

4. Teste de propagação

A maior dificuldade no projeto de *WLANs* diz respeito à falta de modelos de propagação precisos para ambientes fechados com diferentes características. Por este motivo o projeto é, em geral, precedido de um teste de propagação. O teste de propagação, comumente chamado de *Site Survey*, é um teste de campo para determinar o número de *APs* necessários para cobrir uma área e os seus posicionamentos mais convenientes.

O trabalho em campo consiste em posicionar os *APs* nos locais onde se espera que haja melhor propagação do sinal para o resto do ambiente e efetuar medições com *software* especializado para checar a taxa de transmissão e a potência do sinal em cada ponto que se deseja cobrir. No caso de alguma região não estar coberta pelo *AP* posicionado, acrescenta-se outro até que toda a área desejada fique coberta. Dimensionado o sistema em termos de cobertura rádio-elétrica verifica-se se a configuração obtida atende à capacidade de tráfego requerida.

Uma dificuldade na execução de testes de campo deve-se à limitação dos programas de teste de propagação fornecidos pelos fabricantes de equipamentos, que não possibilitam o uso de plantas do local, e à falta de modelos de propagação (principalmente *indoor*) que representem bem a propagação nos ambientes.

Neste trabalho foi desenvolvido um *software* em Visual Basic 6.0 (*WLAN Walktest*), que permite a entrada de mapas em formato digital (arquivos vetoriais .EMF – Enhanced MetaFile e .WMF – Windows MetaFile), e a marcação dos pontos e valores de potência medidos sobre o mapa. O programa permite ainda a definição da posição de paredes e do *Access Point* e, a partir destas informações, o cálculo de cobertura utilizando um modelo de propagação que leva em conta a perda de penetração nestas paredes. Mais detalhes sobre o programa são apresentados no Apêndice 1.

Com o auxílio desta ferramenta foram realizadas medidas em diferentes ambientes fechados para determinação dos parâmetros de um modelo de propagação. Foram também realizadas medidas de perda de penetração em paredes de diferentes materiais e da perda por difração em quinas. Estes experimentos e seus resultados são descritos a seguir.

4.1. Equipamentos utilizados nos testes de propagação

Access Point:

- Modelo: Cisco, AIR-AP350 SERIES
Antenas: Dois dipolos externos
Diagrama das antenas: H: Omnidirecional ; V: 70°
- Freqüência: 2,4GHz DSSS
- *Throughput* máximo: 11Mbps
- Potência máxima (regulável via *software*): 100 mW, 50 mW, 30 mW, 20 mW, 5 mW e 1 mW

Client Adapter:

- Modelo: Cisco, AIR-PCM350 SERIES
Antenas: Dois dipolos integrados internos
Diagrama das antenas: H: Omnidirecional ; V: Não disponível
- Freqüência: 2,4GHz DSSS
- *Throughput* máximo: 11Mbps
- Potência máxima (regulável via *software*): 100 mW, 50 mW, 30 mW, 20 mW, 5 mW e 1 mW
- Sensibilidade: -45 dBm
(potências maiores que -45 dBm não são apresentadas)
- Limiares: 11 Mbps: -85 dBm
5,5 Mbps: -89 dBm
2 Mbps: -91 dBm
1 Mbps: -94 dBm

Software de medição: Cisco Aironet Client Utility (acompanha o equipamento)

Notebook: Toshiba Satellite

4.2. Testes de propagação *indoor*

Os testes de propagação *indoor* foram realizados posicionando-se um único *AP* em diferentes situações e utilizando um *notebook* com *Client adapter* para coletar dados para a caracterização de um modelo de propagação *indoor*. As situações escolhidas foram:

- Teste de *LoS* – Posiciona-se o *AP* em um local em que o raio direto esteja desobstruído e que não haja um número muito grande de possíveis raios

refletidos com potência relevante (ambientes amplos). Este teste serve para definir a perda do sinal em relação à distância.

- Teste de *LoS* em corredor estreito – Posiciona-se o *AP* em uma extremidade de um corredor estreito e reto, de modo que o raio direto fique desobstruído até a outra extremidade, mas que haja um alto índice de raios refletidos de potência significativa.
- Difração em bordas – Posiciona-se o *AP* próximo a uma “esquina” ou “curva” de uma parede, para medir a perda de propagação do sinal após o obstáculo.
- Atenuação por paredes – Posiciona-se o *AP* frente a uma face de uma parede e efetuam-se medições do outro lado, para mensurar a perda de penetração no obstáculo.
- Movimento de pessoas – Posiciona-se o *AP* e o equipamento medidor em posições fixas e que o sinal seja estável, e simula-se a movimentação de pessoas obstruindo o raio direto entre eles.
- Cobertura geral – Neste caso, o *AP* é posicionado em um ponto qualquer e são efetuadas medidas em todo o ambiente para verificar os efeitos que possam influenciar a propagação do sinal em cada tipo de ambiente (*indoor*).

A razão deste tipo de teste ser feito com apenas um *AP* é de isolar a fonte de irradiação em um único ponto.

Todas as medidas efetuadas neste trabalho tiveram como objetivo caracterizar o canal rádio para transmissão de sinais para fins de cobertura de *Wireless LANs*. Por esta razão, as medidas foram feitas nas condições de uso típicas de uma *WLAN*, isto é:

- Utilização do *notebook* (equipamento de medição) na posição horizontal
- *AP* com as antenas fazendo ângulo reto com o solo

Foram feitos testes com placas *WLAN* em *desktops* para fins de comparação de valores medidos neste tipo de equipamento e em *notebooks*. A conclusão é que os valores médios medidos são muito próximos para os dois tipos de equipamento. A grande diferença entre estes é que a placa *PCI* (aplicada a *desktops*) provê mais estabilidade ao sinal, diminuindo a frequência das flutuações ao longo do tempo, fato que não justifica sua utilização em medidas para a avaliação da atenuação mediana, em razão da difícil portabilidade. Uma questão relevante quanto às placas *PCIs* é que a antena acoplada a placa deve estar orientada da mesma forma que as

antenas do *AP*, preocupação que não existe para usuários de placas PCMCIA (em *notebooks*), já que este tipo de equipamento não pode ser utilizado com outro tipo de orientação, que não horizontal.

Para garantir uma maior confiabilidade dos dados medidos, um procedimento foi estabelecido para todas as medidas. Para cada ponto medido foi efetuada uma média temporal de aproximadamente 15 segundos (com registros a cada segundo), com exceção das medidas referentes à movimentação de pessoas apresentadas na seção 4.2.5. As medidas também foram repetidas quatro vezes para cada ponto nas mesmas condições.

Os valores de potência foram adquiridos por meio do *software* fornecido pelo fabricante dos equipamentos utilizados, e os pontos medidos foram marcados sobre o mapa do local, em escala, no momento da medida.

4.2.1. Teste de LoS

Para o teste de *Line of Sight* em ambientes *indoor*, foi escolhido um corredor consideravelmente largo e comprido, que possibilitava a visada direta até longas distâncias. Efetuaram-se medidas ao longo deste corredor para que se pudesse observar a variação do sinal com a distância e os efeitos de multipercursos no nível de potência do sinal.

