

## 5 Setup de Medidas

### 5.1. Introdução

Para realização desse trabalho foi montada uma configuração de *setup* de medidas em UHF, mais precisamente no canal 42, frequência central de 641 MHz em acordo com o Plano Básico de canalização para TV Digital recomendado pela ANATEL [20]. Esta configuração foi utilizada numa extensa campanha de medidas no entorno de um transmissor fixo, a fim de realizar o estudo de cobertura com recepção fixa, para o futuro sistema de TV digital a ser implementado em nosso país.

O sistema de medidas é composto por três blocos: Transmissão, Recepção e Aquisição e Controle. A Figura 15 mostra a configuração dos equipamentos usados para realização das medidas separados em blocos.

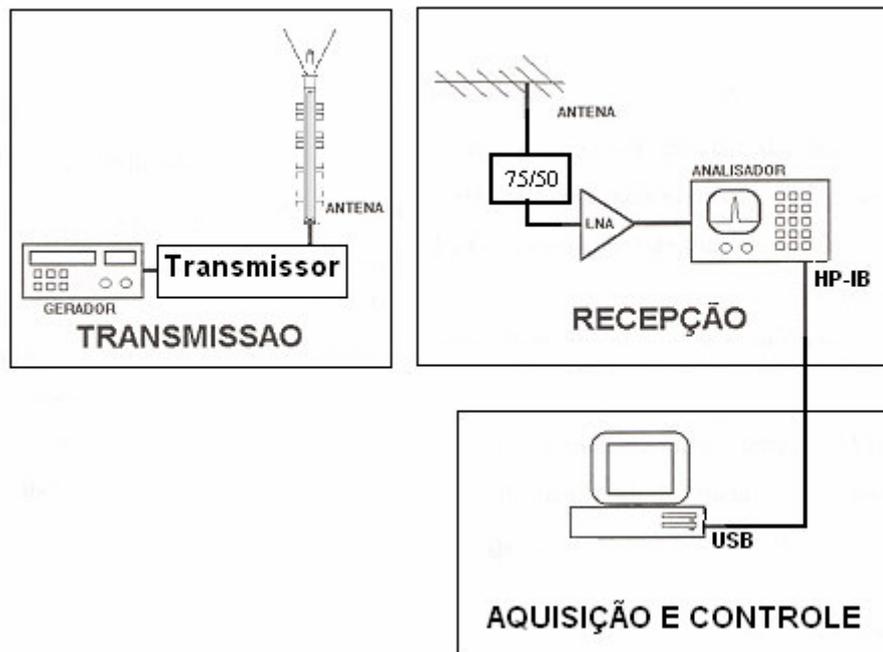


Figura 15: Diagrama de blocos do sistema básico de operação.

## 5.2. Sistema de Medidas

A Figura 15 ilustra o sistema de medidas, que é composto pelos três blocos já mencionados. O primeiro deles, bloco de transmissão, é responsável pela emissão do sinal eletromagnético. O segundo bloco, receptor, capta o sinal e apresenta, em sua saída, informações necessárias para a análise, a serem consideradas. O terceiro e último bloco, aquisição e controle, é responsável por colher e analisar os dados gerados no bloco anterior.

### 5.2.1. Bloco de Transmissão

O bloco de transmissão é responsável pela transmissão de um sinal CW (*Continuous Wave*), uma portadora faixa estreita sem modulação em 641 MHz. (Frequência central do Canal 42), e é composto por um gerador de sinais, transmissor, cabo de transmissão e uma antena do tipo slot.

O gerador de sinais utilizado foi o gerador sintetizador HP 8657B [21], que opera numa faixa de frequência de portadora entre 100 kHz e 2060 MHz. Sua resolução de frequência é de 1 MHz. Sua amplitude de saída está calibrada para níveis de +13 dBm a -143,5 dBm. Este equipamento foi calibrado para uma potência de saída de 10 dBm.

O transmissor utilizado foi o modelo LINEAR UHF de 100 W de potência. Nesse trabalho foi utilizado somente o módulo de potência de saída máxima de 10 W, não sendo utilizados o módulo de 100 W nem o modulador. Com isso o nível de sinal amplificado e transmitido (saída do transmissor) foi de 40 dBm

O cabo de RF escolhido para transmitir o sinal da saída do transmissor até a antena transmissora foi o cabo coaxial modelo FSJ4-50B 1/2" da Andrews que possui uma atenuação de 9,2 dB por 100 metros. Foram necessários 30 metros de cabo, resultando numa perda de 2,86 dB.

