

## Capítulo 3

### Análise de Resultados Numéricos das Medidas

Neste capítulo, são apresentadas as características dos ambientes selecionados para a campanha de medidas. Posteriormente, seus resultados são apresentados e analisados.

#### 3.1. Características dos Ambientes das Medidas

A campanha de medidas foi composta por oito medições realizadas, cada uma com uma duração de 5 horas, com a finalidade de obter dados reais do comportamento do sinal GPS e avaliar a precisão da localização do receptor, em conjunto com o número de satélites utilizados na determinação da posição e respectiva intensidade do desvanecimento nesse ponto.

Os lugares selecionados para as medições são marcados por diferentes condições de ambiente, de forma a representar, de modo geral, o estado “claro” (C), no qual existe visibilidade entre o satélite e o receptor, ou “sombreado” (S), no qual o percurso entre o satélite e o receptor encontra-se parcialmente obstruído pela vegetação. Desta forma, considerando-se também o estado “bloqueado” (B), no qual o percurso entre o satélite e o receptor encontra-se fortemente obstruído por edificações ou pelo terreno irregular, pretende-se conseguir uma maior variedade de situações que permitam uma melhor caracterização do canal GPS para ambientes urbanos.

Os nomes e as localizações dos diferentes ambientes, assim como as principais características dos mesmos estão apresentados na seguinte tabela:

Número da Medida	Local	Localização (G M S)	Características do Ambiente	Data das Medições
Medida 1	Lagoa Rodrigo de Freitas	22 58 21 S 43 12 58 W	Árvore semiaberta (Oiti, Licania Tormentosa)	18/11/2009
Medida 2	Lagoa Rodrigo de Freitas	22 58 21 S 43 13 10 W	Árvore semifechada (Mungaba, Pachira Aquatica)	19/11/2009
Medida 3	Lagoa Rodrigo de Freitas	22 58 21 S 43 13 23 W	Árvore fechada (Mungaba, Pachira Aquatica)	26/11/2009
Medida 4	Lagoa Rodrigo de Freitas	22 58 20 S 43 13 00 W	Árvore semifechada (Algodão da praia, Hibiscus Pernambucensis)	5/1/2010
Medida 5	Lagoa Rodrigo de Freitas	22 58 21 S 43 13 00 W	Céu claro	6/1/2010
Medida 6	FAETEC Ipanema	22 58 49 S 43 11 57 W	Céu claro	13/4/2010
Medida 7	Hotel Praia Ipanema	22 59 08 S 43 12 52W	Céu claro	15/4/2010
Medida 8	CTEx	23 01 48 S 43 34 48 W	Árvore semifechada (Mangueira, Mangifera Indica)	31/5/2010

Tabela 3-1-Nomes, localizações e principais características dos ambientes de medições.

Nas seguintes figuras, mostram-se as localizações dos diferentes ambientes de medições, observados pelo Google Earth:

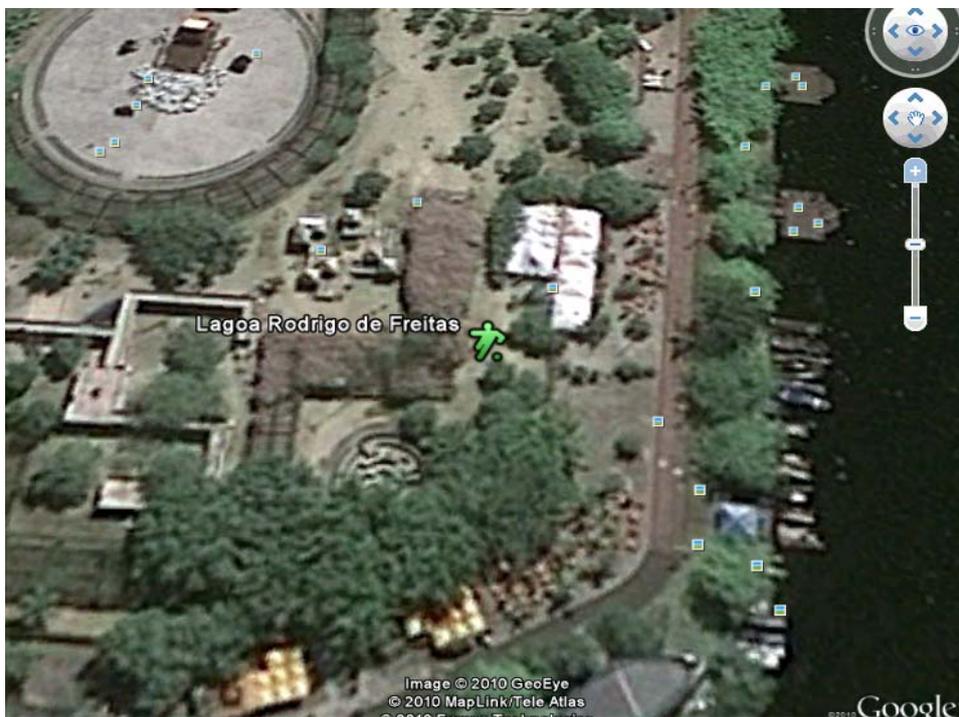


Figura 3-1- Lagoa Rodrigo de Freitas: ambiente das medidas 1 a 5.

