

Capítulo 4

Campanha de Medições

4.1 – Ambiente de Medição

A campanha de medição foi realizada no prédio do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. O prédio em estudo tem suas paredes construídas de tijolos, com o teto e o piso de concreto. As paredes externas possuem janelas, com vidros, em toda a sua extensão. As divisórias entre as salas e os corredores são construídas de madeira e as paredes entre as salas são construídas de tijolos. O pé direito do prédio é de 3,3 m.

Foram realizadas quatro rotas de medições. Nas rotas 1 e 2 (designadas pelas retas azul e vermelha, respectivamente), o transmissor e o receptor estavam localizados no segundo andar do prédio acima descrito, cuja planta baixa está ilustrada na Figura 4.1. Nas rotas 3 e 4 (designadas pelas retas azul e vermelha, respectivamente), o transmissor estava localizado no primeiro andar enquanto o receptor permaneceu no segundo andar. Portanto, nas rotas 3 e 4 além das perdas devido às paredes existem, também, perdas devido ao piso de concreto. Portanto, é esperado que apresente uma perda maior.

O gerador de varredura emitia um sinal CW de 15 dBm na frequência de 900 MHz. O analisador de espectro foi programado para receber sinais de 890 MHz a 910 MHz, com o *span* em zero. As antenas transmissora e receptora são as descritas no Capítulo 2.

Durante as medições o transmissor permaneceu fixo enquanto o receptor percorria as rotas designadas pela Figura 4.1.

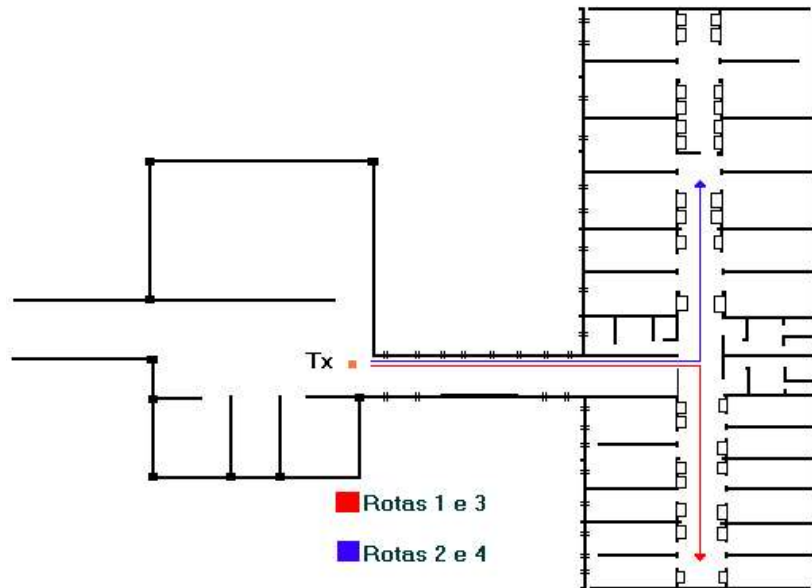


Figura 4.1 – Planta baixa do segundo andar do prédio onde foram realizadas as medições.

4.2 – Tratamento dos Dados Obtidos

Os dados obtidos durante a campanha de medição são os seguintes: o analisador de espectro, através da sua saída de vídeo, envia uma variação de tensão entre 0 e 1V, que é proporcional à intensidade de sinal medido. O protótipo de quinta roda envia pulsos de tensão de acordo com o surgimento, ou não, de furos entre os sensores ópticos. Porém, esses dados não são os desejados para se fazer a análise da perda de percurso com a distância, por isso, os dados obtidos durante a campanha necessitam de um tratamento prévio.

4.2.1 – Tratando os Dados do Analisador de Espectro

O analisador de espectro possui uma curva de calibração que relaciona a variação de tensão na saída de vídeo com a variação de potência no seu *display*. Essa curva é determinada ligando a saída do gerador de varredura diretamente na entrada do analisador de espectro. Em seguida, varia-se a potência do gerador de varredura e anota-se o valor da potência que chega no analisador de espectro e o valor correspondente, em volts, na saída de vídeo do mesmo. A tabela com os dados coletados no analisador de espectro foi analisada no programa Origin 3.5. O Origin encontra, por regressão linear, a curva de calibração do equipamento, que é mostrada abaixo:

$$P = -80,44528 + 82,22461 V. \quad (4.1)$$

Onde:

P = potência do sinal (dBm).

