

# Efeito do Ganho da Antena nas Perdas de Percurso de uma Ligação

PROJECTO DE MESTRADO

**Tony Andres Pereira de Sousa**

MESTRADO EM ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES E REDES



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*

[www.uma.pt](http://www.uma.pt)

Setembro | 2011

Ma

Efe



**Universidade da Madeira**  
**Centro de Competência de Ciências Exactas e da**  
**Engenharia**

# **Efeito do Ganho da Antena nas** **Perdas de Percurso de uma ligação**

Tony Andres Pereira de Sousa

Dissertação submetida à Universidade da Madeira  
para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de  
Telecomunicações e Redes

## **Júri**

Presidente: Prof. João Dionísio Simões Barros  
Orientador: Prof. Joaquim Amândio Rodrigues Azevedo  
Vogal: Prof. Alberto de Jesus Nascimento

Funchal, 16 de Setembro de 2011



## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho representa, para mim, mais um degrau alcançado na vida, na qual não seria possível sem o contributo de algumas pessoas, cujo agradecimento pretendo aqui expressar.

Em primeiro lugar aos meus pais, pessoas mais importantes na minha vida, por todo o amor, apoio e conselhos, que me tornaram na pessoa que hoje sou e por terem dado a possibilidade de seguir uma carreira universitária.

Aos meus irmãos, que apesar de estarem longe de mim, sempre me apoiaram.

Ao Professor Doutor Joaquim Amândio Azevedo, orientador deste trabalho, por todo o apoio e ajuda prestada no decorrer do trabalho e pela sua disponibilidade em ajudar e aconselhar ao longo do meu percurso académico.

A minha namorada Jenny, que sem ajuda dela este trabalho não seria possível, por toda a sua ajuda prestada na realização das medições e por estar sempre disponível para ajudar no que fosse preciso.

Ao Engenheiro Filipe Santos, pela sua ajuda prestada para a realização das medições e conselhos dados que ajudaram a ultrapassar vários obstáculos encontrados na realização deste trabalho.

Aos meus amigos, Leonardo Correia, Lina Teixeira, Jorge Lopes, Maurício Rodrigues e Tiago Braga, por toda a sua ajuda e conhecimentos partilhados.



## Resumo

O presente trabalho tem como objectivo principal a realização de um estudo do efeito do ganho das antenas nas perdas de percurso de uma ligação na banda de frequência ISM (*Industrial Scientific and Medical*) nos 2,4 GHz. Para tal, foram utilizadas 14 antenas de 7 tipos diferentes (2 monopolo, 2 colineares, 2 grelhas, 2 Yagi, 2 painéis, 2 parabólicas e 2 helicoidais) com ganhos a variar desde os 1,3 a 23 dBi.

Inicialmente, obtiveram-se os parâmetros fundamentais das antenas utilizadas, nomeadamente o diagrama de radiação e o ganho. Desenvolveu-se um sistema, que permite a medição do diagrama de radiação de forma automática através de um motor passo a passo. Uma aplicação desenvolvida em ambiente Matlab realiza o controlo do motor e desenha o respectivo diagrama em tempo real.

Para a realização das medições da propagação do sinal desenvolveu-se um sistema que interliga a antena receptora a um computador portátil através de um analisador de espectros. À medida que as medições são efectuadas, a atenuação do sinal em função da distância é determinada e apresentada graficamente no computador sendo, ainda, representada a atenuação esperada no espaço livre. Para isto, implementou-se uma aplicação em ambiente Matlab que faz o tratamento e representação dos dados.

Tendo-se conhecimento dos parâmetros das antenas, e com o sistema de medição implementado, passou-se às medições da propagação do sinal em diferentes meios, tais como, meio sem obstáculos, meio urbano, meio florestal caracterizado por troncos no percurso de propagação e meio florestal caracterizado por folhagem no percurso de propagação. Em cada meio foram efectuadas medições para 37 combinações de antenas, com ganhos conjuntos a variar desde os 2,6 até o 46 dBi. As medições foram efectuadas com a colocação da antena emissora numa posição fixa e com o afastamento da antena receptora em intervalos de 5 metros, até os 150 metros, seguindo a linha de máxima radiação entre ambas as antenas. Ainda, para os meios sem obstáculos e florestais, foram efectuadas medições para dois ângulos em relação à linha indicada, sendo estes de 30° e 330°, respectivamente.

Com base nos resultados obtidos, verificou-se um aumento da atenuação à medida que se passou para meios mais obstruídos, sendo que, para o meio sem obstáculos a atenuação aproxima-se da curva do espaço livre. No meio urbano observou-se que a atenuação aumentou ligeiramente. No entanto, esta não é muito significativa quando comparada com a atenuação no espaço livre. Por último, notou-se um grande aumento da atenuação nos meios florestais, ao nível dos troncos e da vegetação, sendo superior para esta última.

Relativamente às antenas, verificou-se que existe um aumento da atenuação na medida que o ganho destas aumenta, sendo mais visível para meios com maior obstrução (florestais). Para a situação em que as antenas encontram-se com desvios de 30° e 330°, verificou-se que este aumento é mais significativo para as antenas directivas (ganhos superiores).

### **Palavras-chave:**

Propagação do sinal, Ganho, Diagrama de radiação, Atenuação.



## ***Abstract***

The main objective of this work is to study the effect of the antenna gain in the path loss for the ISM frequency band (Industrial Scientific and Medical) at 2.4 GHz. For this purpose, 14 antennas of 7 different types were used (two monopoles, two collinear, two grills, two Yagi, two panels, two parabolic and 2 helical) with gains in the range from 1.3 to 23 dBi.

Initially the basic parameters of the antennas, radiation pattern and gain were obtained. In order to measure the radiation pattern an automated system was developed. This system is controlled using a developed software in Matlab, showing the results in real time.

To obtain signal propagation loss a spectrum analyzer was connected to the antenna, acting as a receiver, and to a computer. As measurements were taken, signal propagation loss versus distance was determined and represented on the computer. Free space attenuation curve was also represented for comparison. All data processing was made in Matlab using a developed tool.

Propagation loss was measured for different environments, such as: unhindered, urban and forest. In the last one, two different types of obstacles were differentiated: trunks and foliage in the propagation path. In each environment measurements were performed using 37 combinations of antennas, with a total gain from 2.6 up to 46 dBi. The transmitting antenna was in a fixed position while the receiving antenna was moved in intervals of 5 m for a maximum distance of 150 m. Both antennas were aligned according to the maximum radiation orientation. Additionally, for the unhindered and forest environments, measurements were repeated changing the orientation of the receiving antenna to 30° and 330° from the maximum radiation direction.

Based on the obtained results, it was noticed that an increase in the attenuation occurs with the increase of the density of obstacles in the propagation path. The attenuation approaches to the curve of the free space for unhindered environments. In urban areas it was observed that the attenuation increases slightly above the attenuation of the free space. A large increase in the attenuation occurred in forest environments. This increase was higher at the foliage level.

Relatively to the antennas, it was found that as the antenna gain increases the signal attenuation increases, for the same situation. This effect is notorious in environments with dense obstructions (forest). For the situation where the antennas were oriented to 30° and 330° this effect became significant only for the directional antennas.

### **Keywords:**

Signal propagation, gain, radiation pattern, attenuation.



# Índice

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	v
<i>Abstract</i> .....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xiii
Índice de tabelas .....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objectivos.....	1
1.3 Estrutura do trabalho .....	2
2. Estado de arte .....	3
2.1 Estudos sobre propagação do sinal.....	3
2.2 Modelos de propagação.....	7
2.2.1 Modelo do espaço livre .....	8
2.2.2 Modelo log-normal.....	8
2.2.3 Modelos para meios urbanos.....	8
2.2.4 Modelos para meios com vegetação .....	10
2.3 Antenas.....	12
2.3.1 Antena Monopolo .....	12
2.3.2 Antena colinear .....	13
2.3.3 Antena painel .....	14
2.3.4 Antena grelha .....	15
2.3.5 Antena Yagi-Uda.....	16
2.3.6 Antena parabólica .....	17
2.3.7 Antena helicoidal.....	18
3. Sistemas de medição.....	21
3.1 Sistema de medição do diagrama de radiação .....	21
3.1.1 Desenvolvimento do sistema .....	21
3.1.2 Funcionamento do programa.....	27
3.2 Sistema de medição da atenuação em função da distância .....	29
3.2.1 Desenvolvimento do sistema .....	29
3.2.2 Funcionamento do programa.....	30

4.	Medições em diferentes meios de propagação .....	33
4.1	Características das antenas .....	33
4.1.1	Ganho .....	34
4.1.2	Diagramas de radiação .....	36
4.2	Método de medição para o estudo da propagação do sinal .....	38
4.3	Locais das medições e resultados obtidos .....	39
4.3.1	Meio sem obstáculos.....	40
4.3.2	Meio urbano.....	43
4.3.3	Meio florestal ao nível dos troncos.....	46
4.3.4	Meio florestal ao nível da folhagem.....	49
4.4	Comparação com os modelos conhecidos.....	52
5.	Análise de resultados .....	55
5.1	Método de análise.....	55
5.2	Meio sem obstáculos .....	56
5.2.1	Análise na direcção de máxima radiação .....	56
5.2.2	Análise 30° e 330°.....	62
5.3	Meio Urbano .....	65
5.4	Meio florestal ao nível dos troncos.....	71
5.4.1	Análise na direcção de máxima radiação .....	71
5.4.2	Análise 30° e 330°.....	77
5.5	Meio florestal ao nível da folhagem.....	79
5.5.1	Análise na direcção de máxima radiação .....	79
5.5.2	Análise 30° e 330°.....	86
5.6	Comparação de resultados.....	88
6.	Conclusões e trabalhos futuros.....	97
6.1	Conclusão .....	97
6.2	Trabalhos futuros .....	98
7.	Bibliografia .....	99
8.	Anexos.....	103
	Anexo A - Estudo teórico e pratico do motor passo a passo.....	103
	Anexo B - Código implementado no microcontrolador para controlar o motor passo a passo .....	107
	Anexo C - Código do programa desenvolvido em ambiente Matlab para a medição do diagrama de radiação.....	113

Anexo D - Código do programa desenvolvido em ambiente Matlab para a medição da atenuação em função da distância .....	123
Anexo E - Construção das antenas helicoidais.....	131
Anexo F - Medições efectuadas .....	134
Anexo G - Desvio do ganho no meio sem obstáculos.....	173
Anexo H - Desvio do ganho no meio urbano .....	176
Anexo I - Desvio do ganho no meio florestal ao nível dos troncos.....	179
Anexo J - Desvio do ganho no meio florestal ao nível da folhagem .....	182
Anexo K - Atenuação 30° meio sem obstáculos .....	185
Anexo L - Atenuação 330° meio sem obstáculos.....	188
Anexo M - Atenuação 30° meio florestal ao nível dos troncos .....	191
Anexo N - Atenuação 330° meio florestal ao nível dos troncos .....	194
Anexo O - Atenuação 30° meio florestal ao nível da folhagem.....	197
Anexo P - Atenuação 330° meio florestal ao nível da folhagem.....	200



