

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE E ADEQUAÇÃO DOS MODELOS ÀS MEDIÇÕES *INDOOR*

3.1 - Introdução

Neste capítulo são analisadas as medidas obtidas nos andares do prédio de escritórios escolhido e comparadas com perda fornecida pelos modelos empíricos utilizados objetivando-se validar algum deles.

3.2 – Ambiente de Medição

Como já foi mencionada, a campanha de medições ocorreu em um prédio de escritórios, em 06 (seis) dos seus 09 (nove) andares. O prédio tem suas paredes, tetos e pisos de concreto. As paredes externas possuem janelas de vidro em todo o seu comprimento. Internamente há divisórias, mobílias, todos considerados fatores de atenuação do sinal irradiado. Essas divisórias entre as salas e os corredores são constituídas de madeira. A altura do pé direito é de 2,4 m. A antena estava localizada no teto e centralizada no andar.

Foram realizadas 10 (dez) rotas de medição, conforme ilustrado nas Figuras 3.1 a 3.10. Sendo que o transmissor estava fixo no 8º Andar conforme descrito na Figura 2.2(b).

A antena transmitia um sinal do canal 669 de +5,7 dBm na frequência de 890,07 MHz. Tanto a antena transmissora quanto a receptora apresentam ganho igual a 0 (zero) dB.

3.3 - Análise dos dados obtidos

Os dados obtidos durante as medições foram a intensidade de sinal do canal 669 (que foi escolhido para ser a portadora ativa, com o bloqueio de suas adjacentes) e a distância percorrida.

Foram consideradas as perdas de penetração com relação ao piso e parede, baseadas na Tabela 3.1 [8].

Tabela 3.1 -Perda de Penetração Média

Material (espessura de paredes ou pisos)	Perda média em relação ao espaço livre (dB)	
	Polarização Vertical	Polarização Horizontal
Tijolo (36 cm)	5,97	0,97
Madeira (3 cm)	6,11	5,78
Concreto (20 cm)	16,95	13,84
Argamassa Armada (5 cm)	46,09	49,95

Os dados coletados durante a campanha de medição com polarização vertical, foram comparados com as perdas de percurso calculadas através dos modelos empíricos escolhidos.

A seguir, a comparação entre as perdas fornecidas pelos modelos empíricos e pelas medições para cada rota.

A distância do receptor ao transmissor foi calculada usando programas baseados no Matlab 6.1 (estes programas estão no anexo).

3.3.1 – Rota do corredor do 9º andar

A medida nessa rota ocorreu a uma distância de 7 m na horizontal da posição relativa a antena no 8º andar.

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1) utilizada, aqui reescrita:

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

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 7,2284 m (primeira medida) igual a 48,6 dB. No corredor do 9º andar foi considerada a perda de quatro divisórias de madeira e de um piso acima do 8º andar, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $a_f = 16,95$ dB para piso de concreto, $n_w = 4$, e $n_f = 1$.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 48,6 + 20 \cdot \log(d/7,2284) + (1 \cdot 16,95) + (4 \cdot 6,11)$$

Equação do **Modelo ITU-R (2.2)**:

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=9$ dB para um andar de acordo com a Tabela 2.2.

Aplicando-se esses valores na equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_t = 20 \log(890,07) + 33 \log(d) + 9 - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231 (2.3)**:

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

L_F é a perda no espaço livre e é função dos ganhos das antenas e da frequência, L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 6,11 dB para as divisórias de madeira e L_f vale 16,95 dB e $n_w = 4$, e $n_f = 1$.

Aplicando-se a equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

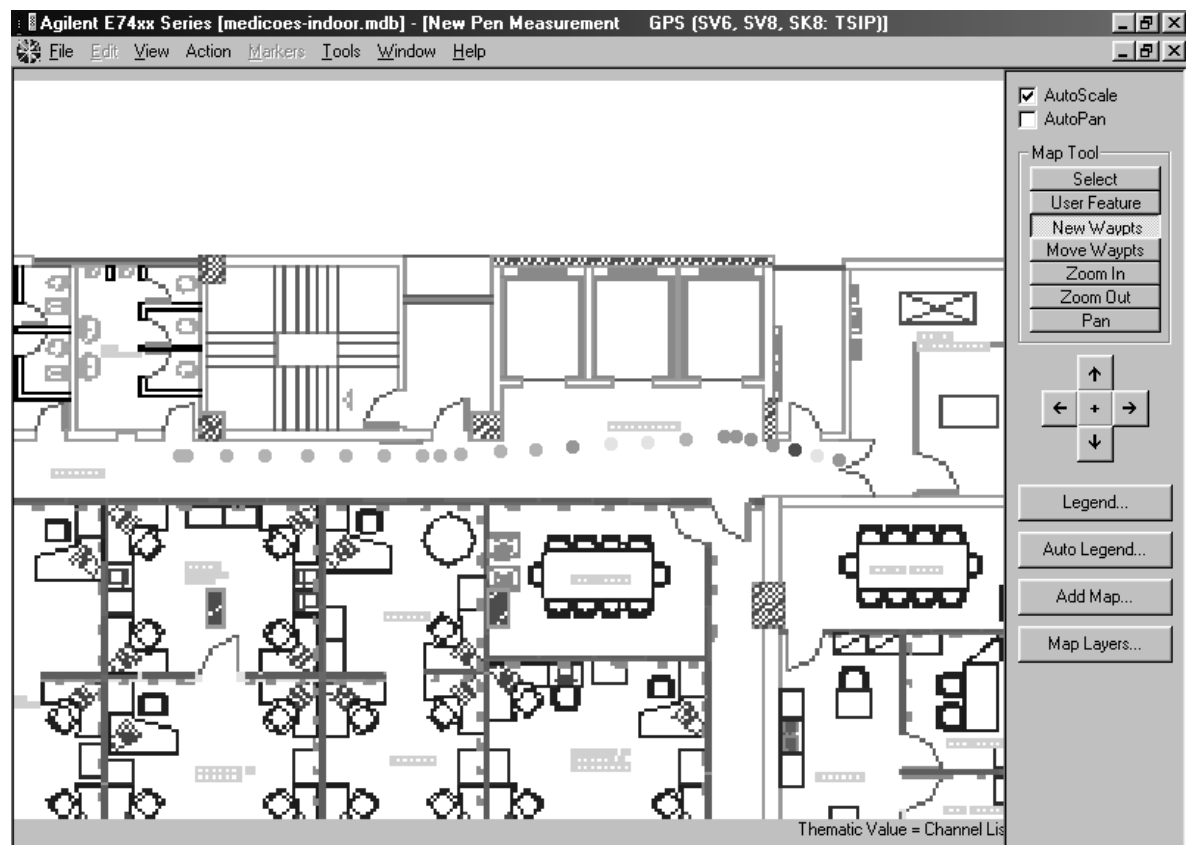
$$L_F = 10 \log P_T / P_R = 10 \log \left(G_T * G_R * \left(\frac{c}{4\pi f d} \right)^2 \right) = 20 \log \left(\frac{4\pi}{c} \right) + 20 \log f$$

$$+ 20 \log d - 10 \log G_T - 10 \log G_R$$

$$L_F = -88,5715 + 20 \log(d)$$

$$L = -88,5715 + 20 \log(d) + 125,8 + (4 * 6,11) + (1 * 16,95)^{((1+2)/(1+1)-1)}$$

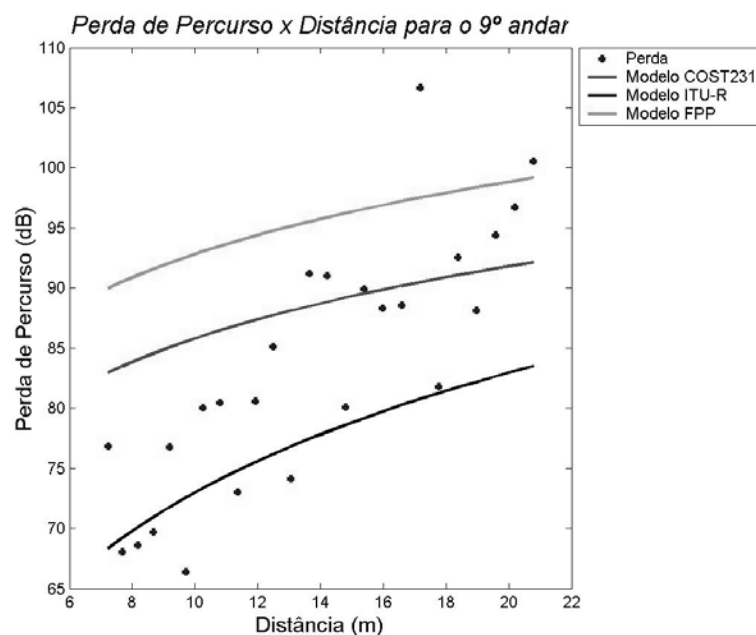
A seguir são apresentadas as curvas comparativas entre os modelos utilizados e os dados experimentais obtidos nas rotas programadas.



Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
9º Andar

■	-75 a 0	(12)
■	-85 a -75	(6)
■	-95 a -85	(6)
■	-105 a -95	(1)
■	-121 a -105	(0)

(a)



(b)

Figura 3.1 – (a) Rota do corredor do 9º andar; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 9º andar.

Tabela 3.2 – Estatística do erro para a rota do corredor do 9º andar

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	6,97	7,94	9,09
Modelo FPP	6,98	7,01	8,58
Modelo COST231	5,09	6,12	7,25

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 9º andar está demonstrada na Figura 3.1(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.2.

Observou-se nesta rota, como pode ser vista na Figura 3.1(a), uma variação do sinal na área próxima aos elevadores, o que é devido ao material dos mesmos, produzindo um ganho ou perda no sinal devido a sua diferença de fase. Para este trabalho não foi levado em consideração.

Analisando a Figura 3.1(b) e a Tabela 3.2 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede apresentou um erro maior com relação aos demais, isto se deve ao fato que esse modelo trata de maneira igual os tipos de paredes,

considerando dessa forma que o sinal atravessa apenas um tipo de parede. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R, a razão talvez seja a constante que foi utilizada ou também as constantes do meio material envolvido no percurso de propagação do sinal. O melhor resultado apresentado foi o do Modelo COST-231, visto que este modelo tem uma maior flexibilidade com relação aos demais, pois possui constantes obtidas empiricamente em busca de um melhor ajuste dos dados preditos aos medidos.