V = tensão (v)

Usando essa relação de transformação, obtém-se a variação da potência do sinal a partir da sua variação em volts. Sabendo-se a potência transmitida e as perdas nos cabos, encontra-se as perdas de percurso para cada rota.

4.2.2 – TRANSFORMANDO A INFORMAÇÃO DO PROTÓTIPO – 5ª RODA

A informação obtida do protótipo de 5ª roda durante a campanha de medição é uma variação de tensão. Quando não há furo entre os sensores, o protótipo envia à placa conversora A/D – D/A uma tensão de 0 V e quando há um furo entre os sensores, essa tensão varia para mais de 2 V. Sabendo-se que a distância entre dois furos (pulsos) é de 0,0828 m e que a roda possui 12 furos, a distância percorrida pode ser encontrada.

Um programa feito em Matlab 5.3 realiza toda o tratamento dos dados, fornecendo, assim, a distância percorrida *versus* perda de percurso.

As perdas de percurso medidas serão comparadas com aquelas fornecidas pelos modelos empíricos citados no Capítulo 2. Nesse estudo comparativo serão necessários informações de perda de penetração em tijolos e concretos e, para isso, um estudo nesse sentido foi realizado.

4.3 – Medida da Perda de Penetração

A perda de penetração foi medida da seguinte forma: a antena transmissora, ligada a um gerador de varredura, foi colocada em um lado da parede cuja perda deseja-se medir, no outro lado da mesma foi colocada uma antena receptora ligada a um analisador de espectro. As antenas foram alinhadas e então o gerador de varredura foi ajustado para gerar um sinal CW de potência e frequência iguais a +15 dBm e 900 MHz, respectivamente. Com a antena transmissora fixa, a antena receptora foi movida em pequenos passos de 5 cm, aproximadamente, e a distância e a potência correspondentes foram anotadas [16]. Um total de 40 amostras foram obtidas. As perdas assim obtidas, foram comparadas com as perdas no espaço livre. Fornecendo, assim, as perdas de penetração de cada material estudado. Os resultados obtidos durante as medições estão mostrados na TABELA 4.1.

TABELA 4.1 - Perda de Penetração

Material (espessura de paredes ou pisos)	Perda em relação ao espaço livre	
	Polarização Vertical	Polarização Horizontal
Tijolo (36 cm)	5,967 dB	0,97 dB
Madeira (3 cm)	6,105 dB	5,78 dB
Concreto (20 cm)	16,954 dB	13,84 dB
Argamassa Armada (5 cm)	46,09 dB	49,95 dB

4.3 – Análise dos Resultados

Os dados obtidos durante a campanha de medição, foram comparados com as perdas de percurso fornecidas pelos modelos empíricos estudados no Capítulo 2.

4.3.1 – Rotas 1 e 2

Nessas rotas, como já foi mencionado anteriormente, o transmissor e o receptor estão localizados no mesmo andar, portanto, não há perdas devido ao piso de concreto do prédio em estudo. As equações (2.1), (2.2) e (2.3) foram utilizadas para efeito de comparação entre os valores medidos e preditos pelos respectivos modelos empíricos. As equações anteriormente citadas, entretanto, necessitam incorporar os valores das constantes relativas ao prédio, tais como, os fatores de atenuação das paredes.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede (2.1), após devidas adequações, transforma-se em:

$$L = 72,5327 + 20 \times \log(d/2,4828) + 2 \times 6,036 \quad (4.2)$$

Onde o valor 72,5327 é a perda na distância 2,4828 (primeira medida). Durante a Rota1 existe, em média, duas paredes entre o transmissor e o receptor. Essa paredes são de tijolo e madeira por isso uma média das perdas nessas paredes foi utilizada (6,036).

A equação do Modelo ITU-R (2.2), após as devidas adequações, modificou-se para:

$$L_T = 20 \times \log(900) + 33 \times \log d - 28 \quad (4.3)$$

O expoente de perda de percurso utilizado (3,3) está de acordo com a Tabela 2.2.