## Índice de figuras

Figura 2.1 - Local das medições: (a) Meio florestal; (b) Estrada [4].....	4
Figura 2.2 - Relação entre a atenuação da antena de alto e baixo ganho [5].....	5
Figura 2.3 Local e percurso das medições em meio urbano [6]. ....	6
Figura 2.4 - Resultados obtidos no caso em que as antenas estão em linha de vista [6].....	7
Figura 2.5 - Resultados obtidos no caso em que as antenas não se encontram em linha de vista [6]. ....	7
Figura 2.6 - Esquema de uma antena monopolo [17].....	13
Figura 2.7 - Esquema da distribuição de corrente no agrupamento de dipolos colineares de Franklin [18]. ....	13
Figura 2.8 - Abordagem comum para a projecção de uma antena colinear [19]. ....	14
Figura 2.9 - Diagrama de radiação de uma antena dipolo de meio comprimento de onda, a diferentes distâncias do plano reflector [20].....	15
Figura 2.10 - Esquema básico de uma antena grelha [20].....	15
Figura 2.11 - Esquema do posicionamento e dimensões dos elementos de uma antena Yagi-Uda [22].....	16
Figura 2.12 - Diagrama de radiação típico de uma antena Yagi-Uda [16]. ....	16
Figura 2.13 - Esquema de funcionamento de um reflector parabólico [24].....	17
Figura 2.14 - Tipos de alimentação das antenas parabólicas: a) Frontal; b) Cassegrain [15]. ....	17
Figura 2.15- Antena helicoidal com plano de massa [16]. ....	18
Figura 2.16 - Diagrama de Radiação da antena helicoidal no modo axial [16].....	19
Figura 3.1 – Sistema utilizado para a medição do diagrama de radiação.....	21
Figura 3.2 – Suporte para o sistema de medição do diagrama de radiação. ....	22
Figura 3.3 - Placa de desenvolvimento utilizada. (a) Face superior; (b) Face inferior. ....	23
Figura 3.4 - Fluxograma do funcionamento do microcontrolador.....	23
Figura 3.5 - Esquema de ligação dos componentes utilizados para efectuar o controlo do motor.....	24
Figura 3.6 - Circuito impresso implementado. (a) Face superior; (b) Face inferior. ....	24
Figura 3.7 - Placa de desenvolvimento e circuito implementado para controlar o motor.....	24
Figura 3.8 - Ligação entre o FSH4-View e o analisador de espectros (FSH8) via USB. ....	25
Figura 3.9 - Opção de múltiplas transferências.....	25
Figura 3.10 - Definição do número de transferências, intervalo entre transferências e localização de armazenamento dos dados. ....	26
Figura 3.11 - Interface gráfica do programa desenvolvido. ....	26

Figura 3.12 - Fluxograma do programa desenvolvido para a medição do diagrama de radiação. ....	27
Figura 3.13 - Exemplo do diagrama de radiação polar da antena dipolo, obtido com o programa desenvolvido. ....	28
Figura 3.14 - Diagrama de radiação cartesiano da antena dipolo. ....	28
Figura 3.15 - Sistema implementado para a medição do nível de sinal recebido em função da distância. ....	29
Figura 3.16 - Interface gráfica do programa desenvolvido. ....	30
Figura 3.17 - Resultado da atenuação do sinal em função da distância. ....	31
Figura 3.18- Fluxograma do programa desenvolvido para a medição da atenuação em função da distância. ....	31
Figura 4.1 - Antenas utilizadas para o estudo da propagação do sinal em diferentes meios.....	33
Figura 4.2- Esquema de montagem para a medição do ganho das antenas: (a) sistema elevado; (b) sistema enviesado. ....	34
Figura 4.3 - Resultados obtidos para o cálculo do ganho das antenas com região de campo distante inferior a 4 metros. ....	35
Figura 4.4 - Esquema de medição do diagrama de radiação para as antenas com região de campo distante superior a 4 metros. ....	37
Figura 4.5 - Diagramas de radiação das antenas: (a) monopolo; (b) colinear; (c) helicoidal; (d) grelha; (e) Yagi; (f) painel; (g) agrupamento; (h) parabólica.....	38
Figura 4.6 - Esquema de medição. ....	39
Figura 4.7 - Local das medições no meio sem obstáculos.....	40
Figura 4.8 - Local das medições no meio sem obstáculos (imagem obtida através do <i>Google Maps</i> ). ....	40
Figura 4.9 – Medições com a combinação de antenas monopolo – monopolo para os 3 ângulos medidos no meio sem obstrução.....	41
Figura 4.10 - Medições com a combinação de antenas monopolo – grelha para os 3 ângulos medidos no meio sem obstáculos.....	41
Figura 4.11- Medições com a combinação de antenas grelha – grelha para os 3 ângulos medidos no meio sem obstrução.....	42
Figura 4.12- Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio sem obstáculos. ....	43
Figura 4.13 - Local das medições no meio urbano.....	43
Figura 4.14 - Local das medições no meio urbano (imagem obtida através do <i>Google Maps</i> ). ..	44

Figura 4.15 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio urbano. ....	44
Figura 4.16 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio urbano. ...	45
Figura 4.17 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio urbano. ....	45
Figura 4.18 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio urbano. ....	46
Figura 4.19 - Local das medições na zona de troncos. ....	46
Figura 4.20 - Local das medições na zona de troncos (imagem obtida através do Google Maps). ....	47
Figura 4.21 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio florestal (troncos). ....	47
Figura 4.22 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio florestal (troncos). ....	48
Figura 4.23 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio florestal (troncos). ....	48
Figura 4.24 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio florestal (troncos). ....	49
Figura 4.25 - Local das medições na zona de folhagem. ....	49
Figura 4.26 - Local das medições na zona de folhagem (imagem obtida através do <i>Google Maps</i> ). ....	50
Figura 4.27 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio florestal (folhagem). ....	50
Figura 4.28 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio florestal (folhagem). ....	51
Figura 4.29 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio florestal (folhagem). ....	51
Figura 4.30 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio florestal (folhagem). ....	52
Figura 4.31 – Comparação entre as medições da combinação de antenas colinear - colinear e os modelos característicos para o meio sem obstáculos. ....	53
Figura 4.32 - Comparação entre as medições da combinação de antenas colinear - painel e os modelos existentes para o meio urbano. ....	53
Figura 4.33 - Comparação entre as medições da combinação de antenas painel - colinear e os modelos existentes para a zona de troncos. ....	54

Figura 4.34 - Comparação entre as medições da combinação de antenas painel - painel e os modelos existentes para a zona de folhagem.....	54
Figura 5.1 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio sem obstáculos. ....	56
Figura 5.2 - Resultado obtido da atenuação no meio sem obstáculos quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal. ....	59
Figura 5.3 - Resultado da atenuação obtido para a combinação monopolo - monopolo. ....	62
Figura 5.4 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio sem obstáculos para os: (a) 30°; (b) 330°.....	63
Figura 5.5 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio urbano.....	65
Figura 5.6- Resultado obtido da atenuação do sinal no meio urbano quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal. ....	69
Figura 5.7 - Resultados obtidos para o desvio do ganho no meio florestal (troncos). ....	71
Figura 5.8 - Resultado obtido da atenuação no meio florestal ao nível dos troncos quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal. ....	75
Figura 5.9 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio florestal (troncos) para os: (a) 30°; (b) 330°.....	77
Figura 5.10 - Resultados obtidos para o desvio do ganho na zona de folhagem.....	80
Figura 5.11 - Resultado obtido da atenuação no meio florestal ao nível da folhagem quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal. ....	83
Figura 5.12 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio florestal (folhagem) para os: (a) 30°; (b) 330°.....	86
Figura 5.13 - Desvio do ganho para os diferentes meios, na direcção de máxima radiação.....	88
Figura 5.14 – Comparação do nível de sinal recebido em função do ganho da antena nos meios: (a) Sem obstáculos; (b) Urbano; (c) Florestal ao nível dos troncos; (d) Florestal ao nível da folhagem. ....	91
Figura 5.15 - Desvio do ganho no meio: (a) sem obstáculos; (b) urbano; (c) florestal ao nível dos troncos; (d) florestal ao nível da folhagem. ....	93
Figura 5.16 -Desvio do ganho para os: (a) 30°; (b) 330° nos diferentes meios.....	95
Figura 5.17- Diferença do desvio do ganho entre os 0° e 30/330°.....	95
Figura 5.18 - Comparação entre a atenuação a 0° e 30/330°.....	96

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Combinações de antenas e polarizações utilizadas na medição [3].	3
Tabela 2.2 - Resultados obtidos no meio florestal [4].	4
Tabela 2.3 - Resultados obtidos na estrada [4].	5
Tabela 2.4 - Parâmetros dos modelos para meios com vegetação.	11
Tabela 4.1 - Dimensões das antenas e a sua respectiva região de campo distante.	33
Tabela 4.2 - Resultados obtidos para o cálculo do ganho da antena monopolo.	35
Tabela 4.3 - Ganho das antenas de maior dimensão.	36
Tabela 4.4 - Ganho das antenas.	36
Tabela 5.1 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio sem obstrução.	57
Tabela 5.2 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no espaço livre.	61
Tabela 5.3 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio sem obstáculos para os 30°.	64
Tabela 5.4 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio urbano.	66
Tabela 5.5 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no meio urbano.	70
Tabela 5.6 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal (troncos).	72
Tabela 5.7 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no meio florestal (troncos).	76
Tabela 5.8 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal ao nível dos troncos para os 30°.	79
Tabela 5.9 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal (folhagem).	81
Tabela 5.10 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas na zona de folhagem.	85
Tabela 5.11 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal ao nível da folhagem para os 30°.	87
Tabela 5.12 - Nível do sinal recebido, nos 150 metros, para as diferentes combinações nos distintos meios.	89



# 1. Introdução

As tecnologias sem fios tiveram início no século XIX quando Heinrich Rudolf Hertz, físico alemão, produziu a primeira onda rádio. Com a descoberta das ondas electromagnéticas, Hertz descobriu o caminho para a rádio, a televisão e o radar. O alcance das ondas rádio foi sendo expandido por o italiano Marchese Guglielmo Marconi, sendo que em 1901 este conseguiu enviar sinais ao longo do Oceano Atlântico [1].

Com o decorrer dos anos, as tecnologias sem fios têm-se desenvolvido cada vez mais e actualmente são utilizadas em aplicações tanto a nível pessoal como empresarial.

Neste capítulo são apresentados os principais motivos que levaram à realização do estudo sobre a propagação do sinal rádio, assim como, os objectivos que devem ser atingidos para a realização dos mesmos. Por último é apresentada a estrutura do trabalho realizado.

## 1.1 Motivação

Nos últimos anos tem-se observado um grande crescimento da utilização de redes sem fios para diversas aplicações em diversos meios. As características que definem os diferentes meios alteram o desempenho das redes sem fios, ou seja, sofrem o efeito do desvanecimento do sinal inerente ao meio de propagação e provocam atenuação, afectando nomeadamente, entre outros parâmetros da comunicação, o seu alcance máximo.

Uma forma de compensar a atenuação do sinal pode ser pelo aumento do ganho da antena, o que à primeira vista oferece duas vantagens: o aumento do nível de sinal recebido ou a redução da potência de emissão, optimizando o consumo energético. No entanto, nem sempre o aumento do ganho corresponde a uma diminuição das perdas de percurso.