A antena usada no experimento para transmissão foi a produzida pela empresa Trans-Tel modelo TTSL4UA [22], apresentada na Figura 16. Esse modelo opera entre os canais 14 e 69 de UHF, ou, 470 MHz e 810 MHz. Suas principais características são apresentadas na Tabela 5.



Figura 16: Antena transmissora TTSL4UA

Modelo	TTSL4UA					
Faixa de Freqüência	TV UHF canais 14 até 69					
Polarização	horizontal					
Ganho de potência	11,2 dBi ou 9,05 dBd					
Diagrama horizontal	Vide Figura 17					
Diagrama vertical	Vide Figura 18					
Ângulo de meia potência	220 graus					
Abertura vertical (slot)	22 graus	12 graus	8 graus	6 graus	4 graus	3 graus
Impedância de entrada	50 ohms					
VSWR max. no canal	1,1 : 1					

Tabela 5: Especificações da antena transmissora TTSL4UA [22]

Os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena são apresentados na Figura 16 e Figura 17, respectivamente. Para obter estes diagramas é usado um programa fornecido pelo fabricante, chamado Fadawin. Nesse programa são abertos os arquivos contendo as tabelas de relação E/Emax para a antena usada e são plotados os gráficos.

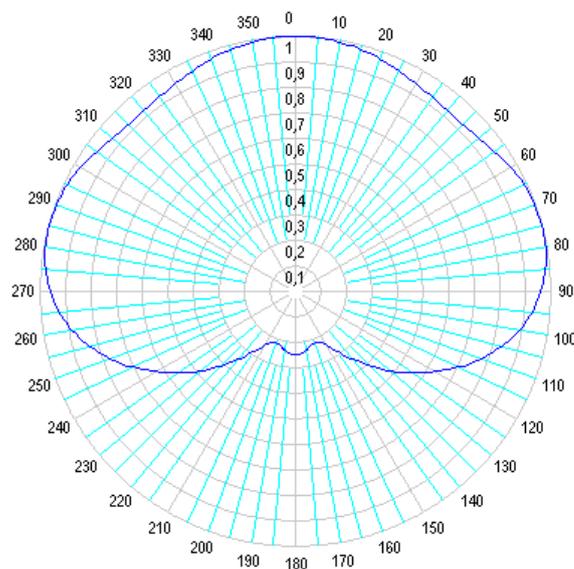


Figura 17: Diagrama horizontal da antena TSL4UA, escala E/Emax

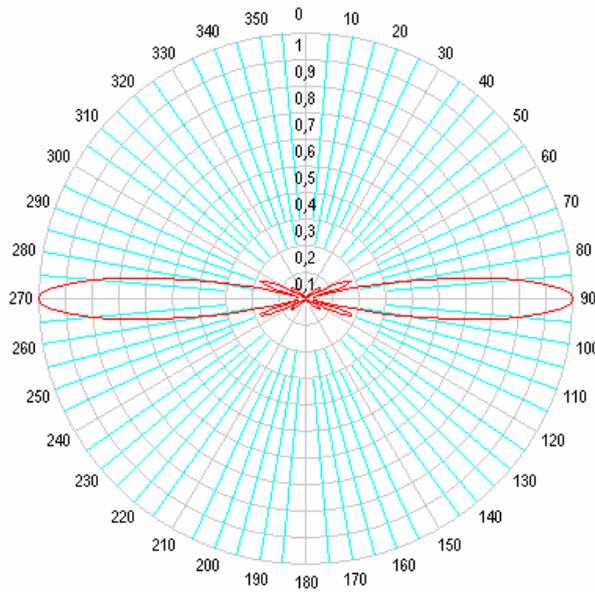


Figura 18: Diagrama de Radiação Vertical da antena TTSL4UA, escala E/Emáx

### 5.2.2. Bloco de Recepção

De modo a se obter valores para os parâmetros básicos de propagação, é necessário usar um receptor capaz de fornecer estes parâmetros com um determinado nível de precisão. Para isso é necessário que:

- Toda potência irradiada pela antena transmissora seja conhecida e permaneça constante durante a realização das medidas;
- O procedimento de medida seja tal que capture toda energia do sinal desejado, disponível na antena receptora.