A equação do Modelo COST231 (2.3), foi adequada com os dados adequados. Esse modelo é mais flexível, pois possui duas constantes (b e L_c) que são obtidas empiricamente, devido a essa flexibilidade, o modelo deve apresentar a melhor predição.

$$L_T = -91,7356 + 20 \times \log(d) + 136,1638 + 5,967 + 6,105 \quad (4.4)$$

A primeira constante da equação acima é parte da equação de perda no espaço livre e é função dos ganhos das antenas e da frequência. L_c foi escolhido como sendo 136,1638 (valor que apresentou melhor ajuste). As duas últimas constantes são as perdas nas paredes de tijolo e madeira, respectivamente.

A comparação entre os valores medidos e fornecidos pelos modelos está demonstrada no gráfico da Figura 4.2. E o erro médio, desvio padrão absoluto e erro rms são listados na Tabela 4.2

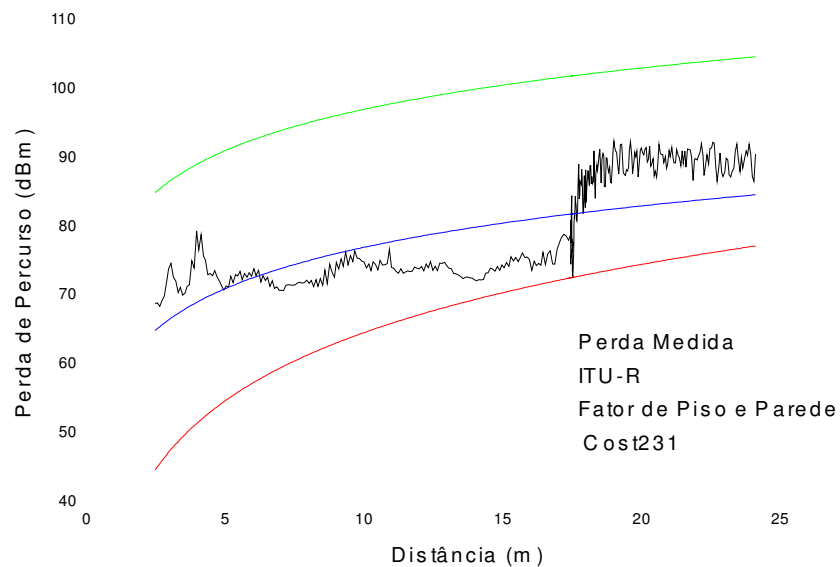


Figura 4.2 – Comparação entre os dados medidos e os fornecidos pelos modelos empíricos para a Rota 1

Tabela 4.2 – Estatística do gráfico de comparação para a Rota 1.

Modelos	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
ITU-R	11,8032	5,4825	13,0143
FPP*	18,9872	5,1945	19,6849
COST231	4,7526	2,3487	5,3013

*Modelo do Fator de Piso e Parede

A Figura 4.3 apresenta o gráfico comparativo para a Rota 2. A Tabela 4.3 apresenta a sua respectiva estatística.

Tabela 4.3 – Estatística do gráfico de comparação para a Rota 2.

Modelos	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
ITU-R	10,8784	5,2254	12,0683
FPP*	20,3815	4,0729	20,7845
COST231	3,4405	2,1936	4,0803

*Modelo do Fator de Piso e Parede

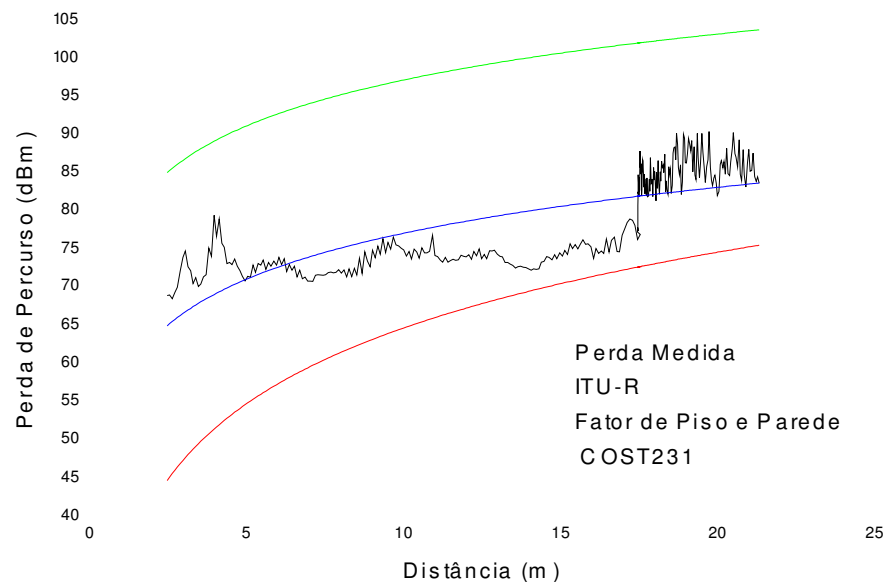


Figura 4.3 – Comparação entre os dados medidos e os fornecidos pelos modelos empíricos para a Rota 2.