Vários estudos encontrados na bibliografia apresentam a propagação do sinal em diferentes meios [2-5]. No entanto, nenhum deles analisa o comportamento da atenuação para diferentes combinações de antenas de uma forma aprofundada, de modo a permitir tirar conclusões quanto ao tipo de antena a ser utilizado em cada meio. Assim sendo, o objectivo principal deste trabalho consiste na realização de um estudo da propagação do sinal em diferentes meios e para diferentes combinações de antenas de diferentes ganhos, de modo a analisar-se o efeito do ganho da antena nas perdas de percurso de uma ligação.

## 1.2 Objectivos

Uma vez que na bibliografia da área não é apresentada uma análise aprofundada sobre o comportamento da atenuação para diferentes combinações de antenas, o objectivo principal deste trabalho consiste na realização de um estudo da propagação do sinal em diferentes meios e para diferentes combinações de antenas de diferentes ganhos, de modo a analisar-se o efeito do ganho da antena nas perdas de percurso de uma ligação.

De modo a atingir o objectivo proposto foi necessário, em primeiro lugar, encontrar diversas antenas de diferentes ganhos e medir os parâmetros para a frequência dos 2,4 GHz. Para a medição do diagrama de radiação das antenas foi essencial construir e desenvolver um

sistema automático de forma a facilitar o processo de medição deste e, assim, obter-se as características de radiação da antena com precisão.

Ainda foi necessário desenvolver uma aplicação que permitisse a aquisição dos dados através do analisador de espectros e que, conseqüentemente, efectuasse o gráfico da atenuação em função da distância.

De modo a analisar o efeito do ganho das antenas nas perdas de percurso de uma ligação, foi necessário efectuar diversas medições em diferentes meios para várias combinações de antena, de modo a, assim, comparar e analisar os resultados obtidos nos diversos meios de forma a escolher-se qual a melhor combinação de antenas a ser utilizada em cada um deles.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos, organizados da seguinte forma:

1. Introdução – Este capítulo apresenta as motivações que levaram à execução do trabalho assim como os objectivos a serem atingidos.
2. Estado de arte – Neste capítulo apresentam-se os estudos efectuados por diversos autores sobre a atenuação do sinal em vários meios, assim como os modelos de propagação existentes e a teoria necessária para a construção das antenas.
3. Sistemas de medição – Este capítulo apresenta os sistemas desenvolvidos para a medição do diagrama de radiação das antenas e da atenuação em função da distância.
4. Medições em diferentes meios de propagação – Neste capítulo apresentam-se as medições dos principais parâmetros das antenas utilizadas no trabalho (diagrama de radiação e ganho), descreve o método utilizado para a medição da atenuação do sinal nos diferentes meios e, por último, apresenta os meios onde foram realizadas as medições e os resultados obtidos em cada um deles.
5. Análise de resultados – Neste capítulo apresenta-se o método de análise utilizado, assim como toda a análise comparativa efectuada para os diversos meios.
6. Conclusão e trabalhos futuros – Este capítulo mostra as conclusões finais da realização deste trabalho e ainda são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

## 2. Estado de arte

Neste capítulo apresenta-se alguns estudos encontrados na bibliografia sobre a propagação do sinal, que têm em consideração o ganho das antenas. Posteriormente são apresentados os vários modelos de propagação do sinal para diferentes meios de propagação. Por último apresentam-se os fundamentos teóricos sobre as antenas que foram utilizadas para o estudo da propagação do sinal.

### 2.1 Estudos sobre propagação do sinal

Os estudos efectuados em [2] mostram o efeito da directividade e da polarização da antena em meios interiores com características de propagação multi-percurso na frequência dos 60 GHz. São utilizadas quatro tipos de antenas com diferentes larguras de feixe, sendo elas uma antena omnidireccional (monopolo) e três antenas cornetas com largura de feixe de 60°, 10° e 5°. Destes estudos chega-se à conclusão que as antenas directivas mostram ser uma forma eficiente de reduzir os efeitos de propagação multi-percurso, diminuindo, assim, o atraso de propagação. Referem, ainda, que estes efeitos podem ser mais reduzidos com a utilização de antenas com polarização circular.

Em [3] analisaram-se os efeitos do ganho e da polarização das antenas no atraso de propagação multi-percurso e na atenuação na frequência dos 918 MHz numa ligação rádio em um campus universitário. Para tal, foram utilizadas seis antenas, sendo elas: duas antenas Yagi com ganhos de 9 dBi, duas antenas Yagi com ganho de 20 dBi e duas antenas helicoidais de 12 dBi de ganho. Para as medições, foram realizadas sete combinações de antenas com diferentes polarizações, tal como apresentado na Tabela 2.1, efectuando-se medições em que as antenas apontavam uma para a outra e quando estavam desalinhadas de um ângulo de 45° e -45° em relação a linha que as une.

Tabela 2.1 - Combinações de antenas e polarizações utilizadas na medição [3].

<b>Antena transmissora / Polarização</b>	<b>Antena receptora / Polarização</b>
Helicoidal / Circular	Helicoidal / Circular
Yagi 9 dB / Vertical	Yagi 9 dB / Vertical
Yagi 9 dB / Horizontal	Yagi 9 dB / Vertical
Yagi 9 dB / Horizontal	Yagi 9 dB / Horizontal
Yagi 20 dB / Vertical	Yagi 20 dB / Vertical
Yagi 20 dB / Horizontal	Yagi 20 dB / Vertical
Yagi 20 dB / Horizontal	Yagi 20 dB / Horizontal

Com a realização deste estudo, concluíram que a atenuação e o atraso de multi-percurso são elevados quando são utilizadas antenas com polarizações diferentes. Verificaram, ainda, que as antenas directivas apresentam maior atraso de propagação quando estas não estão apontadas uma para a outra e demonstram que a utilização de antenas com polarizações circular apresenta menor atraso de propagação quando as antenas não estão em linha de vista, comparativamente as outras antenas com polarização linear quando não se encontram em linha de vista.

Em [4] são analisadas as implicações no alcance e instabilidade de uma ligação numa arquitectura de rede de sensores. Para tal utilizam o rádio *Tmote sky* a operar na banda dos 2,4 GHz para analisar o alcance deste com a utilização de diferentes antenas em diferentes meios, sendo que as antenas utilizadas foram: omnidireccional com ganho de 3 dBi, omnidireccional com ganho de 8 dBi, antena sector com largura de feixe de 90° com 17 dBi de ganho e uma antena parabólica com 8° de largura de feixe e 24 dBi de ganho. As medições foram efectuadas num meio florestal com folhagem densa e numa estrada recta estreita com árvores ao longo da mesma, tal como pode ser observado na Figura 2.1 (a) e (b), respectivamente.

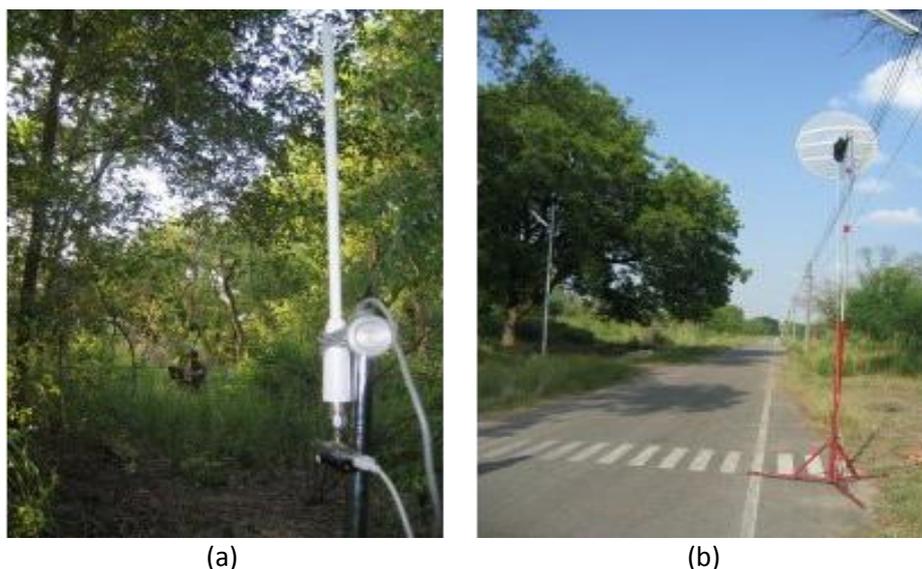


Figura 2.1 - Local das medições: (a) Meio florestal; (b) Estrada [4].

O procedimento efectuado para verificar o alcance da ligação consistiu na medição do RSSI (*Received signal strength indication*) ao longo da distância, até que este não fosse inferior aos -85 dBm. Relativamente ao meio florestal, as medições foram efectuadas utilizando-se um conjunto de quatro antenas, no qual a antena receptora foi a omnidireccional de 3 dBi e a antena emissora foi sendo alterada. Na Tabela 2.2 pode-se observar os conjuntos em questão, assim como os resultados obtidos.

Tabela 2.2 - Resultados obtidos no meio florestal [4].

Antena emissora	Antena Receptora	RSSI (dBm)	Distância (m)
Omnidireccional 3 dBi	Omnidireccional 3 dBi	-78,79	35
Omnidireccional 8 dBi		-79,42	40
Sector Antena 17 dBi		-80,77	60
Parabólica 24 dBi		-85,05	90

As medições na estrada foram efectuadas seguindo-se o mesmo procedimento, mas utilizando-se um conjunto de sete antenas na qual foram utilizadas as duas antenas omnidireccionais na recepção. Na Tabela 2.3 pode-se observar os conjuntos de antenas utilizadas, assim como os resultados obtidos.

Tabela 2.3 - Resultados obtidos na estrada [4].

Antena emissora	Antena Receptora	RSSI (dBm)	Distância (m)
Omnidireccional 3 dBi	Omnidireccional 3 dBi	-83,74	75
Omnidireccional 8 dBi		-80,64	75
Sector Antena 17 dBi		-81,92	210
Parabólica 24 dBi		-85,67	500
Omnidireccional 8 dBi	Omnidireccional 8 dBi	-80,92	90
Sector Antena 17 dBi		-82,16	500
Parabólica 24 dBi		-85,76	800

Através dos resultados obtidos, apresentados nas Tabela 2.2 e Tabela 2.3, concluíram que existe de facto um aumento no alcance da ligação com a utilização de antenas mais directivas, sendo este aumento muito maior nas medições efectuadas na estrada, demonstrando assim que as antenas directivas sofrem maior atenuação no meio florestal com folhagem densa.

Vodel et al. [5] realizaram uma série de medições onde utilizaram antenas de baixo e alto ganho de modo a analisar o efeito da atenuação do sinal. As antenas utilizadas foram: uma antena de dipolos cruzados com polarização circular com um ganho de 4 dB (omnidireccional) e uma antena helicoidal com polarização circular de 14 dB (directiva). Como resultado deste estudo, a Figura 2.2 apresenta a atenuação do sinal do sistema com receptor de ganho elevado em comparação com a atenuação do receptor com ganho mais baixo (linha a cor vermelha), enquanto a linha azul, esta representa o que seria esperado, ou seja, que as antenas independentemente do ganho, apresentassem a mesma atenuação. Os pontos foram obtidos através da relação linear

$$A(HG) = 1,133 \times A(LG) + 0,51, \quad (2.1)$$

onde  $A(HG)$  e  $A(LG)$  representam a atenuação da antena de alto e baixo ganho (em dB), respectivamente.