3.3.2 –Rota LoS no 8º andar

A medida nesta rota, no mesmo piso do transmissor, apresenta melhores condições de visada.

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 1,3902 m (primeira medida) igual a 31,4 dB. Neste andar foi considerada a perda de uma divisória de madeira, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $n_w = 1$, e $n_f = 0$, pois o receptor estava no mesmo piso do transmissor.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 31,4 + 20 \cdot \log(d/1,3902) + (1 \cdot 6,11)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=0$.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

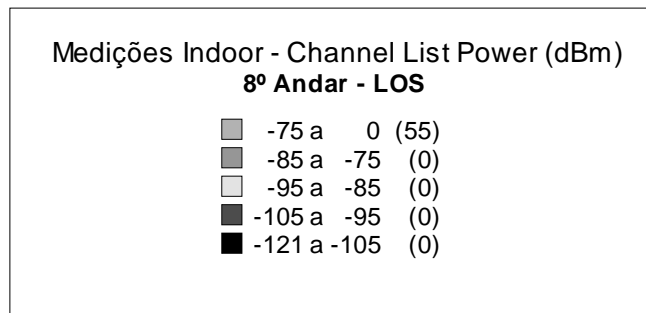
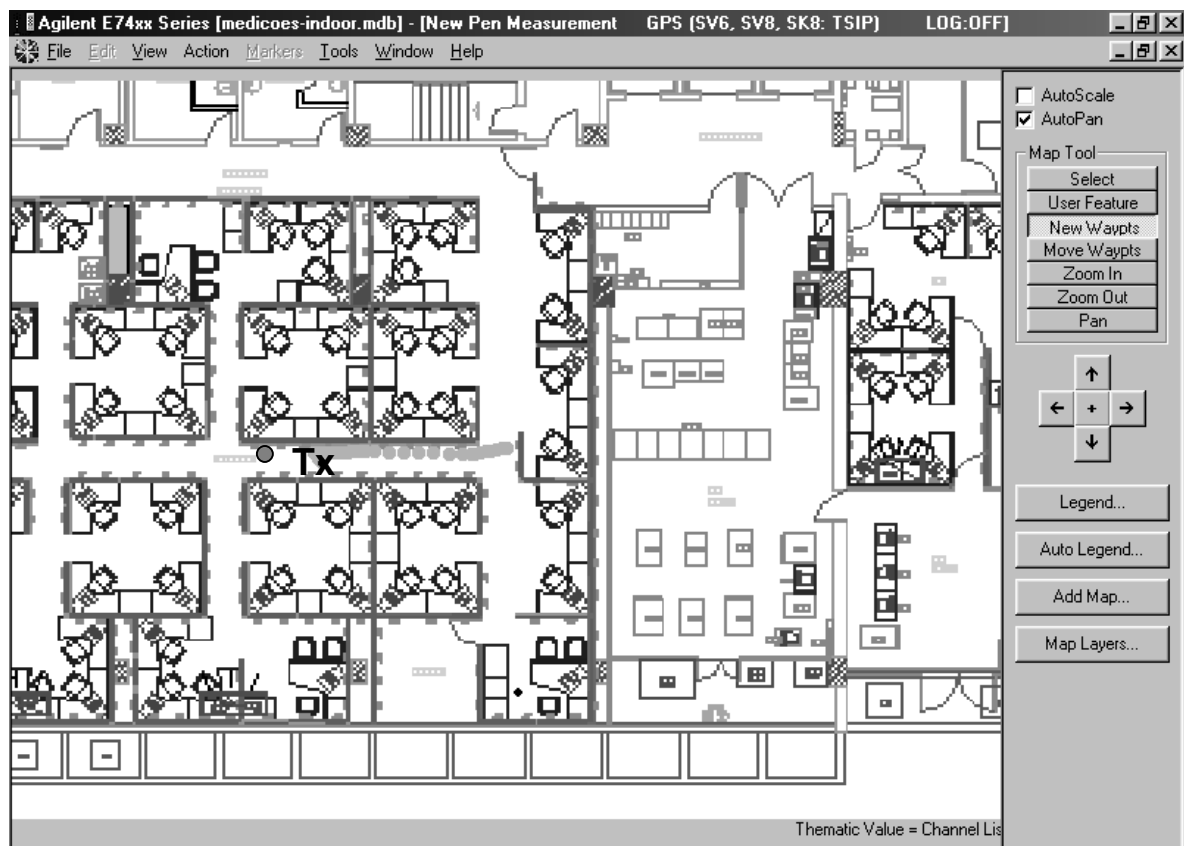
$$L_T = L_F + L_C + \sum_{i=1}^w L_{wi} n_{wi} + L_f n_f^{((nf+2)/(nf+1)-b)}$$

L_c foi ajustado para 125,8 dB neste andar que serviu de referência, pois o transmissor estava fixo nele, e b para 1. L_w vale 6,11 dB que é a perda da madeira, $n_w = 1$, e $n_f = 0$.

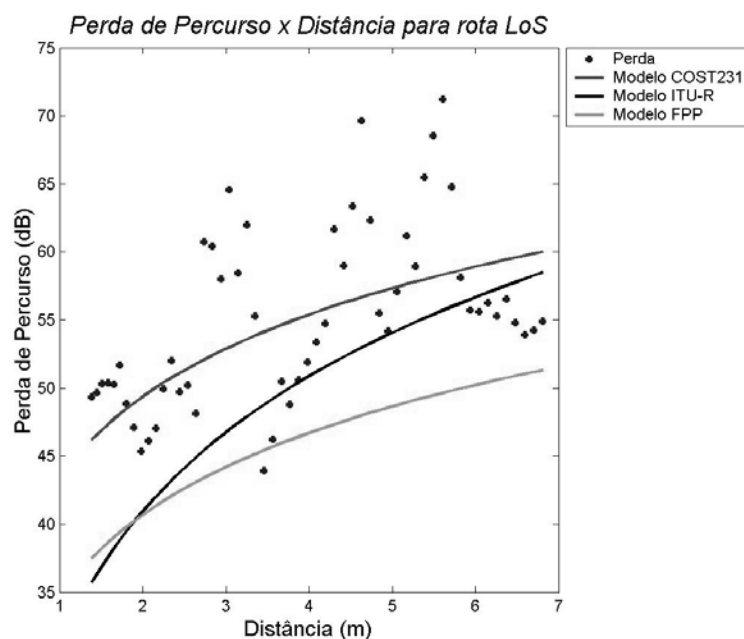
A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

$$L = -88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (1 \cdot 6,11)$$

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota LoS do 8º andar está demonstrada na Figura 3.2(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.3.



(a)



(b)

Figura 3.2 – (a) 8º andar - Rota LoS; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para o 8º andar - Rota LoS.

Tabela 3.3 – Estatística do erro para o 8º andar – Rota LoS

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	4,67	5,74	6,84
Modelo FPP	6,66	7,03	8,44
Modelo COST231	3,89	4,64	5,88

Observou-se nesta rota mostrada na Figura 3.2(a) que o sinal se comportou bem pois estava em linha de visada, apresentando um desvanecimento lento.

Analisando a Figura 3.2(b) e a Tabela 3.2 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R e o melhor foi o Modelo COST-231.

3.3.3 – Rota 1 no 8º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 1,0344 m (primeira medida) igual a 31,72 dB. Neste andar foi considerada a perda de uma divisória de madeira, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, $n_w = 1$, e $n_f = 0$, pois o receptor estava no mesmo piso do transmissor.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 31,72 + 20 \cdot \log(d/1,0344) + (1 \cdot 6,11)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=0$.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

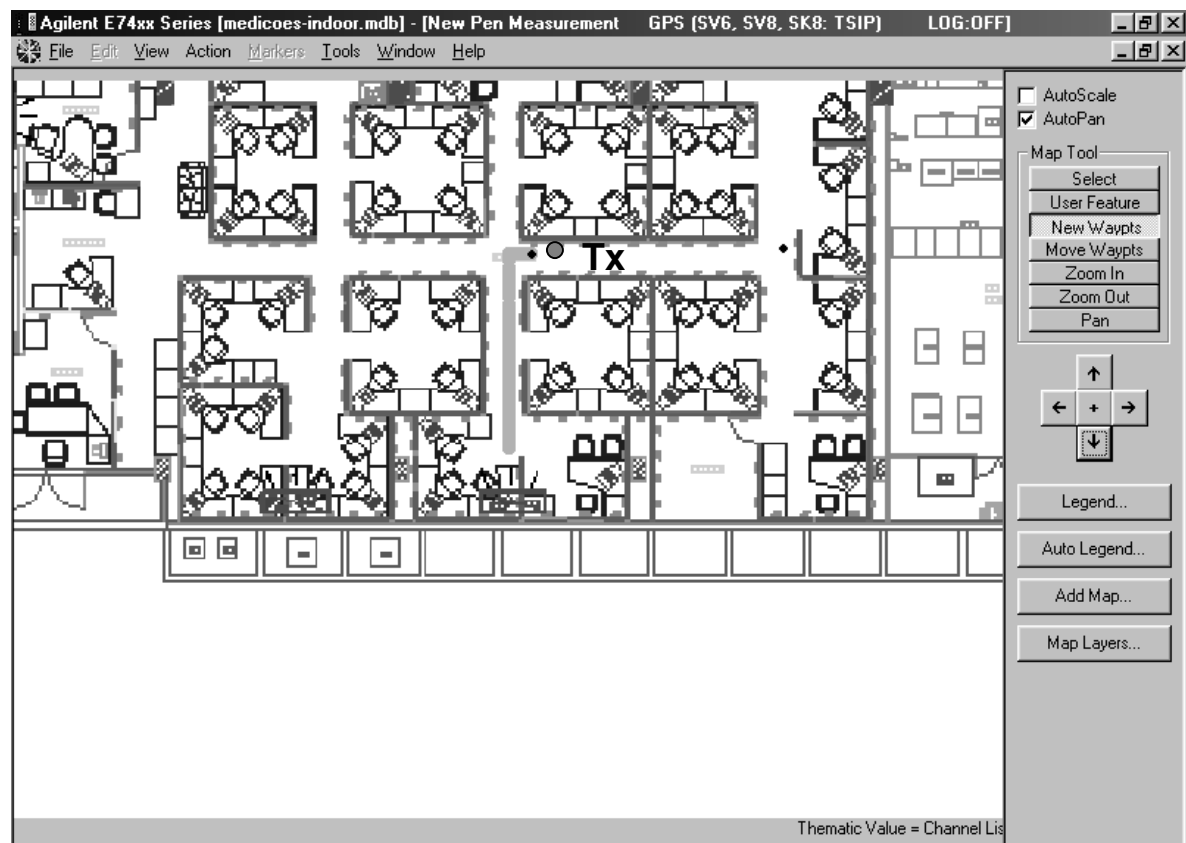
L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 6,11 dB que é a perda da madeira, $n_w = 1$, e $n_f = 0$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (1 \cdot 6,11)$$

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota 1 do 8º andar está demonstrada na Figura 3.3(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.4.

