

6

Análise de Medidas

Este capítulo se inicia com a descrição dos três cenários onde foram realizadas algumas medidas. Em cada ponto escolhido, é mostrada a disposição entre transmissor e receptor. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos.

6.1

Cenários de Medidas

As medidas foram realizadas em três ambientes diferentes, todos eles dentro do Campus da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O primeiro local foi o estacionamento para alunos. O ambiente é bastante aberto, apresentando quatro construções relevantes: o ginásio de esportes, o gerador de energia da Universidade, uma construção em alvenaria (Centro de Vida Inteligente) cercada de vegetação (bambus) e o edifício da Incubadora Gênesis, conforme figura 6.1. Teve-se o cuidado de realizar as medidas num domingo, quando o estacionamento se encontra vazio, criando a possibilidade do uso controlado de refletores. Foram realizadas duas medidas. A disposição do transmissor e do receptor será mostrada no item de apresentação dos resultados.

O segundo cenário de medidas foi o CETUC - Centro de Estudos em Telecomunicações, localizado no 7º andar da Ala Kennedy. Esse edifício é de alvenaria, com divisórias de gesso e amplas janelas de vidro nas salas externas [44]. As medidas foram realizadas nos corredores, que são bastante estreitos ($1,20m$) e possuem forro de PVC a $2,8m$ do piso. Dentro do CETUC, foram medidos 12 pontos, sendo que a configuração entre transmissor e receptor será mostrada no item de apresentação dos resultados. O mapa 6.2 mostra o ambiente descrito.

O último cenário de medidas foi o 4º andar do edifício Cardeal Leme, que diferentemente do CETUC, apresenta um corredor central único e largo ($3m$). As paredes são de alvenaria e as salas externas também possuem

amplas janelas de vidro nas paredes externas. As medidas foram tomadas em diversos pontos, ao longo desse corredor e também dentro de uma das salas de aula. Todas as medidas do corredor ocorreram com visada direta entre o transmissor e o receptor, mas a medida realizada dentro da sala de aula foi feita sem linha de visada. O mapa do local pode ser observado na figura 6.3.

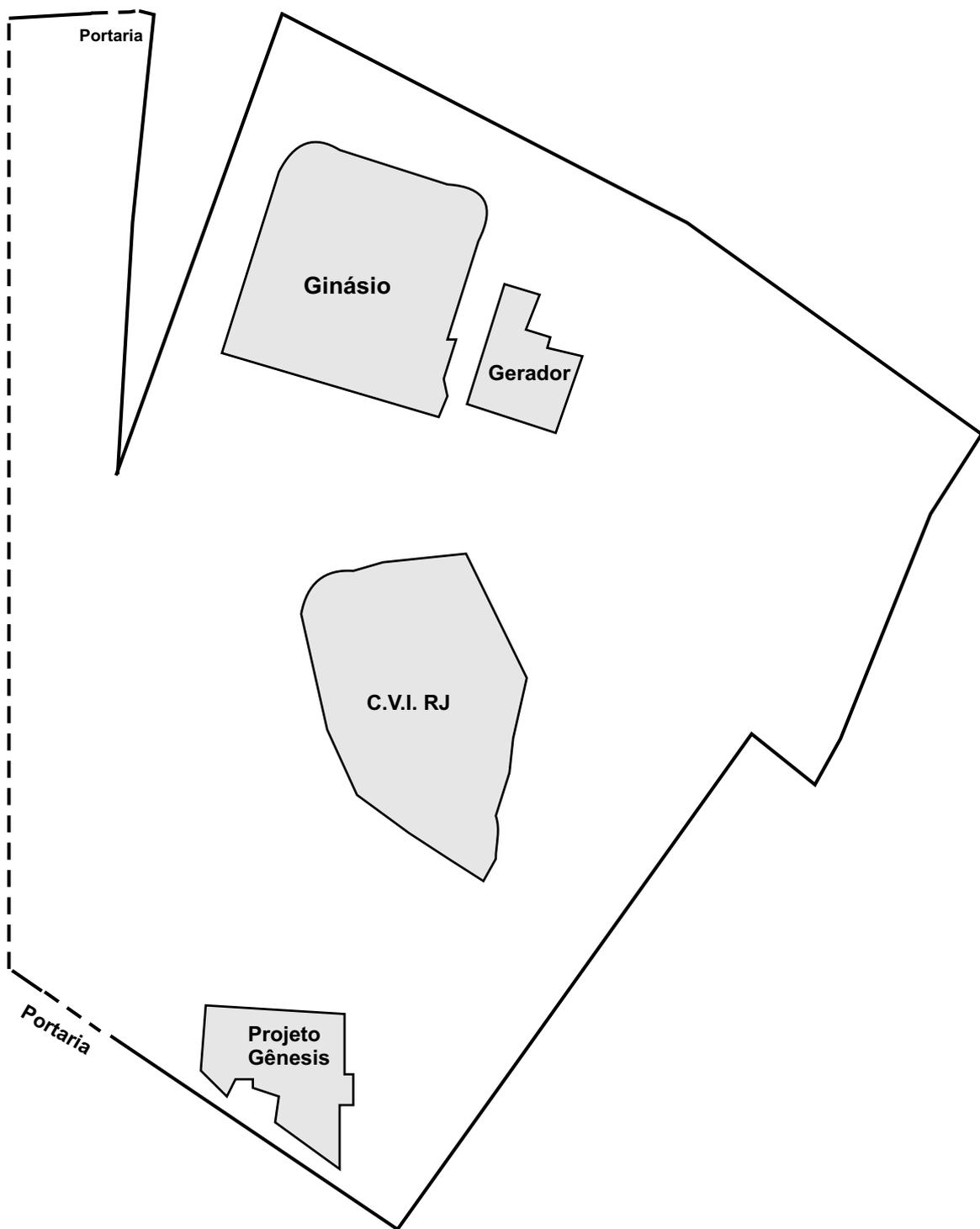


Figura 6.1: Planta do Estacionamento da PUC/Rio

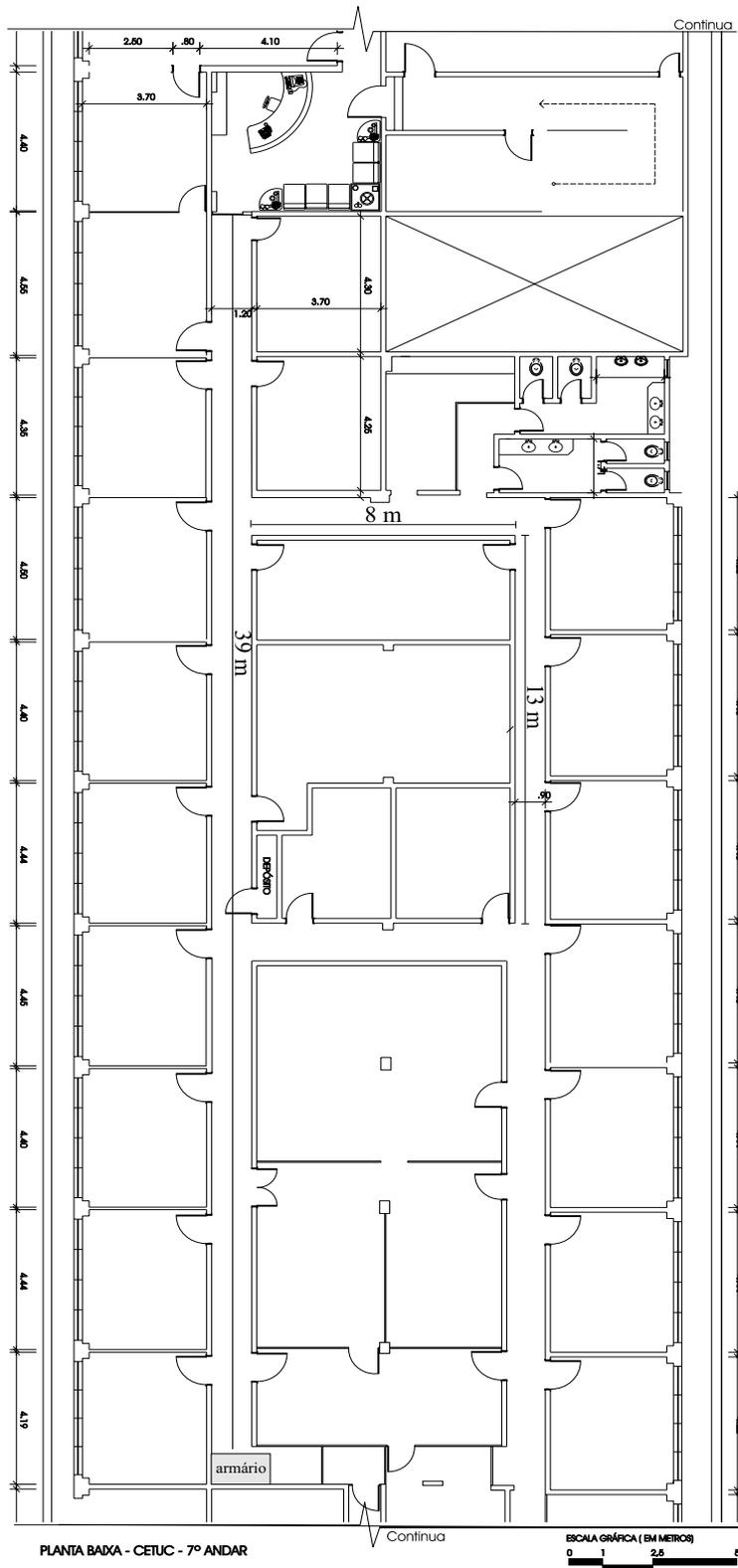


Figura 6.2: Planta do Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC/Rio - CETUC

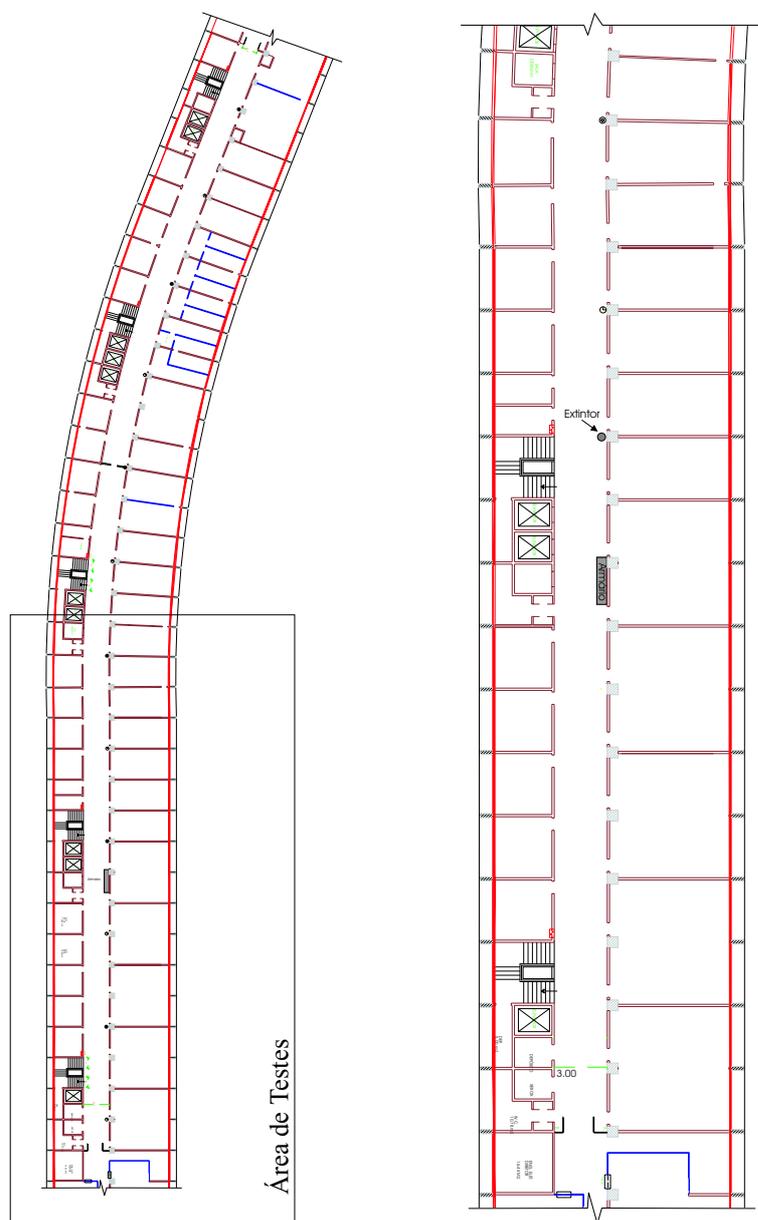


Figura 6.3: Planta do 4º andar do Ed. Cardeal Leme

6.2

Análise dos Resultados

Para análise dos resultados, cada medida será apresentada em uma figura. Cada figura é composta de 4 gráficos e 1 mapa, que mostram diferentes perspectivas do resultado e o local onde a medida foi realizada. A figura 6.4 mostra como os gráficos e o mapa estão dispostos.

Nos campos 1 e 2 há um gráfico *3D* do resultado, mostrado em duas angulações diferentes, onde o eixo x corresponde ao ângulo de chegada, variando sempre de 0 a 360 graus, o eixo y aos retardos em nano segundos e o eixo z representa a magnitude do sinal em dB .

O campo 3 mostra uma visão bidimensional da matriz espaço-temporal, discretizada conforme descrito na seção 5.2.1. A amplitude dos raios detectados está apresentada em escala de símbolos, como demonstrado em sua legenda. A disposição dos dados desta forma, como numa vista superior, facilita o reconhecimento da posição dos raios, e conseqüentemente, melhora a análise da dispersividade do ambiente.

No gráfico da posição 4, é mostrado um *pdp* (perfil de potência de retardos) obtido com a técnica de detecção de retardos apresentada em [44, 43], onde uma varredura em frequência medida com o Analisador Vetorial é submetida a uma função janela, e posteriormente a uma Transformada de Fourier. O mesmo algoritmo de discretização de retardos utilizado em [44] é implementado para associar picos de sinal a multipercursos válidos. Com a técnica descrita acima, já foram obtidos resultados coerentes, e por isso a mesma será utilizada como um parâmetro de referência para comparação dos resultados obtidos pelo algoritmo de filtragem espacial aqui implementado.

Finalmente, na posição 5, é mostrado o posicionamento do transmissor e do receptor no cenário de medidas.

6.2.1

Estacionamento

As medidas no estacionamento foram realizadas em duas disposições diferentes, chamadas de ESTAC1 e ESTAC2, representadas nas figuras 6.5 e 6.6. Em ambas, é utilizada uma placa metálica como refletor artificial, colocada nas imediações da medida, em uma posição controlada, na tentativa de forçar um espalhamento e tentar detectar sua presença na matriz de resultados $Y(\tau, \theta)$. Entretanto, a característica bastante aberta do ambiente torna os sinais refletidos muito menores que o raio principal, fazendo com

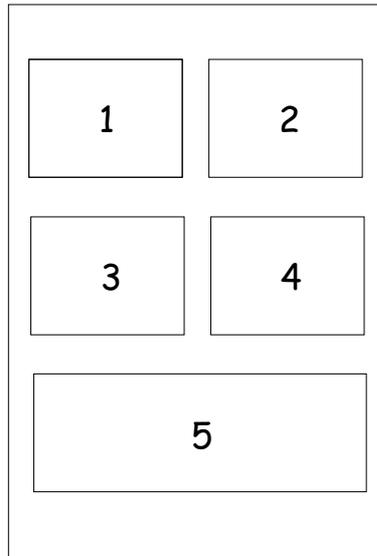


Figura 6.4: Esquema de Apresentação dos Resultados

que só o raio direto seja observado nas medidas. A análise de cada uma das duas situações está mostrada a seguir.

Para a medida ESTAC1, o raio refletido deveria chegar a 38° . Mas, somente o raio principal, que chega a 0° e com retardo de $\sim 53[ns]$ segundos, pode ser percebido pelo *array*. Na figura 6.5 é possível observar que o tempo de propagação do primeiro raio ($\sim 53[ns]$) é coerente à separação TX-RX.

Na medida ESTAC2 também foi colocado um refletor para forçar a chegada de um raio a 66° . Assim como em ESTAC1, não é possível visualizar outro raio diferente do raio principal, a 0° . A figura 6.6 ilustra a análise da medida.