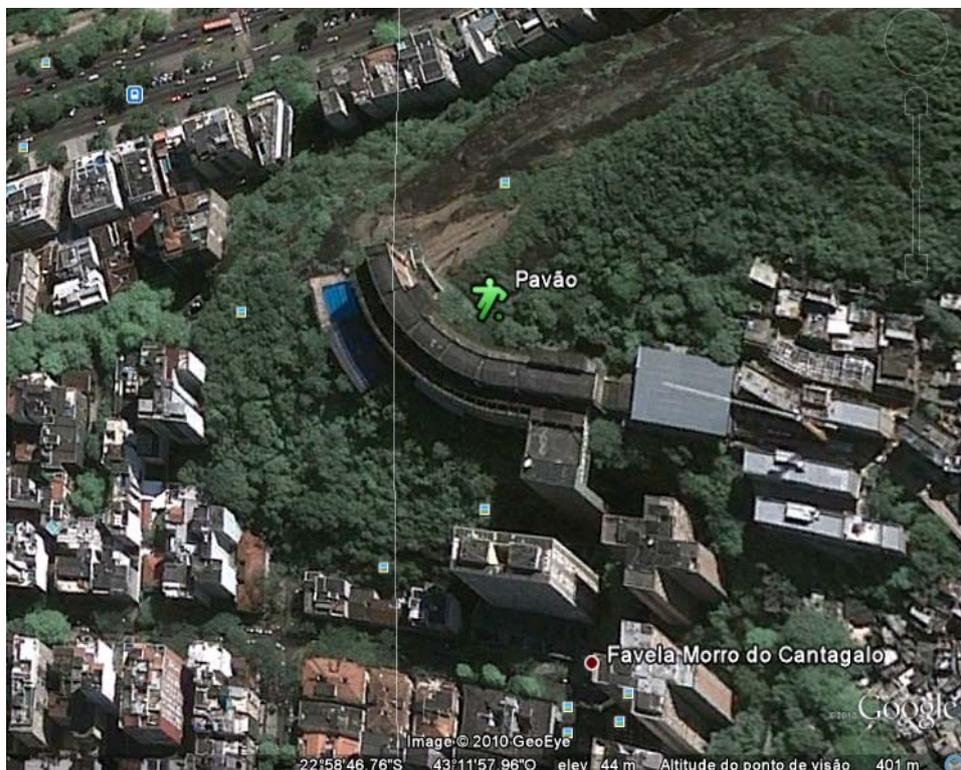


Figura 3-2- FAETEC Ipanema: ambiente da medida 6.



Figura 3-3- Hotel Praia Ipanema: ambiente da medida 7.