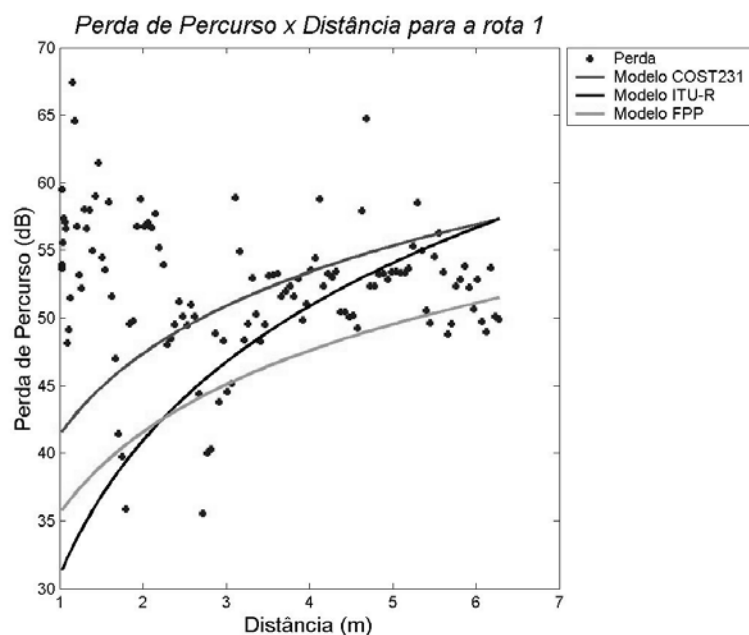
Observou-se nesta rota, mostrada na Figura 3.3(a), que o sinal se comportou bem pois estava em linha de visada, apresentando um desvanecimento lento.



Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
8º Andar - Rota1

■	-75 a 0	(119)
■	-85 a -75	(0)
■	-95 a -85	(0)
■	-105 a -95	(0)
■	-121 a -105	(0)

(a)



(b)

Figura 3.3 – (a) 8º andar – Rota 1; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para o 8º andar – Rota 1.

Tabela 3.4 – Estatística do erro para o 8º andar – Rota 1

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	3,76	5,11	6,08
Modelo FPP	4,07	4,80	6,02
Modelo COST231	3,17	4,34	5,39

Analisando a Figura 3.3(b) e a Tabela 3.4 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R assim sendo o melhor foi o Modelo COST-231.

3.3.4 – Rota 2 no 8º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 1,0296 m (primeira medida) igual a 31,68 dB. Neste andar $n_w = 0$ e $n_f = 0$, pois o receptor estava no mesmo piso do transmissor.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 31,68 + 20 \cdot \log(d/1,0296)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=0$.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

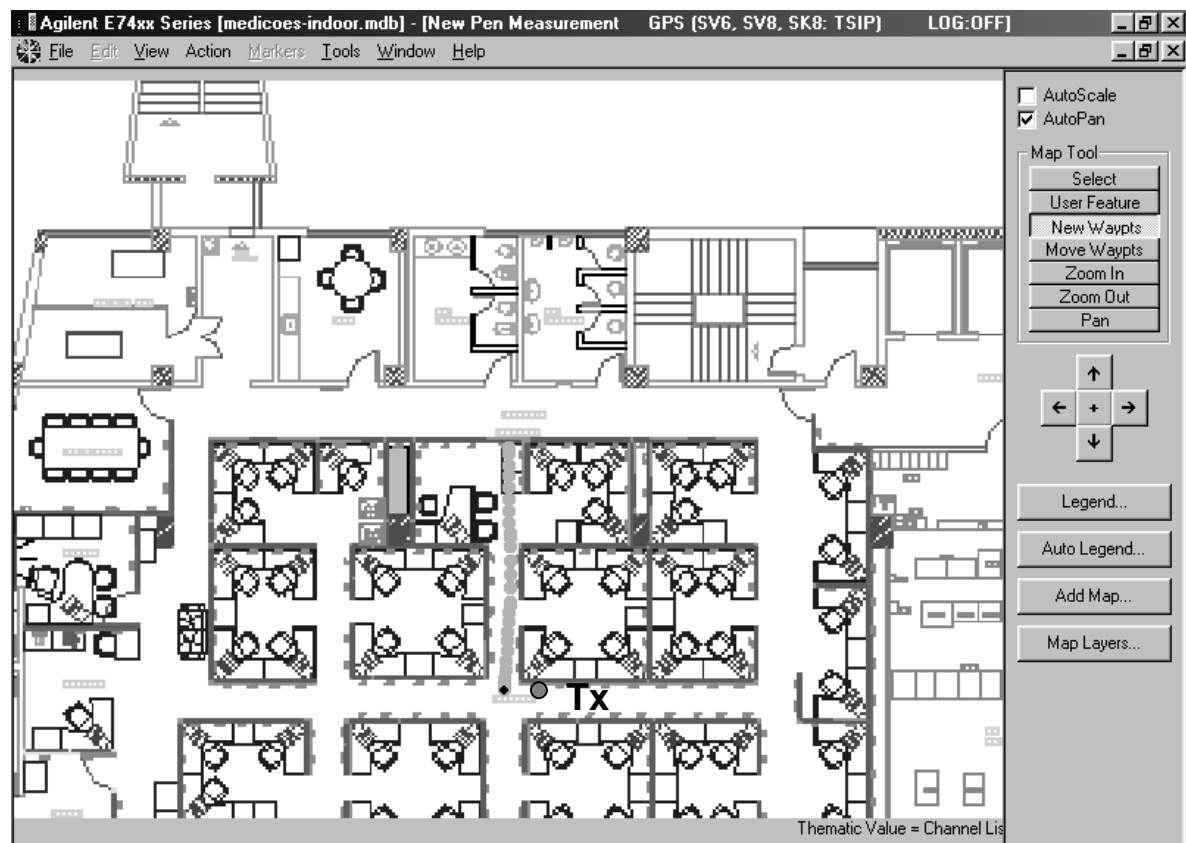
L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1, $n_w = 0$, e $n_f = 0$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8$$

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota 2 do 8º andar está demonstrada na Figura 3.4(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.5.

Observou-se nesta rota, Figura 3.4(a) que o sinal se comportou bem pois estava em linha de visada, apresentando um desvanecimento lento.



Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
8º Andar - Rota2

■	-75 a 0	(47)
■	-85 a -75	(0)
■	-95 a -85	(0)
■	-105 a -95	(0)
■	-121 a -105	(0)

(a)

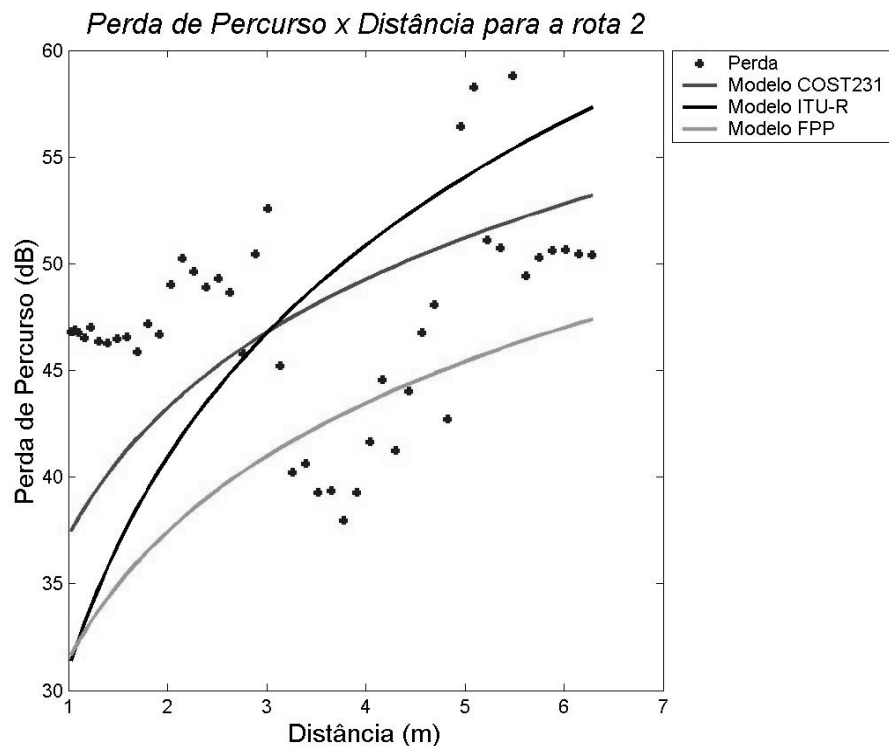


Figura 3.4 – (a) 8º andar – Rota 2; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para o 8º andar – Rota 2.

Tabela 3.5 – Estatística do erro para o 8º andar – Rota 2

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	5,36	5,07	6,84
Modelo FPP	4,63	5,17	6,51
Modelo COST231	3,96	4,04	5,60

Analisando a Figura 3.4(a) e a Tabela 3.5 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R, assim sendo o melhor foi o Modelo COST-231.

3.3.5 – Rota Corredor 1 no 8º andar

A medida nesta rota ocorreu no 8º andar, no mesmo piso do transmissor, desta forma tem-se melhores condições de visada. A distância do receptor ao transmissor foi calculada usando programas baseados no Matlab 6.1 (estes programas estão no anexo).