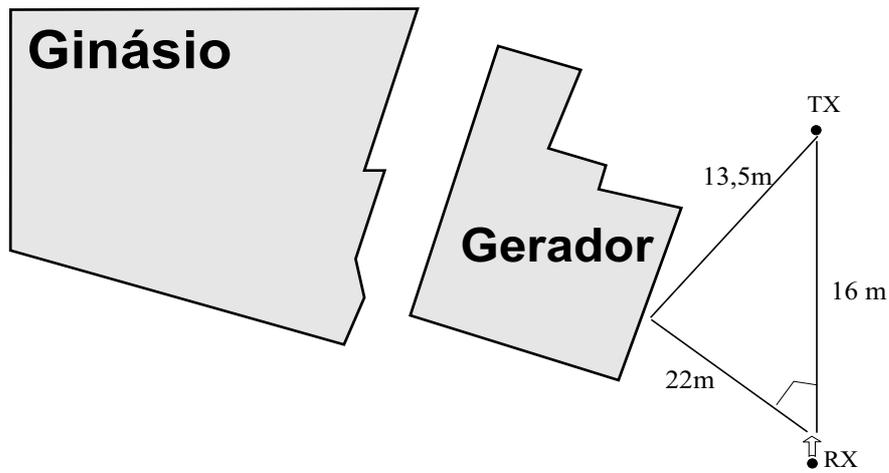
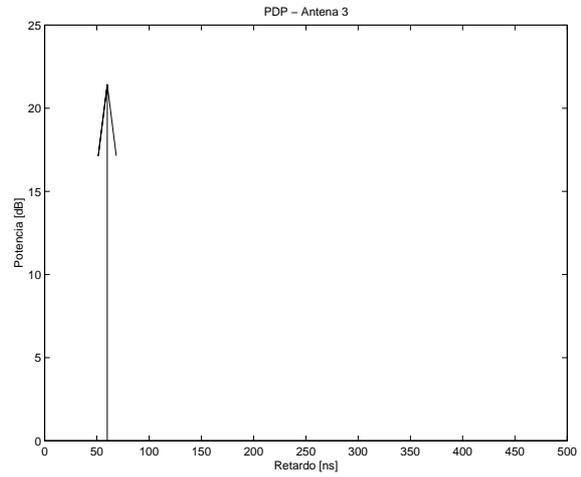
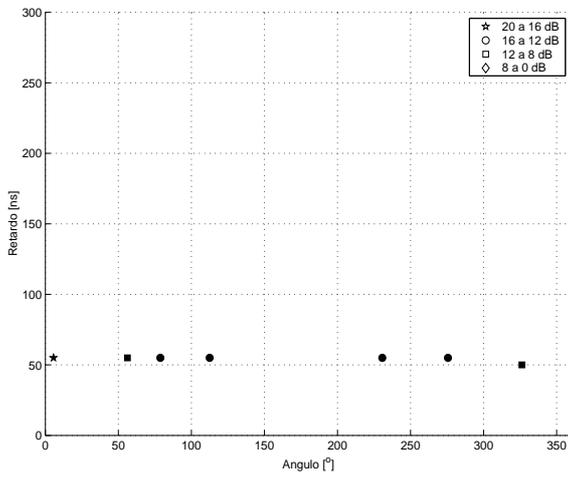
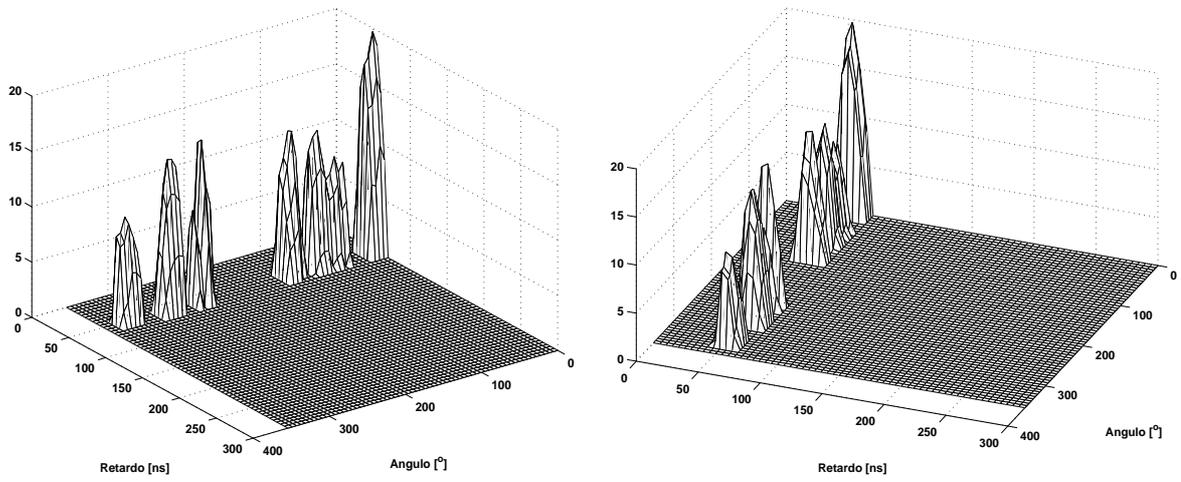


Figura 6.5: Medida ESTAC1

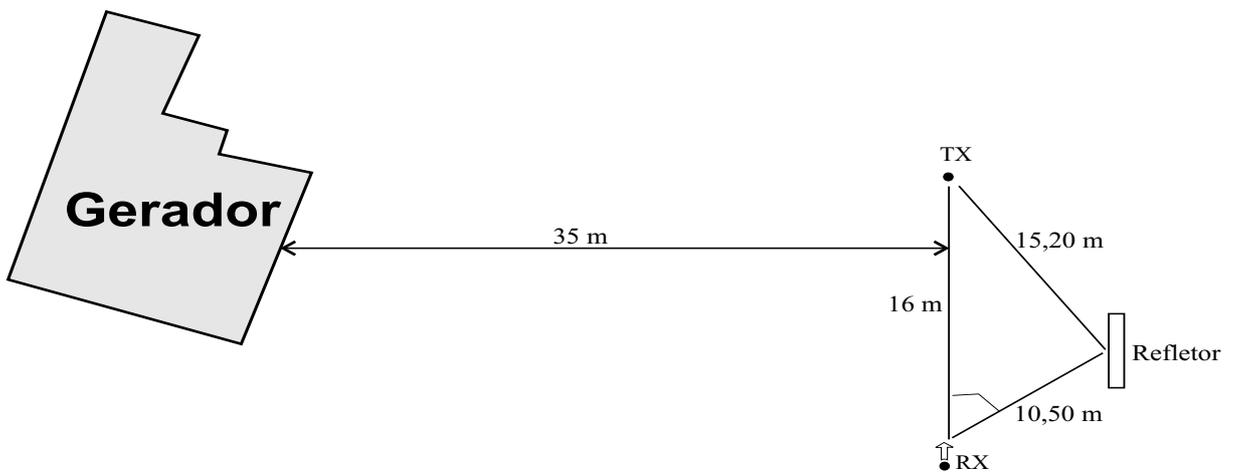
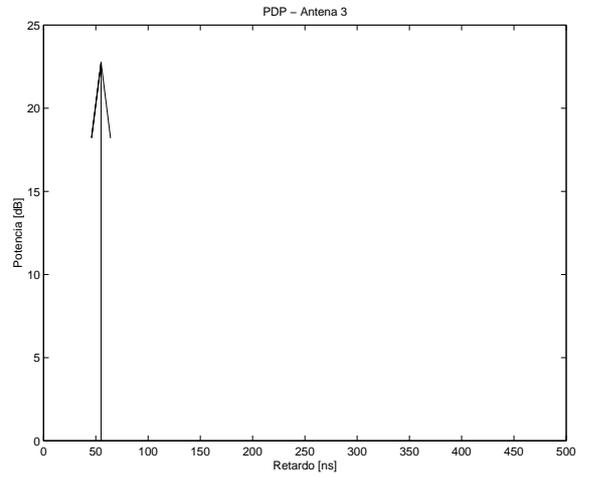
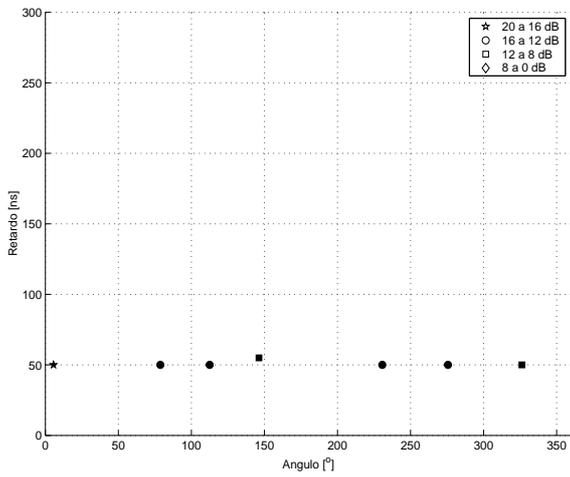
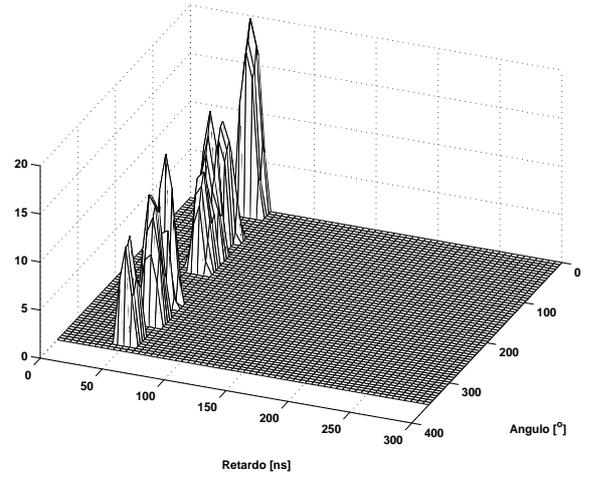
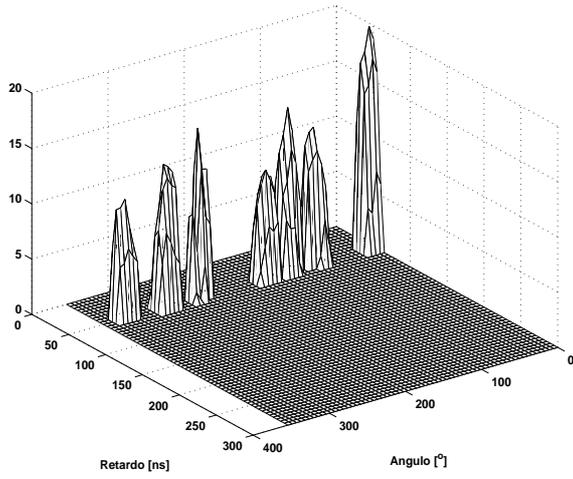


Figura 6.6: Medida ESTAC2

6.2.2 CETUC

No CETUC foram realizadas diversas medidas. O ambiente tem a característica de “confinar” o sinal propagado pois seus corredores são estreitos e o teto baixo. Isto foi importante na simulação de algumas situações, e como consequência, na validação do *setup*.

Para facilitar a compreensão, as medidas foram divididas em três conjuntos. No primeiro, as medidas foram realizadas em 4 pontos, ao longo do corredor. No conjunto seguinte, foram realizadas medidas sem linha de visada. No último conjunto, foram tomados mais 5 pontos, sendo que em 4 deles foi inserida uma placa metálica em uma das extremidades do corredor, na tentativa de representar um espalhador. Vale salientar que na extremidade do corredor mais afastada do RX, existe um armário metálico.

No primeiro grupo, as medidas serão chamadas CETUC1, CETUC2, CETUC3 e CETUC4 e estão apresentadas nas figuras 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10, respectivamente. As medidas foram realizadas em sequência, sem o uso da placa metálica, com o transmissor se afastando do receptor até percorrer toda a extensão do corredor. É possível perceber que o afastamento do transmissor e o consequente aumento do percurso a ser percorrido pelo sinal tornam perceptíveis a presença dos raios que chegam com ângulos e retardos diferentes.

Em CETUC1, figura 6.7, a separação RX-TX é de apenas $9m$, logo, o sinal que vai até o fundo do corredor (extremidade do corredor mais afastada do RX) e volta ao receptor, tem a amplitude muito pequena, se comparada com o raio direto, e não é percebido. O mesmo acontece com o sinal que deveria chegar a 180° .

Na medida seguinte, CETUC2, o raio que percorre todo o corredor na direção oposta ao RX, reflete no armário metálico e volta ao receptor, já é perceptível.

Nas medidas CETUC3 e CETUC4, o raio que chega a 180° é visível. Em CETUC4, é possível observar que, com a proximidade entre o transmissor e o armário metálico, o raio direto e o raio que reflete no armário têm uma diferença muito pequena no caminho percorrido. Como a resolução temporal das medidas é de $5[ns]$, os raios que chegam aparecem sobrepostos.

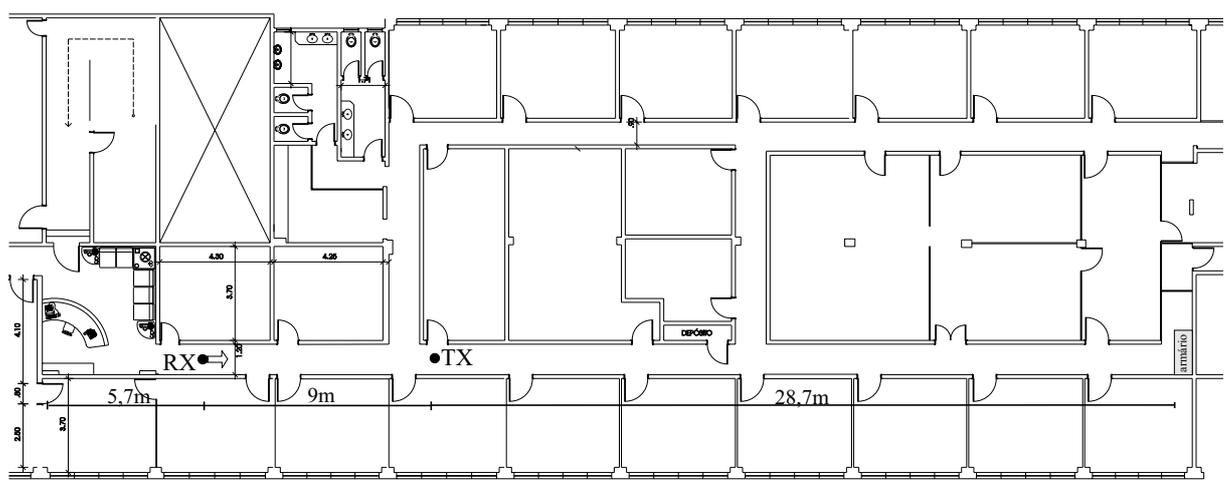
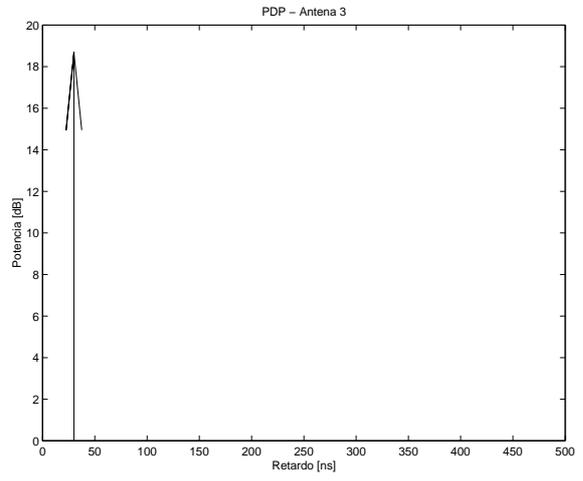
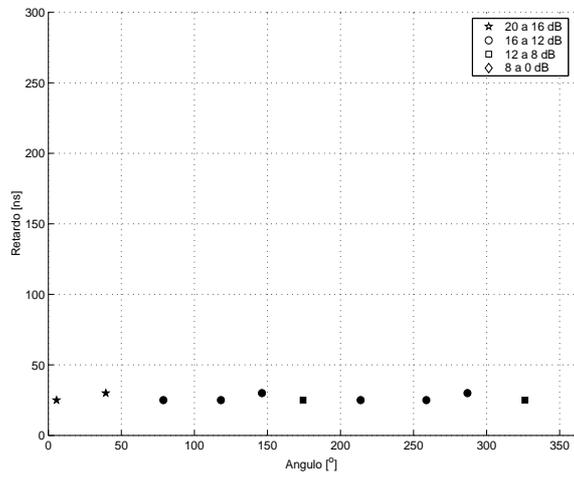
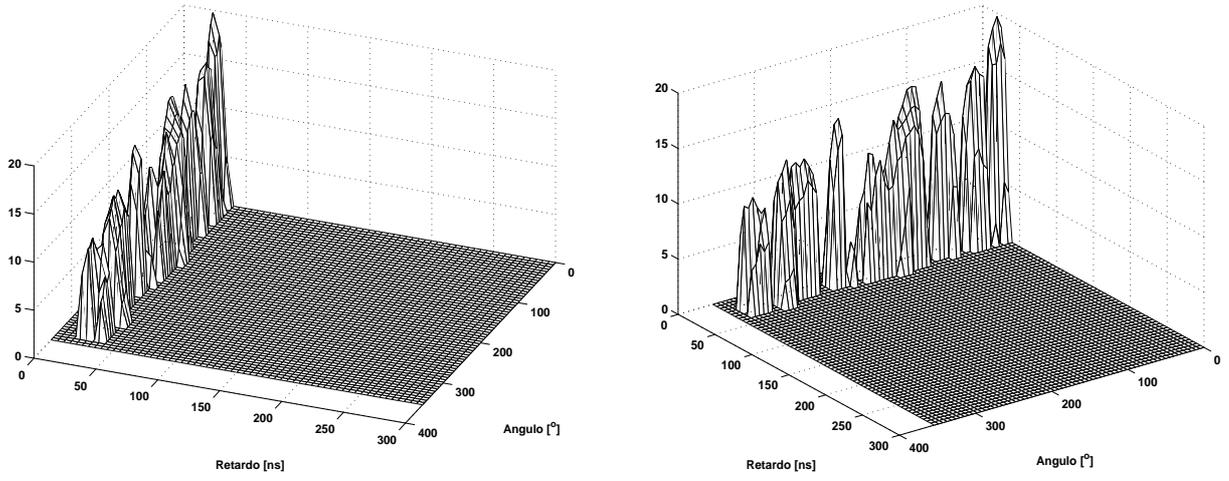