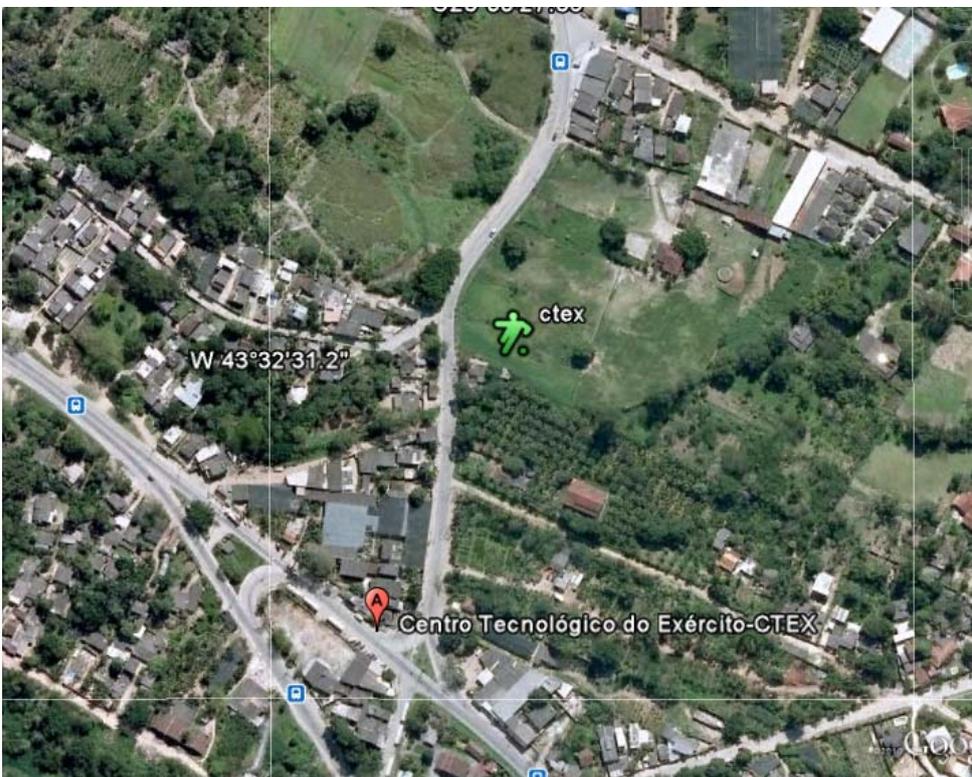


Figura 3-4- Centro Tecnológico do Exército (CTEX): ambiente da medida 8.

Na continuação, apresentam-se fotografias dos respectivos locais de medições:



Figura 3-5- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 1 (árvore semiaberta).



Figura 3-6- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 1 (árvore semiaberta).



Figura 3-7- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 2 (árvore semifechada).



Figura 3-8- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 2 (árvore semifechada).



Figura 3-9- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 3 (árvore fechada).



Figura 3-10- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 3 (árvore fechada).



Figura 3-11- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 4 (árvore semifechada).



Figura 3-12- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 4 (árvore semifechada).



Figura 3-13- Lagoa Rodrigo de Freitas: local da medida 5 (céu claro).



Figura 3-14- Lagoa Rodrigo de Freitas: outra vista do local da medida 5 (céu claro).



Figura 3-15- FAETEC Ipanema: local da medida 6 (céu claro).



Figura 3-16- FAETEC Ipanema: outra vista do local da medida 6 (céu claro).



Figura 3-17- FAETEC Ipanema: outra vista do local da medida 6 (céu claro).



Figura 3-18- Hotel Praia Ipanema: Local da medida 7 (céu claro).



Figura 3-19- Hotel Praia Ipanema: outra vista do local da medida 7 (céu claro).



Figura 3-20- CTEEx: Local da medida 8 (árvore semifechada).



Figura 3-21-CTEx: Outra vista do local da medida 8 (árvore semifechada).



Figura 3-22-CTEx: Outra vista do local da medida 8 (árvore semifechada).

## 3.2. Descrição das medidas e da análise dos dados

### 3.2.1. Equipamento para realização das medidas

Os equipamentos utilizados para efetuar as medições foram: um receptor GPS Globalsat BU-353, acoplado a um laptop para o processo de aquisição de dados através de uma interface USB. Este receptor tem 20 canais de recepção com uma precisão de posição de 10 m baseado na tecnologia SiRF Technology Star III GPS para o “chipset” e de uma antena ativa “patch”. Esta tecnologia inclui módulos de processamento digital de sinais integrado com um microprocessador ARM7TDMI e 1 Mb de SRAM. Sua arquitetura usa módulos FFT e filtros casados que fornecem um desempenho equivalente a mais de 200000 correlatores. A tecnologia SiRF Star III apresenta sensibilidade de aquisição de -159 dBm no modo de rastreamento.

O receptor GPS suporta o protocolo 0183 da “National Marine Electronics Association” (NMEA), com mensagens de saída GGA, GSA e RMC para cada segundo e mensagens GSV para cada cinco segundos.

### 3.2.2 Registro de mensagens protocolo NMEA

As seguintes linhas apresentam o registro de mensagens recebidas pelo receptor GPS a cada segundo de medidas:

```
$GPGGA,145600.000,2258.3603,S,04312.9718,W,1,06,1.2,14.1,M,-  
5.6,M,,0000*72
```

```
$GPGSA,A,3,11,25,32,13,16,20,,,,,,,,,2.5,1.2,2.2*37
```

```
$GPRMC,145600.000,A,2258.3603,S,04312.9718,W,0.07,66.28,181109,,*  
3F
```

```
$GPGGA,145601.000,2258.3603,S,04312.9718,W,1,06,1.2,14.1,M,-  
5.6,M,,0000*73
```