As figuras a seguir ilustram os pontos onde as medidas foram efetuadas.

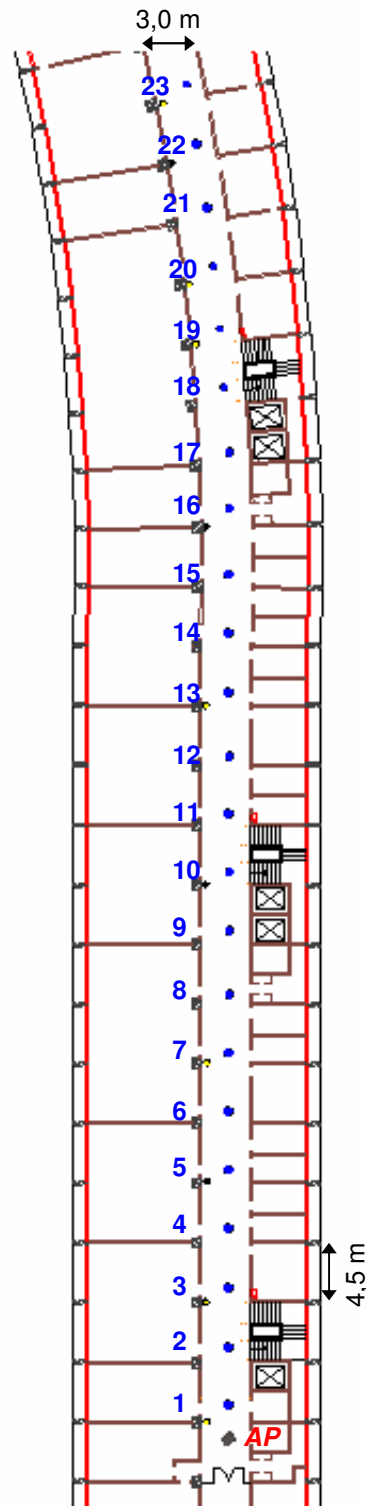


Figura 21 – Teste de LoS em corredor (PUC-Rio, Prédio Cardeal Leme 3º piso)

O AP foi posicionado no início de um corredor e foram efetuadas medidas a cada 4,5 metros ao longo de aproximadamente 100 metros do corredor, inclusive onde já não havia mais visada direta ao AP.

Alguns parâmetros utilizados na medição foram:

- Altura do AP: 1,0 metro
- Altura do equipamento de medição: 1,6 metros
- Potência do *Client adapter*: 100 mW
- Ambiente: Corredor de 3,0 metros de largura, com paredes levemente rugosas e pintadas com tinta acrílica

Todas as medidas ao longo do corredor, foram efetuadas com as portas fechadas. As medidas foram realizadas com o AP transmitindo com 20 mW e 50 mW de potência. A tabela a seguir apresenta os valores medidos.

Ponto	Distância [m]	Potência recebida [dBm]	
		20 mW (13 dBm)	50 mW (17 dBm)
1	1,0	> -45	> -45
2	5,5	-58	> -45
3	10,0	-61	-55
4	14,5	-63	-58
5	19,0	-65	-57
6	23,5	-69	-58
7	28,0	-84	-58
8	32,5	-73	-59
9	37,0	-72	-60
10	41,5	-60	-58
11	46,0	-63	-62
12	50,5	-72	-59
13	55,0	-73	-60
14	59,5	-76	-64
15	64,0	-76	-61
16	68,5	-73	-62
17	73,0	-76	-72
18	77,5	-76	-69
19	82,0	-89	-73
20	86,5	-	-76
21	91,0	-	-81
22	95,5	-	-76
23	Não apresenta mais visada direta ao AP		

Tabela 9 – Valores medidos de teste de LoS para 20 e 50 mW

Para facilitar a análise dos valores medidos, foi construído um gráfico da distância do ponto de medição *versus* valor da potência recebida média.

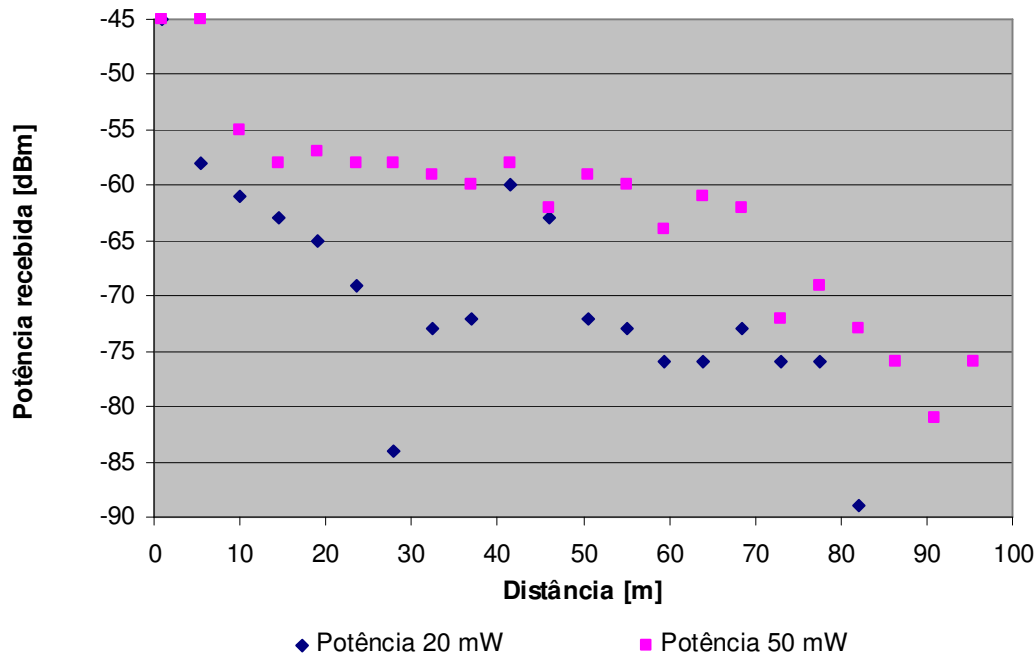


Figura 22 – Gráfico de Distância x Potência recebida no teste de LoS

A partir do gráfico podemos notar o efeito dos multipercursos a partir de aproximadamente 30 metros (para 20 mW) e 45 metros (para 50 mW), quando começam a aparecer “quebras” na tendência do gráfico. Flutuações relevantes no tempo, para um mesmo ponto (os valores apresentados para cada ponto foram a média temporal das medidas para cada local) também apontam para a existência do efeito a partir das distâncias comentadas. Estas flutuações (rápidas) no valor de potência medido no receptor são um indício de existência de efeito de multipercursos, gerando um gráfico similar ao apresentado na Figura 13. Para contornar tal efeito, foi feita a média dos valores medidos durante 15 segundos para cada ponto e foram repetidas as medidas conforme comentado. Os resultados obtidos (valores médios) foram satisfatórios com as repetições e tempos de medição estipulados. Comparando o gráfico adquirido com as medidas efetuadas ao gráfico apresentado na Figura 14, construiu-se o gráfico de 50 mW com o eixo da distância em escala logarítmica separando-se as seqüências em relação ao “ponto de quebra” a 56 m do transmissor. Os gráficos e suas respectivas retas de ajuste, estão apresentados a seguir.