Figura 6.7: Medida CETUC1

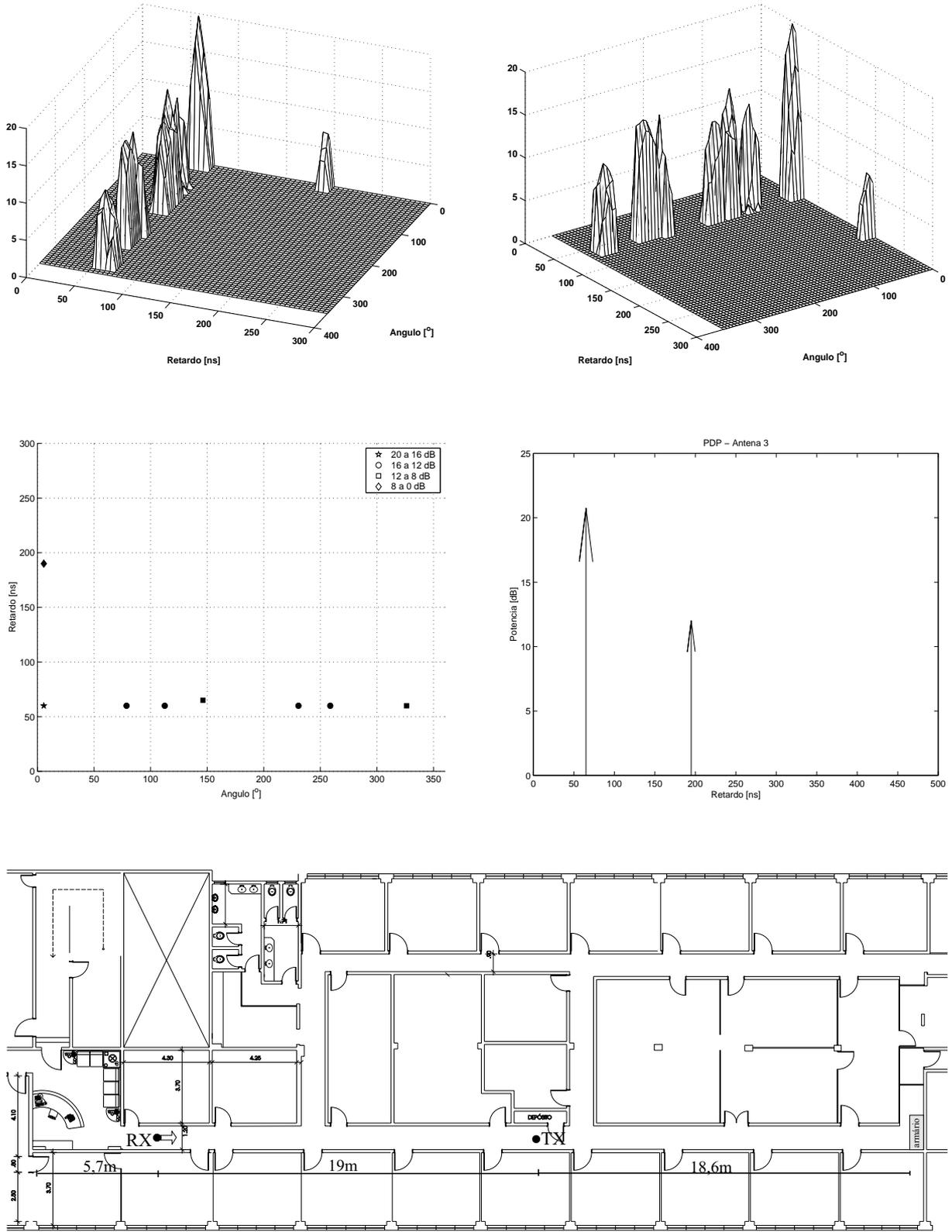


Figura 6.8: Medida CETUC2

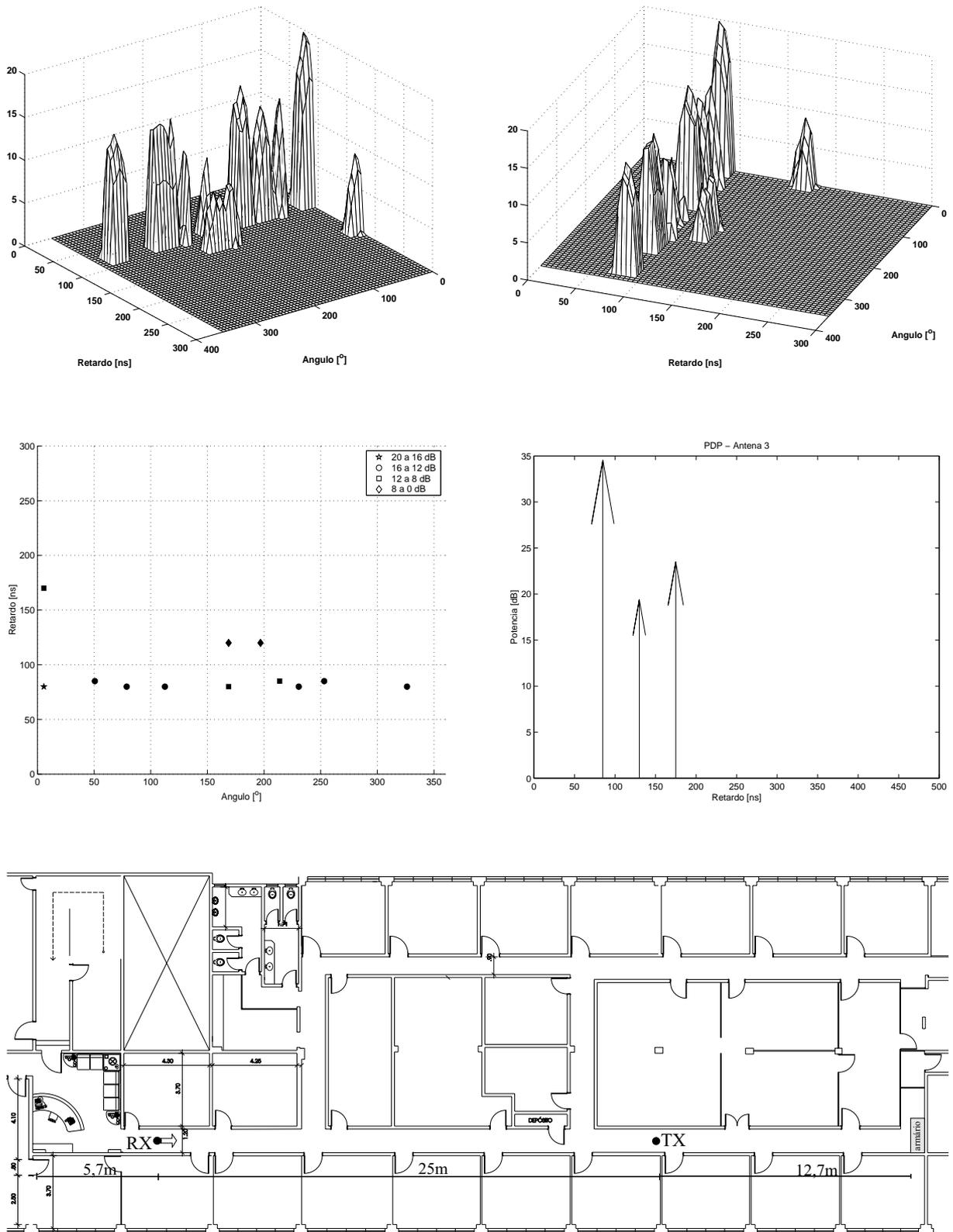


Figura 6.9: Medida CETUC3

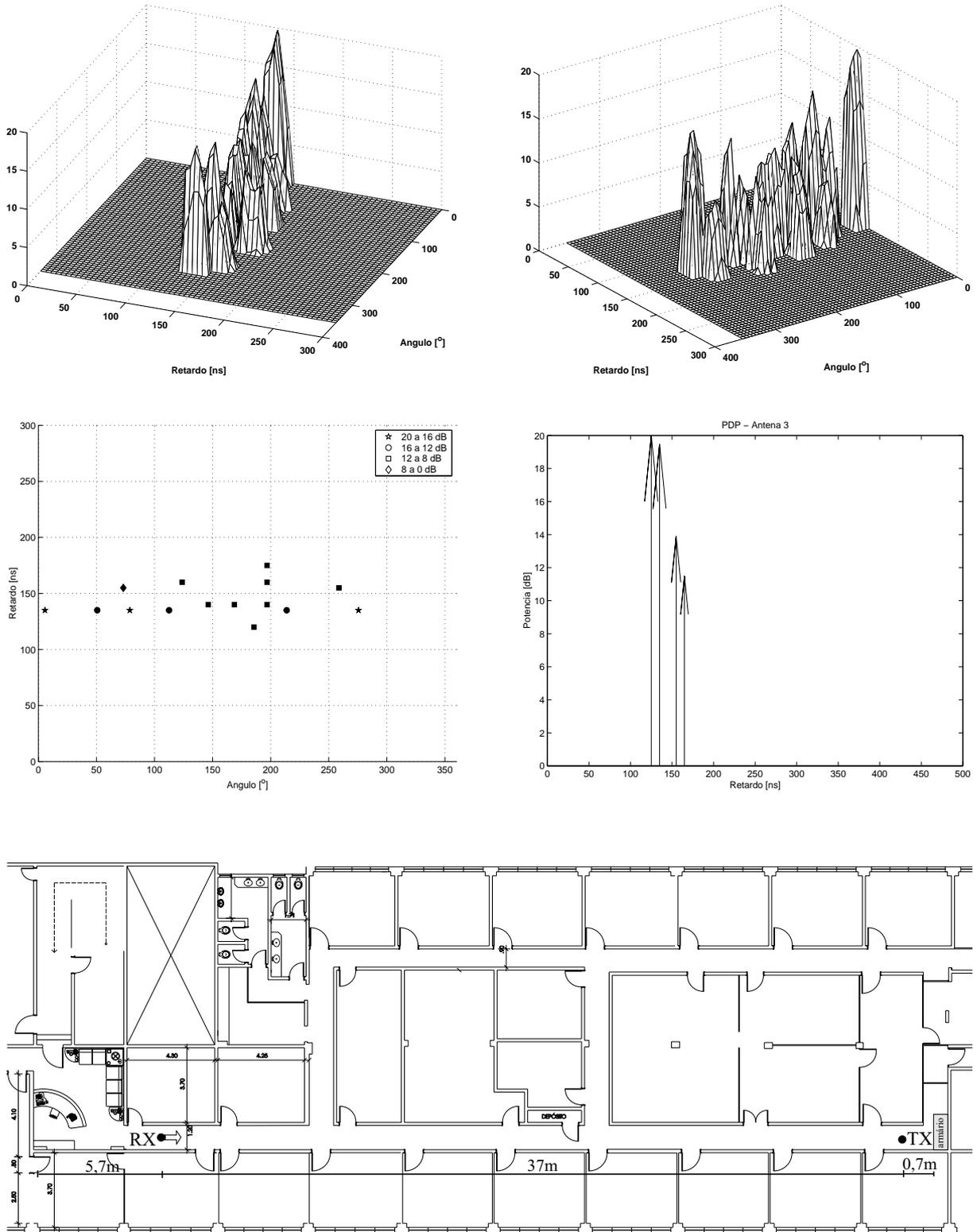


Figura 6.10: Medida CETUC4

As medidas realizadas sem linha de visada direta aproveitaram um ponto do ambiente em que dois corredores se encontram, fazendo com que o receptor receba raios “confinados” provenientes destas duas direções. O posicionamento do transmissor e do receptor é mostrado nas figuras 6.11 a 6.13. Note-se que o TX permanece na mesma posição para as três medidas e que apenas o RX é modificado, rotacionando o *array* sobre o seu eixo central.

Essas medidas são chamadas de ESQUINA1, ESQUINA2 e ESQUINA3, figuras 6.11, 6.12 e 6.13, respectivamente. A direção da seta desenhada sobre o RX diz para onde a referência do *array*, “0°”, está apontando.

Como não existe linha de visada, os retardos chegam ao refletor se sobrepondo, pois as múltiplas reflexões nas paredes dos corredores criam uma série de cópias do sinal transmitido que chegam ao receptor se somando. Porém, ainda assim é possível perceber que na medida ESQUINA 1, os raios chegam a 0° e 270°, em ESQUINA2, chegam a 0° e 90°, e em ESQUINA3, chegam a 45° e 315°, conforme esperado.