As seguintes linhas apresentam o registro de mensagens recebidas pelo receptor GPS a cada cinco segundos de medidas:

```
$GPGGA,145602.000,2258.3603,S,04312.9718,W,1,06,1.2,14.2,M,-  
5.6,M,,0000*73  
$GPGSA,A,3,11,25,32,13,16,20,,,,,,,,,2.5,1.2,2.2*37  
$GPGSV,3,1,11,20,77,155,30,32,57,079,34,25,49,297,30,13,31,237,34*75  
$GPGSV,3,2,11,16,30,101,35,11,26,340,35,27,74,265,,08,44,311,*73  
$GPGSV,3,3,11,23,34,233,,01,30,134,,04,09,225,*41  
$GPRMC,145602.000,A,2258.3603,S,04312.9718,W,0.08,55.78,181109,,*  
37  
$GPGGA,145603.000,2258.3603,S,04312.9718,W,1,06,1.2,14.2,M,-  
5.6,M,,0000*72
```

### 3.2.3 Descrição dos conteúdos das mensagens

A mensagem GGA mostra o “Coordinated Universal Time” (UTC) e a correspondente latitude, longitude e número de satélites utilizados para fixar a posição. A mensagem GSA identifica os satélites usados na solução da posição no mesmo UTC pelos “pseudorandom noise code numbers” (PRN).

Para cada UTC, a posição de cada satélite registrado na correspondente mensagem GSA é determinada mediante a utilização de interpolação quadrática baseada em informação oferecida na “International GNSS Service” (IGS) para o mesmo GPS no dia das medições.

A mensagem GSV mostra o número de satélites vistos com números ID com seus respectivos valores de elevação, azimute e SNR.

Finalmente a mensagem RMC apresenta o tempo, data, posição, direção e velocidade dos dados.

### 3.2.4. Posição do receptor GPS em cada medida

A posição do receptor GPS para cada medida apresenta-se na seguinte tabela:

Medida	Local	Posição	Altura (m)
Medida 1	Lagoa Rodrigo de Freitas	Árvore	2,97
Medida 2	Lagoa Rodrigo de Freitas	Árvore	2,14
Medida 3	Lagoa Rodrigo de Freitas	Árvore	3,35
Medida 4	Lagoa Rodrigo de Freitas	Árvore	2,90
Medida 5	Lagoa Rodrigo de Freitas	Teto da estrutura ornamental do Parque	3,94
Medida 6	FAETEC Ipanema	Teto do Centro de Estudos	60,0
Medida 7	Hotel Praia- Ipanema	Teto do Hotel	32,0
Medida 8	CTEx	Árvore	3,20

Tabela 3-2: Posição do receptor GPS em cada medida.

### 3.2.5 Programa desenvolvido para análise em linguagem de programação Matlab

#### Programa para cálculo do erro de posição

Com a informação obtida das mensagens GGA, se fizeram duas matrizes baseadas nos valores de latitude e longitude da posição do receptor em cada segundo de medidas. Posteriormente, se fizeram cálculos para encontrar o valor

médio destas, assim como o erro médio de latitude e longitude, os erros dos eixos x e y para finalmente calcular o erro na posição horizontal.

Na continuação, apresentam-se as equações utilizadas para o cálculo do erro de posição, sendo:

$\langle \text{Lat} \rangle$  = valor médio de latitude

$\langle \text{Long} \rangle$  = valor médio de longitude

$\Delta x$  = Erro no eixo x

$\Delta y$  = Erro no eixo y (3.1)

$\Delta$  = Erro total na posição horizontal

R = raio da Terra

$$\Delta \text{Lat} = \text{Lat} - \langle \text{Lat} \rangle \quad (3.2)$$

$$\Delta \text{Long} = \text{Long} - \langle \text{Long} \rangle \quad (3.3)$$

$$\Delta x^2 = (R \cdot \cos(\langle \text{Lat} \rangle) \cdot \Delta \text{Long})^2 \quad (3.4)$$

$$\Delta y^2 = (R \cdot \Delta \text{Lat})^2 \quad (3.5)$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (3.6)$$

Deve-se observar que, estritamente falando, o procedimento descrito imediatamente acima estuda a precisão do receptor (isto é, investiga se medidas repetidas sob condições inalteradas apresentam os mesmos resultados). Seria necessária a realização de um trabalho independente, que não será realizado aqui para determinar a acurácia do receptor (de modo a quantificar a distância entre a posição média estimada pelo receptor e sua posição real).

### Programa para cálculo do desvanecimento

Com as informações obtidas das mensagens GGA e GSV foi definida uma matriz com o valor de desvanecimento para cada satélite registrado para cada intervalo de cinco segundos de medidas. Posteriormente, se fizeram cálculos para encontrar o valor médio do desvanecimento.