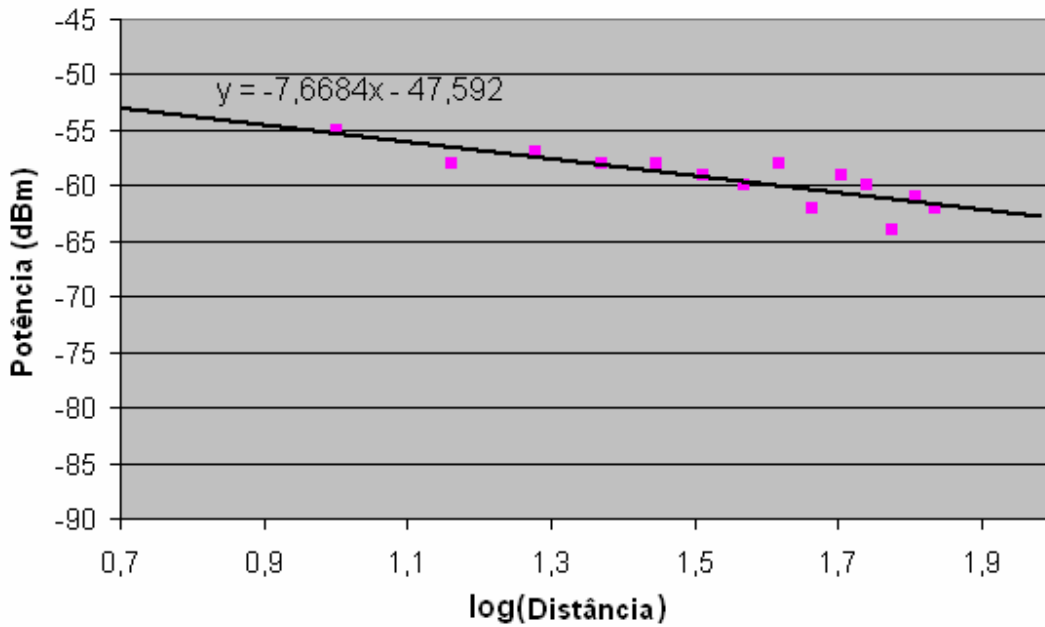


Figura 23 – Gráfico1 (log-log) de Distância x Potência recebida no teste de LoS

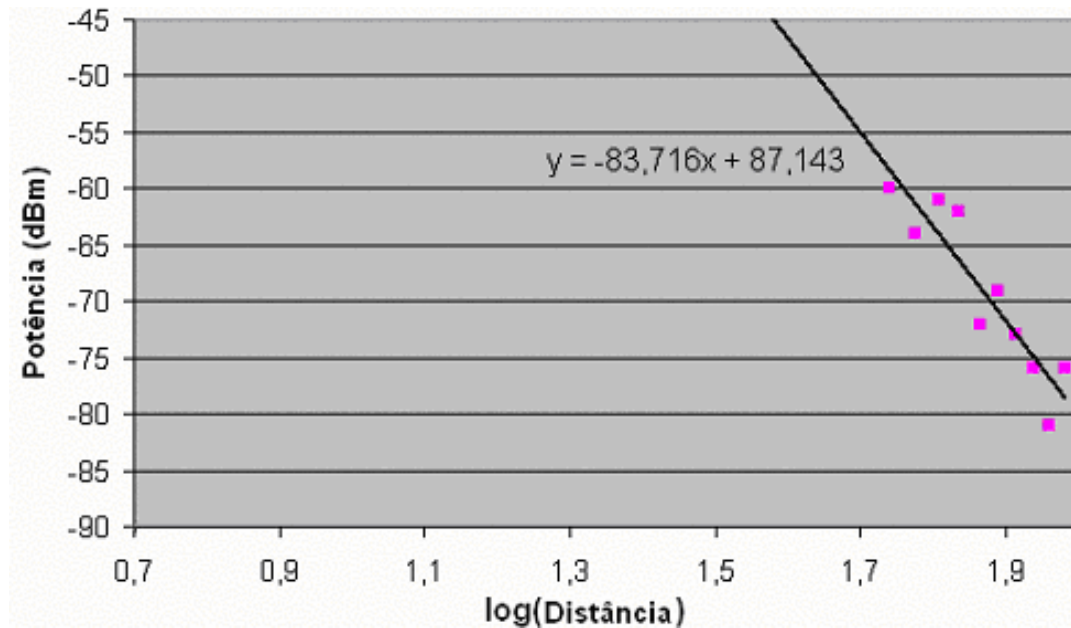


Figura 24 – Gráfico2 (log-log) de Distância x Potência recebida no teste de LoS

O gráfico a seguir (apresenta uma junção dos gráficos apresentados na Figura 23 e Figura 24, para fins de comparação das inclinações das retas de ajuste e suas equações.

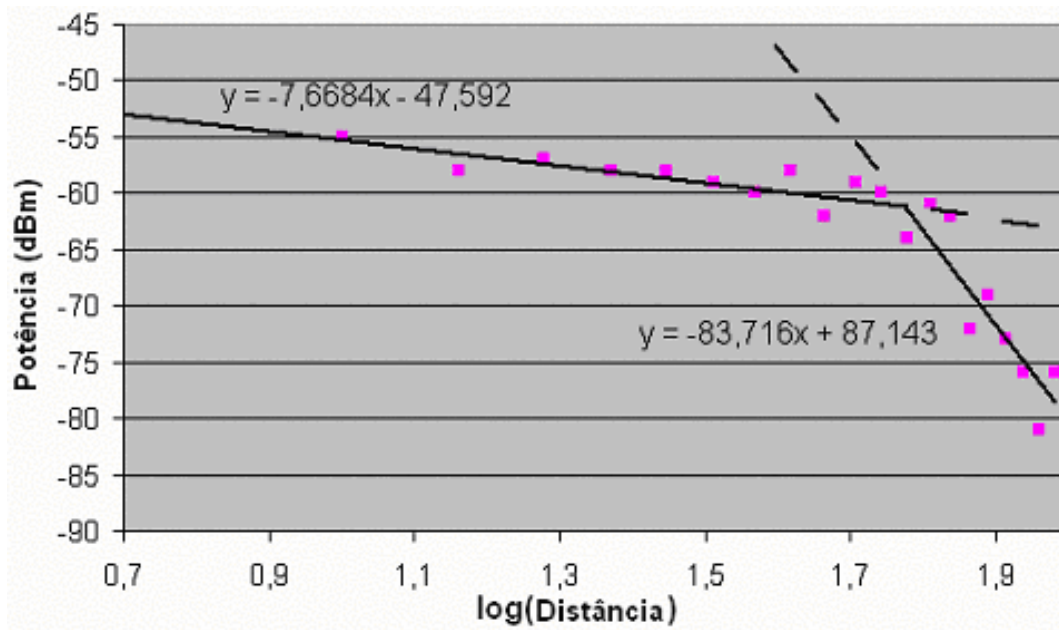


Figura 25 – Gráfico3 (log-log) de Distância x Potência recebida no teste de LoS

Para confirmar a distância do ponto de quebra, utiliza-se a Equação 3.1:

$$d_{pq} = \frac{4 \cdot h_T \cdot h_R}{\lambda} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 1,6}{\left(\frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} \right)} = 51,2 \text{ m}$$

O ponto de quebra foi constatado em: $\log(\text{Distância}) \approx 1,75 \therefore d_{pq} \approx 56,2 \text{ m}$, validando a utilização da Equação 3.1 no ambiente *indoor* considerado.