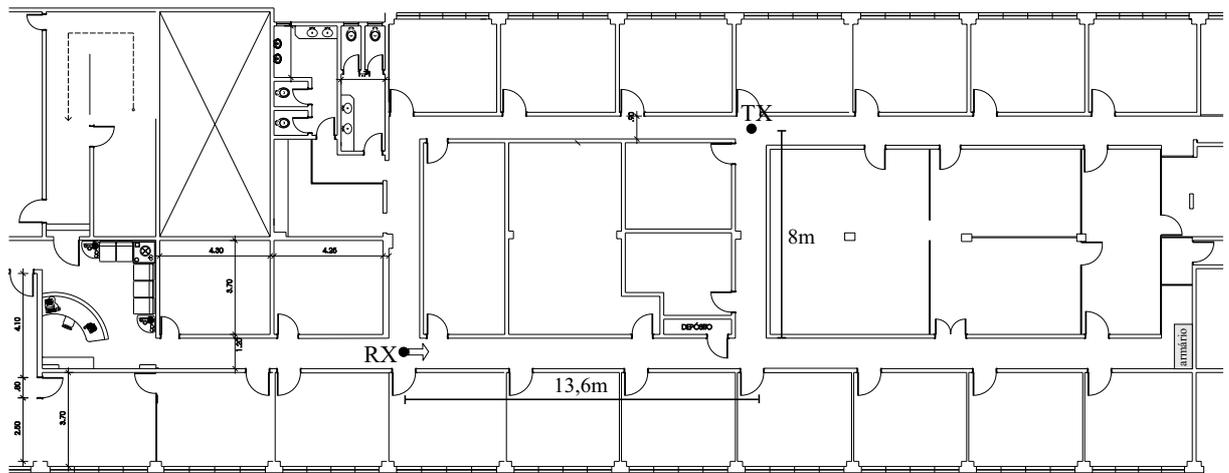
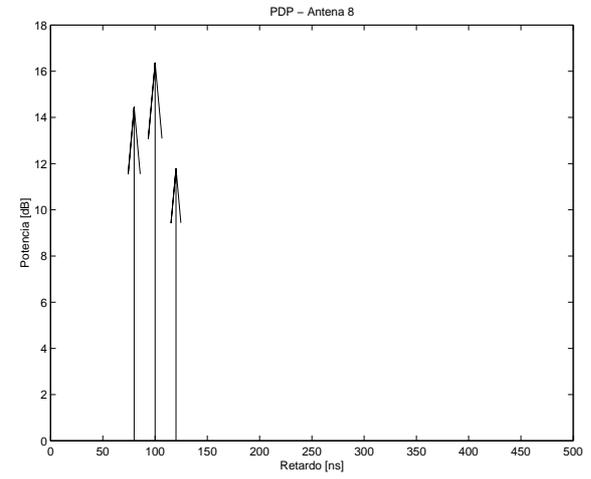
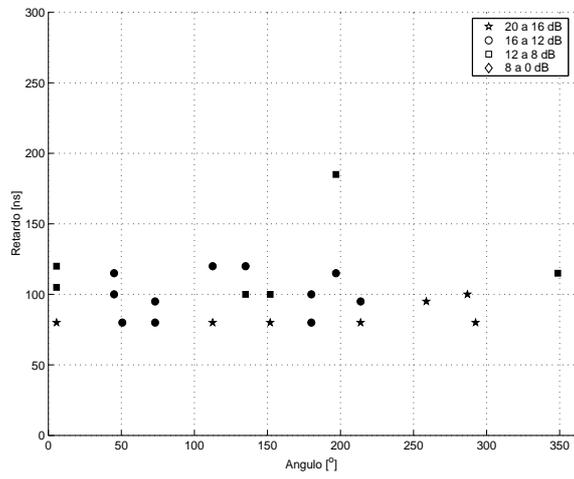
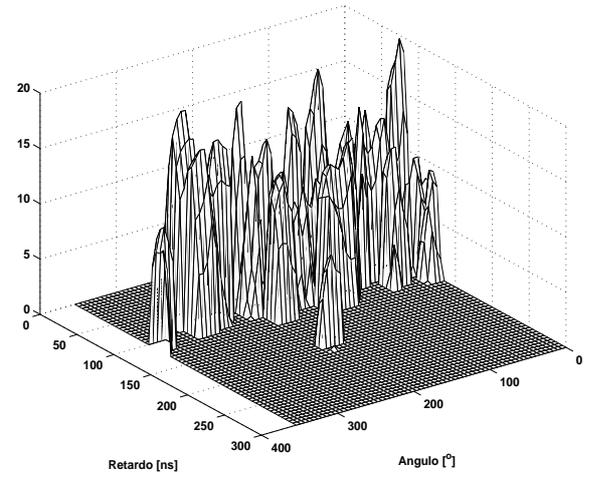
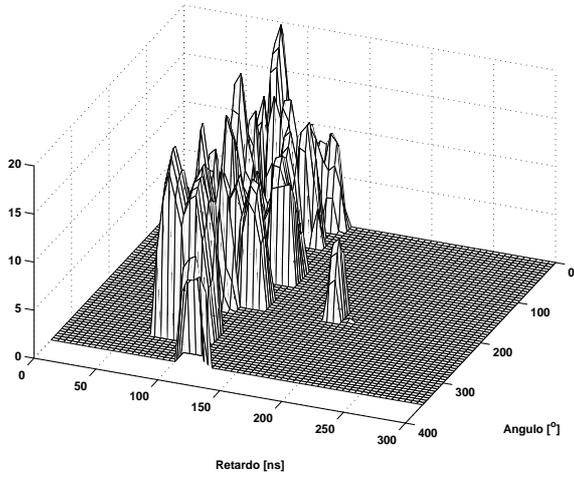


Figura 6.11: Medida ESQUINA1

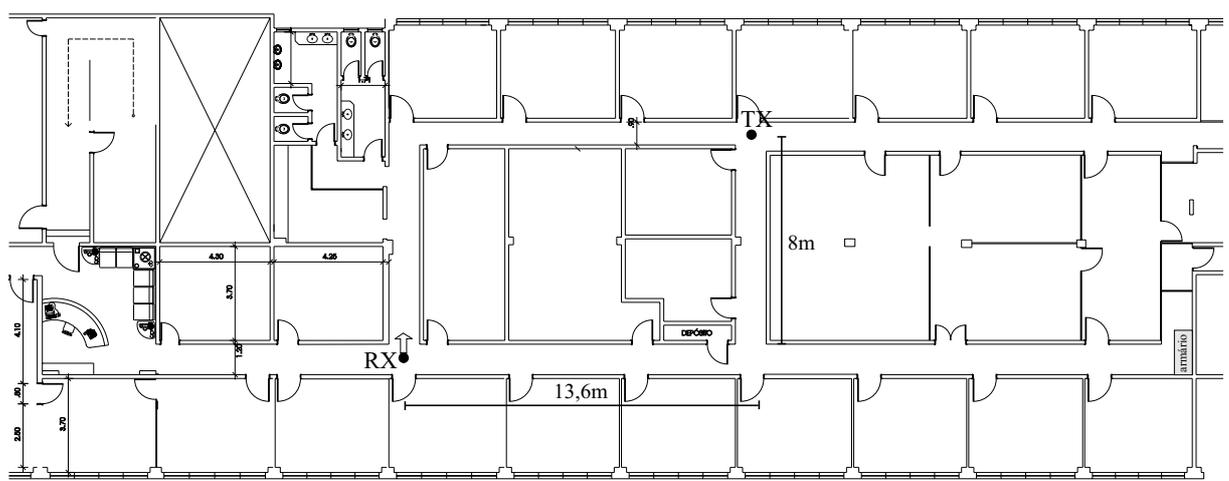
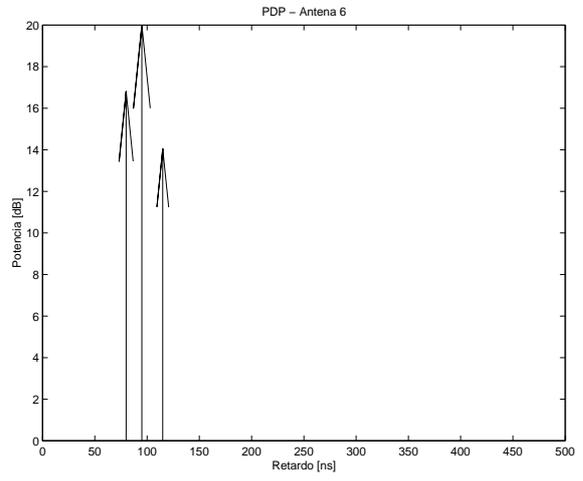
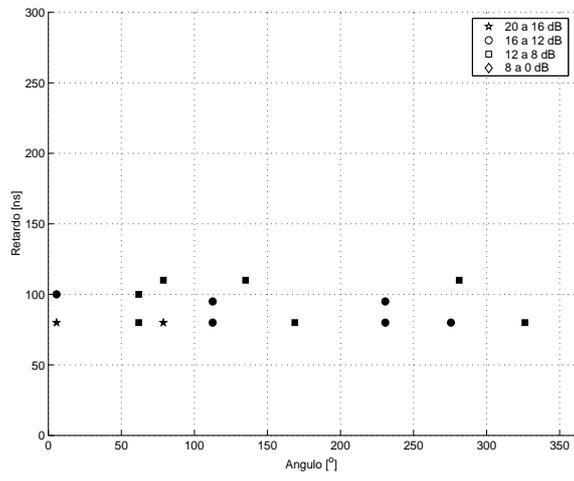
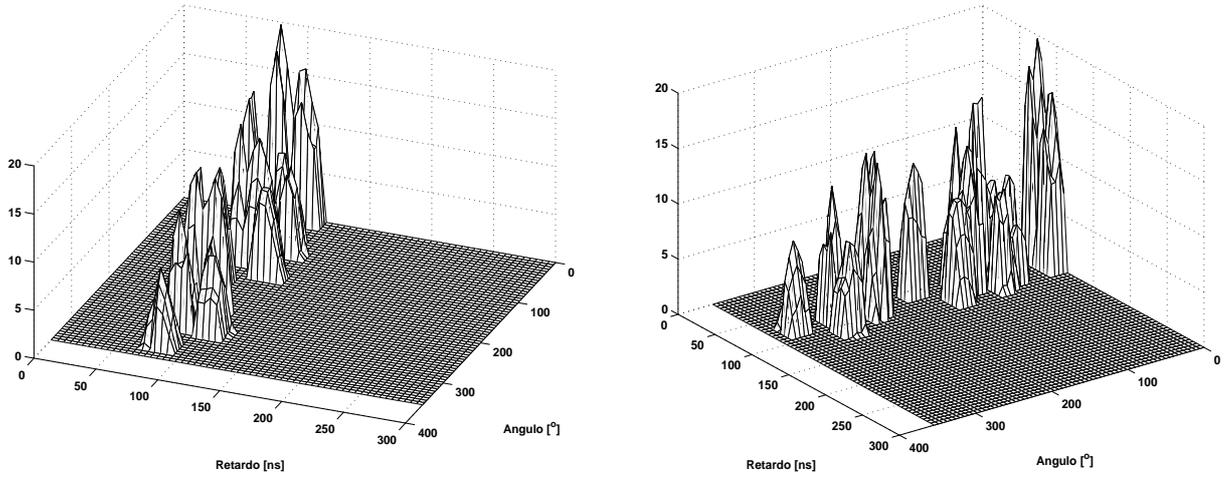
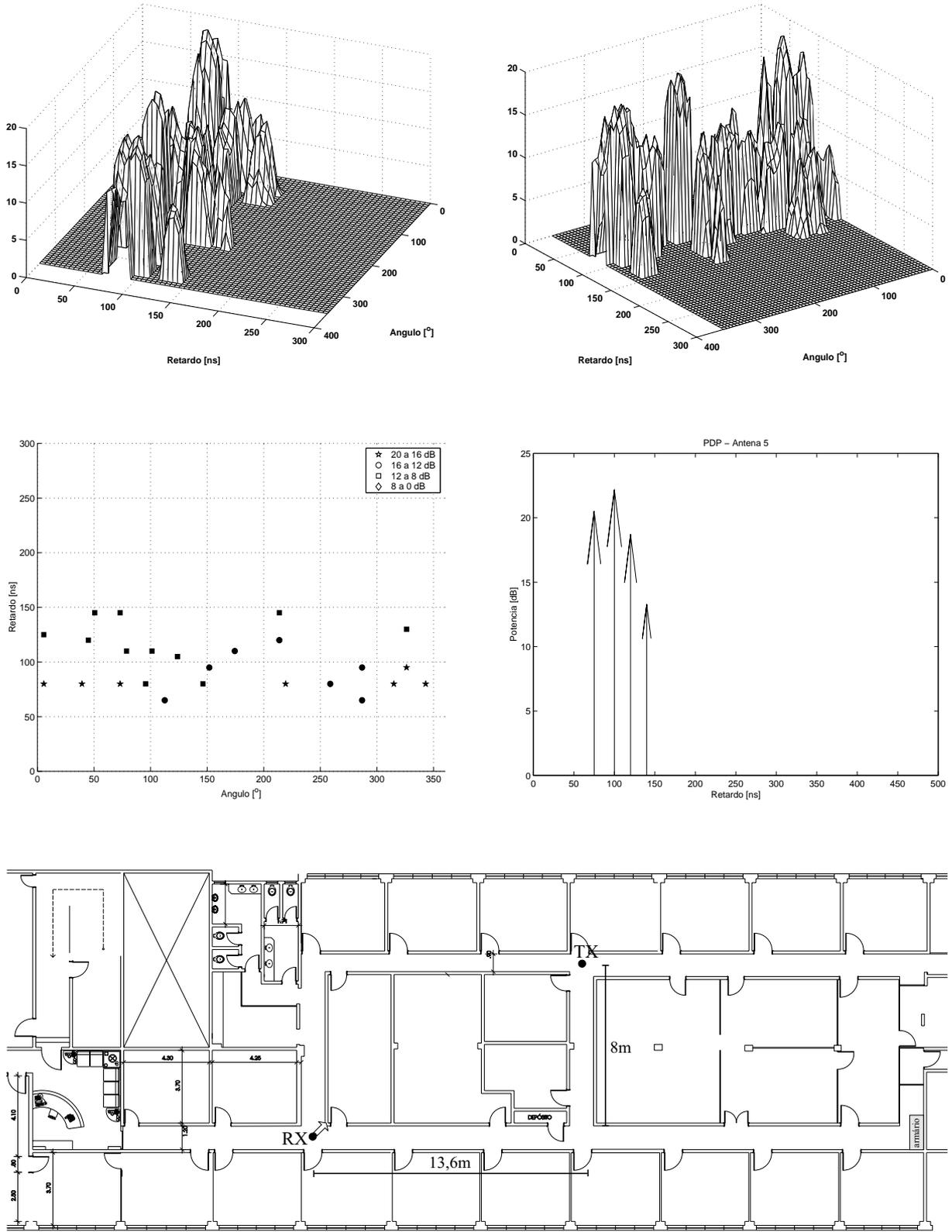


Figura 6.12: Medida ESQUINA2

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0116374/CA



PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0116374/CA

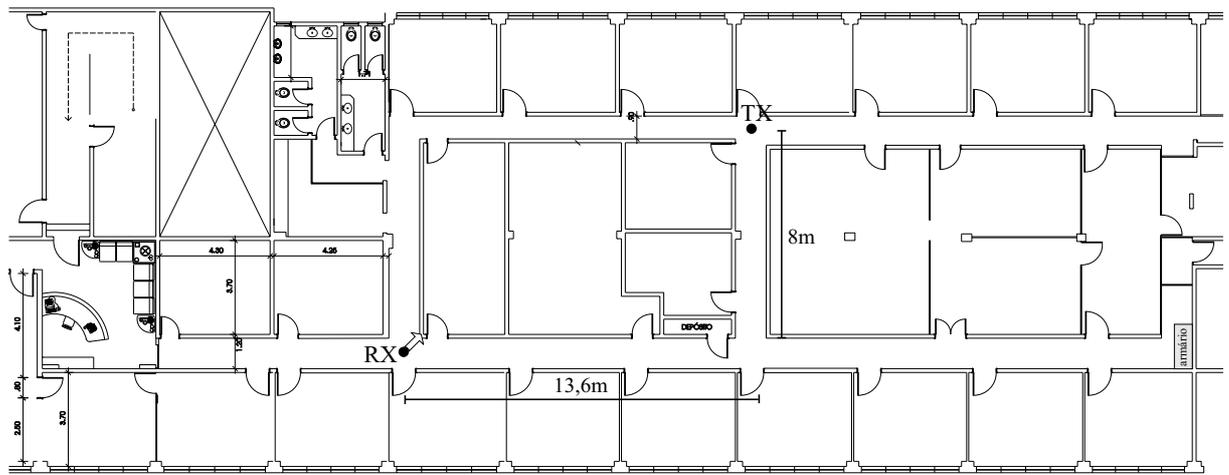


Figura 6.13: Medida ESQUINA3

Em algumas medidas do último conjunto, foi utilizada a placa metálica como refletor, na tentativa de “forçar” algumas situações; portanto, o nome dado a elas é CETUC1r, CETUC2r, CETUC3r, CETUC4r e CETUC5r, mostradas nas figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 e 6.18.

As medidas CETUC1r e CETUC2r foram tomadas mantendo-se o mesmo posicionamento entre RX-TX, separação de $16m$, sendo que numa delas foi utilizada a placa e na outra não. Em CETUC1r, não foi utilizada a placa e, portanto, o raio que deveria chegar a 180° não é visível. Porém, em CETUC2r, o refletor foi utilizado e é possível perceber o raio que sai do transmissor vai até a placa refletora e volta ao receptor num ângulo de 180° . O raio que reflete no armário, no fundo do corredor, é percebido nas duas situações.

A mesma comparação feita acima pode ser realizada entre as medidas CETUC2 e CETUC3r, figuras 6.8 e 6.16. Enquanto em CETUC2 não foi usado o refletor, fazendo com que o raio que chega a 180° não seja percebido, em CETUC3r o refletor estava presente e o raio refletido por ele pode ser visto.

As medidas CETUC4r e CETUC5r apresentam uma particularidade interessante que mostra que a técnica utilizada para processamento dos dados é bastante eficiente. O transmissor foi posicionado de maneira que a distância entre o receptor e a placa refletora fosse igual à distância entre o transmissor e o armário metálico no fundo do corredor. Isso permitiu que ângulos chegando de diferentes direções fossem percebidos no mesmo retardo, pois o sinal que sai do transmissor, reflete no armário metálico e atinge o receptor, percorre a mesma distância do raio que sai do transmissor, vai até a placa refletora e atinge o receptor.

Em CETUC5r, o RX estava apontado para o transmissor a “ 0° ”; logo, é possível perceber o raio direto, que chega a 0° com retardo de $95[ns]$ e o raio refletido que chega com ângulos de 0° e 180° no $138[ns]$. Em CETUC4r, o RX estava apontado de acordo com a figura 6.17 e, portanto, recebia o raio direto do transmissor a 90° . O raio refletido chega com ângulos de 90° e 270° .