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 7,0576 m (primeira medida) igual a 48,4 dB. Neste andar foi considerada a perda de uma divisória de madeira, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $n_w = 1$, e $n_f = 0$, pois o receptor estava no mesmo piso do transmissor.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 48,4 + 20 \cdot \log(d/7,0576) + 1 \cdot 6,11$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=0$.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

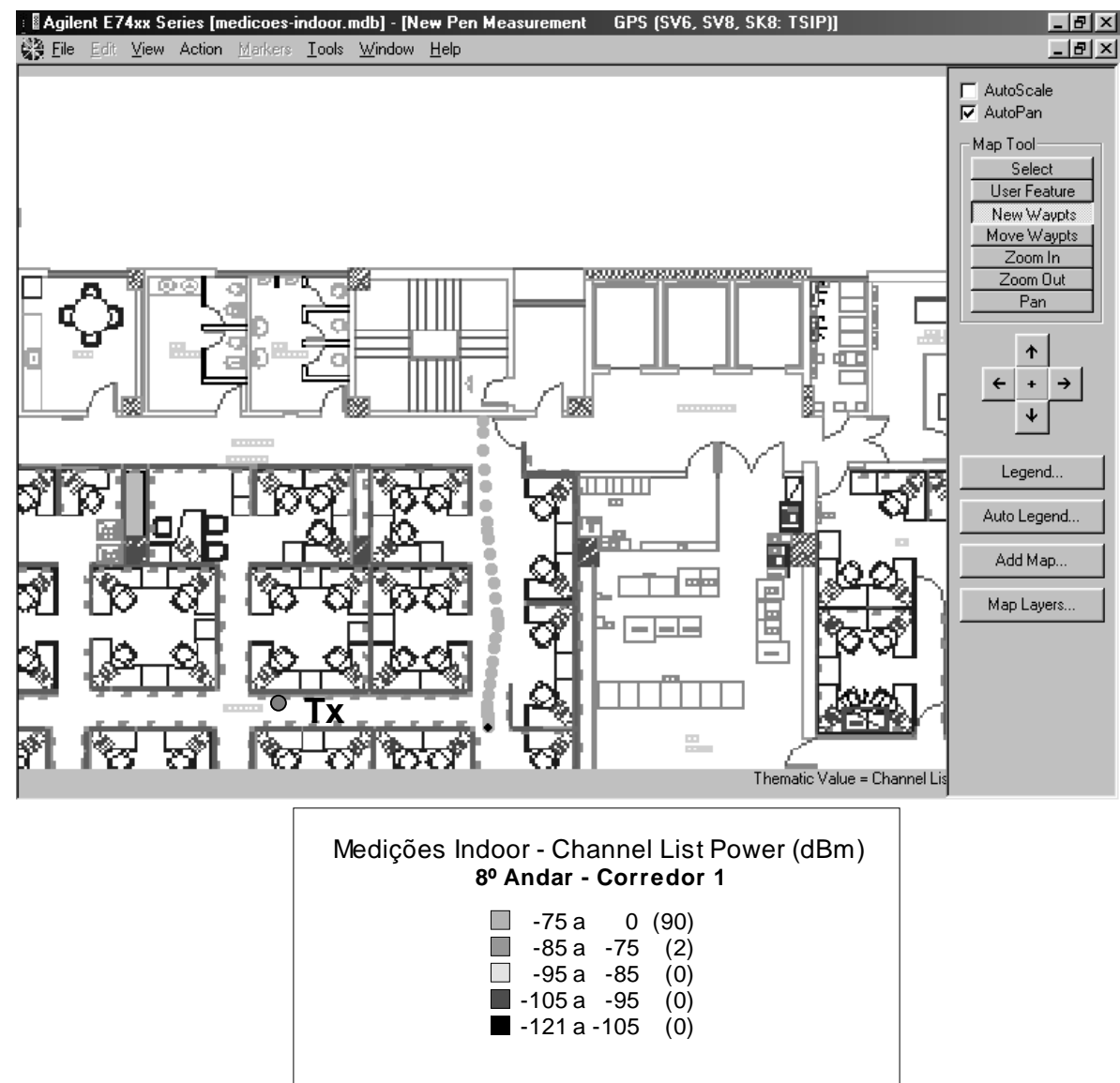
L_C foi ajustado para 125,8 e b para 1. L_w vale 6,11 dB que é a perda da madeira, $n_w = 1$, e $n_f = 0$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

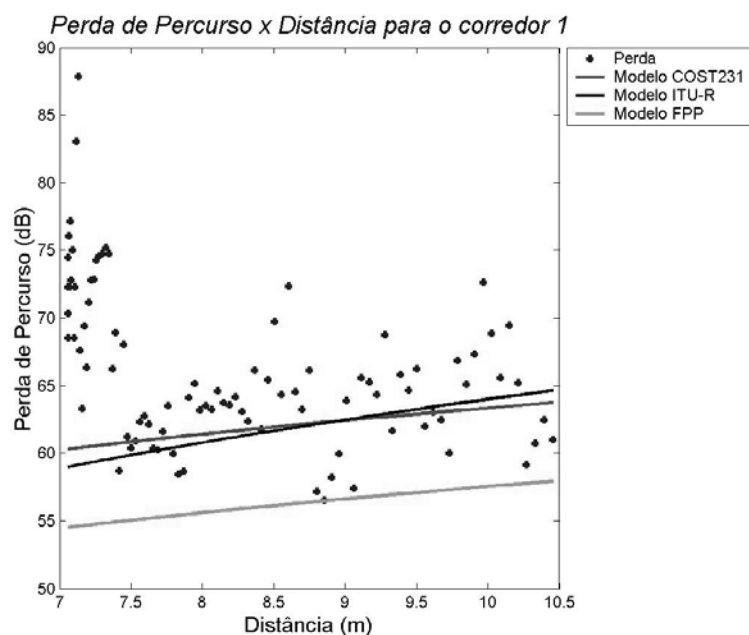
$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + 1 \cdot 6,11$$

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para o corredor 1 do 8º andar está demonstrada na Figura 3.5(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.6.

Observou-se nesta rota, Figura 3.5(a) que o sinal se comportou bem pois estava em linha de visada, apresentando um desvanecimento lento.



(a)



(b)

Figura 3.5 – (a) 8º andar – Corredor 1; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para o 8º andar – Corredor 1.

Tabela 3.6 – Estatística do erro para o 8º andar – Corredor 1

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	3,00	4,13	5,18
Modelo FPP	6,07	6,24	7,75
Modelo COST231	2,79	4,01	5,03

Analisando a Figura 3.5(b) e a Tabela 3.6 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R assim sendo o melhor modelo apresentado foi o Modelo COST-231.

3.3.6 – Rota Corredor 2 no 8º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 7,0576 m (primeira medida) igual a 48,4 dB. Neste andar foi considerada a perda de uma divisória de madeira, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $n_w = 1$, e $n_f = 0$, pois o receptor estava no mesmo piso do transmissor.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 48,4 + 20 \cdot \log(d/7,0576) + 1 \cdot 6,11$$

Equação do **Modelo ITU-R (2.2)**:

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=0$.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) - 28$$

Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231 (2.3)**:

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

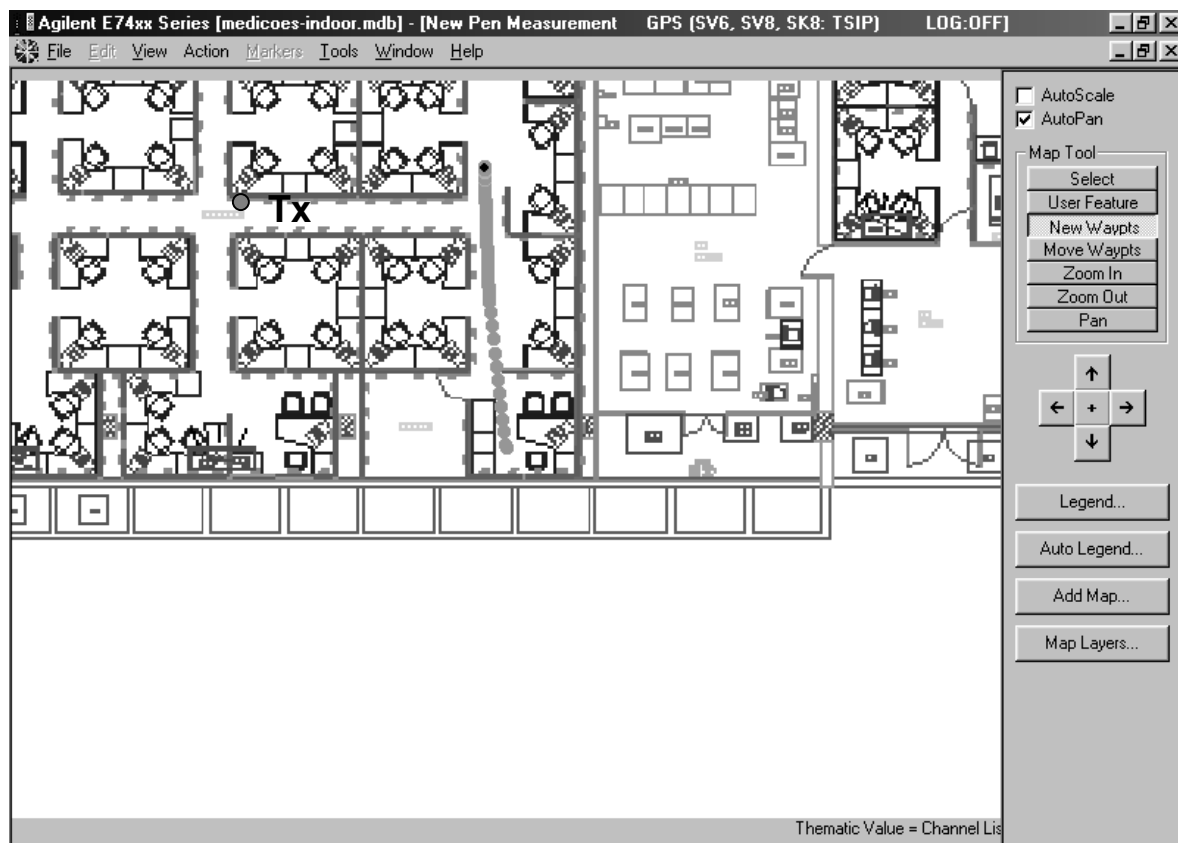
L_c foi ajustado para 125,8, e b para 1. L_w vale 6,11 dB que é a perda da madeira, $n_w = 1$, e $n_f = 0$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + 1 \cdot 6,11$$

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para o corredor 2 do 8º andar está demonstrada na Figura 3.6(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.7.