Apresenta-se a continuação a equação utilizada para o cálculo do desvanecimento  $\Delta$ :

$$\Delta = (S/N)_{\text{Max}} - (S/N) = (S_{\text{Max}} - S) - (N_{\text{Min}} - N) = \Delta_{\text{Real}} + (N - N_{\text{Min}}) \quad (3.7)$$

O valor  $(S/N)_{\text{Max}}$  corresponde ao maior valor medido para relação entre as potências do sinal e do ruído. O cálculo do desvanecimento supõe, ainda que a potência do ruído permaneça constante.

### 3.3. Resultados das Medidas

Os seguintes gráficos apresentam os resultados obtidos para os oito ambientes de medições, sendo determinadas as distribuições cumulativas do erro horizontal de posição e da profundidade do desvanecimento da potência do sinal recebido.

Também se mostram os valores médios e os desvios padrões do erro na posição horizontal assim como da profundidade do desvanecimento. Finalmente são apresentados os histogramas do número de satélites utilizados pelo receptor GPS para determinar sua posição.

### 3.3.1. Distribuições Cumulativas do Erro na Posição Horizontal

As distribuições cumulativas do erro horizontal de posições obtidas nos diversos locais estão apresentadas na figura 3-23.

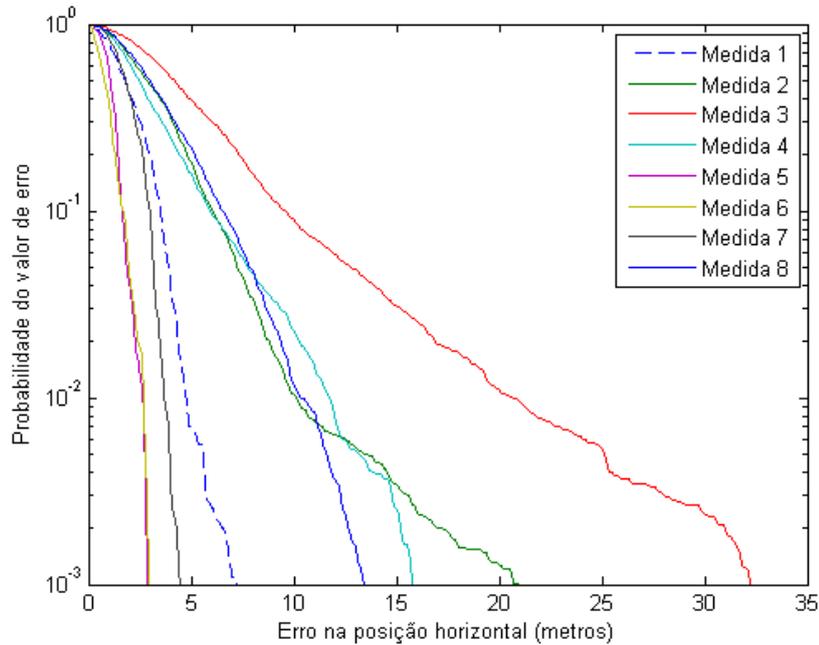


Figura 3-23: Distribuições cumulativas do erro horizontal para as 8 medidas: (a) medida 1 = árvore semiaberta; (b) medida 2 = árvore semifechada; (c) medida 3= árvore fechada; (d) medida 4 = árvore semifechada; (e) medida 5 = céu claro; (f) medida 6= céu claro; (g) medida 7 = céu claro; (h) medida 8= árvore semifechada.

A Tabela 3-3 apresenta os valores de erro na posição horizontal não excedidos durante 67 % e 95 % do tempo em cada local de medida.

	<b>Erro Horizontal Não Excedido Durante 67% do Tempo</b>	<b>Erro Horizontal não Excedido Durante 95% do tempo</b>
<b>Medida 1</b>	2,39 m	3,90 m
<b>Medida 2</b>	3,93 m	7,24 m
<b>Medida 3</b>	5,66 m	12,82 m
<b>Medida 4</b>	3,36 m	7,80 m
<b>Medida 5</b>	1,28 m	1,86 m
<b>Medida 6</b>	1,10 m	1,98 m
<b>Medida 7</b>	2,19 m	3,18 m
<b>Medida 8</b>	4,00 m	7,90 m

Tabela 3-3: Valores de erro na posição horizontal não excedidos durante 67 % e 95 % do tempo em cada local de medida.