Analisando-se as Figuras 4.2 e 4.3 e as Tabelas 4.2 e 4.3 percebe-se que: o modelo do Fator de Piso e Parede apresentou o pior resultado, superestimando a perda de percurso, a explicação para este fenômeno, pode estar no fato de que esse modelo não faz distinção entre os vários tipos de paredes, considerando que apenas um tipo de parede esteja sendo atravessada pelo sinal. O segundo pior resultado foi apresentado pelo modelo ITU-R, quase sempre subestimando a perda, talvez a constante presente nesse modelo, não tenha sido adequadamente escolhida. O melhor resultado apresentado foi o do modelo COST231 pois o mesmo, como já foi mencionado anteriormente, é mais flexível devido à presença de uma constante obtida empiricamente e, portanto, que considera a peculiaridade de cada ambiente estudado.

Portanto, os modelos apresentados necessitam de uma adaptação para que apresentem uma melhor predição na perda do sinal para o prédio em estudo.

4.3.2 – Rotas 3 e 4

Nessas rotas, como foi mencionado anteriormente, o transmissor e o receptor estão localizados em andares diferentes, acrescentando às perdas devido às paredes, a perda devido ao piso de concreto.

A comparação, novamente, será entre os valores de perdas medidos e os valores fornecidos pelo modelos descritos no Capítulo 2.

A equação do Modelo do Fator de Piso e Parede (2.1) após as adaptações para as rotas 3 e 4 é dada por:

$$L = 75,5327 + 20 \times \log (d / 4,1537) + 2 \times 6,036 + 16,954 \quad (4.4)$$

A primeira constante representa a perda na primeira distância de separação entre as antenas (4,1537). O valor 16,954 foi o valor medido para a perda de penetração no concreto.

A equação do Modelo ITU-R (2.2), após as adaptações, será igual a:

$$L_T = 20 \times \log (900) + 33 \times \log (d) + 9 - 28 \quad (4.5)$$

A constante 9 foi obtida da Tabela 2.2.

A equação do Modelos COST231 (2.3), após as devidas modificações, ficou igual a:

$$L_T = -91,7356 + 20 \times \log(d) + 136,1638 + 5,967 + 6,105 + 16,954^{(1,5-1)} \quad (4.6)$$

O valor de b escolhido foi 1.

A Figura 4.4 apresenta o gráfico comparativo para a Rota 3 e a Tabela 4.4 apresenta a estatística para os modelos.

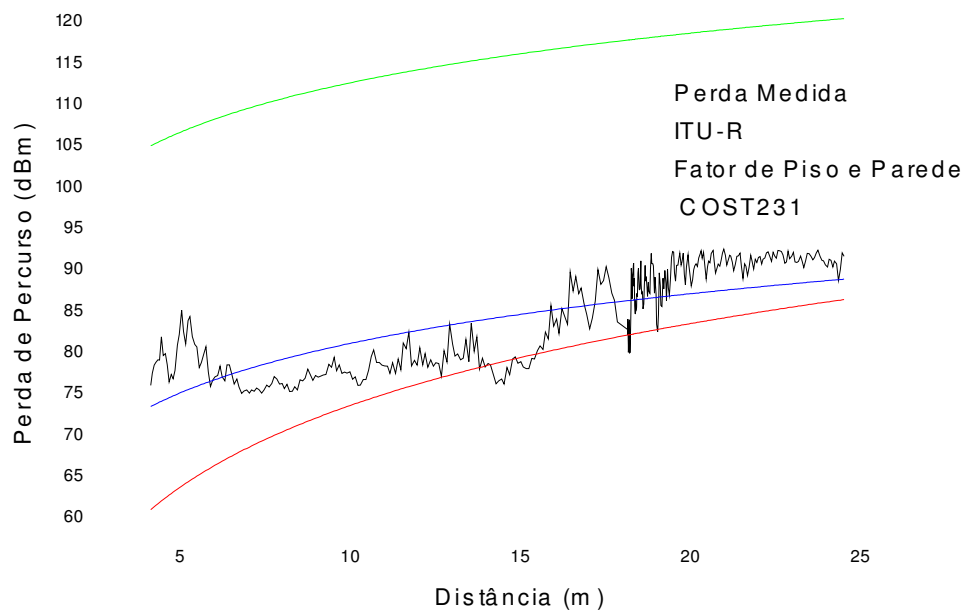


Figura 4.4 – Comparação entre os dados medidos e os fornecidos pelos modelos empíricos para a Rota 3.