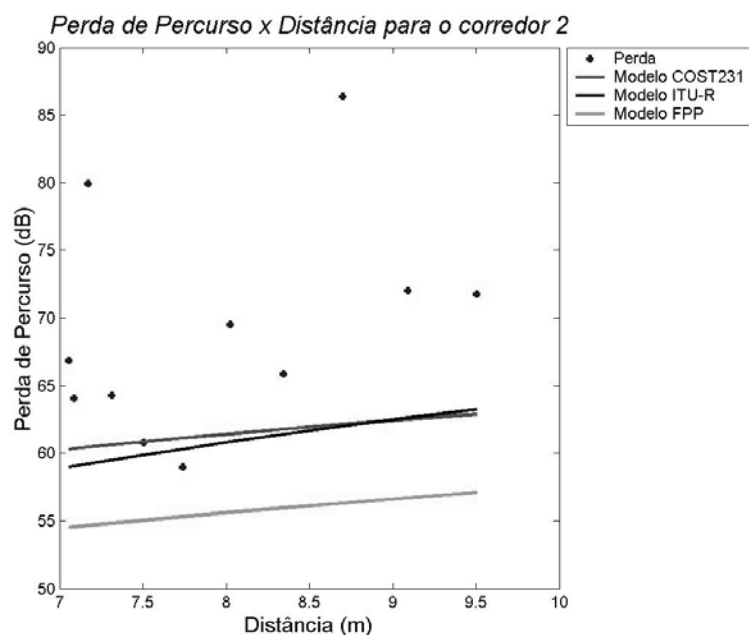
Observou-se nesta rota, mostrada na Figura 3.6(a), que o sinal se comportou bem pois estava em linha de visada, apresentando um desvanecimento lento.



Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
8º Andar - Corredor2

■	-75 a	0	(10)
■	-85 a	-75	(1)
■	-95 a	-85	(0)
■	-105 a	-95	(0)
■	-121 a	-105	(0)

(a)



(b)

Figura 3.6 – (a) 8º andar – Corredor 2; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para o 8º andar – Corredor 2.

Tabela 3.7 – Estatística do erro para a rota 8º andar – Corredor 2

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	7,06	8,32	9,33
Modelo FPP	8,98	9,38	10,78
Modelo COST231	6,95	8,31	9,28

Analisando a Figura 3.10 e a Tabela 3.11 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R, assim sendo o melhor modelo apresentado foi o Modelo COST-231.

3.3.7 – Rota do corredor do 7º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 7,8032 m (primeira medida) igual a 49,28 dB. No corredor do 7º andar foi considerada a perda de três divisórias de madeira abaixo do 8º andar, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $a_f = 16,95$ dB para piso de concreto, $n_w = 3$, e $n_f = 1$.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 49,28 + 20 \cdot \log(d/7,8032) + (1 \cdot 16,95) + (3 \cdot 6,11)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=9$ dB para um andar de acordo com a Tabela 2.2.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_t = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) + 9 - 28$$

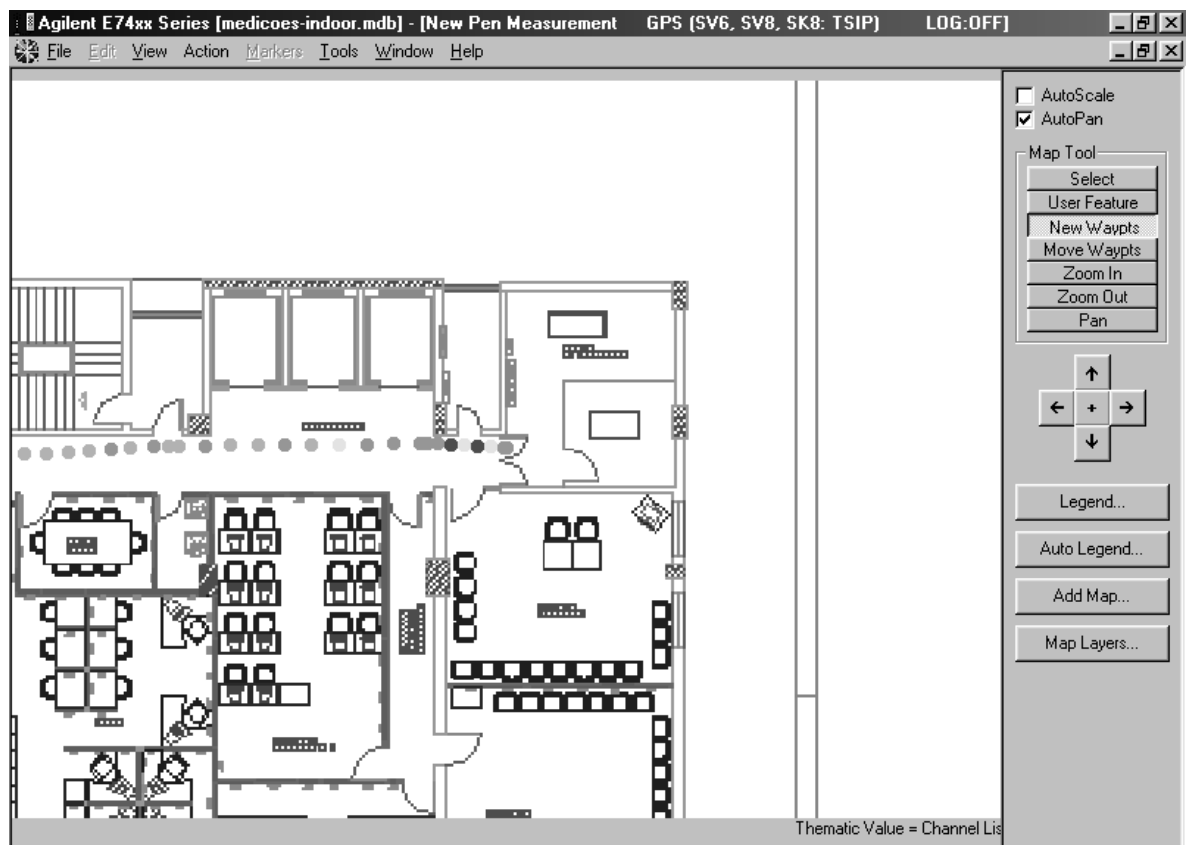
Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 6,11 dB para as divisórias de madeira e L_f vale 16,95 dB e $n_w = 3$, e $n_f = 1$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

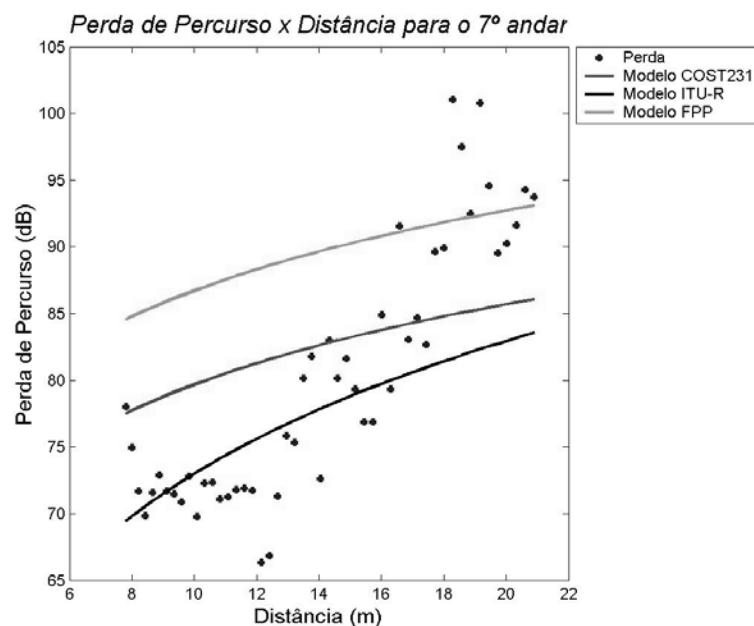
$$L_T = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (3 \cdot 6,11) + (1 \cdot 16,95)^{((1+2)/(1+1)-1)}$$



**Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
7º Andar**

■	-75 a	0	(30)
■	-85 a	-75	(11)
■	-95 a	-85	(7)
■	-105 a	-95	(2)
■	-121 a	-105	(0)

(a)



(b)

Figura 3.7 – (a) Rota do corredor do 7º andar; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 7º andar.

Tabela 3.8 – Estatística do erro para a rota do corredor do 7º andar

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	5,35	6,74	7,71
Modelo FPP	6,17	6,27	7,81
Modelo COST231	5,33	6,00	7,30

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 7º andar está demonstrada na Figura 3.7(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.8.

Observou-se nesta rota também, como pode ser vista na Figura 3.7(a), a atenuação do sinal na área próxima aos elevadores, o que é devido ao material dos mesmos.

Analisando a Figura 3.7(b) e a Tabela 3.8 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede apresentou novamente um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R, a razão talvez seja a constante que foi utilizada ou também as constantes do meio material envolvido no percurso de propagação do sinal. O melhor resultado foi o do Modelo COST-231,

visto que este modelo tem uma maior flexibilidade com relação aos demais, pois possui constantes obtidas empiricamente em busca um melhor ajuste dos dados preditos aos medidos.