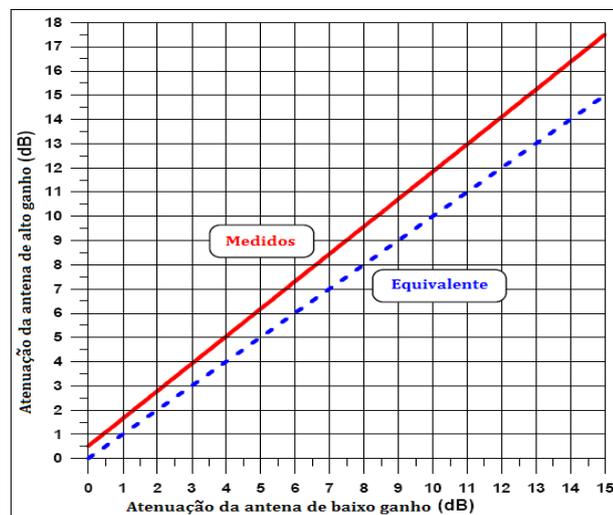


Figura 2.2 - Relação entre a atenuação da antena de alto e baixo ganho [5].

Analisando-se a figura 2.2 os autores concluem que a atenuação da antena de alto ganho é ligeiramente superior à atenuação da antena de baixo ganho. Por exemplo, quando a atenuação da antena de baixo ganho é de 3 dB, a atenuação da antena de alto ganho é de 4 dB, o que representa um aumento de 33% da atenuação. Este aumento na atenuação da antena de alto ganho ocorre porque é recebida uma potência média mais reduzida através do multi-percurso proveniente dos obstáculos circundantes e devido ao lóbulo principal da antena ser mais estreito. Ao contrário, a antena omnidireccional de baixo ganho recebe uma maior contribuição devido ao multi-percurso, resultando numa melhoria na potência média recebida. É importante notar que devido ao facto da antena directiva ter um ganho de 10 dB a mais do que o ganho da antena omnidireccional, a potência recebida por esta continua a ser superior à recebida pela antena omnidireccional. Mesmo para um nível de atenuação de 15 dB (antena de baixo ganho), a potência recebida pela antena de alto ganho é superior 7,5 dB [5].

Em [6] foi realizado um estudo da relação entre o ganho da antena e a propagação num meio urbano. Este consistiu na medição da potência recebida em função da distância no meio urbano, com a utilização de seis tipos de antenas (monopolo com ganho de 1,3 dBi, antena colinear com ganho de 8 dBi, antena grelha com ganho de 11 dBi, antena painel com ganho de 14,5 dBi, antena Yagi com ganho de 15 dBi e antena parabólica com ganho de 24 dBi). Cada medição considera uma combinação de antenas, analisando-se, assim, um total de 36 combinações. A Figura 2.3 mostra o local e o percurso das medições, onde a linha de cor amarela representa o percurso em que as antenas estão em linha de vista e a linha de cor azul representa o percurso em que as antenas não se encontram em linha de vista.



Figura 2.3 Local e percurso das medições em meio urbano [6].

Uma comparação entre o ganho obtido e o ganho esperado no espaço livre é apresentada na Figura 2.4. Deste trabalho concluiu-se que, em geral, as antenas de menor ganho apresentam atenuações mais reduzidas face às antenas de maior ganho e que antena emissora é importante para o resultado da atenuação para este tipo de meio de propagação, dependendo da posição em que se encontre a antena receptora, sendo que se esta encontrasse em linha de vista, a melhor antena a utilizar na emissão será uma antena directiva, caso contrário com antenas omnidireccionais se obtêm melhores resultados.

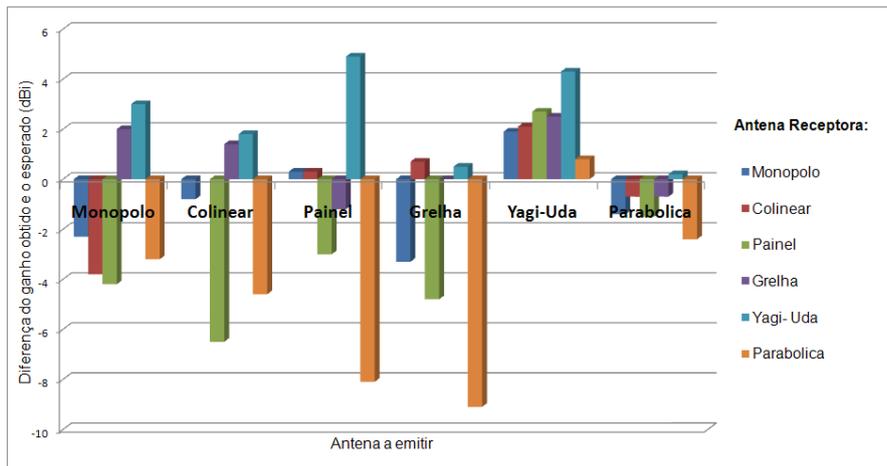


Figura 2.4 - Resultados obtidos no caso em que as antenas estão em linha de vista [6].

A Figura 2.5 apresenta as medições para o caso em que as antenas não se encontravam em linha de vista. Através dos resultados obtidos verifica-se que as antenas de maior ganho apresentam uma maior atenuação que as antenas de ganho inferior, uma vez que conseguem captar o sinal vindo de qualquer direcção. De igual forma, observa-se que quando são utilizadas antenas directivas na emissão, a atenuação existente para as diferentes antenas é superior.

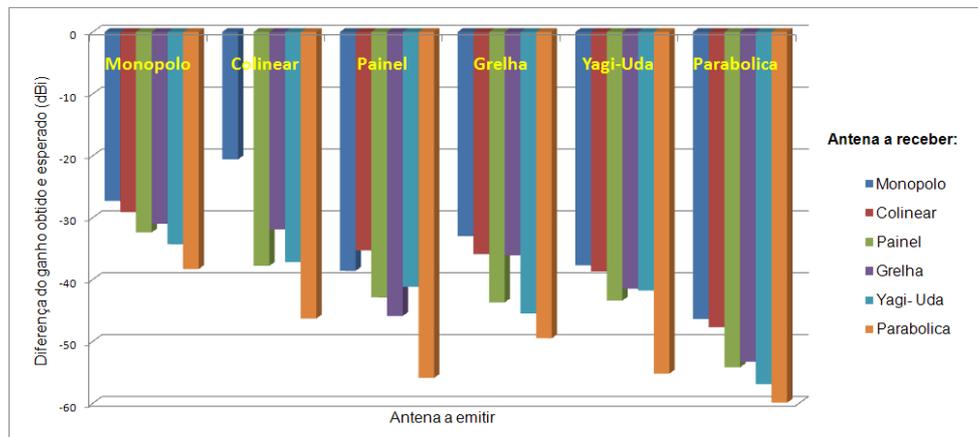


Figura 2.5 - Resultados obtidos no caso em que as antenas não se encontram em linha de vista [6].

## 2.2 Modelos de propagação

As perdas de propagação ao longo de um terreno, folhagem ou edifícios podem ser atribuídos a vários fenómenos físicos como por exemplo, a difracção, reflexão, ou absorção [7].

Os modelos de propagação que estudam o efeito destes fenómenos dividem-se em empíricos, semi-empíricos e teóricos [8]. Os modelos empíricos baseiam-se em medições práticas, fazendo com que tenham um melhor resultado, dado que têm em consideração todos os fenómenos que atenuam o sinal no meio em questão. Os modelos teóricos são mais complexos, baseiam-se em dados topográficos e não têm em consideração os diversos factores que atenuam o sinal. Por último, os modelos semi-empíricos são aqueles que combinam a análise teórica dos fenómenos físicos com ajustes de dados empíricos [8; 9].

Dependendo do meio de propagação, existem diversos modelos que permitem prever o comportamento do sinal para um determinado ambiente. Nesta secção apresentam-se alguns dos modelos mais importantes, como por exemplo o modelo do espaço livre e log-normal, assim como alguns modelos específicos para os meios florestais e urbanos.

### 2.2.1 Modelo do espaço livre

A atenuação no espaço livre, também referida como as perdas de transmissão, deve-se à dispersão de energia que existe quando as ondas são emitidas. Esta atenuação é dada por

$$PL_{FS} = 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right) = 32,4 + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10}(d) \quad (2.2)$$

onde  $PL_{FS}$  representa a atenuação do espaço livre (dB),  $\lambda$  é o comprimento de onda em metros,  $d$  é a distancia entre o emissor e receptor em metros e  $f$  é a frequência em GHz [9]. Este modelo é válido para o campo distante, quando o primeiro elipsóide de Fresnel [10] encontra-se livre de obstáculos. De modo a incluir o efeito de reflexão no solo, a atenuação é dada por

$$PL_{GR} = PL_{FS} - 20 \log_{10} \left[ 2 \left| \sin \left( \frac{2\pi h_T h_R}{d\lambda} \right) \right| \right] \quad (2.3)$$

onde  $h_T$  é a altura da antena emissora e  $h_R$  é a altura da antena receptora. Para grandes distâncias, quando  $d \gg (2\pi h_T h_R)/\lambda$ , a equação (2.4) passa apenas a depender das alturas das antenas, da distância entre elas e da perda do espaço livre [11].

### 2.2.2 Modelo log-normal

O modelo de atenuação log-normal é um dos modelos mais utilizados [11], sendo definido por

$$PL_{LN} = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (2.4)$$

onde  $PL(d_0)$  são as perdas de percurso numa distância de referência, normalmente a 1 metro,  $n$  é o factor de perda de percurso,  $d$  é a distância entre o emissor e receptor e  $X_\sigma$  é uma variável aleatória gaussiana de média nula e variância  $\sigma$ .

### 2.2.3 Modelos para meios urbanos

A propagação RF ao longo de ambientes urbanos é dependente da frequência, polarização, geometria dos edifícios, estrutura do material, orientação e altura das antenas. Nesta secção analisam-se alguns dos modelos existentes para meios urbanos de modo a determinar a média das perdas de percurso em função da distância.

#### 2.2.3.1 Modelo Okumura

O modelo Okumura é baseado em medições efectuadas em Tóquio em 1960, entre os 200 e 1920 MHz [12]. O modelo é empírico, baseado unicamente em dados experimentais. As previsões actuais das perdas de percurso são baseadas em gráficos dos resultados de Okumura, com vários factores de correcção aplicados a alguns parâmetros.

Para o modelo de Okumura, as áreas de previsão são divididas nas categorias de terreno: área aberta, área suburbana e área urbana. O modelo de área aberta representa localizações com espaços abertos, sem árvores altas ou edifícios no percurso, e terrenos sem vegetação num percurso de aproximadamente 300-400 m. O modelo para áreas suburbanas representa uma aldeia ou uma estrada dispersa com árvores, casas e alguns obstáculos próximos, mas não muito congestionado. O modelo de área urbana representa uma cidade com edifícios ou uma vila com edifícios grandes e casas com dois ou mais andares, ou uma aldeia com casas próximas e árvores altas. O modelo de Okumura utiliza a área urbana como base e depois aplica os factores de correcção para as outras classificações. Uma série de tipos de terreno também são definidos. O terreno quase liso é utilizado como referência, sendo depois aplicados factores de correcção para os outros tipos de terreno. A expressão de Okumura para as perdas de percurso média é

$$L_{50}(dB) = L_{FSL} + A_{mu} - H_{tu} - H_{ru} \quad (2.5)$$

onde  $L_{FSL}$  corresponde às perdas no espaço livre para uma determinada distância e frequência,  $A_{mu}$  é a atenuação média em relação às perdas do espaço livre numa área urbana com terreno quase plano, altura efectiva da estação base  $h_{te}=200$  m e altura da antena móvel  $h_{re}=3$  m,  $H_{tu}$  é o factor de ganho da altura da estação base e  $H_{ru}$  ao factor de ganho da altura da antena móvel.