Os modelos apresentados no capítulo 3 consideram um único coeficiente de propagação com a distância. Assim, para estimar este coeficiente na faixa de 2,4 GHz (para estes modelos apresentados), o gráfico a seguir apresenta apenas uma reta de ajuste dos pontos medidos em 50 mW.

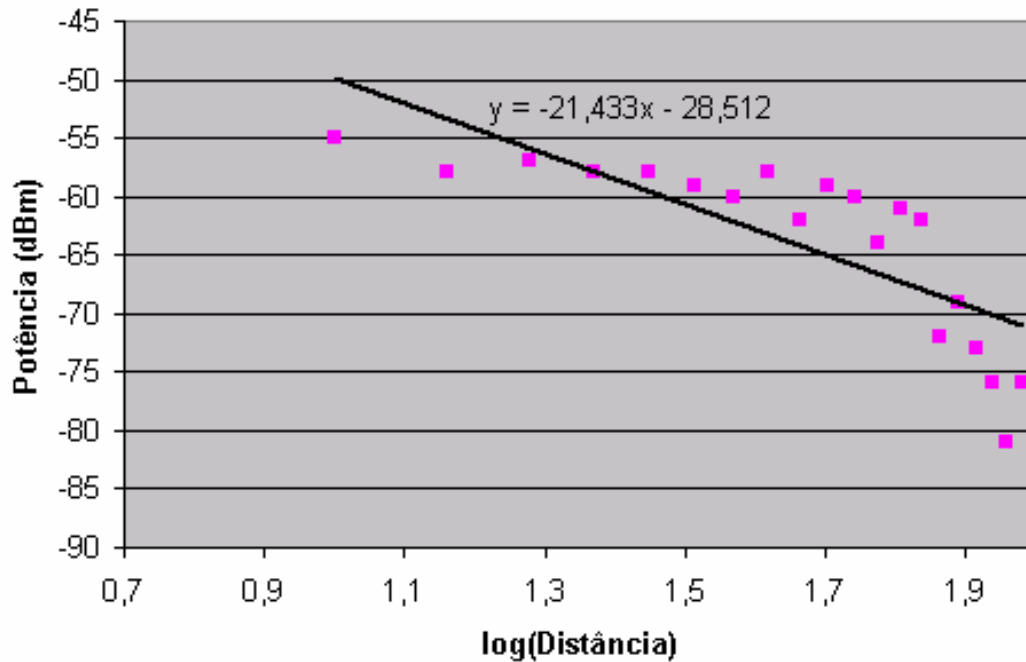


Figura 26 – Gráfico4 (log-log) de Distância x Potência recebida no teste de LoS

A partir do modelo COST 231 Keenan e Motley (dado pela Equação 3.33), podemos determinar aproximadamente o coeficiente de propagação n e a perda de propagação a 1 metro, L_o . Comparando a equação a um modelo de uma reta:

$y = a \cdot x + b$, onde:

$y = L_{TOTAL}$ e $x = \log(Distância)$

e aplicando a reta de ajuste apresentada no gráfico:

$$P_R = P_T - L_{TOTAL} \rightarrow P_R = P_T - a \cdot x - b$$

tem-se que:

$$P_T - b = -28,512 \therefore b = L_o \text{ e } P_T = 17 \text{ dBm} \rightarrow b = 45,512$$

$$a = 10 \cdot n = 21,433 \rightarrow n = 2,1433$$

Um novo cálculo desses valores utilizando todos os pontos medidos em testes de LoS é apresentado mais adiante, na seção 5.1 um estudo de caso.

Para os gráficos apresentados acima (Figura 23 a Figura 26), os dois primeiros pontos não foram considerados nas retas de ajuste, uma vez que a placa utilizada nas medidas apresenta saturação para valores de potência recebida acima de -45 dBm. Por este motivo foram realizadas medidas adicionais no início do corredor com potência de transmissão mais baixa.

A figura a seguir ilustra os sete primeiros pontos medidos no corredor, para os quais também foram efetuadas medidas com o AP transmitindo com 5 mW de potência.

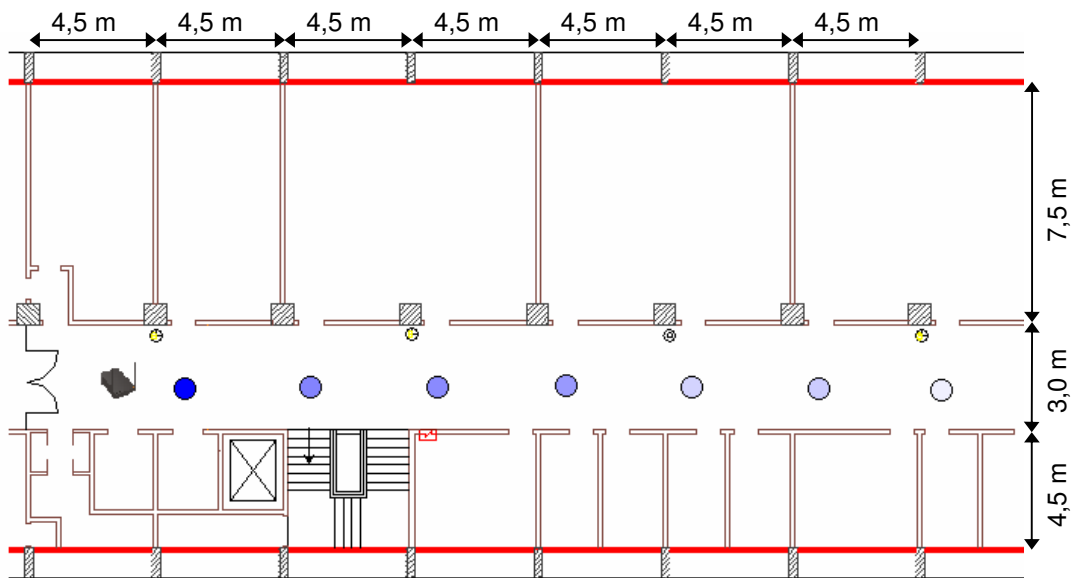


Figura 27 – Teste de *LoS* em corredor para 5 mW

Distância [m]	Potência recebida [dBm]
	5 mW (7 dBm)
1,0	>-45
5,5	-63
10,0	-64
14,5	-66
19,0	-74
23,5	-73
28,0	-68

Tabela 10 – Valores medidos de teste de *LoS* para 5 mW

Observando a tabela, nota-se que por volta de 20 metros, houve uma “quebra” na tendência da curva, como ocorreu nos testes para outras frequências. Assim, as medidas para 5 mW foram interrompidas neste ponto.