3.3.8 – Rota do Corredor do 6º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 9,0824 m (primeira medida) igual a 50,59 dB. No corredor do 6º andar foi considerada a perda de quatro divisórias de madeira e de dois pisos abaixo do 8º andar, utilizando-se o valor de $a_w = 6,11$ dB, que é a perda da madeira de acordo com a Tabela 3.1, $a_f = 16,95$ dB para piso de concreto, $n_w = 4$, e $n_f = 2$.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 50,59 + 20 \cdot \log(d/9,0824) + (2 \cdot 16,95) + (4 \cdot 6,11)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=19$ dB para dois andares de acordo com a Tabela 2.2.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) + 19 - 28$$

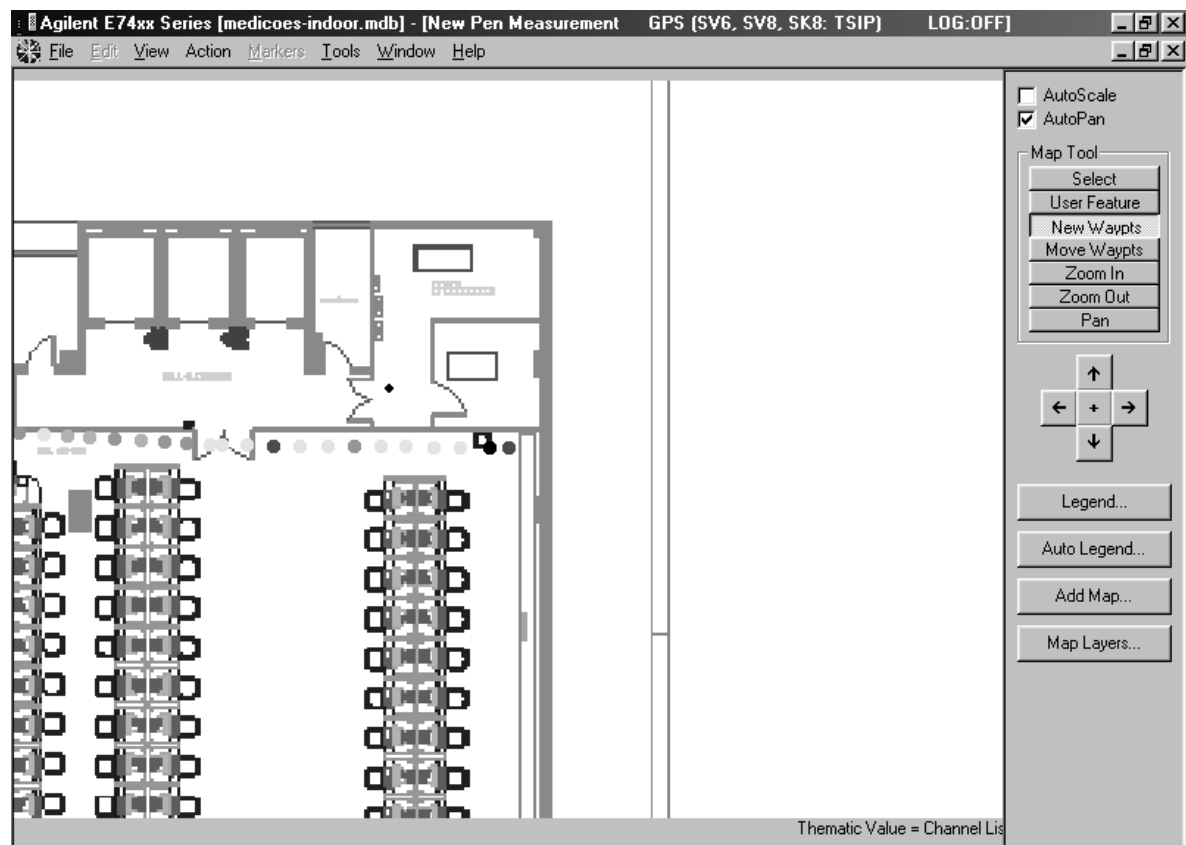
Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 6,11 dB para as divisórias de madeira e L_f vale 16,95 dB e $n_w = 4$, e $n_f = 2$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

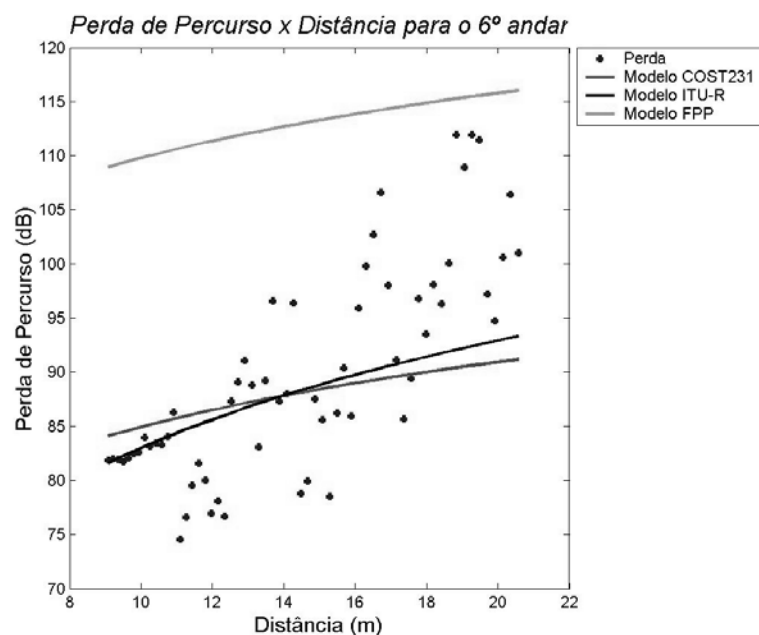
$$L_T = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (4 \cdot 6,11) + (2 \cdot 16,95)^{[(2+2)/(2+1) - 1]}$$



**Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
6º Andar**

■	-75 a	0	(10)
■	-85 a	-75	(28)
■	-95 a	-85	(15)
■	-105 a	-95	(5)
■	-121 a	-105	(3)

(a)



(b)

Figura 3.8 – (a) Rota do corredor do 6º andar; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 6º andar.

Tabela 3.9 – Estatística do erro para a rota do corredor do 6º andar

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	5,58	7,04	7,99
Modelo FPP	10,07	9,58	11,48
Modelo COST231	6,07	7,46	8,44

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 6º andar está demonstrada na Figura 3.8(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.9.

Observou-se nesta rota, como pode ser vista na Figura 3.8(a), a atenuação do sinal conforme ia se aproximando da parede de concreto, esse andar possui muitos computadores dispostos de maneira diferente dos andares já estudados, além de possuir material absorvedor no teto por motivo de acústica.

Analisando a Figura 3.8(b) e a Tabela 3.9 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo COST-231, este ficou

bem aproximado do Modelo ITU-R, apesar das inúmeras tentativas de tentar aproximar a predição para o Modelo COST-231 mesmo levando em consideração toda a sua flexibilidade, não foi possível provavelmente por não haver considerado os materiais que fazem parte do ambiente conforme foi mencionado.

3.3.9 – Rota do corredor do 5º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

$$L = L_1(d_o) + 20 \log(d/d_o) + n_f \cdot a_f + n_w \cdot a_w$$

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 10,7522 m (primeira medida) igual a 52,06 dB. No corredor do 5º andar foi considerada a perda de uma parede de concreto, três divisórias de madeira e de três pisos abaixo do 8º andar, utilizando-se o valor de $a_w = 8,82$ dB, que é média entre as perdas do concreto e madeira de acordo com a Tabela 3.1, $a_f = 16,95$ dB para piso de concreto, $n_w = 4$, e $n_f = 3$.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 52,06 + 20 \cdot \log(d/10,7522) + (3 \cdot 16,95) + (4 \cdot 8,82)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=24$ dB para três andares de acordo com a Tabela 2.2.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) + 24 - 28$$

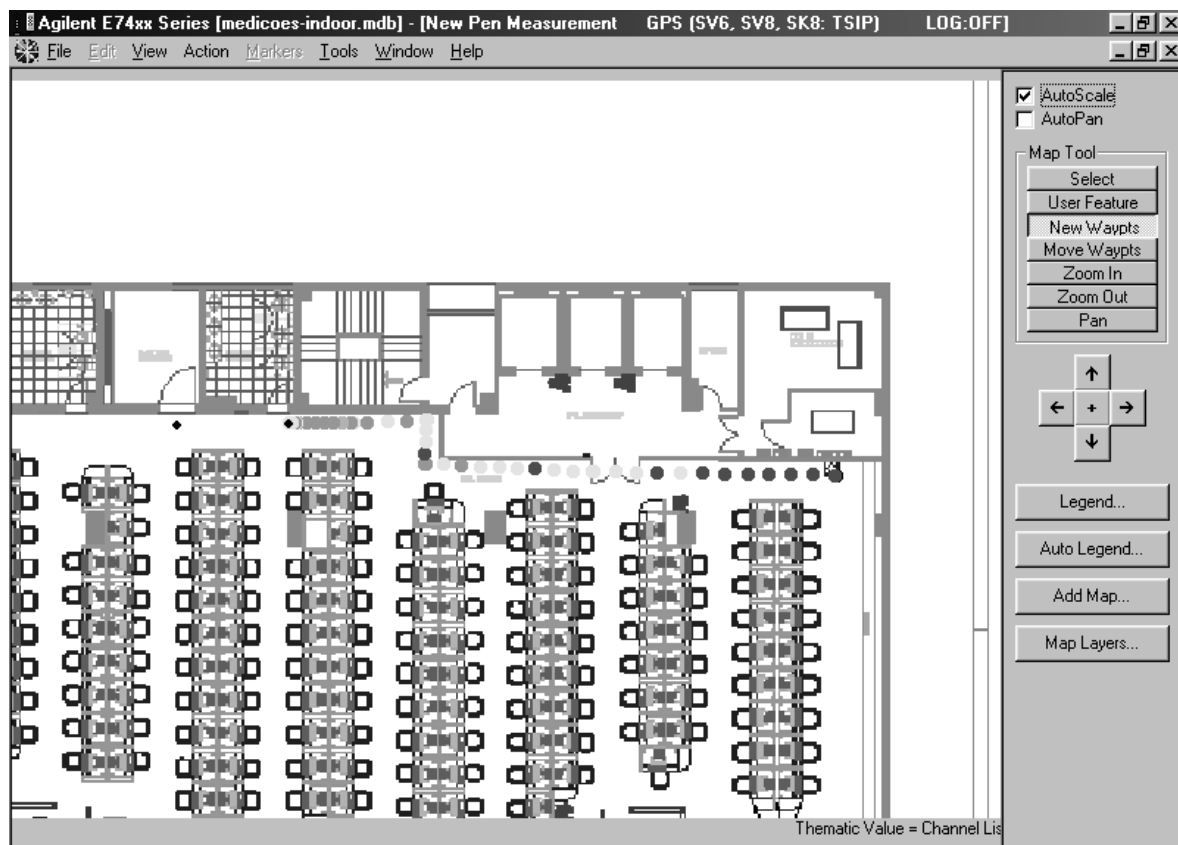
Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 8,82 dB que é média entre as perdas do concreto e madeira e L_f vale 16,95 dB e $n_w = 4$, e $n_f = 3$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