Nesse trabalho optou-se pela transmissão de portadora não modulada para satisfazer as condições acima, tendo em vista que a potência total irradiada por sinais modulados varia com as características do sinal modulado. Além disso, a largura de faixa do receptor deveria ser grande o suficiente para captar a energia nas bandas laterais sem introduzir atenuações. Porém, receptores de faixa larga são muito complexos e aumentam a possibilidade de interferência de sinais indesejados.

Utilizando-se portadoras não moduladas, o nível de sinal irradiado, que é todo contido na portadora, pode ser determinado mais facilmente e mantido constante durante todo o tempo em que a medida é realizada. A largura de faixa do receptor também pode ser selecionada pelo uso de filtros de faixa tão estreita

quanto se queira, de modo a rejeitar sinais indesejados e reduzir a quantidade de ruído presente.

Durante a realização das medidas o analisador de espectro utilizado foi o HP8594E [23], que faz uso de filtros selecionáveis, permitindo ao usuário a escolha da largura de faixa do filtro interno, além de um nível de saída auto calibrado.

A fim de aumentar a margem dinâmica do receptor, foi necessário o uso de um amplificador de baixo ruído LNA colocado junto à antena receptora.

A figura de ruído ( $F$ ) é o parâmetro que indica a diferença entre as relações sinal/ ruído ( $SNR$ ) de entrada e de saída de um sistema:

$$F(dB) = SNR_e(dB) - SNR_s(dB) \quad (5.1)$$

Quanto menor o valor de  $F$ , melhor é o amplificador e menos ruído é introduzido no sistema. Num sistema composto por vários elementos em cascata, existe um acréscimo de ruído em cada estágio e a figura de ruído final do sistema é obtida relacionando as várias figuras de ruído e ganhos dos elementos:

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots \quad (5.2)$$

onde  $F_i$  e  $G_i$  são, respectivamente, a figura de ruído e o ganho de cada estágio em unidades absolutas.

Analisando a eq. (5.2) percebe-se que para se obter uma figura de ruído total baixa para o sistema, deve-se optar por utilizar um elemento com um ganho alto e figura de ruído baixa no primeiro estágio.

A configuração de equipamentos para recepção é composta por uma antena diretiva, um casador de impedância (50/75 ohms), um amplificador de baixo ruído (LNA), um analisador de espectro, um micro computador portátil e um GPS (Sistema de Posicionamento Global).

A necessidade do uso de um casador de impedância de 50 ohms para 75 ohms no setup de medidas se deu ao fato de ter sido utilizada uma antena com impedância característica de 75 ohms (característica das antenas comerciais) e um LNA com impedância de 50 ohms, assim como a do restante dos equipamentos.

O casador de impedância e o LNA foram fixados junto à antena receptora (Figura 19) com o intuito de minimizar a figura de ruído do sistema.

Em cada local de medida, a antena, juntamente com o casador e o amplificador de baixo ruído, foi montada em uma haste retrátil sobre uma base ao lado da unidade móvel. Essa base dispõe de um transferidor, para se obter a orientação da antena, com o auxílio de uma bússola. A altura alcançada pela haste é de até 10 metros, o que permitiu realizar as medias a 1,8m e 10m de altura, conforme recomendado pela norma ITU-R BT.2035, como mostrado na Figura 20. O Analisador de espectro, o GPS e o micro computador ficaram dentro da unidade móvel.



Figura 19: Fixação do Casador 75/50  $\Omega$  e do LNA junto a antena



Figura 20: Haste com a antena receptora

A Antena utilizada na recepção, Figura 21, foi uma YAGI com dipolo dobrado modelo HIGH GD 419C [24], produzida pela THEVEAR para a Banda V de UHF (canais 34 ao 83). A Tabela 6 apresenta as principais especificações fornecidas pelo Fabricante.

