 W em sua saída, um sinal de 3,7 mW foi transmitido por uma antena monopolo de um quarto de comprimento de onda omnidirecional com plano de terra em uma altura de 2,4 m acima do piso. A altura da antena do receptor móvel omnidirecional estava a 1,50 m acima do piso. A posição do receptor móvel foi continuamente gravada tal que os modelos de propagação de meio específico pudessem ser avaliados a partir dos dados coletados.

O procedimento baseou-se nos seguintes passos:

- 1) Isolamento de uma fonte transmissora, através da conexão de duas cargas casadas de 50 ohms nos divisores de potência do 4º andar, identificadas pelos pontos 1 e 2 da Figura 2.2b, que bloquearam a chegada do sinal nas antenas do 5º, 6º e 7º andares, após isso se colocou uma outra carga no divisor de potência do 8º andar, bloqueando assim o sinal na antena do 9º andar, desta forma, trabalhou-se apenas com uma antena, a do 8º andar.
- 2) Bloqueio da Micro ERB M1 – após a escolha do canal, no caso o 669, foram bloqueados os canais adjacentes 668 e 670 em toda o sistema, para que não houvessem problemas de interferência e ativação apenas do transmissor em questão neste canal, evitando desta forma a possibilidade de receber alguma conversação.

- 3) Escolha das rotas de medição: as medições foram feitas nos corredores do 9º, 7º, 6º, 5º e 4º andares. No 8º andar foram consideradas quatro rotas em linha de visada e duas rotas em corredores. Um andar acima e quatro abaixo para empregar o modelo que considera a influência dos pisos.
- 4) A análise dos dados coletados, através da comparação entre os valores medidos e os valores preditos.

2.6 - Modelos de Predições de Perda de Percurso

Neste trabalho foram analisados somente três modelos, considerados os mais significantes para comunicações *indoor* e descritos a seguir.

2.6.1 - Modelo de Perda de Percurso de Fator de Atenuação de Piso e Parede

Nesse modelo, a perda de percurso *indoor* é caracterizada por um expoente fixado em 2, tal como no espaço livre, além disso adicionam-se fatores de perdas relativos ao número de pisos n_f e paredes n_w interceptadas pela distância em linha reta d , que é a distância rádio entre o transmissor e o receptor calculada através da altura da antena e distância do transmissor e receptor, entre os terminais [6]. Assim:

$$L = L_1(d_o) + 10.n.\log\left(\frac{d}{d_o}\right) + n_f.a_f + n_w.a_w$$

Como $n = 2$:

$$L = L_1(d_o) + 20\log\left(\frac{d}{d_o}\right) + n_f.a_f + n_w.a_w \quad (2.1)$$

sendo que

a_f e a_w são fatores de atenuação (em dB) por piso e parede, respectivamente, e L_1 a perda em uma distância de referência. O parâmetro d_o é a distância referente à primeira medida coletada.

2.6.2 - Modelo ITU-R

Uma outra aproximação é dada por um modelo da ITU-R [7], sendo que neste modelo somente a perda devido ao piso é considerada. 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 percurso total (em dB) [6]:

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

sendo

f_c a frequência da portadora, n o expoente da perda de percurso (Tabela 2.1) e $L_f(n_f)$ a 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 [6].

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

Tabela 2.2 - Fator de penetração nos pisos, $L_f(n_f)$ [dB] para o modelo da ITU-R [6]¹.

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

¹ Nota-se que a perda de penetração pode ser superestimada para grandes números de andares. Valores de perda para outras frequências não são dados.

2.6.3 - Modelos de Multi-Paredes COST 231

Esse modelo de perda de percurso *indoor* incorpora uma componente linear de perda, proporcional ao número de paredes penetradas, além de um termo mais complexo que depende do número de andares penetrados, produzindo dessa forma uma perda que aumenta lentamente com o aumento do número de andares depois que o primeiro foi adicionado [6]:

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

sendo L_F a perda no espaço livre para o percurso em linha reta entre o transmissor e o receptor, n_{wi} o número de paredes de diversos tipos, representado pelo índice i , atravessadas pelo percurso direto, w número de tipos de paredes, L_{wi} a perda de penetração para uma parede do tipo i , n_f o número de pisos atravessados pelo percurso. Os parâmetros b e L_C são constantes obtidas empiricamente e L_f a perda por andar. Para a frequência de 890,07 MHz encontrou-se $L_C = 125,8$ dB e $b = 1$. (Encontraram-se estes valores da seguinte forma, tomou-se como referência o piso do 8º andar, b foi mantido fixo em 1 e variou-se L_C até alcançar um valor de perda predito próximo ao medido, este valor foi adotado para todos os outros andares). A perda adicional por andar diminui com o aumento do número de andares.