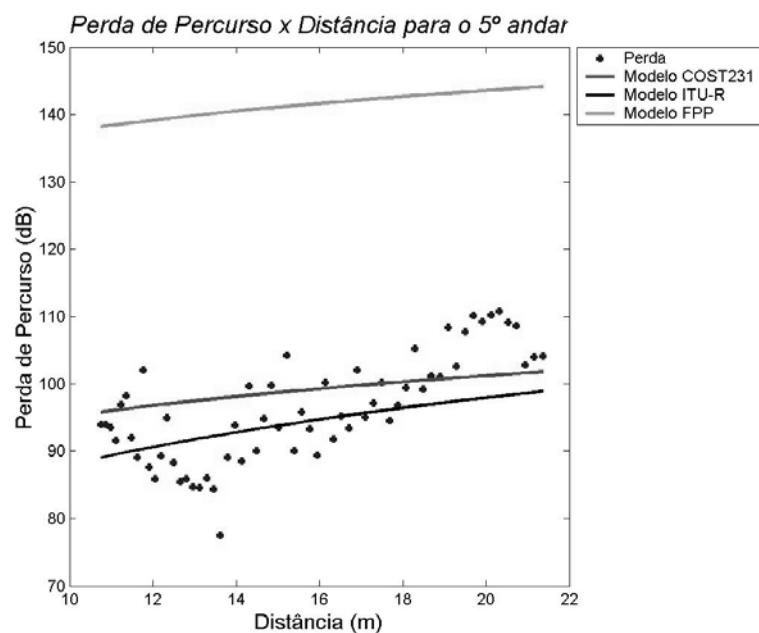
$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (4 \cdot 8,82) + (3 \cdot 16,95)^{[(3+2)/(3+1)-1]}$$



Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
5º Andar

■	-75 a 0	(1)
■	-85 a -75	(16)
■	-95 a -85	(26)
■	-105 a -95	(17)
■	-121 a -105	(1)

(a)



(b)

Figura 3.9 – (a) Rota do corredor do 5º andar; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 5º andar.

Tabela 3.10 – Estatística do erro para a rota do corredor do 5º andar

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	4,69	5,70	6,83
Modelo FPP	13,39	12,30	14,60
Modelo COST231	4,43	5,12	6,39

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 5º andar está demonstrada na Figura 3.9(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.10.

Observou-se nesta rota também, Figura 3.9(a) a atenuação do sinal conforme ia se aproximando da parede de concreto, esse andar possui muitos computadores dispostos da mesma maneira diferente dos andares já estudados, além de possuir material absorvedor no teto por motivo de acústica.

Analisando a Figura 3.9 e a Tabela 3.10 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos demais.

O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R e o melhor resultado foi o Modelo COST-231.

3.3.10 – Rota do corredor do 4º andar

As equações dos modelos serão reescritas abaixo de forma a poder comparar os valores preditos com os medidos.

Equação do **Modelo do Fator de Piso e Parede** (2.1):

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

sendo L_1 a perda no espaço livre na distância de 12,6590 m (primeira medida) igual a 53,48 dB. No corredor do 4º andar foi considerada a perda de uma parede de concreto e três divisórias de madeira e de quatro pisos abaixo do 8º andar, utilizando-se o valor de $a_w = 8,82$ dB, que é média entre as perdas do concreto e madeira de acordo com a Tabela 3.1, $a_f = 16,95$ dB para piso de concreto, $n_w = 4$, e $n_f = 4$.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede resulta em:

$$L(\text{dB}) = 53,48 + 20 \cdot \log(d/12,6590) + (4 \cdot 16,95) + (4 \cdot 8,82)$$

Equação do **Modelo ITU-R** (2.2):

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

sendo f_c igual a 890,07 MHz, $n=3,3$ de acordo com a Tabela 2.1 e $L_f(n_f)=27$ dB para quatro andares de acordo com a Tabela 2.2.

A equação do Modelo ITU-R resulta em:

$$L_T = 20 \cdot \log(890,07) + 33 \cdot \log(d) + 27 - 28$$

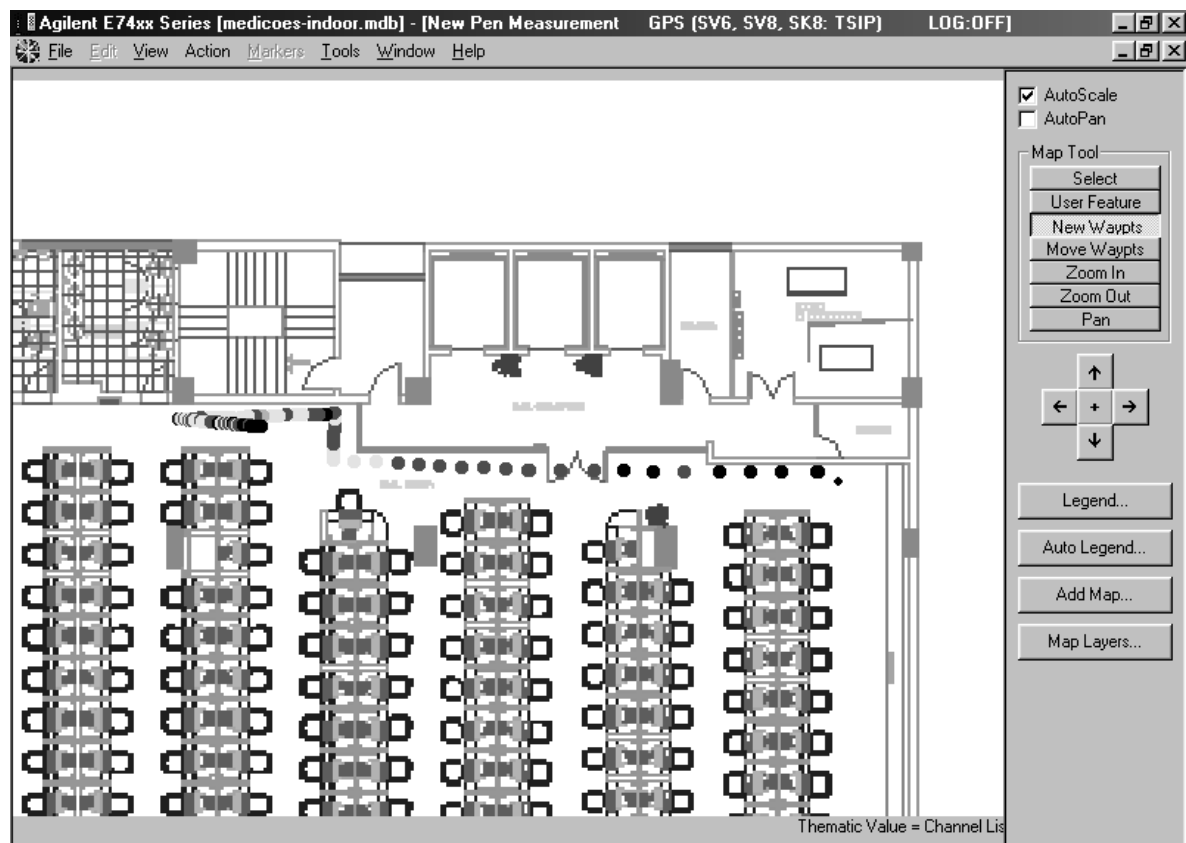
Equação do **Modelo de Multi-Paredes COST-231** (2.3):

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

L_c foi ajustado para 125,8 dB e b para 1. L_w vale 8,82 dB é média entre as perdas do concreto e madeira e L_f vale 16,95 dB e $n_w = 4$, e $n_f = 4$.

A equação do Modelo de Multi - Paredes COST-231 resulta em:

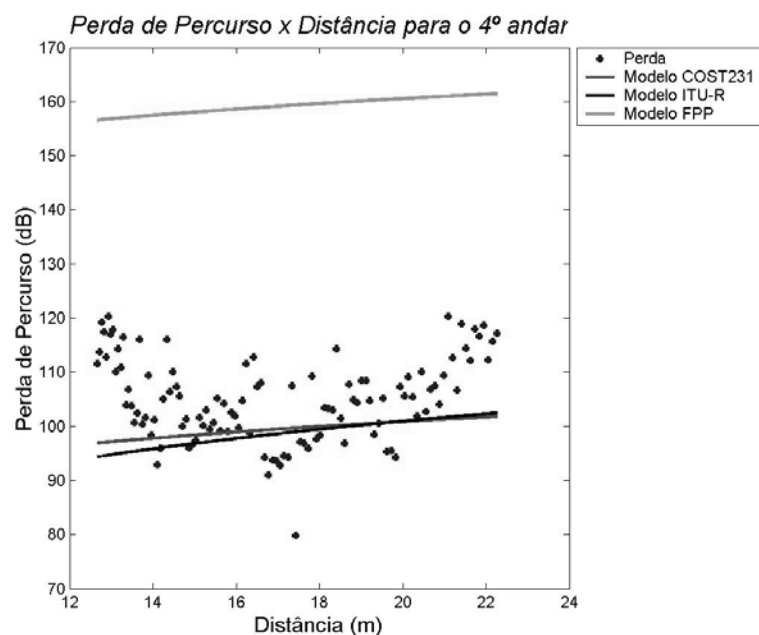
$$L = - 88,5715 + 20 \cdot \log(d) + 125,8 + (4 \cdot 8,82) + (4 \cdot 16,95)^{[(4+2)/(4+1) - 1]}$$



**Medições Indoor - Channel List Power (dBm)
4º Andar**

■	-75 a 0	(1)
■	-85 a -75	(0)
■	-95 a -85	(34)
■	-105 a -95	(48)
■	-121 a -105	(27)

(a)



(b)

Figura 3.10 – (a) Rota do corredor do 4º andar; (b) Comparação entre valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 4º andar.

Tabela 3.11 – Estatística do erro para a rota do corredor do 4º andar

Modelos	Erro médio (dB)	Desvio Padrão (dB)	Erro RMS (dB)
Modelo ITU-R	5,66	6,76	7,87
Modelo FPP	14,41	13,39	15,65
Modelo COST231	5,60	6,80	7,87

A comparação entre os valores medidos e preditos pelos modelos para a rota do corredor do 4º andar está demonstrada na Figura 3.10(b). A estatística para esta rota está na Tabela 3.11.

Observou-se nesta rota também, como pode ser vista na Figura 3.10(a) que o sinal sofria a atenuação do sinal conforme ia se aproximando da parede de concreto, esse andar (assim como o 5º e o 6º andares) possui muitos computadores dispostos de maneira diferente dos andares já estudados (9º, 8º e 7º), além de possuir material absorvedor no teto por motivo de acústica.