### 2.2.3.2 Modelo Hata

O modelo Hata (também chamado de modelo Okumura-Hata) é uma formulação empírica que integra a informação gráfica do modelo de Okumura [12]. Existem três diferentes fórmulas para o modelo Hata: para áreas urbanas, suburbanas e áreas abertas.

O modelo de Hata para áreas urbanas é dado por

$$L_{50} (dB) = 69,55 + 26,16 \log(f_c) - 13,82 \log(h_t) - a(h_r) + [44,9 - 6,55 \log(h_t)] \log(d) \quad (2.6)$$

com  $150 < f_c < 1500$  MHz,  $30 < h_t < 200$  m,  $1 < d < 20$  Km e  $a(h_r)$  é o factor de correcção da altura da antena da estação móvel. Para uma pequena ou média cidade este pode ser calculado através de

$$a(h_r) = [1,1 \log(f_c) - 0,7] h_r - [1,56 \log(f_c) - 0,8], \quad 1 \leq h_r \leq 10 \text{ m} \quad (2.7)$$

e para uma grande cidade é dado por

$$a(h_r) = \begin{cases} 8,29[\log(1,54h_r)]^2 - 1,1 & f_c \leq 300 \text{ MHz} \\ 3,2[\log(11,75h_r)]^2 - 4,97 & f_c \geq 300 \text{ MHz} \end{cases} \quad (2.8)$$

O modelo de Hata para áreas suburbanas é dado por

$$L_{50} (dB) = L_{50} (\text{urban}) - 4,78[\log(f_c)]^2 + 18,33 \log(f_c) - 40,94 \quad (2.9)$$

e para áreas abertas é dado através de

$$L_{50} (dB) = L_{50} (\text{urban}) - 2 \left[ \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad (2.10)$$

A formulação do modelo Hata torna o modelo de Okumura mais fácil de usar e usualmente é a forma como o modelo Okumura é aplicado [12].

### 2.2.3.3 Modelo COST 231

O modelo COST 231, também chamado de extensão PCS (*Personal Communications Service*) do modelo de Hata, é uma versão melhorada do modelo Hata que inclui a banda de frequência dos 1800-1900 MHz [12]. Enquanto o modelo de Okumura entende-se até os 1920 MHz, o modelo de Hata é apenas válido desde os 150 até os 1500 MHz. O modelo COST 231 é válido entre os 1500 e 2000 MHz. A perda de percurso média do modelo de COST 231 é dada por

$$L_{50} (dB) = 46,3 + 33,9 \log(f_c) - 13,82 \log(h_t) - a(h_r) + [44,9 - 6,55 \log(h_t)] \log(d) + C \quad (2.11)$$

onde  $f_c$  é a frequência em MHz,  $h_t$  é a altura da estação base em metros,  $h_r$  é a altura da estação móvel em metros,  $a(h_r)$  é o factor de correcção da altura da antena da estação móvel definida anteriormente,  $d$  é a distância da ligação em Km, e  $C$  é igual a 0 dB para cidades médias ou centros suburbanos com densidade de árvores média e 3 dB para centros metropolitanos. Este modelo é restrito para aplicações onde a antena da estação base está por cima do topo dos telhados adjacentes [12].

### 2.2.4 Modelos para meios com vegetação

A maioria dos sistemas de comunicação terrestres requer que o sinal passe ao longo ou através de folhagem num determinado ponto. Os modelos existentes fornecem uma estimativa da atenuação adicional devido à folhagem que se encontra no percurso em linha de vista. Existe uma grande variedade de modelos diferentes, dada a grande variedade de tipos vegetação. Por esta razão, é de grande importância verificar a aplicação de um determinado modelo a uma dada região, baseada no seu histórico de uso ou comparação das previsões do modelo com resultados práticos [12].

Um dos primeiros modelos a surgir para prever as perdas de sinal devido à vegetação foi o modelo de Weissberger [12]. Este expressa o decaimento do sinal através de

$$L(dB) = \begin{cases} 0,45 f^{0,284} d_f, & d_f < 14 \text{ m} \\ 1,33 f^{0,284} d_f^{0,588} & 14 < d_f < 400 \text{ m} \end{cases} \quad (2.12)$$

onde  $d_f$  é a profundidade da vegetação ao longo do percurso em linha de vista, em metros, e  $f$  é a frequência em GHz.

A atenuação prevista pelo modelo de Weissberger é somada às perdas do espaço livre. Este modelo abrange o intervalo de frequência desde os 230 MHz até aos 95 GHz.

Com base no modelo em questão, surgiram outros modelos de decaimento, tais como o modelo ITU-R, COST 235 e FITU-R [13]. Estes modelos apresentam a mesma forma que o modelo de Weissberger, ou seja,

$$L(dB) = A \times f^B \times d^C, \quad (2.13)$$

onde A, B e C são os parâmetros ajustados para cada um dos modelos referidos,  $f$  é a frequência em MHz e  $d$  é a distância em metros. Os diferentes ajustes foram propostos tendo em conta a frequência, tipo de folhagem e mecanismos de propagação, obtidos através de uma vasta gama de medições [13]. Na Tabela 2.4 encontram-se os valores de cada um dos parâmetros para os diferentes modelos de decaimento do sinal.

Tabela 2.4 - Parâmetros dos modelos para meios com vegetação.

Modelo	Parâmetros			Observações
	A	B	C	
ITU-R [12]	0,2	0,3	0,6	
COST-235 [14]	15,6	-0,009	0,26	Com Folhas
	26,6	-0,2	0,5	Sem Folhas
FITU-R [13]	0,39	0,39	0,25	Com folhas
	0,37	0,18	0,59	Sem Folhas

Em [11] desenvolveram um modelo empírico da propagação do sinal para ambientes florestais caracterizado por troncos, que toma em consideração os parâmetros relacionados com o ambiente florestal. Para tal, efectuaram um conjunto de extensivas medições, em 30 locais diferentes, para duas frequências da banda ISM, 900 MHz e 2,4GHz, utilizando dipolos de meio comprimento de onda para os 900 MHz e monopolos de 2,2 dBi para os 2,4 GHz. Com o desenvolvimento deste trabalho, chegam à conclusão que a atenuação neste tipo de ambientes depende da densidade de vegetação ( $VD$ ), definida pelo produto da densidade de árvores por metro quadrado e o diâmetro médio dos troncos. O modelo desenvolvido baseia-se nos parâmetros do modelo log-normal, dado por

$$n = 0,043(d_m - 40)^{0,47}VD + (0,54f^{0,42} - 0,45) \times (d_m - 40)^{-0,15} + 2 \quad (2.14)$$

$$PL(d_0) = (-0,026d_m + 0,49f^{0,47})VD - 20 \log_{10} \left( \frac{0,3}{4\pi f} \right) \quad (2.15)$$

onde  $d_m$  é a distância do último ponto medido,  $VD$  é o parâmetro da densidade de vegetação e  $f$  é a frequência em GHz. Para distâncias abaixo dos 60 metros,  $d_m$  tem de ser considerado igual a 60, com a excepção de distâncias muito próximas do transmissor, na qual deve ser aplicado o modelo do espaço livre. Este modelo é válido para frequências entre os 300 MHz e 30 GHz e para distâncias até os 400 metros.

## 2.3 Antenas

De acordo com as definições do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) para as antenas – *Standard Definitions of Terms for Antennas* (definições padrão dos termos das antenas), uma antena é definida como um meio para transmitir ou receber ondas rádio [15]. Para que a antena radie eficazmente, o seu tamanho mínimo deve ser comparável ao comprimento de onda [10], dado por

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.16)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e  $f$  é a frequência de operação.

Um dos parâmetros mais importantes das antenas é o diagrama de radiação, sendo definido pelo IEEE como “Uma função matemática ou uma representação gráfica das propriedades de radiação das antenas em função das coordenadas espaciais” [15].

Através do diagrama de radiação é possível conhecer-se as propriedades principais de radiação de uma antena, tais como, fluxo de densidade de potência, intensidade de radiação, directividade, ganho, entre outros. A directividade de uma antena é definida como a relação entre a intensidade de radiação em uma determinada direcção e a intensidade de radiação média em todas as direcções [16].

O ganho de uma antena está relacionado com a directividade, sendo uma medida da eficiência da antena e das potencialidades direccionais [10]. Este é definido como a razão entre a intensidade de radiação, numa dada direcção, e a intensidade de radiação que se deveria obter se a potência recebida pela antena fosse radiada de forma isotrópica, ou seja, de igual forma em todas as direcções.

Para a medição destes parâmetros é necessário que as antenas se encontrem na região de campo distante e o mais afastado do solo, de modo a evitar reflexões indesejadas [16]. A região de campo distante é calculada através de

$$r > \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (2.17)$$

onde  $r$  é a região de campo distante em metros,  $D$  é a maior dimensão da antena em metros e  $\lambda$  é o comprimento de onda em metros [15].

### 2.3.1 Antena Monopolo

Se uma parte da antena dipolo [15] é removida e substituída por um plano de massa infinito, a outra metade do dipolo “reflecte-se” a si própria no plano de massa, tal como apresentado na Figura 2.6.

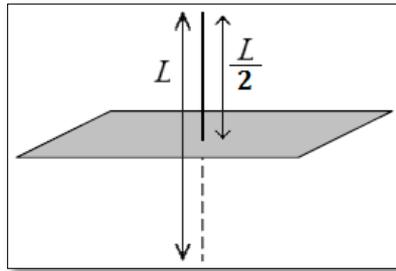


Figura 2.6 - Esquema de uma antena monopolo [17].

Para todos os efeitos práticos, o monopolo comporta-se como metade de um dipolo. Tem o mesmo diagrama de radiação em forma de anel, a resistência de radiação é metade do que a do dipolo, de  $37\Omega$ , e as técnicas de alimentação são semelhantes. No entanto, uma diferença muito importante é que o ponto de alimentação da antena não é balanceado. Por causa disto, e porque a maioria dos circuitos RF (rádio frequência) são do tipo não balanceado, este tipo de antena é muito popular.

O plano de massa deve ter uma área de tamanho razoável comparativamente à dimensão da antena. Tal como para o dipolo, a ressonância é obtida tipicamente em um comprimento físico ligeiramente inferior ao comprimento eléctrico [17].