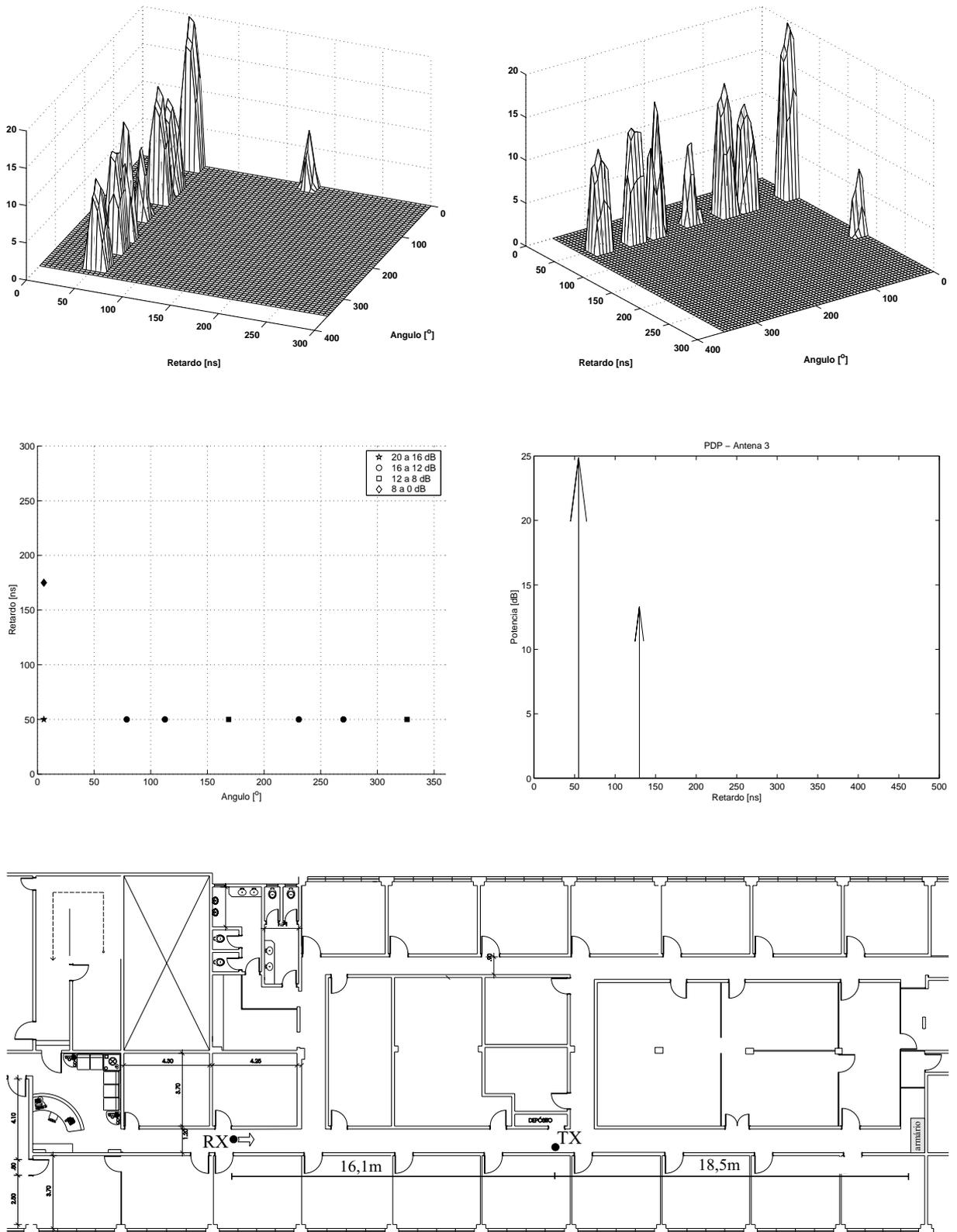


Figura 6.14: Medida CETUC1r

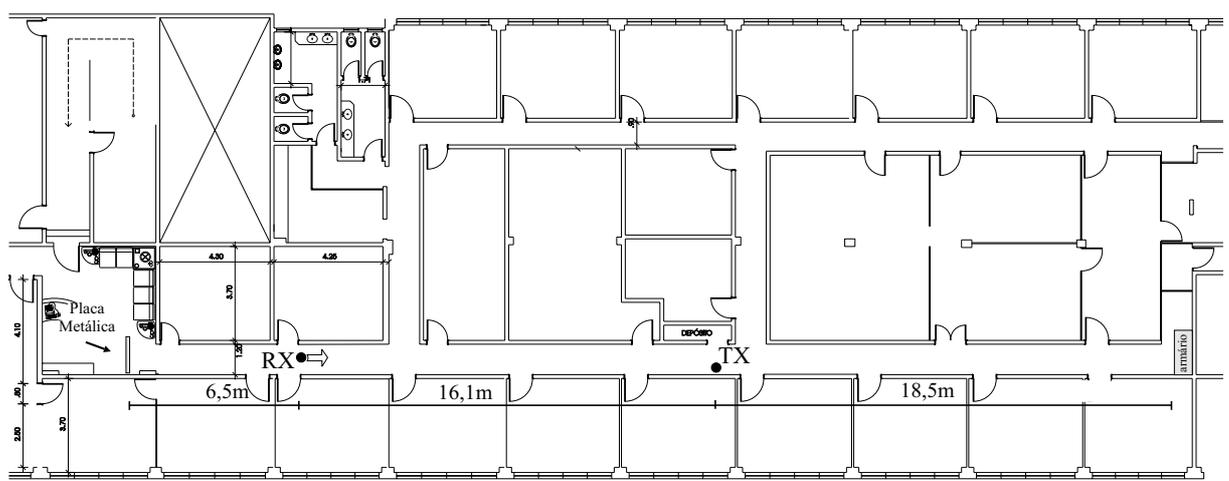
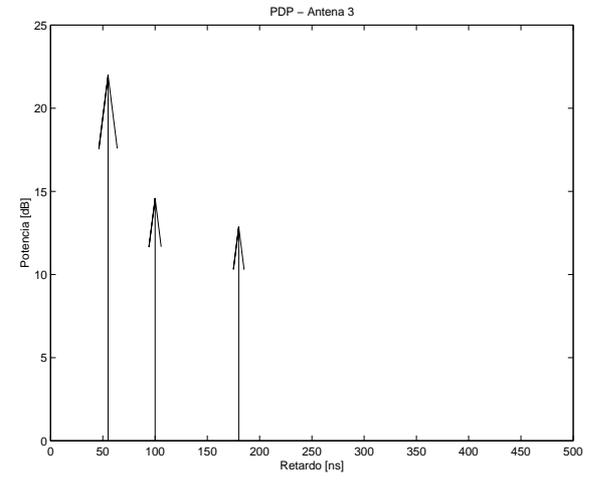
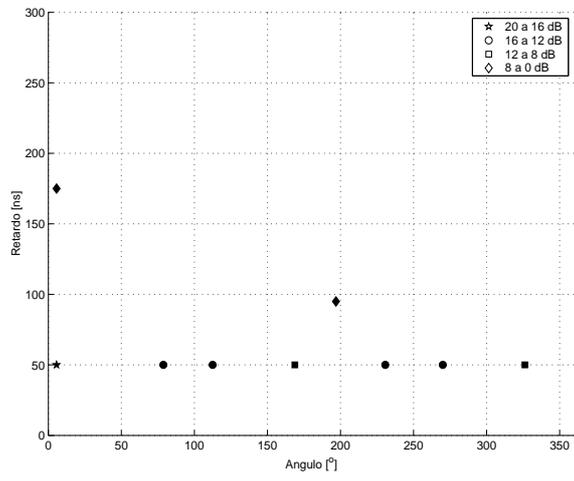
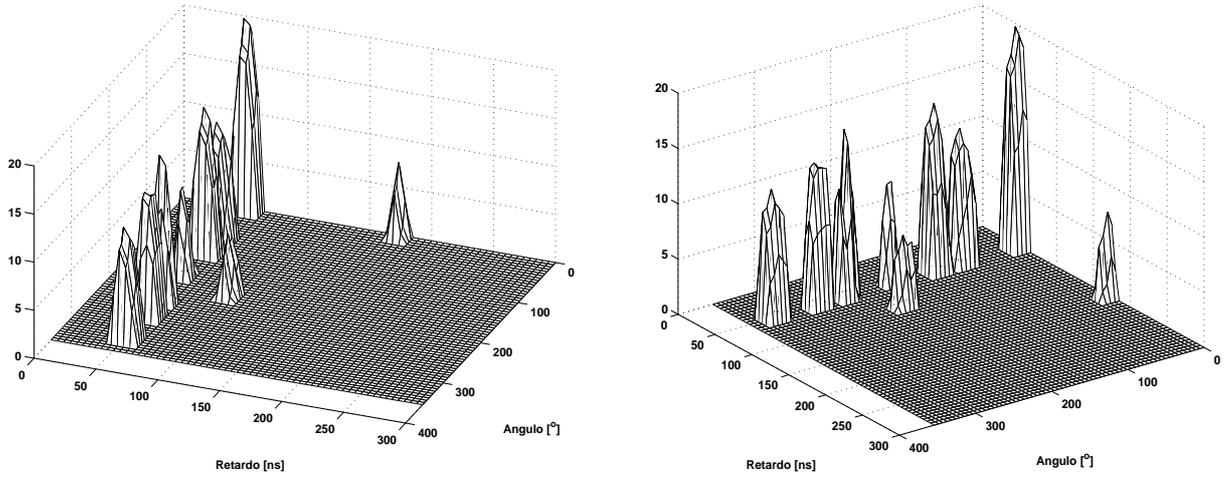