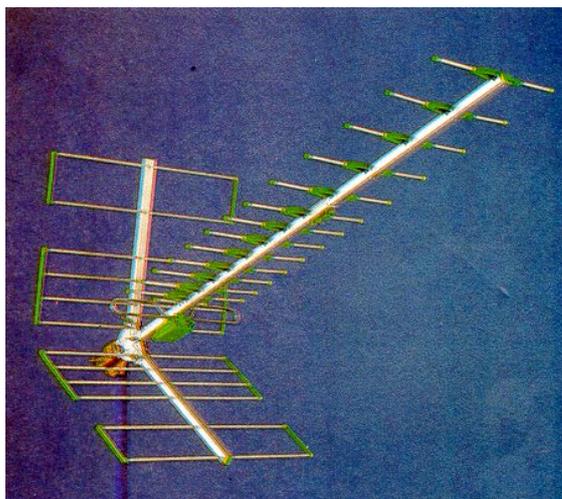


Figura 21: Antena receptora

Características Técnicas	Modelo 419C
Ganho	14 dB
Frequência	580 a 890 MHz Canais 34 ao 83
Relação antero-posterior	29 dB
Ângulo horizontal	31°
Ângulo Vertical	40°
Adaptação (R.O.E)	<1,25
Impedância	73 ou 300 $\Omega$
Longitude Elétrica	2,6 $\lambda$
Peso	1,700 gr

Tabela 6: Especificações da antena receptora [24]

O diagrama de radiação horizontal P/P<sub>máx</sub> em escala logarítmica da antena receptora está ilustrado na Figura 22.

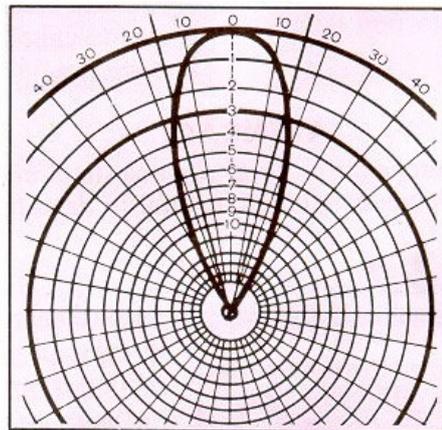


Figura 22: Diagrama de radiação horizontal da antena receptora [25]

O casador de impedância utilizado foi o modelo A65U produzido pelo fabricante WBE. Sua perda nominal para a frequência utilizada é de 0,5 dB, entretanto, em laboratório, foi encontrada uma perda de 1 dB, que foi o valor considerado para os testes.

O Amplificador de baixo ruído usado nas medidas foi o modelo ZFL1000LN da Minicircuit. Esse componente precisa ser alimentado com uma Tensão DC de 15 Volts. Esse dispositivo opera na faixa de frequência entre 100 kHz e 1000 MHz. Seu ganho nominal para a frequência usada nos testes é de 23,5 dB.

As perdas dos cabos de RF usadas também foram levantadas em laboratório e esses valores foram usados para obter os resultados finais.

O Analisador de Espectro utilizado foi o Modelo HP859E, que apresenta grandes facilidades. Usando uma interface RS-232 ou HP-IB, pode-se controlar totalmente o equipamento pelo uso do computador. Através da interface HP-IB, podem-se fazer os ajustes da frequência central, da faixa de frequência, do nível de referência, assim como obter a informação de sinal desejável.

O GPS utilizado foi o Modelo portátil Garmim e-Trex C60, que fornece uma localização com precisão de 15 metros. Essa precisão é suficientemente boa para verificar o posicionamento na unidade móvel, produzindo erros descartáveis.

### 5.2.3. Bloco de Aquisição e Controle

Este Bloco é composto por um computador portátil (Laptop) responsável por controlar o analisador de espectro, ajustando o equipamento para que se possa realizar a medida precisa da potência recebida e adquirir estes valores medidos.

Tanto o controle quanto a aquisição foram realizados através da Interface HP-IB do Analisador de Espectro, conectada ao laptop por sua interface USB, que controlava e acionava a aquisição dos dados por um programa em MATLAB\*. Esse programa aquisita o valor da potência a uma taxa de 1000 amostras por segundo.