### 2.3.2 Antena colinear

A ideia original do desenho das antenas colineares foi desenvolvida em 1925 por Franklin. Ele enfrentou o problema da ressonância das antenas de fios longos. A distribuição de corrente, da onda estacionária, ao longo dos fios produz  $n$  lóbulos com o mesmo nível de radiação, dependendo do número  $n$  de secções de meio comprimento de onda. Utilizando elementos não radiantes, de um quarto do comprimento de onda, Franklin converteu a distribuição de corrente original, que se encontrava desfasada, em uma distribuição de corrente em fase, nos segmentos colineares (linhas vermelhas da Figura 2.7), produzindo apenas um feixe com maior radiação. A principal vantagem para esta disposição é representada pelo alto ganho da antena com as propriedades de agrupamentos de antenas em série, ao passo que a simplicidade do ponto de alimentação é mantida. Todas as antenas com base neste princípio são conhecidas como agrupamentos colineares (CoA – *Collinear Arrays*) [18].

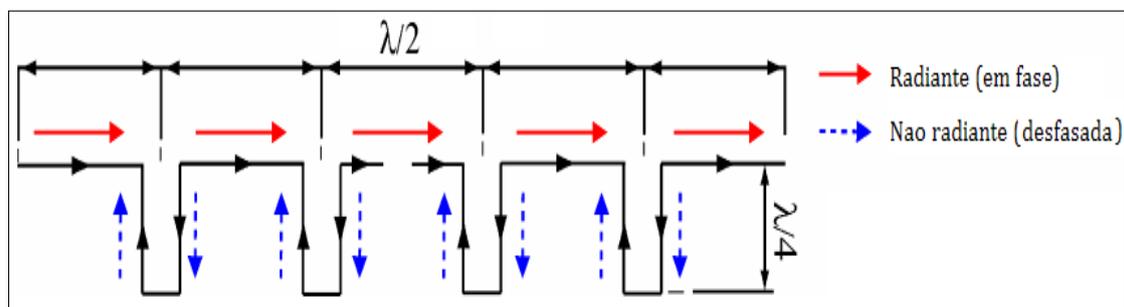


Figura 2.7 - Esquema da distribuição de corrente no agrupamento de dipolos colineares de Franklin [18].

A primeira antena colinear coaxial (CoCo – *Coaxial Collinear*) foi proposta em 1972 por Balsley & Ecklund (figura 2.8c). Esta foi construída com uma série de cabos coaxiais, de meio comprimento de onda, conectados entre si, com uma troca eléctrica dos condutores internos e externos do cabo em cada segmento [18]. Do ponto de vista físico, o resultado da antena toma forma de um único troço de cabo coaxial flexível. No entanto, do ponto de vista eléctrico, esta é composta por um número de dipolos colineares de meio comprimento de onda alimentados em fase. Embora o princípio de funcionamento da antena colinear seja baseado na ideia de Franklin, o conceito de radiação coaxial é muito mais complexa. Devido à lei da Ampere, a corrente no condutor interno e na superfície interna do condutor exterior devem ser iguais e opostas. Além da abordagem da antena de Franklin, Figura 2.8 (a), existem outras abordagens das antenas colineares, tal como apresenta-se na Figura 2.8 (b) [18; 19].

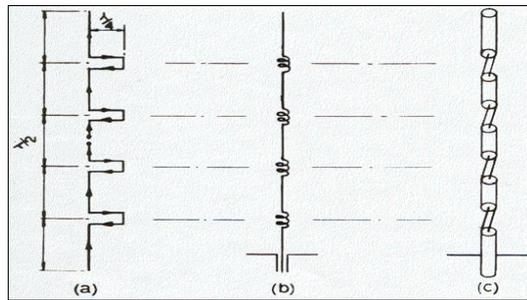


Figura 2.8 - Abordagem comum para a projecção de uma antena colinear [19].

A primeira abordagem (Figura 2.8(a)) apresenta a tradicional antena de Franklin, que, tal como já foi referido, utiliza segmentos em U (*Stubs*) para fornecer uma mudança de fase de modo a manter a corrente em fase ao longo das secções verticais da antena. Na segunda abordagem, Figura 2.8 (b), a inversão de fase é conseguida através das espiras da antena, de modo a criar uma corrente em fase ao longo das secções verticais. Por último, na Figura 2.8 (c) tem-se a antena cujo funcionamento foi o apresentado anteriormente, com a diferença que esta é alimentada numa das extremidades da antena (monopolo colinear coaxial).

### 2.3.3 Antena painel

A antena painel é um tipo de antena que utiliza um agrupamento planar de dipolos colocados sobre um plano reflector. O plano reflector tem como função modificar o diagrama de radiação do agrupamento. Assim, a radiação na direcção oposta à de interesse pode ser eliminada com uma lâmina de plano reflector de dimensões apropriadas. Na maior parte dos casos, um feixe com características predeterminadas pode ser produzido através um reflector de superfície, devidamente moldado e direccionado [20].

Para perceber-se de que forma o plano reflector altera o diagrama de radiação de uma antena, analisou-se o exemplo apresentado em [20], para uma antena dipolo de meio comprimento de onda colocado à distância de  $S = \lambda/4$ ,  $\lambda/8$  e  $\lambda/16$  do plano reflector, tal como se pode observar na Figura 2.9.

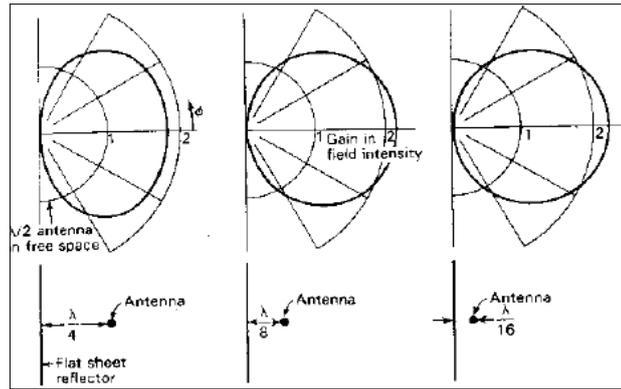


Figura 2.9 - Diagrama de radiação de uma antena dipolo de meio comprimento de onda, a diferentes distâncias do plano reflector [20].

Através da Figura 2.9 pode-se observar que para a menor distância ao painel obtém-se maior directividade, ou seja, maior ganho.

### 2.3.4 Antena grelha

A configuração básica de uma antena grelha é apresentada na Figura 2.10, onde as dimensões de cada malha da grelha são  $l \approx \lambda$  e  $s \approx \lambda/2$ . Assumindo-se ondas estacionárias, a distribuição de corrente instantânea é apresentada pelas setas na figura em questão, no qual é colocada uma seta em cada ponto de corrente máxima. As correntes dos lados mais curtos (comprimento de  $\lambda/2$ , linhas horizontais da figura) devem estar em fase, enquanto que nos lados laterais das malhas (com comprimento de  $\lambda$ ), existem correntes máximas em ambas as direcções, de modo a que a radiação de borda dos lados laterais seja nula. Assim, o agrupamento produz uma polarização linear paralela ao agrupamento com um ganho proporcional ao número de lados  $\lambda/2$  (ou elementos) [20].

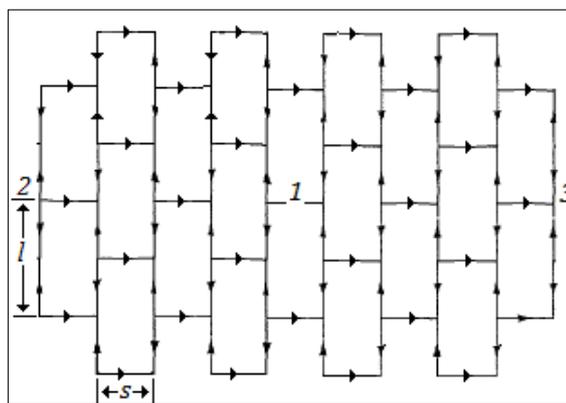


Figura 2.10 - Esquema básico de uma antena grelha [20].

Colocando-se a grelha a uma distância de aproximadamente  $\lambda/4$  de um plano condutor e alimentando-a com uma linha de transmissão balanceada no ponto central, obtém-se uma radiação de dois lóbulos iguais, um para a esquerda e outro para a direita. O ganho médio de uma antena de grelha, tal como a apresentada na Figura 2.10, é de aproximadamente 17dBi [20].

### 2.3.5 Antena Yagi-Uda

A antena *Yagi-Uda* é conhecida como o tipo mais comum de antenas de televisão terrestre encontradas nos telhados das casas. Estas antenas, podem trabalhar nas bandas de frequências HF (*High Frequency*), VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*), ou seja, nas bandas de frequências que vão desde os 3 MHz até os 3 GHz [15]. Esta antena utiliza elementos dipolos lineares, tal como se apresenta na Figura 2.11. Normalmente, o comprimento dos elementos de uma antena Yagi-Uda é de aproximadamente meio comprimento de onda e os espaçamentos entre eles é de aproximadamente 1/3 do comprimento de onda [21].

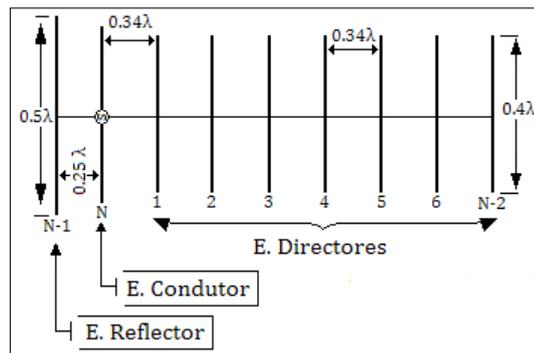


Figura 2.11 - Esquema do posicionamento e dimensões dos elementos de uma antena Yagi-Uda [22].

Tal como se pode observar na Figura 2.11, as antenas *Yagi-Uda* possuem três tipos de elementos colocados sobre uma vara de ligação longitudinal, designados como, condutor, refletor e directores. Apenas o elemento condutor é conectado à alimentação. Este elemento é, muitas vezes, um dipolo dobrado, o que apresenta no ponto de alimentação uma impedância de cerca de  $300\Omega$ . A adaptação permite a ligação a uma linha de transmissão de impedância característica mais baixa. Os elementos directores servem para tornar a antena directiva, sendo alimentados pelo campo electromagnético induzido pelo elemento condutor. Na direcção da vara de ligação existe uma interferência construtiva dos diferentes campos, enquanto que na direcção perpendicular a interferência é destrutiva [15; 21]. A função do refletor é produzir uma onda que anule a onda que viaja nesse sentido através da interferência destrutiva, o que leva a um diagrama de radiação (Figura 2.12) com pouca potência sendo transmitida para atrás [15; 22].

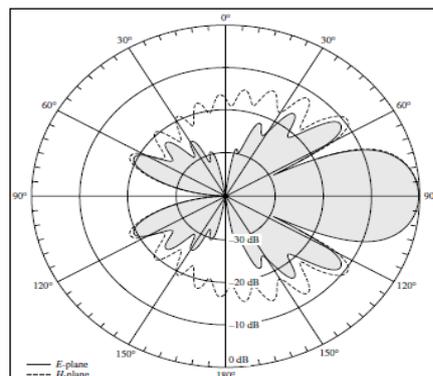


Figura 2.12 - Diagrama de radiação típico de uma antena Yagi-Uda [16].

### 2.3.6 Antena parabólica

Através da utilização de reflectores pode-se otimizar as características de radiação das antenas, como por exemplo, a área efectiva, a relação do lóbulo principal e lóbulos secundário, polarização, etc. [15].