O valor de erro na posição horizontal não excedido para 67% e 95% do tempo são valores de referência que permitem corroborar se o valor de erro nas medidas satisfazem os requerimentos da Federal Communications Commission, a qual estipula um valor de erro inferior a 50 m e 150 m para o 67% e 95% do tempo respectivamente.

### **SEMI-ABERTA (1), SEMI-FECHADA (2,4,8), FECHADA (3)**

#### **Estado “S” (Árvore Semiaberta)**

A medição que corresponde a este tipo de ambiente é a de número um. A distribuição cumulativa do erro horizontal correspondente se aproxima daquelas obtidas nos locais que apresentam condições de céu claro.

### **Estado “S” (Árvores Semifechadas)**

As medições que correspondem a este tipo de ambiente são as medidas número dois, número quatro e número oito, mostrando que as distribuições de erro na posição horizontal para as três medidas mencionadas são virtualmente idênticas embora as árvores sejam diferentes.

A primeira destas tem um erro perto a seis metros para uma probabilidade de 67 % dos casos, produzindo uma diferença de mais de dois metros em relação à medida quatro e mais de um metro e meio em relação à medida oito.

Em 95 % dos casos, os valores de erro na posição horizontal para as medidas quatro e oito têm valores muito semelhantes, mostrando uma diferença maior de 4 m em relação à medida três.

Por último, cabe destacar que as distribuições de erro na posição horizontal para este tipo de estado se encontram numa situação intermédia entre os estados extremos (medida 1- árvore semiaberta - e medida 3 – árvore fechada-)

### **Estado “S” (Árvore Fechada)**

À medida que corresponde a este tipo de ambiente é a medida número três, mostrando um erro perto a seis metros para uma probabilidade de 67 % dos casos, produzindo uma diferença de mais de dois metros em relação à medida quatro e mais de um metro e meio em relação à medida oito.

Em 95 % dos casos, o valor de erro na posição horizontal para a medida três apresenta um valor próximo a 13 m, a, mostrando uma diferença maior de 4 m em relação aos estados semifechadas.

### **Estados “C” (Céu Claro)**

As medidas número cinco, seis e sete foram realizadas em ambientes do tipo “Claro”, onde o erro horizontal para qualquer probabilidade é inferior aos seus correspondentes do estado sombreado.

No caso da medida 7 se pode observar que o valor de erro na posição horizontal é maior em relação as medidas 5 e 6 devido possivelmente a um fator de contaminação pelo estado “B” produzido pelas estruturas existentes no teto do hotel.

### 3.3.2. Distribuições Cumulativas da Profundidade do Desvanecimento da Potência do Sinal Recebido

As distribuições cumulativas da profundidade do desvanecimento da potência do sinal recebido nos diversos locais estão apresentadas na figura 3-24.

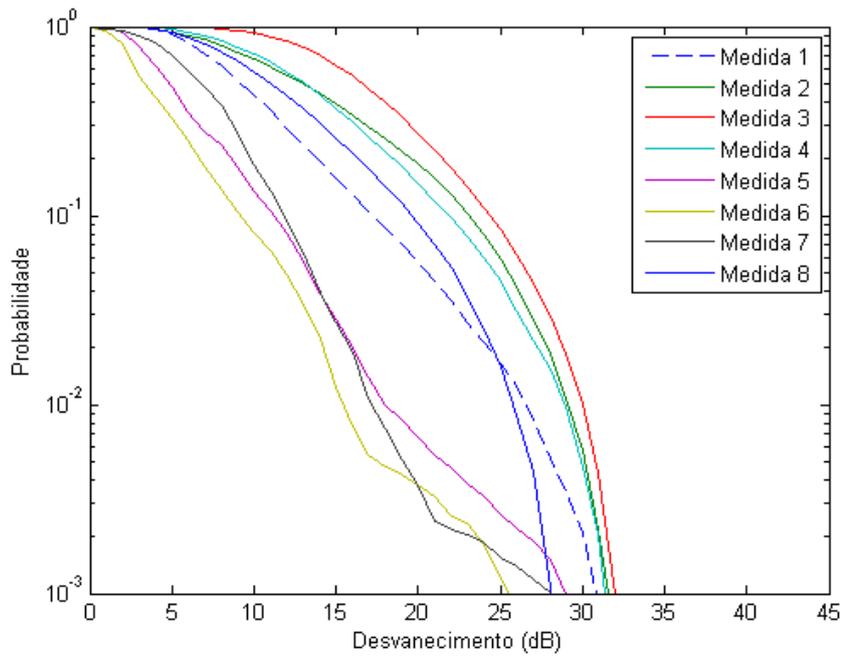


Figura 3-24: Distribuições cumulativas do desvanecimento para as 8 medidas: (a) medida 1 = árvore semiaberta; (b) medida 2 = árvore semifechada; (c) medida 3= árvore fechada; (d) medida 4 = árvore semifechada; (e) medida 5 = céu claro; (f) medida 6= céu claro; (g) medida 7 = céu claro; (h) medida 8= árvore semifechada.