A Figura 23 mostra a interface gráfica desse programa:

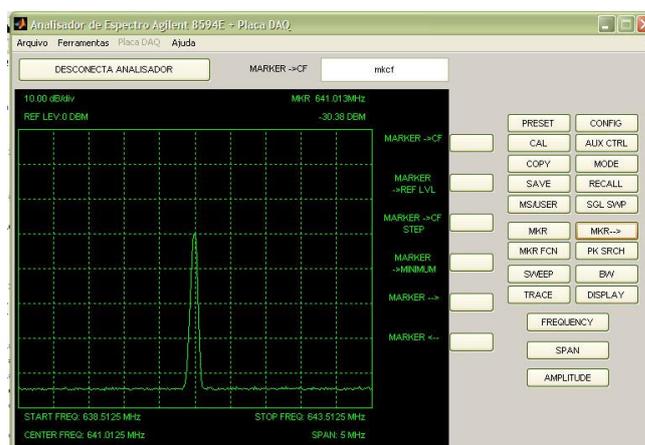


Figura 23: Interface gráfica do programa de aquisição em MATLAB

\* Programa desenvolvido pelo aluno Eduardo S. Kliem de iniciação científica.

### 5.3. Unidade Móvel

Para a realização desse experimento, foi montado um laboratório no interior do compartimento de carga de uma Fiorino Furgão. Em seu interior encontram-se estantes, onde os equipamentos foram fixados para evitar danos com o deslocamento do automóvel entre os pontos de medida.

No teto do carro se encontra o suporte para a antena externa do GPS e no seu interior uma adaptação para um gerador de eletricidade à gasolina, utilizado para carregar as baterias que alimentavam os equipamentos. Foram feitas adaptações na lateral do carro para ventilação e escapamento dos gases proveniente da combustão do gerador.

Os equipamentos de medida instalados na unidade móvel foram alimentados por uma bateria de 70 Ah. Para prolongar o tempo de uso das baterias optou-se pelo uso de um gerador elétrico Thoyama de 40 Ah que alimentava a bateria durante seu uso.

Os consumos de potência dos principais equipamentos são: Computador 120 W; Analisador de espectro 300 W; Fonte de 15 V do LNA 40 W; Totalizando 460 W. Como esses equipamentos devem ser alimentados por corrente alternada em 60 Hz, utilizou-se, então, um inversor de 500 W, que transforma tensão contínua de 12 volts em tensão alternada de 110 volts.

A energia gerada por uma bateria é dada por:

$$E = \frac{1}{2} QV \quad (5.3)$$

onde Q é dado em Coulombs e V em Volts.

Uma bateria com carga igual a 70 Ah e tensão de 12 Volts possui, portanto, uma energia de 1512 KJ, para  $Q$  (Coulomb) = A (Ampère) x t (segundo), o que corresponde a 252000 C.

Por outro lado, a energia produzida pelo Gerador elétrico de 40 Ah e tensão 12 volts é de 864 KJ.

Como a potência a ser consumida é no máximo de 500 W, tem-se que:

$$\Delta t = \frac{E_{bat} + E_{ger}}{P} = 4752 \text{segundos} = 1,32 \text{horas}$$

A autonomia de cada bateria com todos os equipamentos ligados é, então, de aproximadamente uma hora e quinze minutos. Como os equipamentos eram desligados entre um ponto de medida e outro e como o gerador permanecia carregando a bateria durante todo o tempo, o uso de uma bateria por dia de medida foi suficiente.

O processo de recarga das baterias foi feito com um carregador ligado a uma tensão de 110 volts, que é capaz de carregar duas baterias em 10 horas.

O inversor fornece uma tensão alternada de 120 volts em sua saída quando está em plena carga, ou seja, 500 W. Caso contrário, fornece uma tensão máxima de 150 volts.

A fim de evitar sobrecarga na entrada dos equipamentos, principalmente do analisador de espectro, é necessário o uso de um transformador variável, de 500 W, alimentado pelo inversor. Assim, ajusta-se a tensão que alimenta o analisador de espectro e qualquer outro aparelho que não opere numa faixa de tensão muito larga, sempre tomando o cuidado de não alimentar com este transformador uma carga de mais de 500 W.

#### **5.4. Balanço de Potência**

O balanço de potência para enlaces de rádio é muito importante para se determinar as margens de potência para o perfeito funcionamento do sistema. O sinal transmitido deve chegar ao receptor com um nível maior que a mínima potência detectável. O balanço de potência do enlace é dado pela eq. (5.4), onde o limite de desvanecimento ( $L_D$ ) é definido como o excesso de potência isotrópica efetivamente irradiada (EIRP) sobre a perda de propagação determinística do enlace (PP) e a mínima potência detectada pelo receptor (MSD).

$$L_D = EIRP - PP - MSD \quad (5.4)$$

O limite de desvanecimento determina tanto a máxima faixa de operação para uma dada qualidade de recepção, como o desempenho do sistema durante um grande desvanecimento. Em termos de teste do canal, isso significa que se o sinal cai abaixo do nível de ruído, nenhuma afirmação pode ser feita a respeito dele. Pode-se dizer apenas que ele está abaixo de um certo nível. Além disso, à

medida que o sinal se aproxima do nível de ruído, os erros aleatórios na estimativa da intensidade do sinal aumentam.