Os valores medidos nesta seção serão utilizados mais adiante, no capítulo 5, no ajuste completo do modelo de propagação.

4.2.2. Teste de *LoS* em corredor estreito

O objetivo deste teste é caracterizar o comportamento do sinal em ambientes estreitos, onde existe um alto índice de raios refletidos e ainda uma possibilidade de guiamento da onda. As figuras a seguir apresentam o ambiente escolhido para o teste.

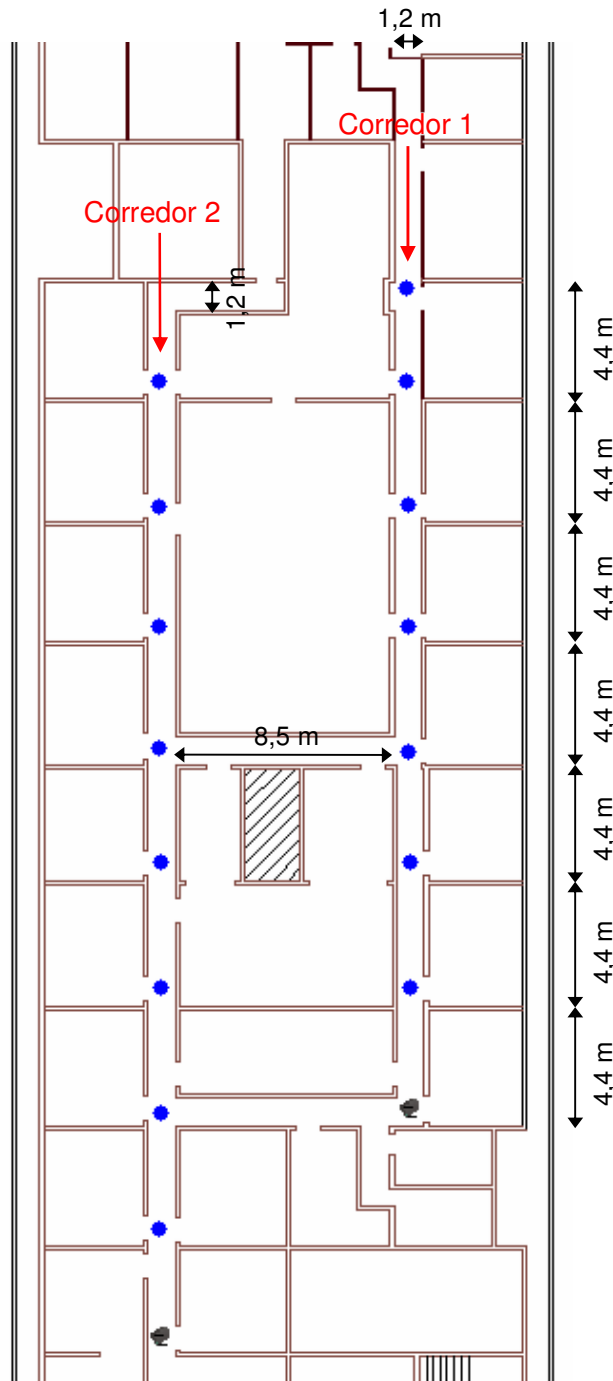


Figura 28 – Teste de LoS em corredor estreito (CETUC)

O AP foi posicionado em uma extremidade do corredor, e foram efetuadas medidas a cada 4,4 metros, ao longo de aproximadamente 40 metros do corredor. Para fins de comparação, a medida foi efetuada em dois corredores similares, com as mesmas dimensões e características de construção.

Os parâmetros utilizadas na medição foram:

- Altura do *AP*: 3,0 metros
- Altura do equipamento de medição: 1,6 metros
- Potência do *Client Adapter*: 100 mW
- Ambiente: Corredores de 1,2 metros de largura, com paredes de madeira e gesso lisos

Todas as medidas ao longo do corredor, foram efetuadas com as portas fechadas.

As medidas foram realizadas com o *AP* transmitindo com 1 mW, 5 mW e 10 mW de potência. A tabela a seguir apresenta os valores medidos.

Distância [m]	Potência recebida [dBm]			
	Corredor 1			Corredor 2
	1 mW (0 dBm)	5 mW (7 dBm)	10 mW (10 dBm)	5 mW (7 dBm)
4,4	-64	-61	> -45	-61
8,8	-79	-67	-63	-63
13,2	-73	-74	-60	-61
17,6	-78	-63	-63	-68
22,0	-87	-74	-74	-74
26,4	-	-81	-79	-79
30,0 / 30,8*	-	-	-79	-73
35,2	-	-	-	-75

* a distância de 30,0 m é referente às medidas do corredor 1, enquanto 30,8 m é referente ao corredor 2.

Tabela 11 – Valores medidos de teste de *LoS* em corredor estreito

As medidas apresentadas não são conclusivas, pois os corredores são curtos, de modo a não ser possível caracterizar a dependência da perda mediana com a distância, pois flutuações do sinal com a distância foram muito freqüentes, como pode-se notar observando a seqüência de valores apresentados. Este resultado indica uma forte presença de multipercursos, em razão do corredor curto e estreito.

4.2.3. Difração em bordas

Para se estudar a difração em bordas posicionou-se o AP próximo a uma “esquina” perpendicular entre duas paredes iguais e efetuou-se a medição do outro lado desta.

Este procedimento foi repetido para o AP em três posições diferentes, para simular o efeito da penetração do raio direto no interior do obstáculo. As imagens a seguir ilustram estas medições e apresentam os parâmetros adotados em cada uma.