Figura 6.15: Medida CETUC2r

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0116374/CA

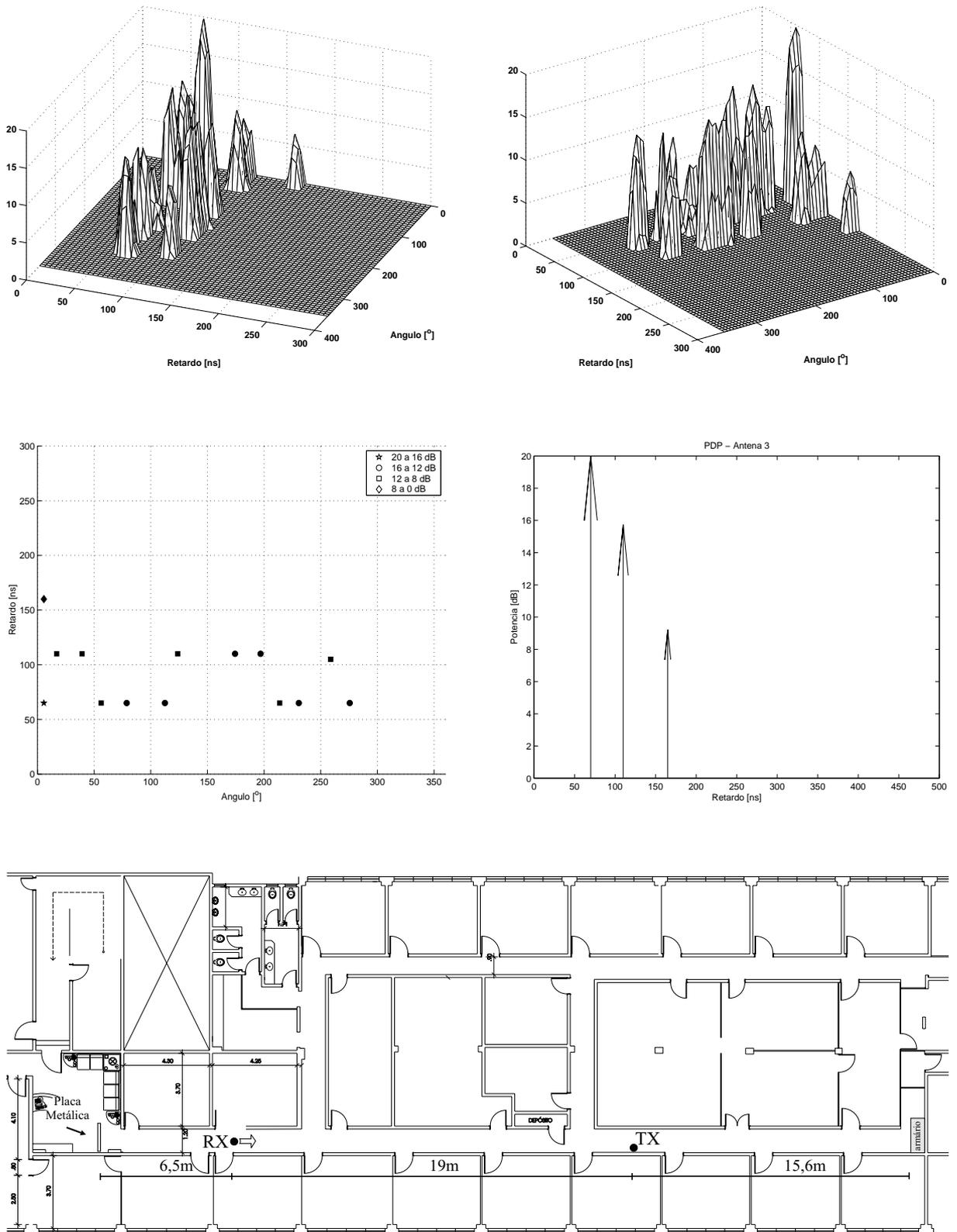


Figura 6.16: Medida CETUC3r

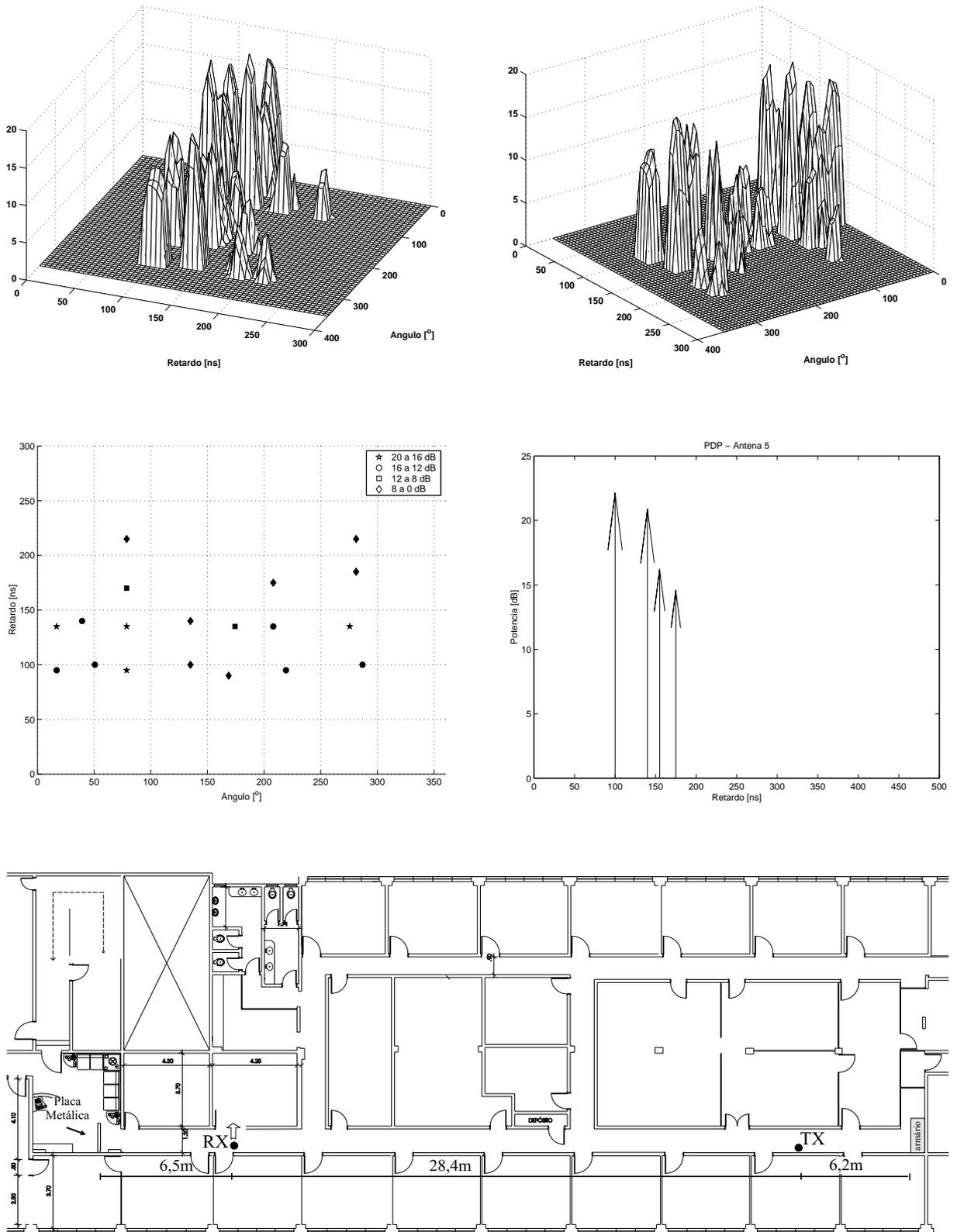


Figura 6.17: Medida CETUC4r

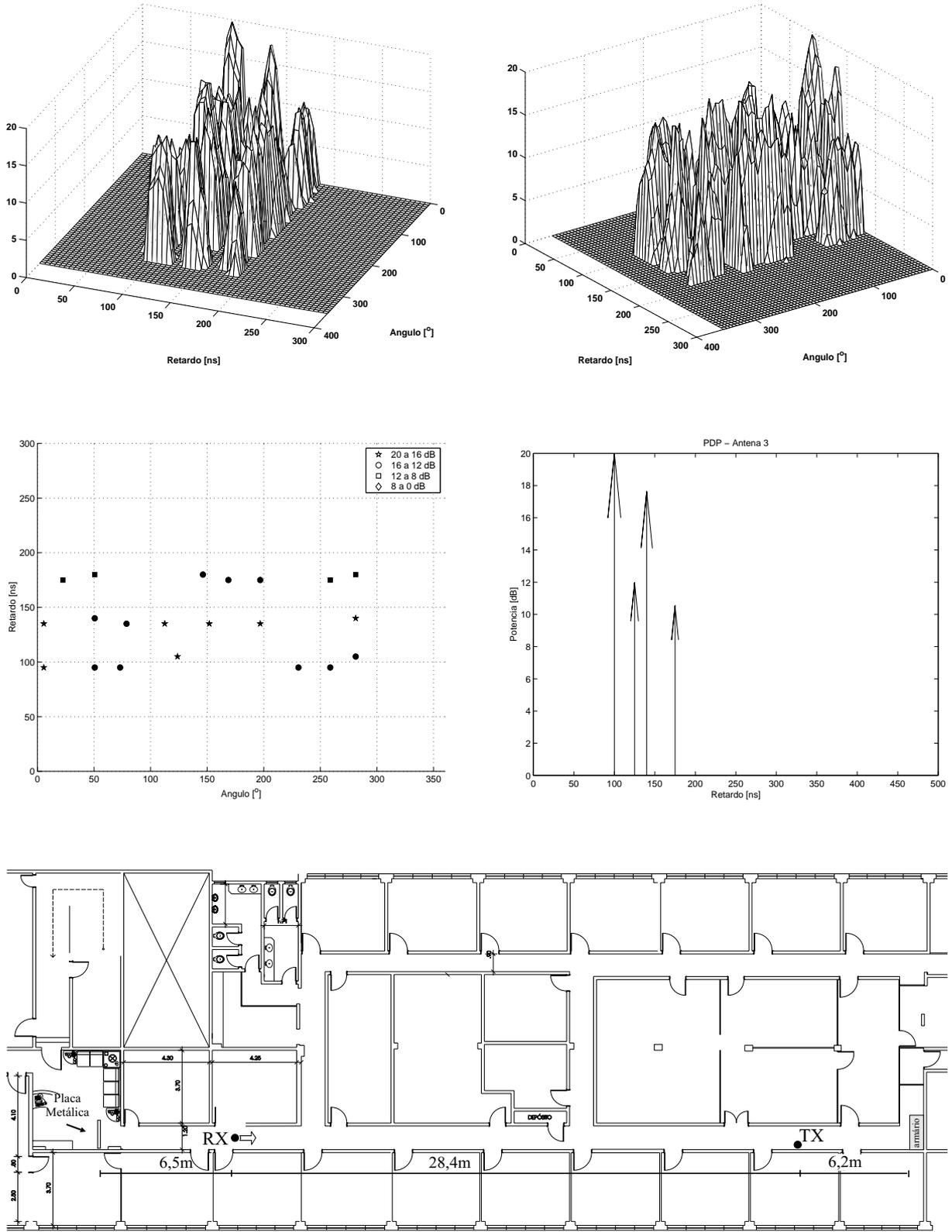


Figura 6.18: Medida CETUC5r

6.2.3 Prédio Cardeal Leme

No Leme foram tomados 8 pontos ao longo do corredor central e 1 ponto dentro de uma sala. Neste último, não havia linha de visada entre o receptor e o transmissor.

Nas medidas LEME1, LEME2 e LEME3, o transmissor está entre o armário e o receptor; em LEME4, o transmissor está em frente ao armário e em LEME5-LEME8, o armário está entre o transmissor e o receptor. Estas medidas são mostradas nas figuras 6.19 a 6.26.

Na medida LEME1 só é percebido o raio que chega a 0° , pois o receptor e o transmissor estão bastante próximos, fazendo com que o raio principal tenha uma amplitude muito maior que as reflexões.

Em LEME2 existe o raio direto que chega com $50[ns]$, tendo percorrido $15m$ e também um raio que vai até a porta de vidro atrás do receptor, reflete e volta ao receptor a 180° . Este raio percorreu $31m$ e chega a $103[ns]$. Também é visível um sinal que chega com 0° e retardo de $150[ns]$ que é o raio refletido pelo armário metálico que se encontra a $30m$ do receptor, e ainda, um outro raio que é refletido por um extintor posicionado a $10m$ do armário, ou $40m$ do receptor. O mesmo comportamento se repete em LEME3 e LEME4, confirmando a posição dos espalhadores.

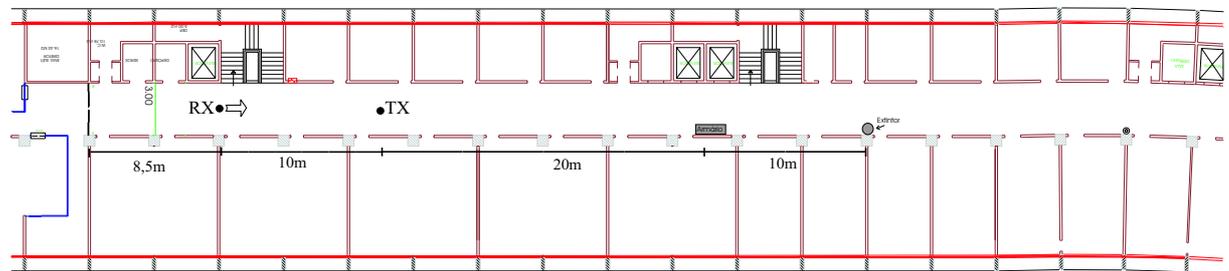
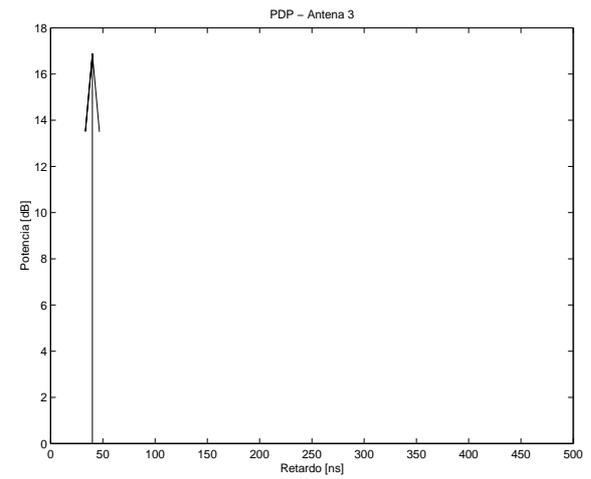
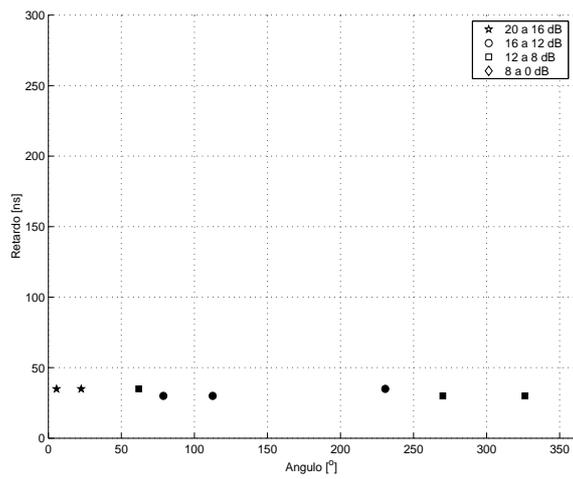
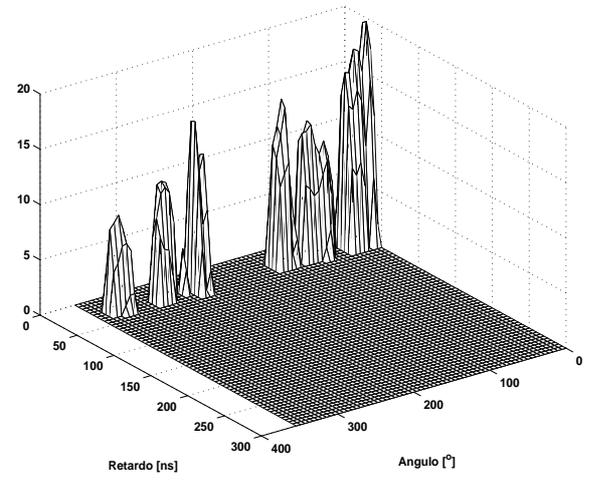
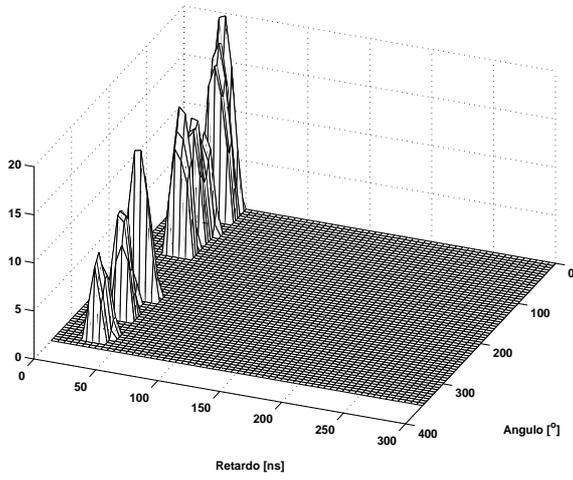


Figura 6.19: Medida LEME1

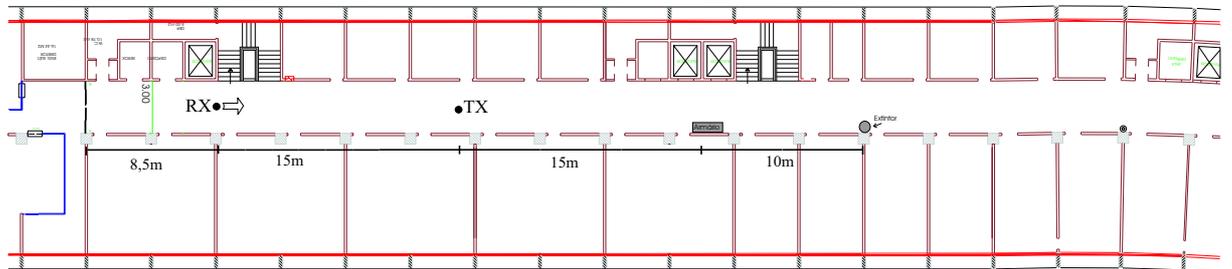
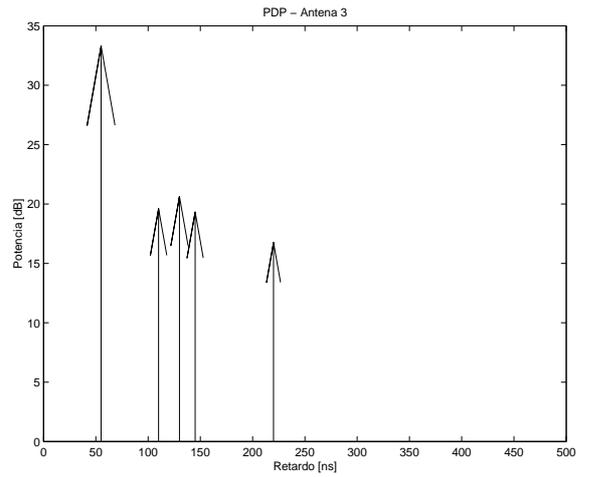
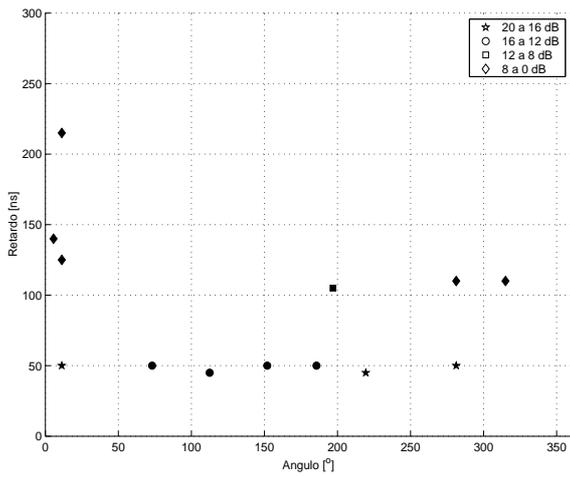
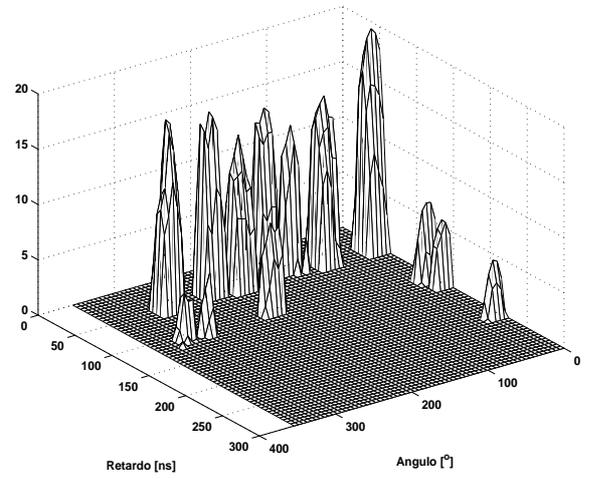
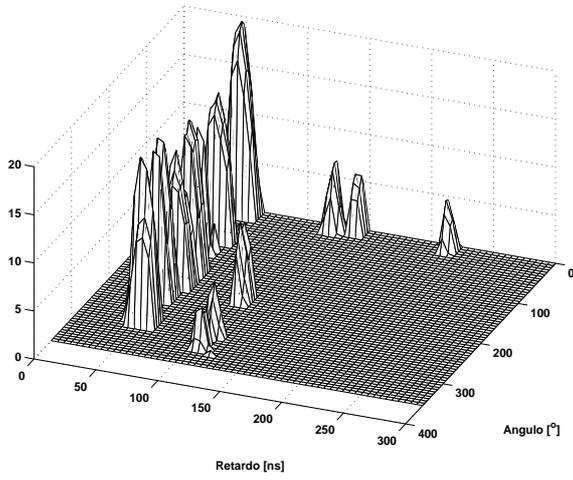