Foi demonstrado que, se um feixe de raios paralelos incidir num reflector cuja forma geométrica é uma parábola, a radiação irá convergir num ponto denominado de ponto focal, ou simplesmente foco, normalmente conhecido como o ponto de alimentação da antena parabólica. Da mesma forma, se uma fonte pontual (emissor) é colocada no ponto focal, os raios reflectidos por um reflector parabólico vão emergir como um feixe paralelo. Esta é uma forma do princípio da reciprocidade e é demonstrado geometricamente na Figura 2.13 [15; 23].

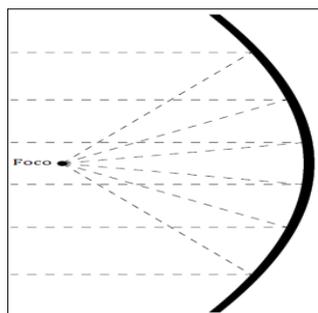


Figura 2.13 - Esquema de funcionamento de um reflector parabólico [24].

Desde que o emissor (receptor) seja colocado no ponto focal da parábola, a configuração é normalmente conhecida como sendo alimentação frontal (Figura 2.14 (a)).

Outra combinação é a apresentada na Figura 2.14 (b), sendo conhecida como alimentação Cassegrain [15]. Através de óptica geométrica, Cassegrain demonstrou que os raios paralelos incidentes podem ser focados para um ponto através da utilização de dois reflectores. Para a realização deste, o reflector central deve ser uma parábola e o reflector secundário uma hipérbole. Cassegrain utilizou este esquema para construir telescópios ópticos e depois o seu desenho foi copiado para a utilização em sistemas de rádio frequência. Para esta configuração, os raios provenientes da alimentação iluminam o segundo reflector e são reflectidos por este na direcção do primeiro reflector, tal como se fossem originados no ponto focal da parábola (reflector primário). Depois, os raios são reflectidos pelo reflector primário e são convertidos em raios paralelos.

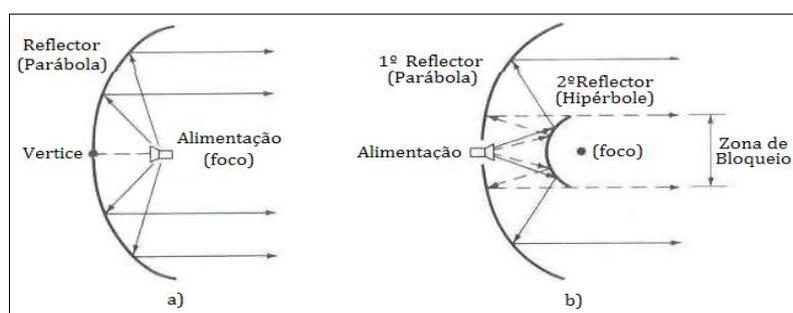


Figura 2.14 - Tipos de alimentação das antenas parabólicas: a) Frontal; b) Cassegrain [15].

### 2.3.7 Antena helicoidal

A antena helicoidal consiste num fio condutor enrolado em forma de rosca formando uma hélice, como se mostra na Figura 2.15. A hélice está normalmente ligada ao condutor interior da linha de transmissão coaxial no ponto de alimentação. Na maioria dos casos, a hélice é usada com um plano de massa que pode assumir diferentes formas. Este pode ser plano, tal como apresentado na Figura 2.15, ou côncavo. Tipicamente o diâmetro do plano de massa deve ser de pelo menos  $3\lambda/4$  [16].

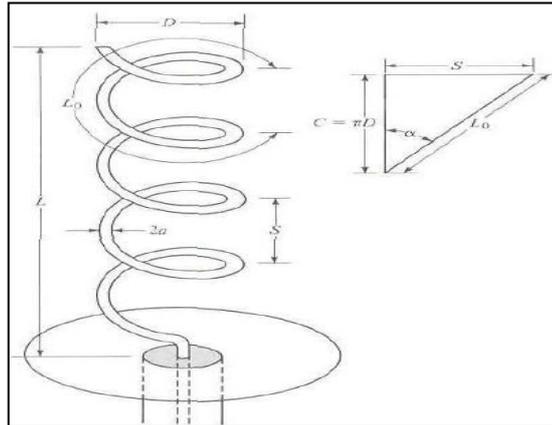


Figura 2.15- Antena helicoidal com plano de massa [16].

A configuração geométrica de uma hélice é geralmente composta de  $N$  espiras, de diâmetro  $D$  e de espaçamento  $S$  entre cada volta. O comprimento total da antena é dado por

$$L = NS, \quad (2.18)$$

O comprimento total do fio é obtido através de

$$L_n = NL_0 \quad (2.19)$$

onde  $L_0 = \sqrt{S^2 + C^2}$  é o comprimento do fio entre cada volta e  $C$  é o perímetro da circunferência da hélice dado por

$$C = \pi D \quad (2.20)$$

Outro parâmetro importante é o ângulo de inclinação, que é formado por uma linha tangente à hélice e um plano perpendicular ao eixo da hélice. Este é dado por

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{S}{\pi D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{S}{C}\right) \quad (2.21)$$

Quando  $\alpha=0^\circ$ , a hélice reduz-se a uma antena circular (*loop antenna*). Por outro lado, se  $\alpha=90^\circ$  a hélice reduz-se a um fio linear. O ganho deste tipo de antenas pode ser obtido através de [25]

$$G = 11,8 + 10 \cdot \log_{10} \left[ \left(\frac{C}{\lambda}\right)^2 * N * S \right] \text{ dBi} \quad (2.22)$$

As características de radiação da antena podem ser alteradas controlando o tamanho das suas propriedades geométricas em comparação com o comprimento de onda. A impedância de entrada é extremamente dependente do ângulo de inclinação e do tamanho do fio condutor, especialmente perto do ponto de alimentação, e pode ser ajustada pelo controle dos seus valores. Esta pode ser obtida através de [16]

$$R \cong 140 \frac{C}{\lambda_0} \quad (2.23)$$

Geralmente, a polarização da antena é elíptica. No entanto, a polarização circular e linear podem ser atingidas ao longo de diferentes gamas de frequências.

A antena helicoidal pode operar em diversos modos, sendo os principais o normal (*Broadside*) e o modo axial (*endfire*). O modo axial é normalmente o mais prático, porque pode atingir uma polarização circular com uma maior largura de banda (geralmente 2:1) e é mais eficiente. Este modo de operação tem unicamente um lóbulo principal e a sua intensidade de radiação é máxima ao longo do eixo da hélice, tal como se encontra apresentado na Figura 2.16. Os lóbulos secundários encontram-se em ângulos oblíquos em relação ao eixo.

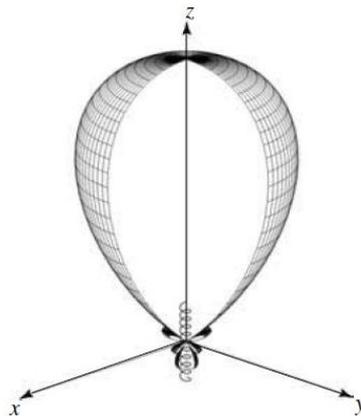


Figura 2.16 - Diagrama de Radiação da antena helicoidal no modo axial [16].

Para excitar este modo, o diâmetro  $D$  e espaçamento  $S$  deve ser uma grande fracção do comprimento de onda. Para obter-se uma polarização circular, a relação entre perímetro da hélice e comprimento de onda deve estar no intervalo de  $0,75 < C/\lambda < 1,33$  (com  $C/\lambda = 1$  a situação ideal) e o espaçamento  $S$  de aproximadamente  $\lambda_0/4$ .



### 3. Sistemas de medição

Neste capítulo apresentam-se os sistemas desenvolvidos para a medição do diagrama de radiação das antenas e para a medição da atenuação do sinal em função da distância. Ambos os sistemas foram desenvolvidos em ambiente Matlab.

#### 3.1 Sistema de medição do diagrama de radiação

Tal como foi referido no capítulo anterior, na secção 2.3, o diagrama de radiação é um parâmetro importante na avaliação do desempenho das antenas, sendo necessário que a medição deste seja feita o mais afastado do solo e na região de campo distante de modo a evitar reflexões indesejadas. Sendo assim, desenvolveu-se um sistema que permite obter o diagrama de radiação de forma automática e que fosse possível ser colocado sobre qualquer haste de modo a poder ser elevado a uma altura considerável para reduzir as reflexões do solo.

##### 3.1.1 Desenvolvimento do sistema

O sistema de medição do diagrama de radiação é constituído por um motor que faz rodar a antena, um controlador que realiza o interface entre o motor e o computador para que este rode para a posição desejada, um medidor de sinal que mede o nível de sinal recebido pela antena em cada ângulo e um computador portátil que, com uma aplicação desenvolvida em Matlab, efectua o controlo dos componentes e o tratamento dos dados de modo a desenhar o diagrama de radiação. A arquitectura do sistema encontra-se apresentada na Figura 3.1.

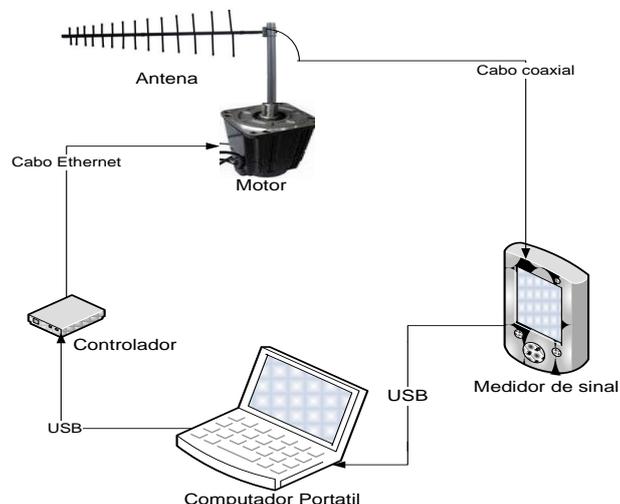


Figura 3.1 – Sistema utilizado para a medição do diagrama de radiação.

##### Motor

Dentro dos motores disponíveis, o motor escolhido para a realização deste sistema foi o motor passo a passo da marca ASTROSYN modelo Y-129. A escolha deste motor recaiu sobre o facto deste apresentar uma maior força e apresentar um passo real de  $1,8^\circ$  [26]. Este tipo de motores tem a característica de apresentar diversas sequências para controlar o movimento do mesmo. Dentro das sequências possíveis, foi escolhida a do tipo passo médio, uma vez que

permite reduzir o passo real para metade, obtendo-se assim um passo mínimo de 0,9°. A teoria e o estudo efectuado sobre este motor são apresentados no Anexo A.

Uma limitação deste motor deve-se ao facto do veio ser muito fino e curto, o que não permite que todas as antenas sejam acopladas sobre ao mesmo. Sendo assim, de modo a poder efectuar-se o diagrama de qualquer tipo de antena e poder ser colocado sobre qualquer haste à altura desejada, construiu-se um suporte que contém um outro veio de maior dimensão e mais resistente. Este veio é ligado ao veio do motor através de duas rodas dentadas com uma relação de 4,6 para 1, o que permitiu assim aumentar a força de rotação em 4,6 vezes e ainda diminuir o passo mínimo para aproximadamente 0,2°.