Analisando a Figura 3.10(b) e a Tabela 3.11 observa-se que o modelo do Fator de Piso e de Parede mais uma vez apresentou um erro maior com relação aos

demaís. O segundo pior resultado foi apresentado pelo Modelo ITU-R, assim sendo o melhor resultado foi para o do Modelo COST-231.

3.3.11 – Avaliação dos resultados

A análise dos resultados nos mostra que o modelo que melhor se adequou a este prédio de escritórios foi o Modelo COST-231 devido a sua grande flexibilidade de ajuste por meio de suas constantes empíricas que buscam caracterizar da melhor maneira o ambiente estudado.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO

Neste trabalho foram analisados três modelos de predição *indoor* (Modelo do Fator de Piso e de Parede, ITU-R e COST-231) para verificar qual melhor se adaptaria ao ambiente escolhido. Para um projeto ótimo de redes de comunicações móveis o ideal seria, dentre outras coisas, o conhecimento das condições de propagação e perdas dentro de prédios. Para isso existe a necessidade de estabelecer um modelo de predição de perdas de propagação levando em conta a variabilidade de configurações arquiteturais, materiais de construção, e o efeito da frequência.

O método de predição dentro de prédios requer o conhecimento da configuração do prédio e dos fenômenos de propagação, transmissão, reflexão e difração. A transmissão refere-se por exemplo, às perdas de propagação devido aos obstáculos, a difração refere-se à propagação em torno dos cantos ou corredores adjacentes; e a reflexão ao ganho de sinal a qual pode ser experimentada quando a transmissão e recepção acontecem na mesma sala ou corredor.

Como pode ser observado, um prédio é um ambiente bastante complexo, onde a propagação do sinal é afetada por paredes, tetos, pisos e mobílias além das pessoas em movimento.

Uma avaliação rigorosa da perda de propagação dentro de prédios requer o conhecimento de características elétricas dos materiais usados em sua estrutura básica, o tipo e distribuição das mobílias, etc.

A precisão de um modelo empírico depende criticamente da quantidade e qualidade dos dados experimentais utilizados para ajuste de seus parâmetros básicos. Porém, o principal problema apresentado por esses modelos é uma precisão insatisfatória, como pode ser visto nas medidas coletadas. Dessa forma, os modelos teóricos apesar de complexidade computacional, apresentam uma melhor precisão.

Para um resultado mais preciso neste trabalho seria necessário um maior ajuste dos parâmetros em cada modelo analisado. Dessa forma como sugestões para um trabalho futuro seria propor um novo modelo *indoor*, que tentasse adequar os diversos materiais envolvidos assim como os mecanismos de propagação do sinal; a utilização de modelos estatísticos; modelos de redes neurais artificiais;

caracterizar melhor os parâmetros elétricos dos materiais utilizados nos nossos prédios; realizar medições em frequências maiores (por exemplo em 1,8 GHz) e avaliar os sistemas reais com multifontes, ou seja transmissores por andar.

ANEXOS

% Este programa é utilizado para o corredor do andar 09

clc

clear all

load andar9.txt

Pot=andar9(:,1);

Perda=5.7-Pot;

d=[0:0.6250:15.00];

N=length(andar9);

d1=sqrt(7^2+1^2);

d2=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(98.14));

D=sqrt(d2.^2 + 1.5^2);

%Modelo ITU-R

$$L_t = 20 \cdot \log_{10}(890.07) + 33 \cdot \log_{10}(D) + 9 - 28;$$

%Mod Fator Piso e Parede

$$L_{fpp} = 48.6 + 20 \cdot \log_{10}(D/7.2284) + (1 \cdot 16.95) + (4 \cdot 6.11);$$
 %Considerando as divisórias de madeira

%Modelo COST231

$$aux1 = -88.5715 + 20 \cdot \log_{10}(D);$$

$$L_c = 125.8;$$

$$L = aux1 + L_c + (4 \cdot 6.11) + (1 \cdot 16.95)^{(1+2)/(1+1)-1};$$

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',2);

hold on

plot(D, L,'r','LineWidth',2);

hold on

plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);

plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);

legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);

xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);

ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);

title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o 9º andar}','FontSize',16);

hold off;

```

% Este programa é utilizado para o corredor do andar 07.
clc
clear all
load andar7.txt
Pot=andar7(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.30408163265306:15.00];
N=length(andar7);
d1=sqrt(7^2+1^2);
d2=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(98.14));
D=sqrt(d2.^2 + 3.3^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)+9-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=49.28+20*log10(D/7.8032)+(1*16.95)+(3*6.11);

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+(3*6.11)+(1*16.95)^((1+2)/(1+1)-1);

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o 7º andar}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para o corredor do andar 06

clc
clear all
load andar6.txt
Pot=andar6(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.2333:14.00];
N=length(andar6);
d1=sqrt(7^2+1^2);
d2=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(98.14));
D=sqrt(d2.^2 + 5.7^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)+19-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=50.59+20*log10(D/9.0824)+(2*16.95)+(4*6.11);

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+(4*6.11)+(2*16.95)^((2+2)/(2+1)-1);

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o 6º andar}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para o corredor do andar 05
clc
clear all
load andar5.txt
Pot=andar5(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.233333333333333:14.00];
N=length(andar5);
d1=sqrt(7^2+1^2);
d2=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(98.14));
D=sqrt(d2.^2 + 8.1^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)+24-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=52.06+20*log10(D/10.7522)+(3*16.95)+(4*8.82);

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+(4*8.82)+(3*16.95)^((3+2)/(3+1)-1);

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2); legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-
R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o 5º andar}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para o corredor do andar 04
clc
clear all
load andar4.txt
Pot=andar4(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.12727272727273:14.00];
N=length(andar4);
d1=sqrt(7^2+1^2);
d2=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(98.14));
D=sqrt(d2.^2 + 10.5^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)+27-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=53.48+20*log10(D/12.6590)+(4*16.95)+(4*8.82);

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+(4*8.82)+(4*16.95)^((4+2)/(4+1)-1);

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o 4º andar}','FontSize',16);
hold off;

```



```

% Este programa é utilizado para a rota LOS – Andar 08
clc
clear all
load los.txt
Pot=los(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0.1:0.111818181818182:6.15];
N=length(los);
d1=sqrt(0.9^2+1^2);
D=sqrt(d1.^2 + d.^2-2*d1.*d*cos(41.98));

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=31.4+20*log10(D/1.39015661077460)+1*6.11;

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+1*6.11;

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para rota LoS}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para a Rota 1 – Andar 08
clc
clear all
load rota1.txt
Pot=rota1(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.0525:6.20];
N=length(rota1);
dist=sqrt(d.^2 + 0.5^2);
D=sqrt(dist.^2 + 0.9^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=31.72+20*log10(D/1.0344)+1*6.11;

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+1*6.11;

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para a rota 1}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para a Rota 2 – Andar 08
clc
clear all
load rota2.txt
Pot=rota2(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.13478260869565:6.20];
N=length(rota2);
dist=sqrt(d.^2 + 0.5^2);
D=sqrt(dist.^2 + 0.9^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=31.68+20*log10(D/1.0296);

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc;

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para a rota 2}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para o Corredor 1 – Andar 08
clc
clear all
load corredor1.txt
Pot=corredor1(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.0848:7.80];
N=length(corredor1);
dist=sqrt(d.^2 + 7.0^2);
D=sqrt(dist.^2 + 0.9^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=48.4+20*log10(D./7.0576)+1*6.11;

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+1*6.11;

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o corredor 1}','FontSize',16);
hold off;

```

```

% Este programa é utilizado para o Corredor 2 – Andar 08
clc
clear all
load corredor2.txt
Pot=corredor2(:,1);
Perda=5.7-Pot;
d=[0:0.63636363636364:7.00];
N=length(corredor2);
dist=sqrt(d.^2 + 7.0^2);
D=sqrt(dist.^2 + 0.9^2);

%Modelo ITU-R

Lt=20*log10(890.07)+33*log10(D)-28;

%Mod Fator Piso e Parede

Lfpp=48.40+20*log10(D/7.0576)+1*6.11;

%Modelo COST231
aux1=-88.5715+20*log10(D);
Lc=125.8;
L=aux1+Lc+1*6.11;

plot(D,Perda,'s','LineWidth',3,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',
2);
hold on
plot(D, L,'r','LineWidth',2);
hold on
plot(D, Lt,'k','LineWidth',2);
plot(D, Lfpp,'g','LineWidth',2);
legend('Perda','Modelo COST231','Modelo ITU-R','Modelo FPP',-1);
xlabel('Distancia (m)','FontSize',14);
ylabel('Perda de Percurso (dB)','FontSize',14);
title('\it{Perda de Percurso x Distancia para o corredor 2}','FontSize',16);
hold off;

```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. B. Jorgen, T.S. Rappaport, S. Yoshida, "*Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels.*" IEEE Communication Magazine, vol. 33, no. 1, Jan. 1995, pp. 42-49.
- [2] Jean-François Lafortune and Michel Lecours, "*Measurement and Modeling of Propagation Losses in a Building at 900 MHz.*", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 19, May 1990, pp. 101-108.
- [3] Y. Okumura *et al.*, "*Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Services.*" Review Electronic Communications Labs., vol. 16, Sept-Oct., 1968, pp. 825-37.
- [3] A. Neskovic, N. Neskovic, and D. Paunovic, "*A Field Strength Prediction Model Based on Artificial Neural Networks.*" Proc. 9th IEEE Med. Electro. Conf. – MELECON, Tel Aviv – Israel, May 1998.
- [4] A. Neskovic, N. Neskovic, and G. Paunovic, "*Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment*". IEEE Communication Surveys, Third Quarter 2000, pp. 2-12.
- [5] *Indoor System Application – RF Module for CMS 8800 Special Applications.* Ericsson Radio Systems AB, 1998.
- [6] Simon R. Saunders, "*Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*", John Willey & Sons Ltd., pp. – 271-277, December 1999.
- [7] ITU-R, "*Propagation Data and Prediction Models for the Planning of Indoor Radiocommunication System and Radio Local Area Networks in the Frequency Range 900 MHz to 100 GHz.*" Rec. P. 1238, 1997.
- [8] Rodrigues, Josiane do Couto, Tese de Mestrado da UFPA, "Neuro-adaptação de modelos empíricos para ambiente *indoor*", 2000.