Figura 6.20: Medida LEME2

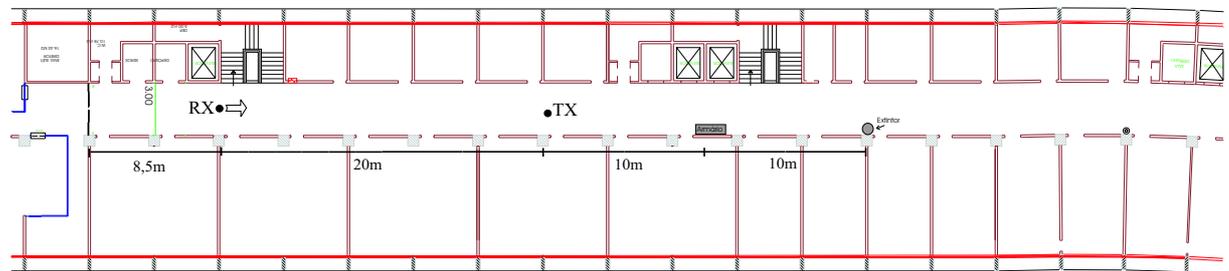
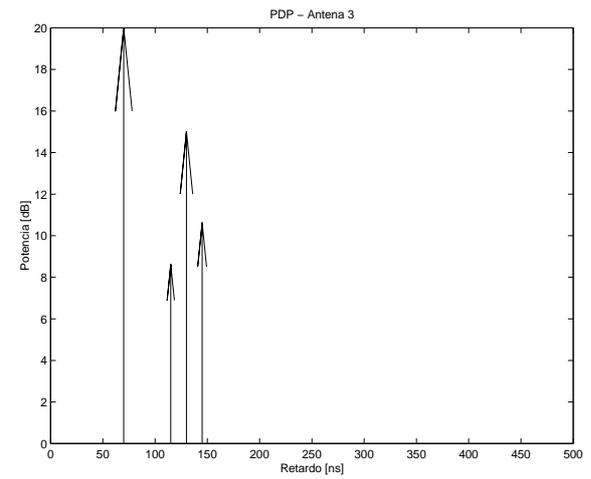
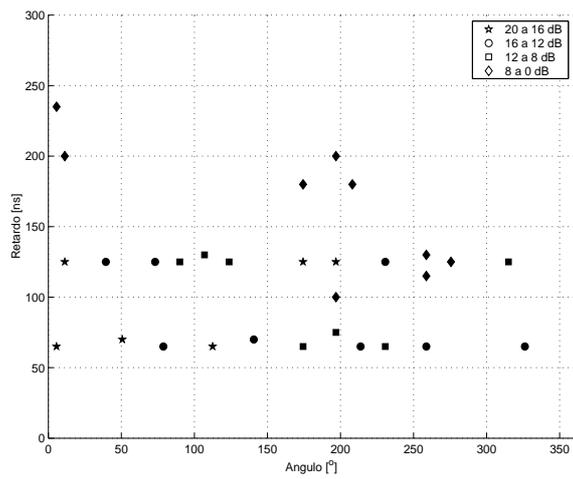
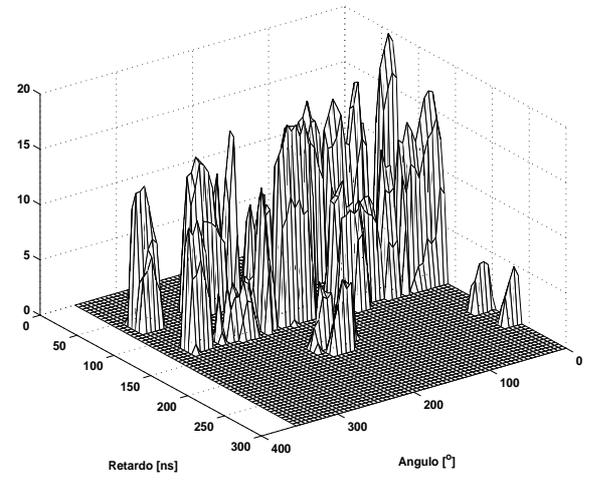
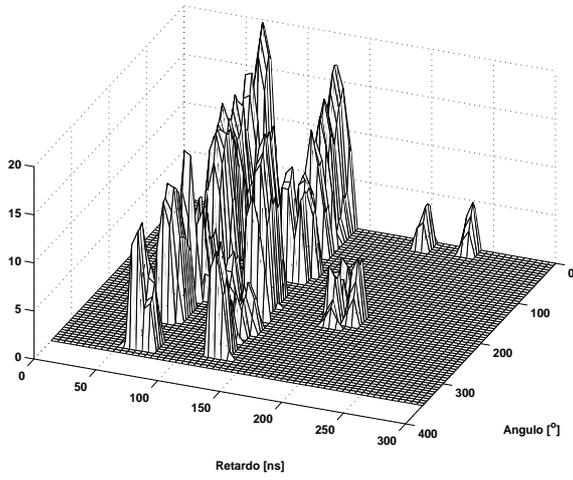


Figura 6.21: Medida LEME3

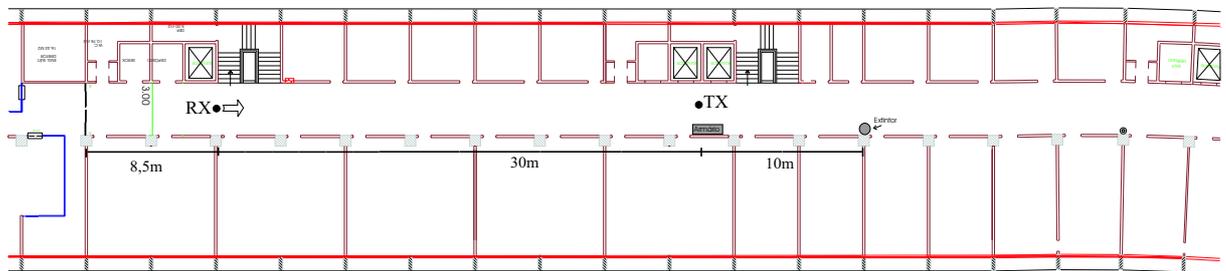
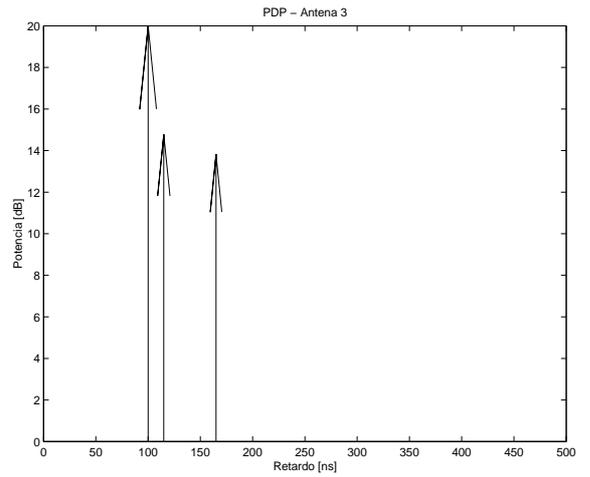
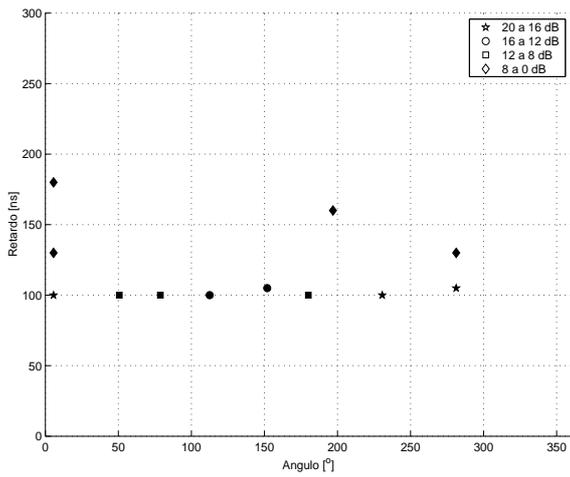
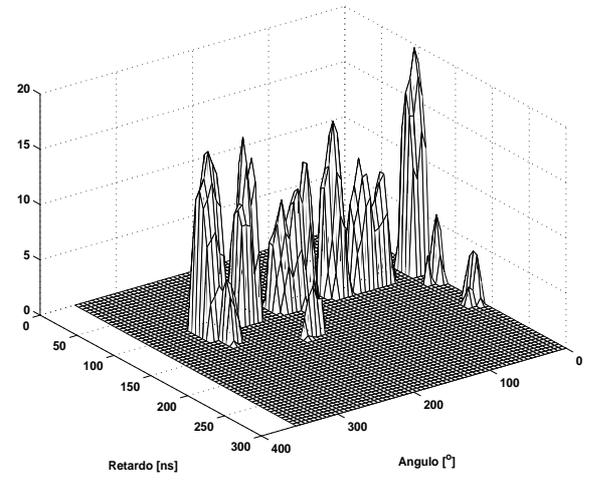
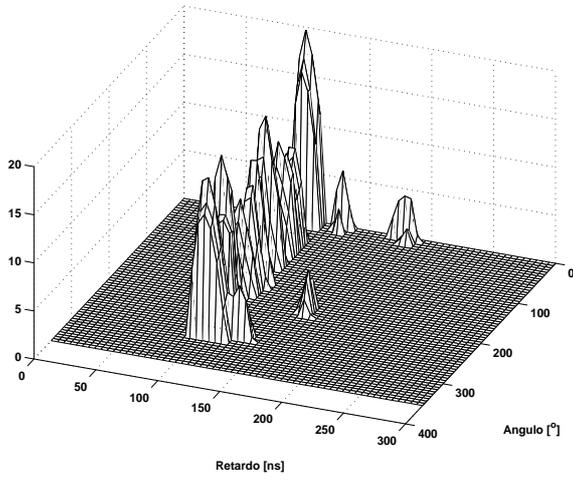


Figura 6.22: Medida LEME4

Nas medidas seguintes é possível perceber uma situação bastante importante envolvendo múltiplas reflexões entre um armário metálico e um extintor localizados no corredor, a 30m e 40m do receptor, respectivamente. Nas medidas realizadas a mais de 30m do receptor, isto é, quando o armário estava entre o transmissor e o receptor (LEME5, LEME6, LEME7 e LEME8) há um raio que percorre 20m ($\sim 66[ns]$) a mais que o sinal direto.

A hipótese mais plausível é que o raio saia do transmissor, sofra reflexões mútuas entre o armário e o extintor e depois siga até o receptor. Em LEME5, pode-se perceber o raio direto (116[ns]), o raio refletido na porta atrás do receptor (175[ns]) e um raio que é transmitido, vai até o armário, reflete no sentido oposto, vai até o extintor e depois segue até o receptor (183[ns]), percorrendo 20m a mais que o raio principal. Nas medidas seguintes, acontece o mesmo: existe a presença do raio direto, do raio refletido na porta atrás do receptor, chegando a 180° e de um raio que reflete entre o armário e o extintor, andando 20m a mais que o raio principal e que chega a 0° no receptor.

A medida realizada dentro de uma das salas do prédio é mostrada na figura 6.27. Nesta medida, chamada LEMESALA, é possível perceber diferenças em relação a outras medidas realizadas em situações sem linha de visada direta: ESQUINA1, ESQUINA2 e ESQUINA3, figuras 6.11 a 6.13. Nestas, a configuração entre transmissor-receptor favorecia o “guiamento” do sinal, que se mantinha confinado dentro de dois corredores. Porém, em LEMESALA isto não acontece de forma explícita. Existe coerência entre a distância percorrida pelo sinal e a separação transmissor-receptor, tanto para o raio direto quanto para o raio difratado.