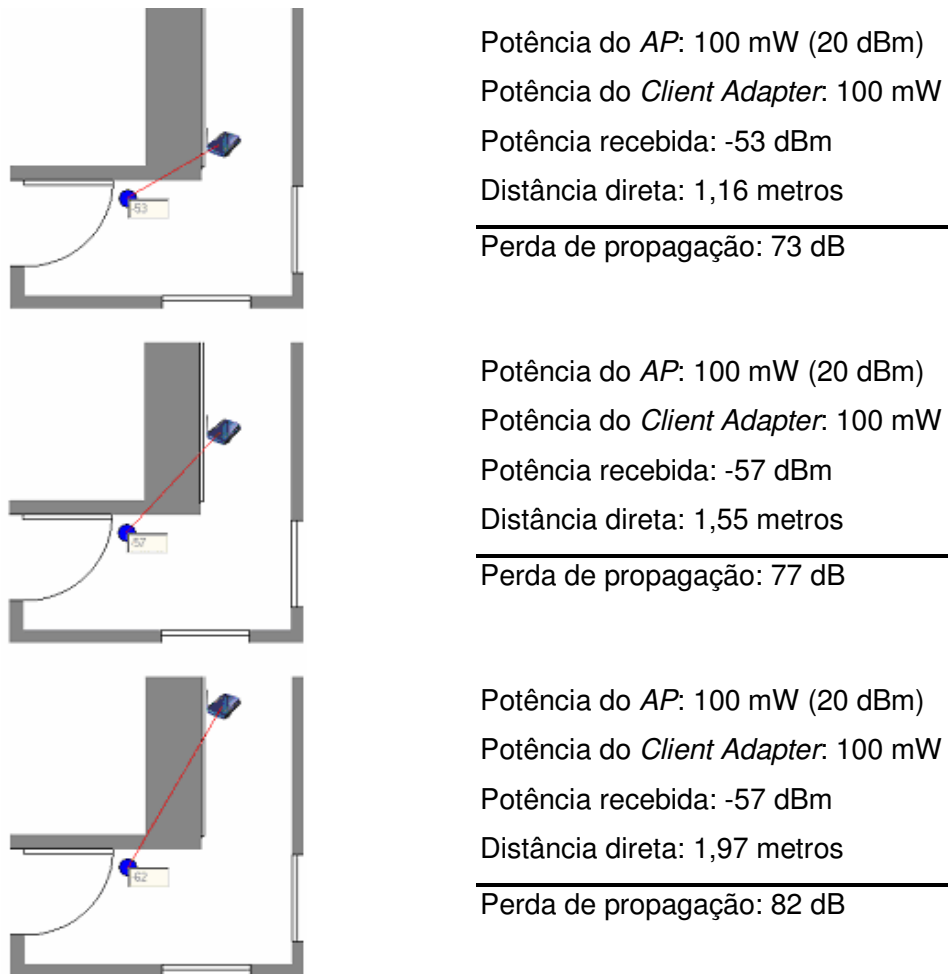


Figura 29 – Difração em bordas

Existe uma tênue diferença entre uma difração em bordas e a perda de penetração em um obstáculo. Para ter certeza qual o efeito que está sendo retratado, é necessário que se observe o elipsóide de Fresnel caso a caso. A conclusão para os casos apresentados é que o último já caracteriza a perda de penetração no obstáculo, pois o raio de Fresnel já se encontra totalmente obstruído pelo obstáculo.

Entretanto, em razão de imprecisão das medidas os resultados dos testes de difração em bordas não foram utilizados para os ajustes dos modelos de propagação apresentados no capítulo 5.

4.2.4. Teste de atenuação em paredes

Neste tipo de teste, o procedimento é posicionar o *AP* em frente ao obstáculo (seja este uma parede, porta ou janela) e efetuar medições do outro lado. É importante escolher o posicionamento de transmissor e receptor de modo que não haja outros caminhos para o sinal que não seja atravessando o obstáculo testado.

O valor da perda de penetração é determinado pela diferença entre o valor de potência recebido sem o obstáculo e o valor de potência recebido com o obstáculo.

Para garantir uma maior confiabilidade nos resultados, posicionou-se o *AP* dos dois lados do obstáculo efetuando a medição do lado oposto, para verificar se havia alguma influência do ambiente em que estava o equipamento transmissor.

A seguir são apresentados os resultados das medidas:

Obstáculo	Material de composição (predominante)	Característica	Espessura	Perda adicional
Porta	Madeira	Aglomerado	35,0 mm	1 a 3 dB
	Madeira	Aglomerado	53,0 mm	5 a 9 dB
	Metal	Oca	41,0 mm	19 a 23 dB
Parede	Madeira (divisória)	Lisa	35,0 mm	2 a 4 dB
	Gesso	Lisa	50,0 mm	4 a 8 dB
	Gesso	Lisa	100,0 mm	8 a 14 dB
	Cimento + Tinta	Lisa	150,0 mm	13 a 19 dB
	Cimento + Tinta	Rugosa	200,0 mm	17 a 24 dB
Janela	Vidro	Próximo à esquadria metálica	5,0 mm	2 a 4 dB
	Vidro	Distante da esquadria metálica	5,0 mm	0 a 1 dB

Tabela 12 – Perdas de penetração em obstáculos (medidas)

* Valores fortemente dependentes da posição de medição, provavelmente em razão do ângulo de incidência do raio principal no obstáculo.

Os resultados encontrados são bem próximos aos sugeridos pelo *European COST 231*, apresentados na Tabela 2.

4.2.5. Movimento de pessoas

Com o AP e o equipamento receptor, posicionados em locais onde a variação de potência do sinal recebido era imperceptível, considerada a sensibilidade do receptor (isto é, locais onde o efeito dos multipercursos não era acentuado) simulou-se o trânsito de pessoas obstruindo o raio direto entre os equipamentos.

Para o caso destas medidas, o tempo de medida foi superior ao tempo utilizado para os outros testes, em razão de que a movimentação de obstáculos móveis gera desvanecimentos profundos ao sinal recebido. Para este caso, as medidas foram efetuadas durante cinco minutos, a cada segundo e repetidas duas vezes.

Os resultados foram próximos aos sugeridos pela recomendação ITU P. 1238-1. A tabela a seguir apresenta os valores medidos:

Número de pessoas em movimento	Perda média
1	4 a 8 dB
2 ou mais	6 a 12 dB

Tabela 13 – Atenuação devido a movimentação de pessoas

4.2.6. Teste de cobertura geral

Para o teste de cobertura geral, foram escolhidos dois tipos de ambientes com características bastante diferentes:

- Ambiente Residencial – trata-se de um ambiente com paredes sólidas, corredores curtos e poucos recintos fechados.
- Ambiente Comercial – se trata de um ambiente com paredes finas (maior parte feitas de madeira), corredores longos e muitos recintos fechados.

Nas medidas feitas nestes dois ambientes, ocorre a maior parte dos efeitos e mecanismos de propagação comentados nas seções 3.2 e 3.3.

Ambiente Residencial:

A imagem a seguir ilustra alguns pontos medidos no interior de um ambiente que apresenta um grande número de obstáculos ao raio direto, resultando num número de raios refletidos.