#### 5.4.1. Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada (EIRP)

A Potência isotrópica efetivamente irradiada (EIRP) é definida como a potência que se deve alimentar uma antena hipotética onidirecional e sem perdas, de modo a conseguir a mesma densidade de potência irradiada com a antena direcional em seu lóbulo principal. Sendo assim, sua equação é dada por:

$$EIRP = P_{TX} + G_{TX} \quad (5.5)$$

onde  $P_{TX}$  e  $G_{TX}$  são, respectivamente, a potência de entrada (dBm) e o ganho da antena transmissora (dB).

Para se determinar o limite de desvanecimento na entrada do analisador de espectro, considera-se as perdas e ganhos do terminal receptor dadas pela equação abaixo:

$$L_d = L_D + G_{RX} + G_{LNA} - L_C \quad (5.6)$$

onde  $G_{RX}$  é o ganho da antena receptora (dB),  $G_{LNA}$  é o ganho do amplificador de baixo ruído (dB) e  $L_C$  é a perda no casador de impedância, cabos do receptor e conectores (dB).

#### 5.4.2. Perda de Propagação no Percorso

Para determinar a perda de propagação no percurso considera-se o mecanismo de propagação dominante como o de espalhamento por espaço livre, já descrito na seção 3.2. Assim, a perda de propagação é dada pela equação a seguir:

$$PP(dB) = 32.44 + 20 \log f_{(MHZ)} + 20 \log d_{(Km)} \quad (5.7)$$

### 5.4.3. Mínimo sinal detectável

O mínimo sinal detectável é definido como o nível de ruído do receptor. O ruído do analisador de espectro é térmico por natureza e tem relação com a resolução da largura de banda selecionada. Assim, ao se mudar a largura de banda, há uma mudança no nível de ruído pela seguinte equação:

$$MSD = -174(\text{dBm} / \text{Hz}) + 10 \log B[\text{Hz}] + F[\text{dB}] \quad (5.8)$$

onde B é a largura de banda em Hz e F é a figura de ruído em dB.

Nas medidas realizadas, a largura de banda utilizada foi de 10 kHz. Para fins de cálculo teórico, foi considerado que a figura de ruído do sistema receptor, formado na realidade por uma cascata entre Casador, LNA e Analisador de Espectro, era igual tão somente à figura de ruído do LNA. Desta forma a contribuição do ruído produzido pelo casador foi considerada desprezível.

Para essa configuração temos um mínimo sinal detectável da ordem de  $-130,8$  dBm

O valor mínimo do sinal recebido na entrada do analisador de espectro pode ser calculado somando-se os ganhos do LNA e antena receptora e subtraindo-se as perdas dos cabos, conectores e casador de impedância, resultando em  $-102,3$  dBm.

Os dados referentes ao setup de medidas são:

$$P_{TX} = 37,14 \text{ dBm}$$

$$L_C = 9 \text{ dB}$$

$$G_{TX} = 11,2 \text{ dBi}$$

$$G_{RX} = 14 \text{ dBi}$$

$$F = 3,2 \text{ dB}$$

$$G_{LNA} = 23,5 \text{ dB}$$

A distância máxima de medida foi de 13 km. Os parâmetros utilizados para o cálculo do limite de desvanecimento são mostrados abaixo:

$$EIRP = 48,34 \text{ dBm}$$

$$PP = 110,8 \text{ dB}$$

$$\text{MSD} = -130,8 \text{ dBm}$$

$$\text{EP} = 28,5 \text{ dB}$$

$$L_D = 68,2 \text{ dB}$$

$$L_d = 96,8 \text{ dB}$$

Logo, pode-se observar pelos cálculos acima, que é possível captar desvanecimentos de até 96,8 dB. Esse limite de desvanecimento é suficientemente grande para as medidas realizadas nesse trabalho.