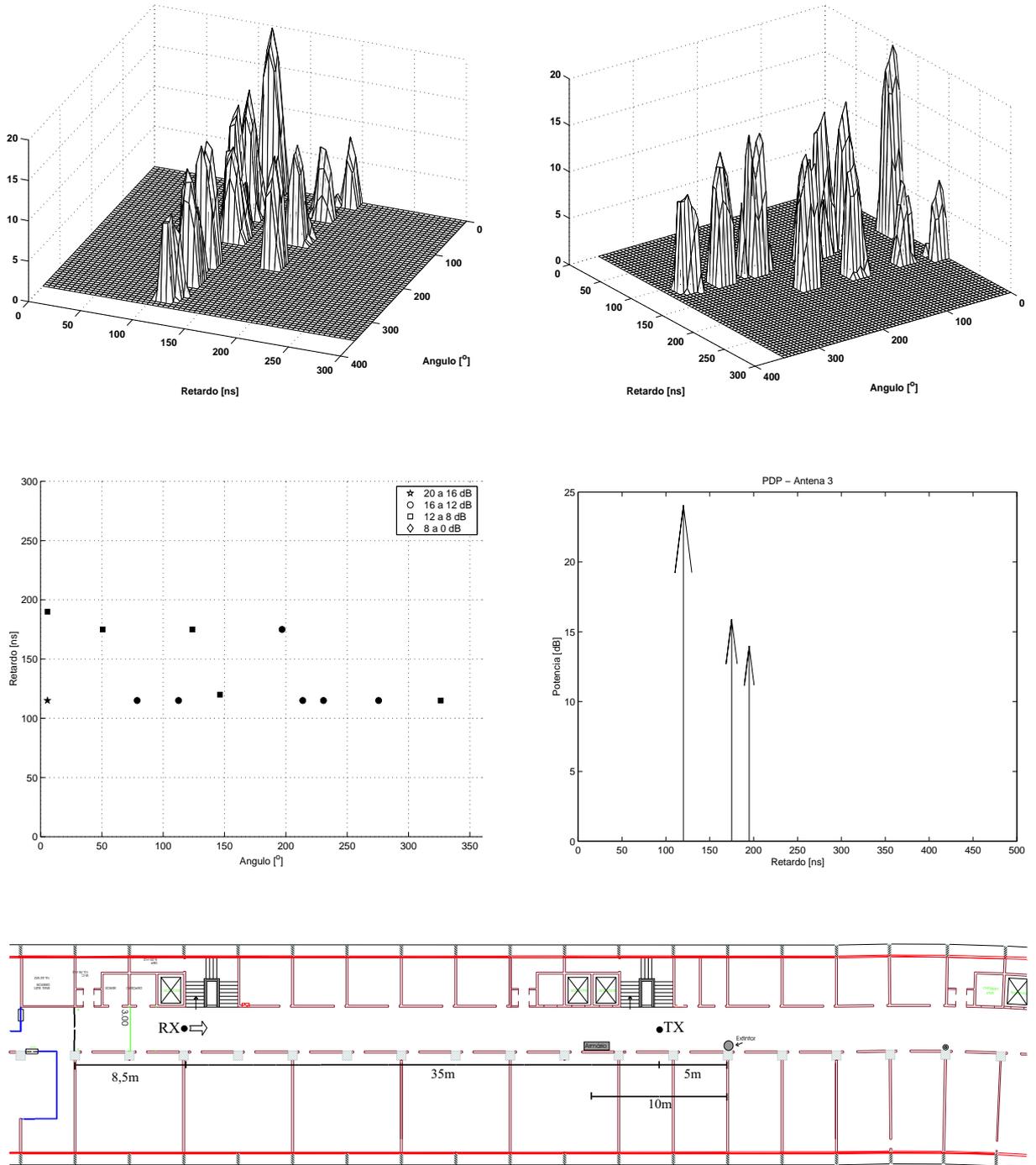


Figura 6.23: Medida LEME5

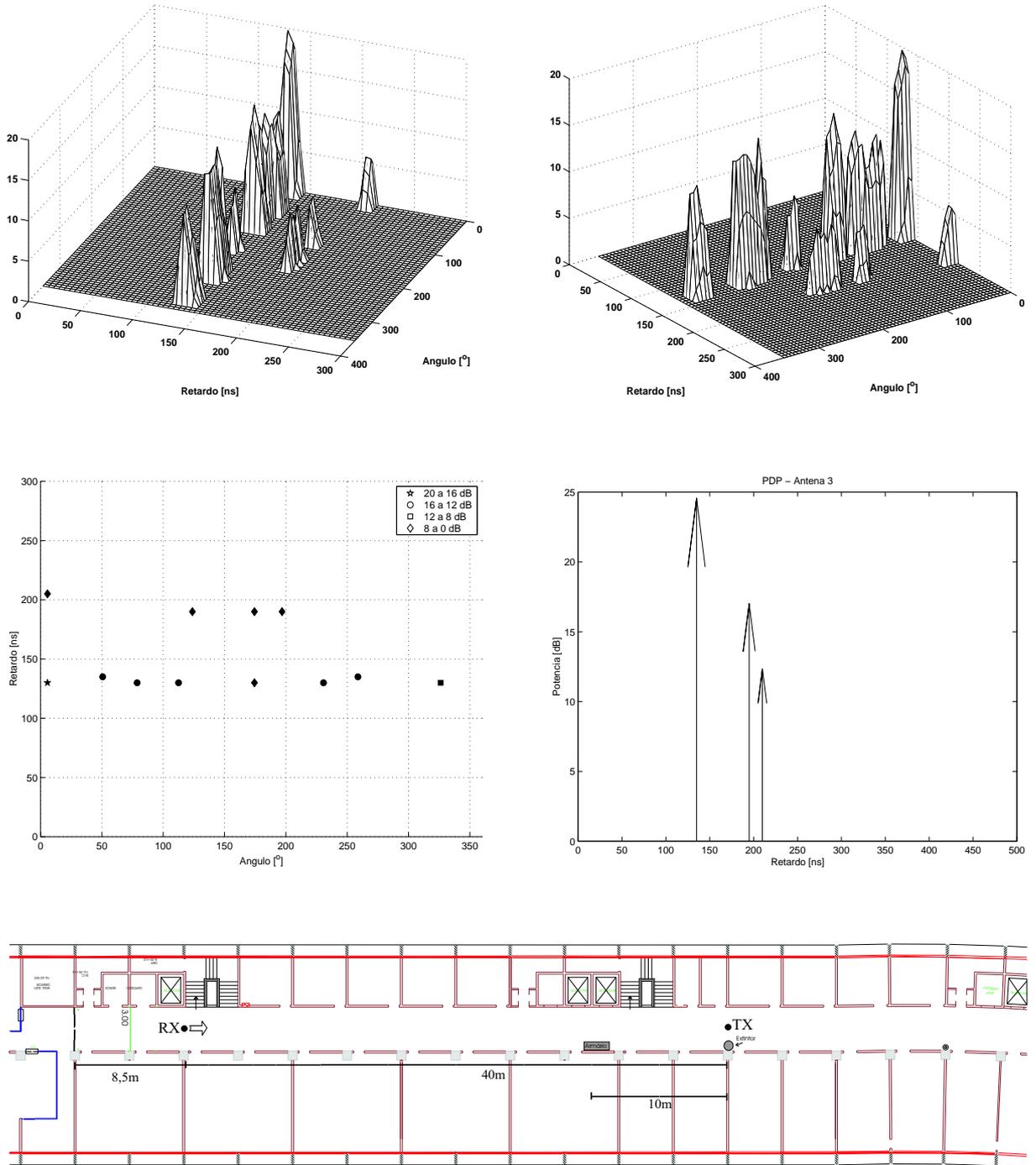


Figura 6.24: Medida LEME6

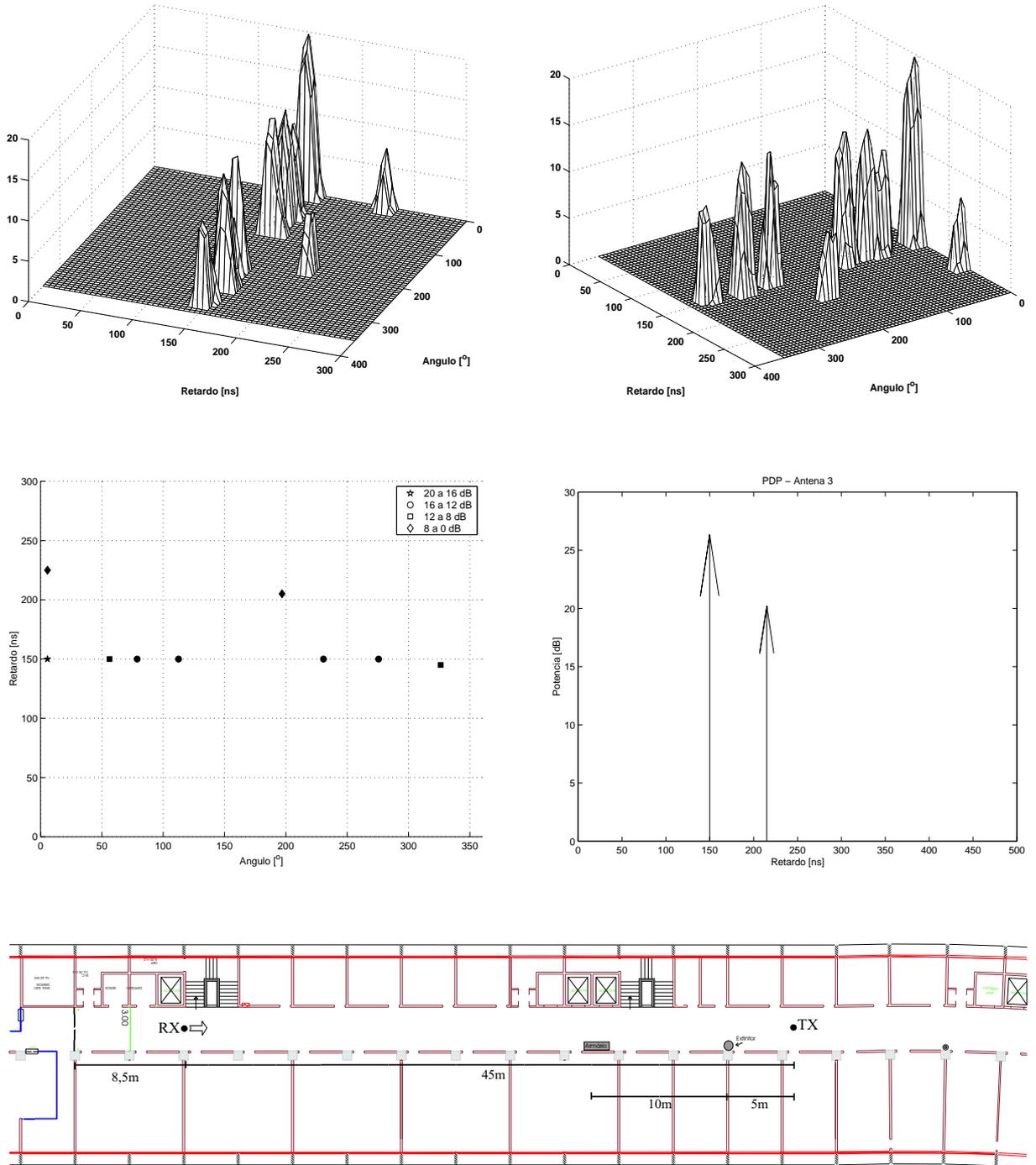


Figura 6.25: Medida LEME7

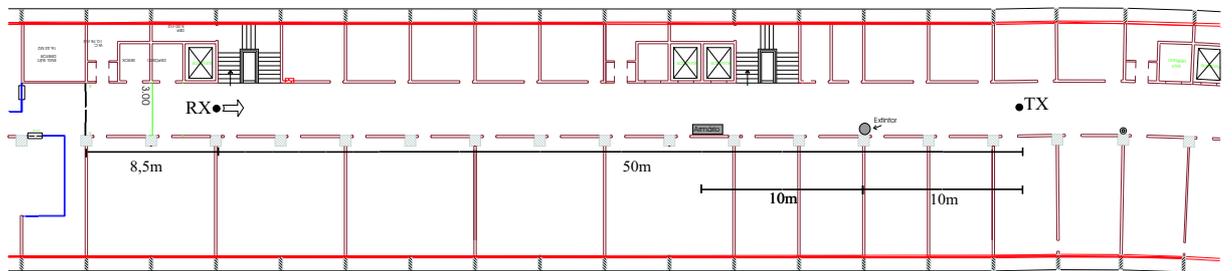
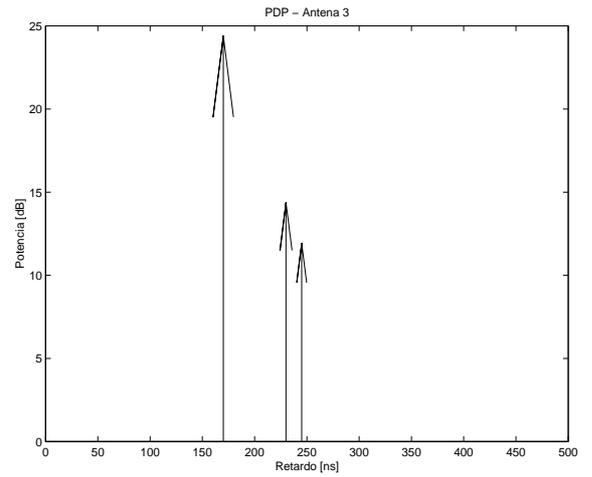
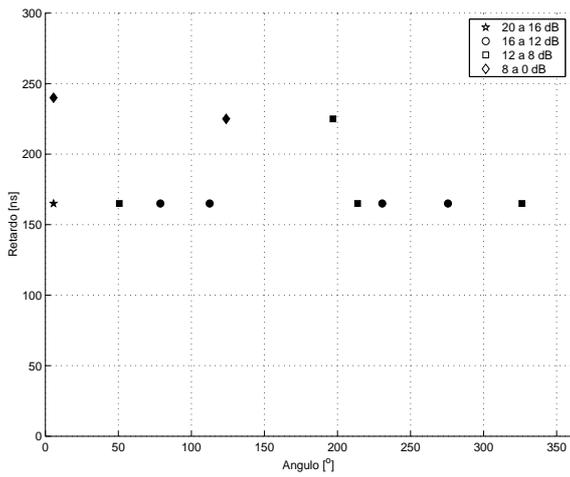
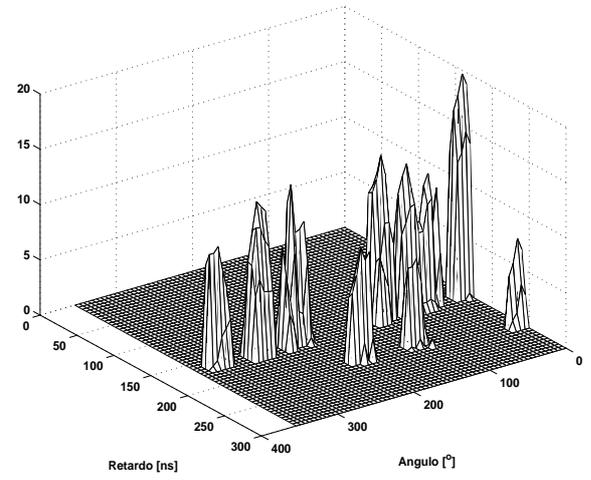
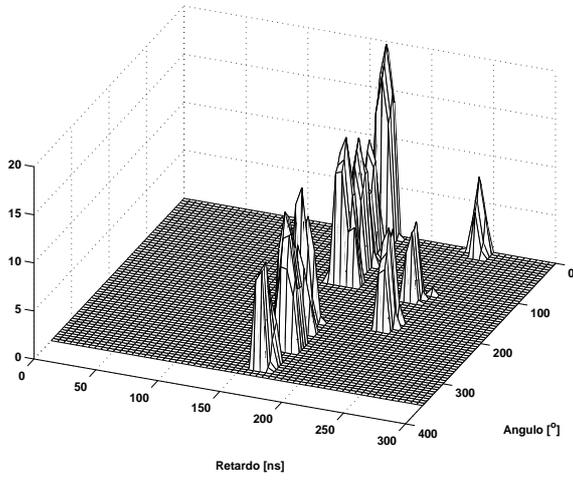


Figura 6.26: Medida LEME8

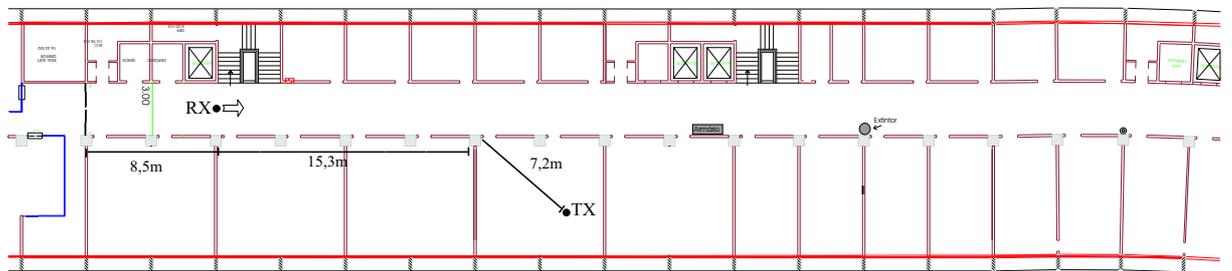
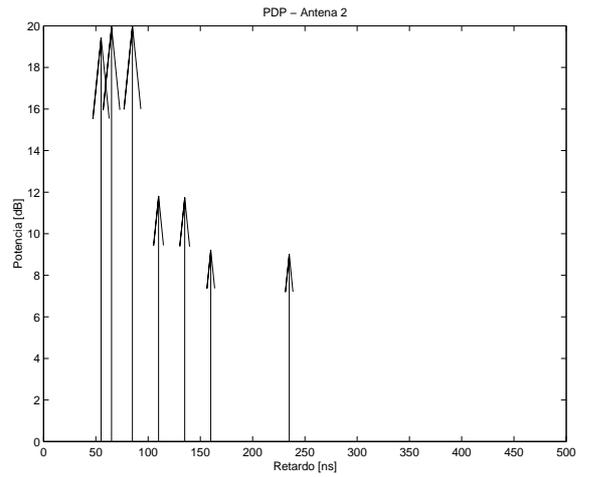
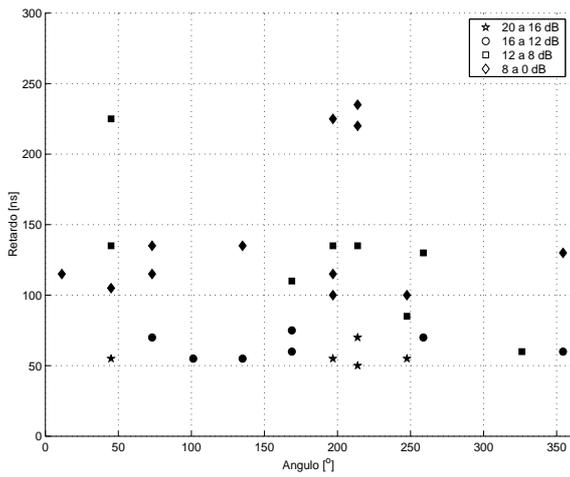
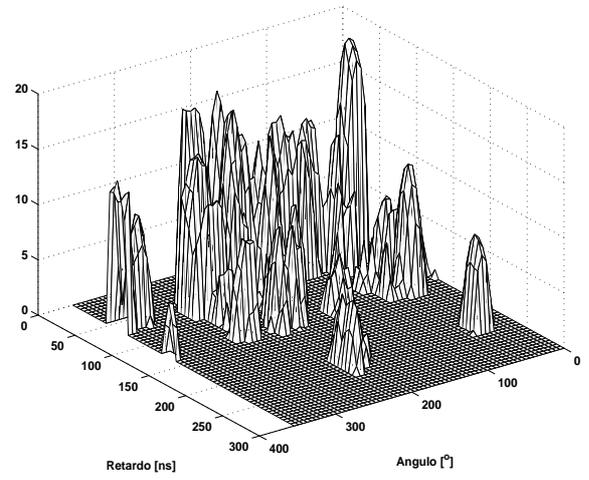
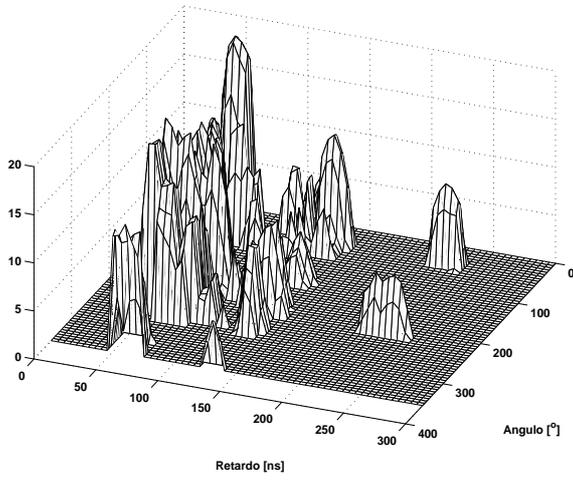


Figura 6.27: Medida LEMESALA

6.3

Análise Estatística

Além da identificação espaço-temporal dos multipercursos do ambiente, é possível extrair estatísticas de espalhamento angular e de retardos das medidas realizadas.

Mesmo não sendo este o objetivo do trabalho, são apresentadas estatísticas de Dispersividade Angular e Temporal de cada uma das medidas realizadas, vide tabela 6.1.

Esses resultados foram obtidos com o equacionamento para multipercursos discretos mostrado no capítulo 2. Os resultados da Dispersividade Angular provêm da matriz $Y(\tau, \theta)$, produto da técnica de processamento apresentada neste trabalho. Já a estatística de Dispersividade Temporal provêm dos pdp 's discretos calculados como em [43], e a partir da varredura do elemento do *array* posicionado na direção do transmissor. Outras discussões quanto aos resultados obtidos serão feitas na conclusão.

Medida	Dispersividade Angular [$^\circ$]	Dispersividade Temporal [ns]
ESTAC1	42,76	0
ESTAC2	47,12	0
CETUC1	52,92	0
CETUC2	43,38	34,05
CETUC3	47,56	30,72
CETUC4	44,84	11,94
ESQUINA1	59,81	11,68
ESQUINA2	43,37	10,92
ESQUINA3	65,63	18,91
CETUC1r	48,45	18,47
CETUC2r	48,30	37,75
CETUC3r	59,69	21,58
CETUC4r	43,12	25,87
CETUC5r	53,03	29,97
LEME1	37,65	0
LEME2	53,05	31,07
LEME3	60,18	29,40
LEME4	52,96	23,08
LEME5	52,83	25,53
LEME6	47,46	21,38
LEME7	42,70	25,76
LEME8	45,45	21,44
LEMESALA	60,00	32,72

Tabela 6.1: Estatísticas de Dispersividade Angular e Temporal