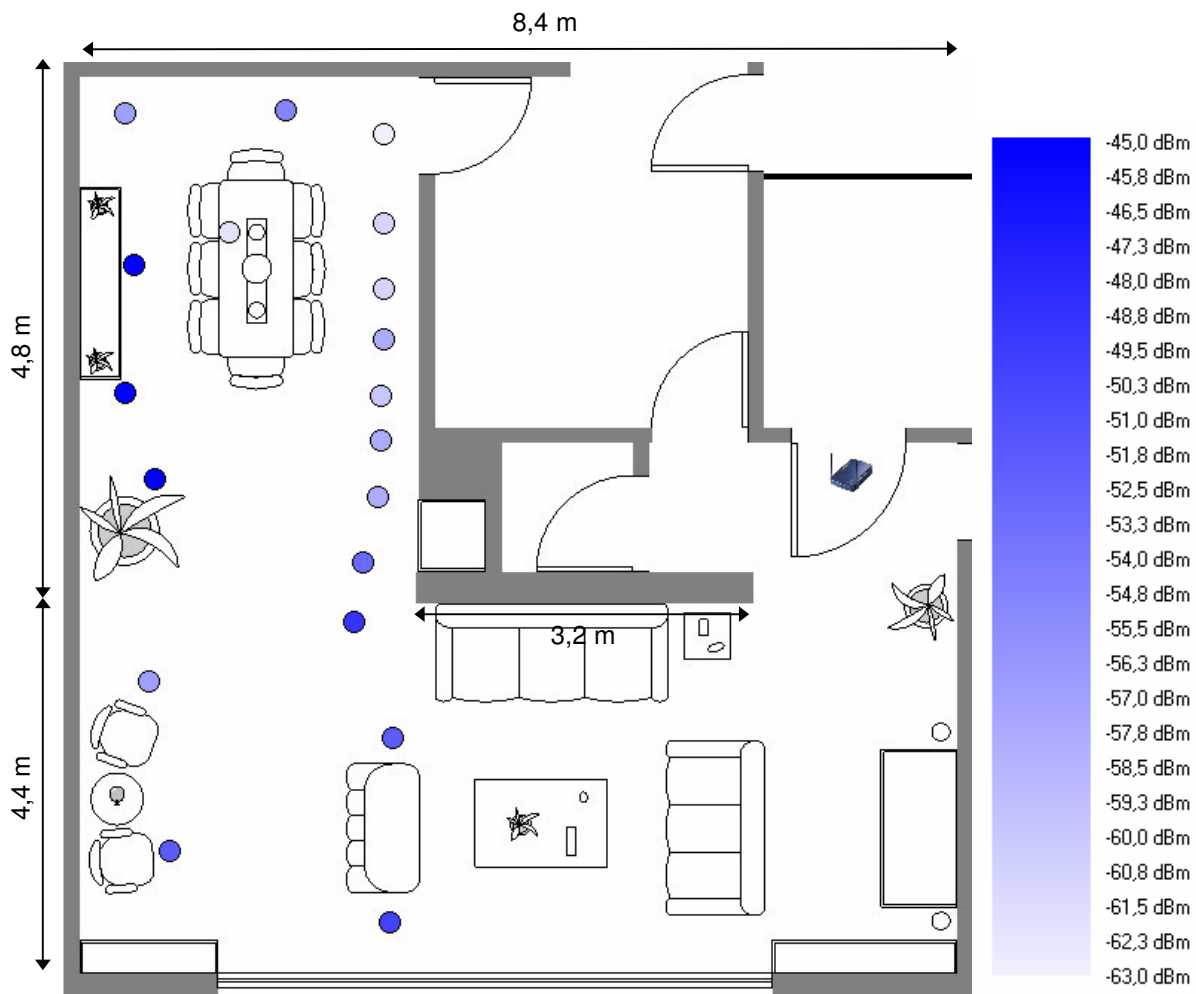


Figura 30 – Medidas efetuadas em ambiente *indoor*

Podemos notar que alguns pontos mais distantes do AP, apresentam valores de potência maiores do que pontos relativamente mais próximos. Este resultado pode se dar em função do efeito de multipercursos ou de uma maior obstrução do raio direto em alguns pontos em relação a outros.

Ambiente Comercial:

As figuras a seguir ilustram as posições dos pontos medidos. O ambiente em questão é composto por paredes finas de gesso e divisórias de madeira. As perdas de penetração nas diversas paredes não são muito elevadas, implicando em uma boa cobertura geral.

Neste caso, foram utilizados dois APs (configurados para utilizar os canais 1 e 6, de modo a minimizar a interferência entre eles), nas posições apresentadas na Figura

31. Os pontos de medida de cada um estão dispostos em plantas separadas para melhor visualização.

Alguns parâmetros utilizados na medição foram:

- Altura de ambos *APs*: 3,0 metros
- Altura do equipamento de medição: 1,6 metros
- Potência do *Client Adapter*: 100 mW
- Potência de ambos *APs*: 100mW
- Ambiente: Corredores de 1,2 metros de largura, com paredes de madeira e gesso lisas