A Tabela 3-4 apresenta os valores do desvanecimento não excedidos durante 67 % e 95 % do tempo em cada local de medida.

	<b>Probabilidade de Fading 67%</b>	<b>Probabilidade de Fading 95%</b>
<b>Medida 1</b>	11,41 dB	20,59 dB
<b>Medida 2</b>	16,25 dB	25,53 dB
<b>Medida 3</b>	19,03 dB	26,69 dB
<b>Medida 4</b>	15,71 dB	24,66 dB
<b>Medida 5</b>	6,31 dB	13,40 dB
<b>Medida 6</b>	4,95 dB	11,95 dB
<b>Medida 7</b>	8,49 dB	13,55 dB
<b>Medida8</b>	13,60 dB	22,20 dB

Tabela 3-4-Valores de desvanecimento não excedidos durante 67 % e 95 % do tempo em cada local de medida.

### **Estados “S” (Árvore Semiaberta)**

À medida que corresponde a este tipo de ambiente é a medida número um e o resultado mostra para esta um desvanecimento menor a 12 dB para 67 % do tempo.

### **Estados “S” (Árvores Semifechadas)**

As medições que correspondem a este tipo de ambiente são as medidas número dois, número quatro e número oito, mostrando valores de desvanecimento para 67 % do tempo inferiores a 17 dB, 16 dB e 14 dB respectivamente.

### **Estado “S” (Árvore Fechada)**

A medida número três corresponde a este tipo de estado, mostrando o maior valor de desvanecimento em relação ao resto das medidas, sendo o valor próximo a 20 dB para o 67 % do tempo.

### **Estados “C” (Céu Claro)**

As medidas número cinco, seis e sete representam ambientes tipo “C” onde o desvanecimento para uma probabilidade de 67 % dos casos é menor em relação aos outros casos, tendo para a medida cinco e seis valores inferiores a 7 dB de desvanecimento.

Em 95 % dos casos, as medidas cinco e seis mostram valores de desvanecimento menores a 14 dB, mostrando assim que a perda da potência do sinal é menor, inclusive para tão elevado número de casos.

### 3.3.3. Valores Médios e Desvios Padrões do Erro na Posição Horizontal e Profundidade do Desvanecimento

A seguinte tabela mostra os valores médios para o erro na posição horizontal e para a profundidade do desvanecimento, assim como os respectivos desvios padrões para as oito medidas realizadas.

	<b>Erro Horizontal Médio</b>	<b>Desvio Padrão do Erro Horizontal</b>	<b>Profundidade de Desvanecimento Médio</b>	<b>Desvio Padrão da profundidade de Desvanecimento</b>
<b>Medida 1</b>	2,00 m	1,13 m	10,83 dB	5,04 dB
<b>Medida 2</b>	3,36 m	2,26 m	14,26 dB	6,42 dB
<b>Medida 3</b>	5,19 m	4,06 m	17,60 dB	5,22 dB
<b>Medida 4</b>	3,14 m	2,35 m	14,25 dB	5,72 dB
<b>Medida 5</b>	1,15 m	0,47 m	6,41 dB	3,81 dB
<b>Medida 6</b>	0,94 m	0,57 m	5,04 dB	3,47 dB
<b>Medida 7</b>	1,91 m	0,8 m	7,68 dB	3,63 dB
<b>Medida 8</b>	3,51 m	2,25 m	12,32 dB	5,39 dB

Tabela 3-5- Valores médios e desvios padrões para o erro na posição horizontal e profundidade do desvanecimento.

### 3.3.4. Histogramas do Número de Satélites vistos Simultaneamente (ou utilizados pelo Receptor GPS para determinar sua Posição)

A figura 3-25 apresenta os histogramas correspondentes ao número de satélites vistos simultaneamente durante cada medida.