Tabela 4.4 - Estatística do gráfico de comparação para a Rota 3.

Modelos	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
ITU-R	5.8880	3.9100	7.0680
FPP*	31.3433	3.6408	31.5540
COST231	3.2250	1.6971	3.6442

*Modelo do Fator de Piso e Parede

A Figura 4.5 apresenta o gráfico comparativo para a Rota 4 e a Tabela 4.5 apresenta a sua estatística.

Tabela 4.5 – Estatística do gráfico de comparação para a Rota 4.

Modelos	Erro Médio	Desvio Absoluto	Erro RMS
ITU-R	5,0884	4,3263	6,6789
FPP*	32,5888	3,2703	32,7524
COST231	2,8541	1,8869	3,4215

*Modelo do Fator de Piso e Parede

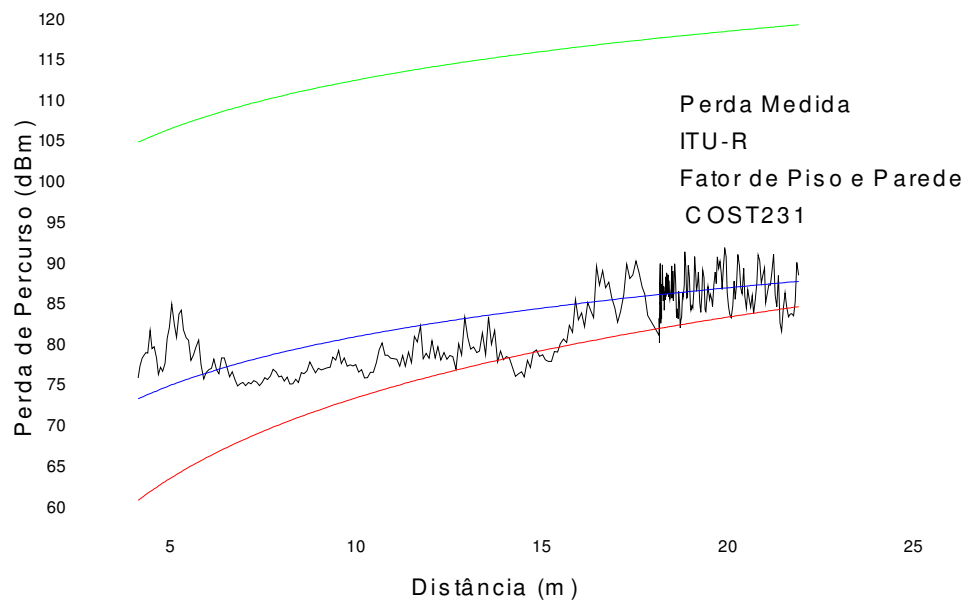


Figura 4.5 – Comparação entre os dados medidos e os fornecidos pelos modelos empíricos para a Rota 4.

Observando-se as Figuras 4.4 e 4.5 e as Tabelas 4.4 e 4.5, pode-se perceber que: o Modelo do Fator de Piso e Parede apresentou, novamente, a pior predição; o Modelo ITU-R apresentou uma predição mais condizente com os dados medidos e o Modelo COST231, como para as rotas anteriores, apresentou a melhor predição, pois os valores das constantes L_c e b foram escolhidos para essa finalidade.

Das Figuras e Tabelas de comparação acima mostrados é perceptível que os Modelos do Fator de Piso e Parede e ITU-R apresentaram uma predição muito distante da real perda de percurso, esses modelos, entretanto, podem ser adaptados para que apresentem uma melhor predição.

No Capítulo 5, o Método do Mínimo Erro Quadrático será utilizado como uma tentativa de se adaptar esses modelos afim de se obter uma melhor predição.