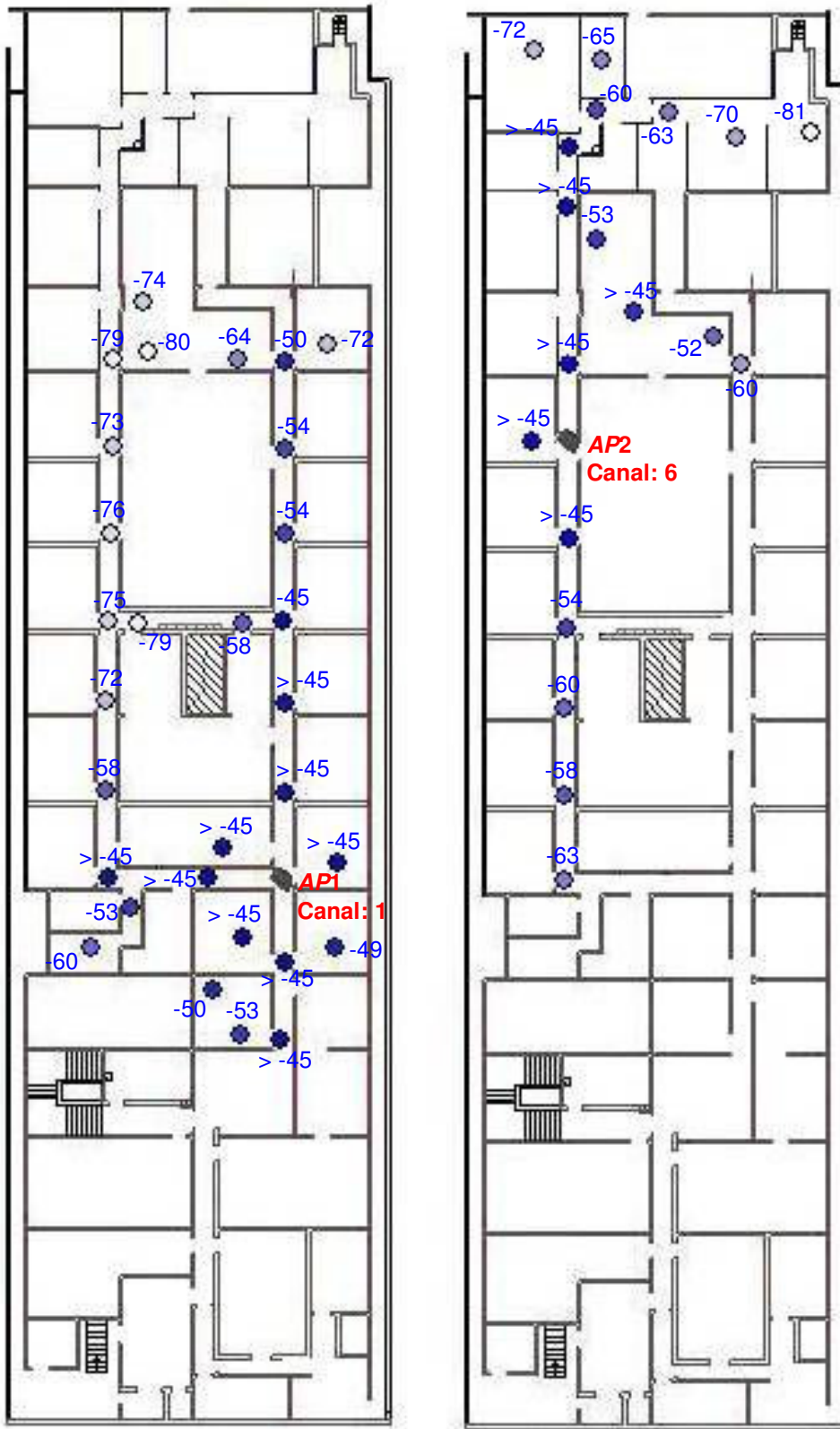


Figura 31 – Medidas com dois APs em ambiente comercial

Podemos observar que, para este ambiente, o comportamento do sinal é muito próximo do esperado quando não há forte efeito de multipercursos, isto é, a intensidade do sinal é maior quanto mais próximo do *AP* e menos obstáculos obstruem o raio direto. Isto ocorre neste ambiente em razão deste ser muito “particionado” e a reflexão nas paredes de gesso serem relativamente baixas em comparação com a penetração nas mesmas. Para este ambiente, apesar do grande número de paredes, apenas dois *APs* foram suficientes para prover cobertura em todas as salas. A Figura 32a ilustra algumas áreas onde ocorreram *roamings* entre *APs*. Observou-se ainda um efeito de histerese, ou seja, o *roaming* entre *APs* não ocorre simplesmente quando o sinal de um dos *APs* é superior ou ligeiramente superior ao do outro, mas quando o sinal mais baixo recebido de um *AP* atinge valores suficientemente baixos, neste caso em torno de -84 dBm.

A Figura 32b ilustra o melhor servidor inicial para o ambiente considerado, com base nas medidas realizadas no local. É denominado servidor inicial o *AP* com o qual um cliente estabelecerá comunicação quando ligado inicialmente em um determinado ponto.

Numa situação de mobilidade, pode ocorrer que um cliente que esteja se comunicando com um dado *AP* se mova para uma área em que haja sobreposição de cobertura de outros *APs*. Neste caso, o sinal proveniente do *AP* ao qual o cliente está associado pode deixar de ser o mais forte, mas o *roaming* para outro *AP* só ocorre se o sinal recebido do *AP* servidor for menor que aproximadamente -84 dBm, conforme comentado anteriormente. Portanto, o “mapa” de melhor servidor de uma dada região poderia ser modificado de acordo com a movimentação de cada usuário.

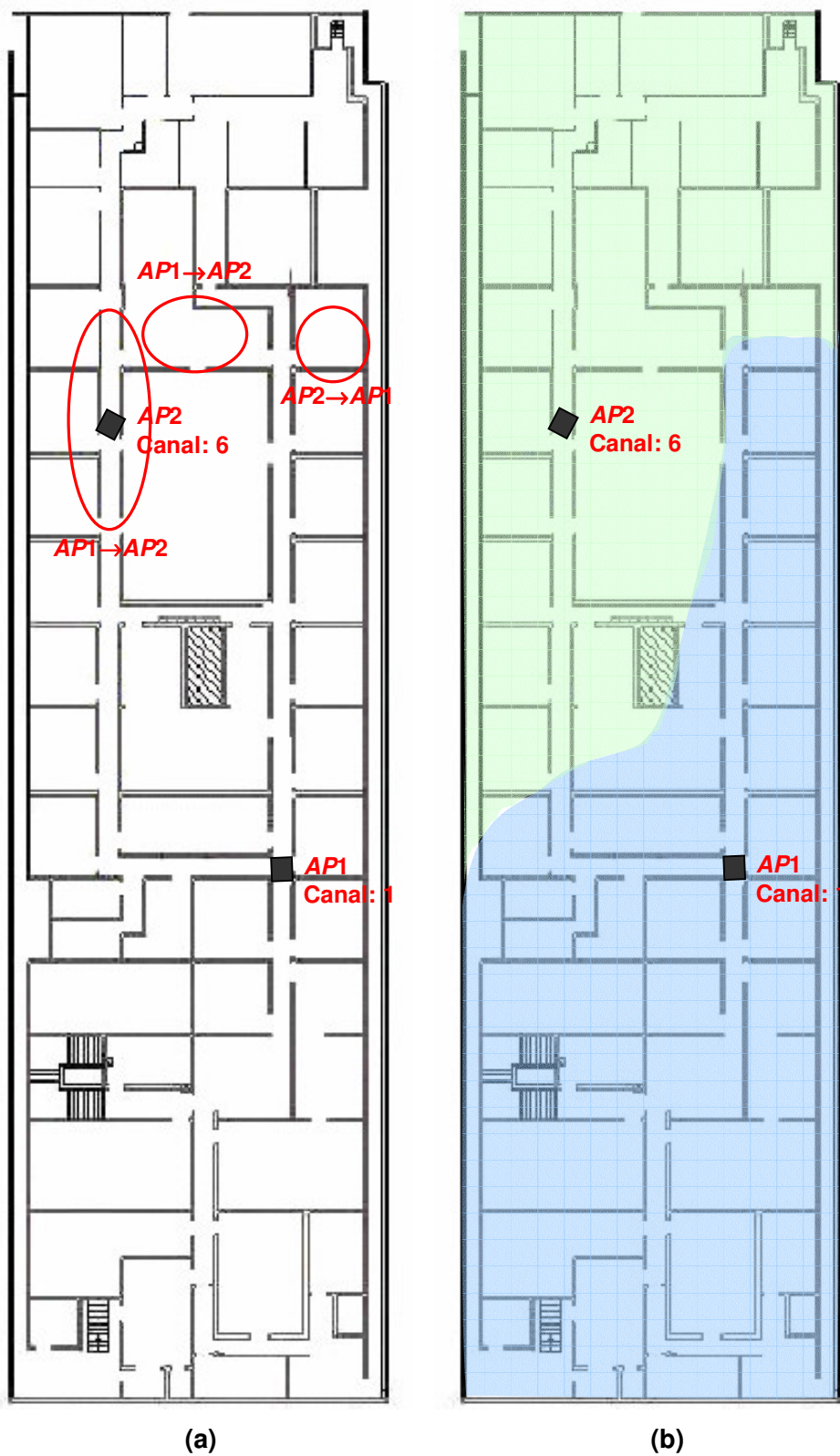


Figura 32 – (a) Áreas de *roaming* entre APs, (b) Melhor servidor inicial