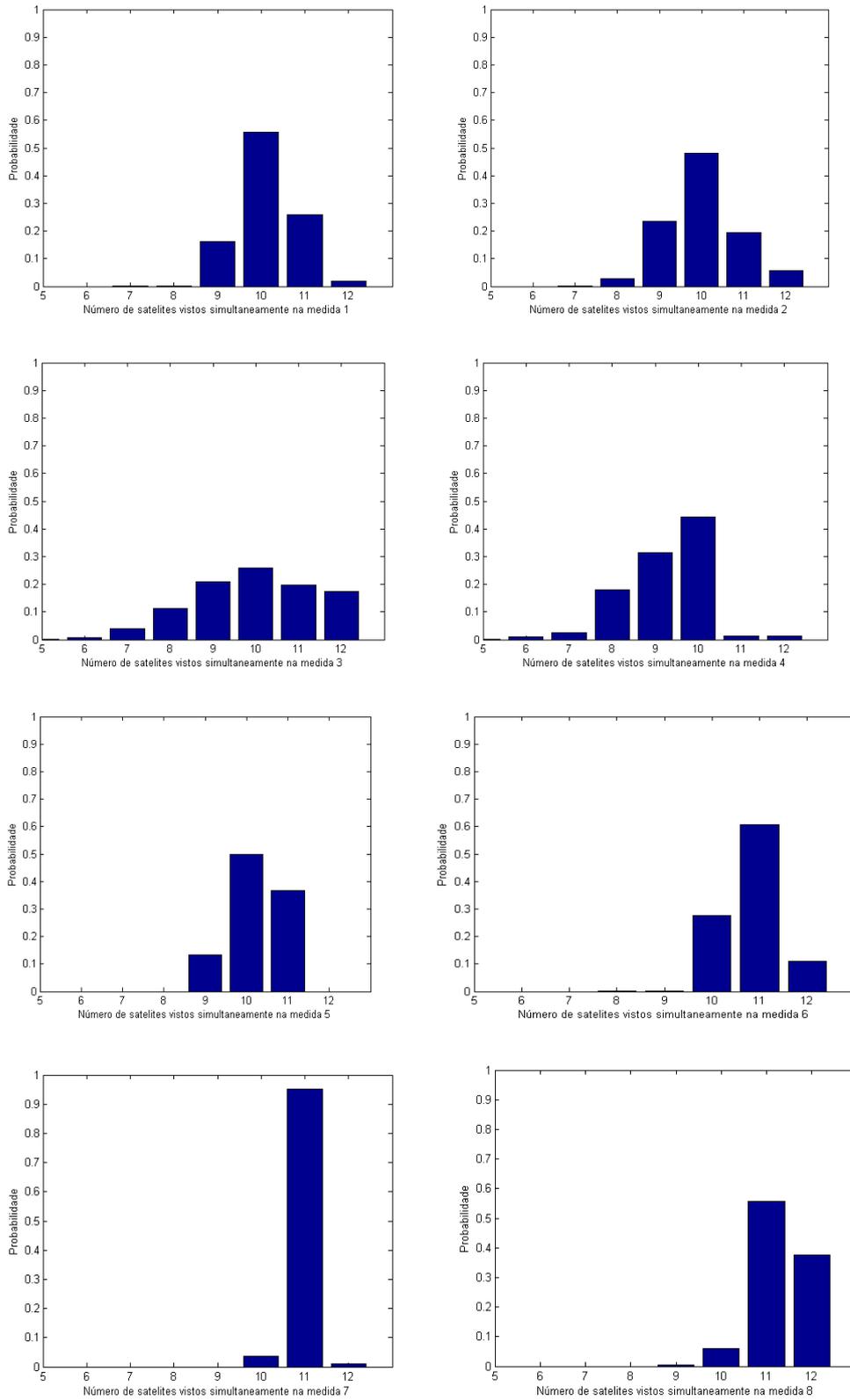


Figura 3-25- Histogramas correspondentes ao número de satélites vistos simultaneamente para cada medida.

### **Estados “S” (Árvore semiaberta)**

No caso da medida um a maior probabilidade do número de satélites utilizados pelo GPS para determinar a posição do receptor é 10 satélites com um valor aproximado de probabilidade de 0,6.

### **Estados “S” (Árvore fechada)**

No caso da medida três a maior probabilidade do número de satélites utilizados pelo GPS para determinar a posição do receptor é 10 satélites com um valor aproximado de probabilidade de 0,3.

### **Estados “S” (Árvores semifechadas)**

No caso das medidas dois, quatro e oito a maior probabilidade do número de satélites utilizados pelo GPS para determinar a posição do receptor são 10, 10 e 11 satélites com valores aproximados de probabilidade de 0,5, 0,5 e 0,6 respectivamente.

### **Estados “C” (Céu claro)**

No caso das medidas cinco, seis e sete a maior probabilidade do número de satélites utilizados pelo GPS para determinar a posição do receptor são 10, 11 e 11 satélites com valores aproximados de probabilidade de 0,5, 0,6 e 0,9 respectivamente.