Ainda, foi construída uma pequena placa de circuito impresso que liga os fios do motor a um conector RJ45 de modo a este ser ligado ao controlador através de um cabo de rede. O sistema implementado encontra-se apresentado na Figura 3.2.



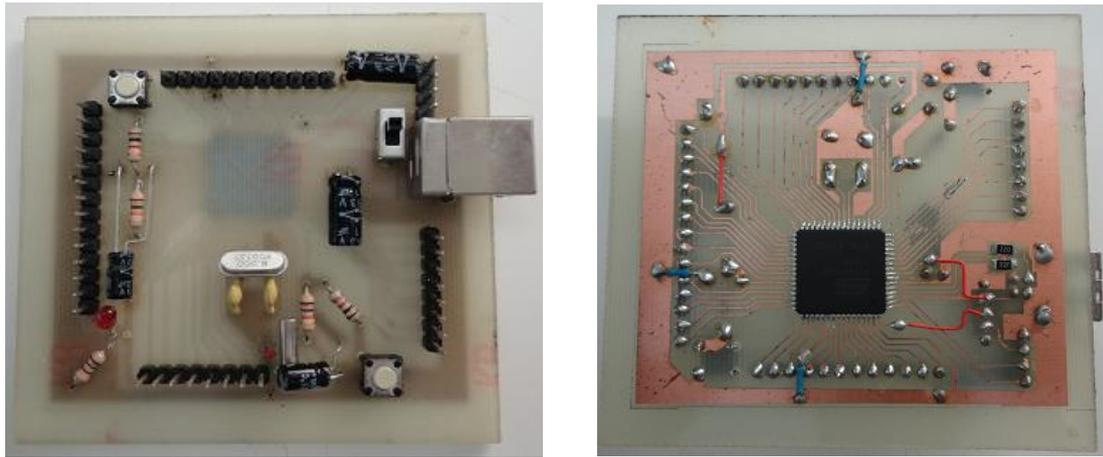
Figura 3.2 – Suporte para o sistema de medição do diagrama de radiação.

### Controlador

O sistema que faz o controlo do motor passo a passo é constituído por um microcontrolador e por um driver de motor. O microcontrolador utilizado foi o AT90USB1287, que é um microcontrolador AVR da ATMEL. Este microcontrolador apresenta uma característica especial que é o módulo controlador USB, que permite que seja programado através de USB 2.0.

Para programar-se este tipo de microcontrolador é utilizado o programa FLIP que é fornecido pela ATMEL, sendo necessário colocar o microcontrolador no estado de *RESET* [27].

No laboratório já existia uma placa de desenvolvimento criada num projecto anterior [28]. Desta forma, foi apenas necessário modificar-se a programação do microcontrolador para controlar o motor passo a passo da forma desejada. Na Figura 3.3 encontra-se apresentada a placa de desenvolvimento utilizada, e no Anexo B o código implementado no microcontrolador, sendo que o seu funcionamento encontra-se apresentado na Figura 3.4.



(a) (b)  
 Figura 3.3 - Placa de desenvolvimento utilizada. (a) Face superior; (b) Face inferior.

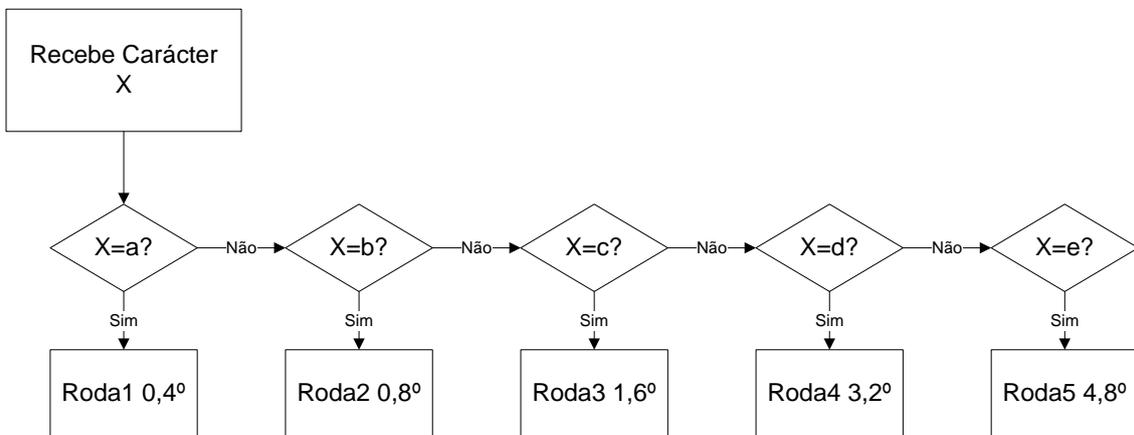


Figura 3.4 - Fluxograma do funcionamento do microcontrolador.

O motor ASTROSYN Y-129 precisa de ser alimentado com 160 mA (12 V) [26]. Dado que os pinos I/O do microcontrolador apenas conseguem debitar uma corrente máxima de 40mA [27], foi necessário utilizar-se um driver adequado para controlar o motor. O driver utilizado foi a *Quadruple Half-H* L239NE [29]. A utilização deste componente, trouxe a vantagem de poder-se alimentar o motor com uma fonte externa (bateria), além da utilizada para alimentar o microcontrolador (porta USB do computador). Sendo assim, utilizou-se uma bateria com uma tensão igual à máxima tensão de alimentação do motor, oferecendo assim um maior torque disponível.

Para a comunicação entre o microcontrolador e o computador foi utilizado um conversor RS232 da marca FTDI [30]. Este realiza o interface físico entre a porta USB do computador com a porta UART do microcontrolador. Assim, é possível controlar o microcontrolador através de uma porta série (virtual), interface disponível no Matlab.

Na Figura 3.5 encontra-se o esquema de ligação dos componentes utilizados para realizar o controlo do motor passo a passo.

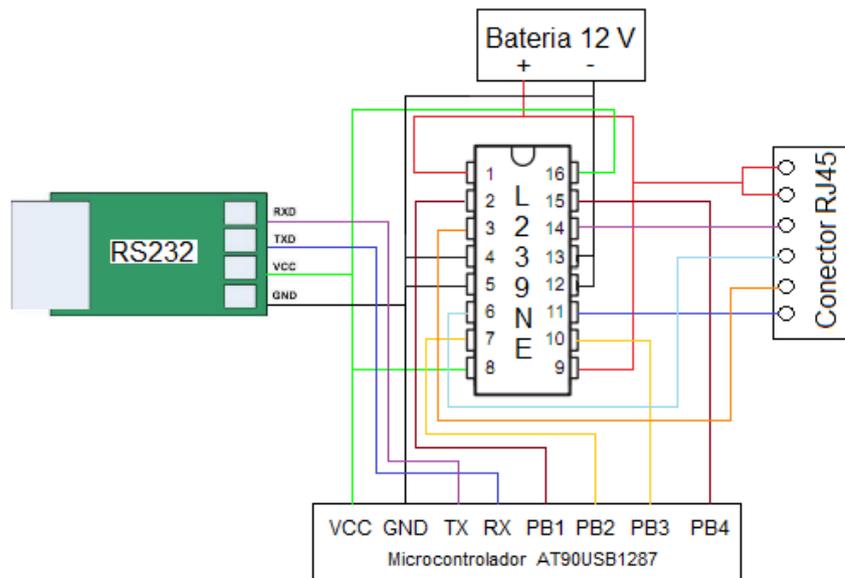


Figura 3.5 - Esquema de ligação dos componentes utilizados para efectuar o controlo do motor.

Tendo-se todos os componentes necessários para controlar o motor e com base no esquema de ligação apresentado na Figura 3.5, construiu-se uma placa de circuito impresso de modo a encaixar-se aos *headers* que serão utilizados na placa de desenvolvimento. O circuito impresso implementado encontra-se apresentado na Figura 3.6.

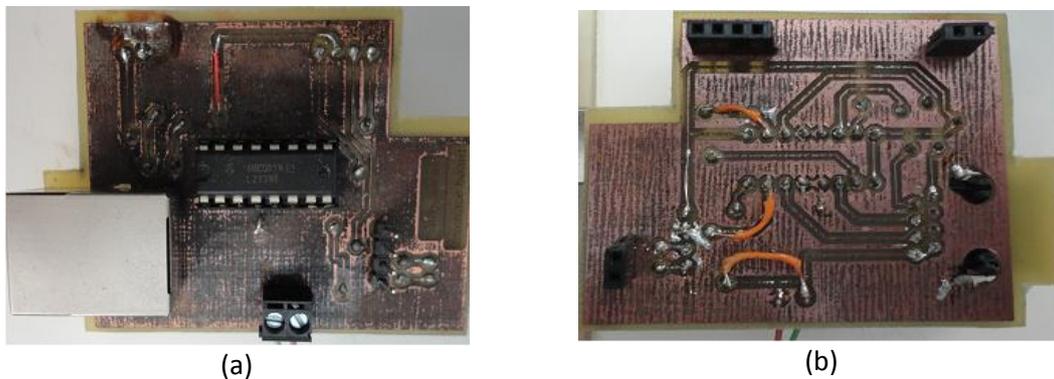


Figura 3.6 - Circuito impresso implementado. (a) Face superior; (b) Face inferior.

Na Figura 3.7 pode-se observar o resultado final obtido da junção da placa de desenvolvimento e o circuito implementado para alimentar e controlar o motor.

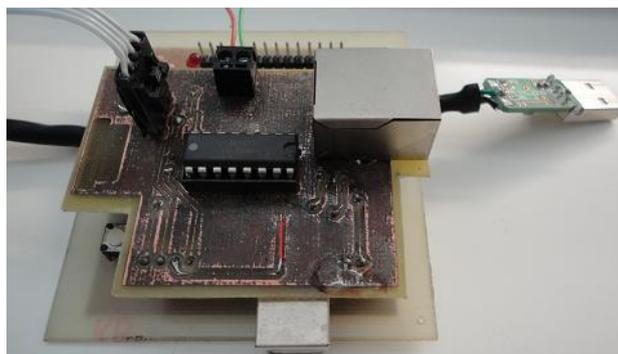


Figura 3.7 - Placa de desenvolvimento e circuito implementado para controlar o motor.

## Medidor de sinal

O sistema baseia-se essencialmente na medição do nível de sinal recebido pela antena, sendo este medido pelo Analisador de espectros. O analisador de espectros utilizado foi o FSH8 – *Spectrum Analyzer* da marca ROHDE & SCHWARZ [31]. Este equipamento disponibiliza uma interface para o efectuar o controlo do mesmo via USB ou LAN (R&S®FSH-K40 [32] ), mas esta aplicação não está disponível no equipamento da universidade. Para isso seria necessário adquirir um plug-in de software, que lhe adicionaria essa funcionalidade.

O equipamento presente no laboratório disponibiliza um *software* dedicado para aquisição de dados (FSH4 View [33]), mas este não permite interligação com outro *software*, apenas regista os dados num dado momento e o guarda num ficheiro .CSV (*Comma-Separated Values*). Dado isto, desenvolveu-se uma forma de adquirir os dados de forma automática, mesmo com estas limitações. O procedimento para adquirir os dados do analisador no computador é o seguinte:

- Abrir o Software FSH4-View e fazer a ligação com o equipamento via USB, tal como apresentado na Figura 3.8.

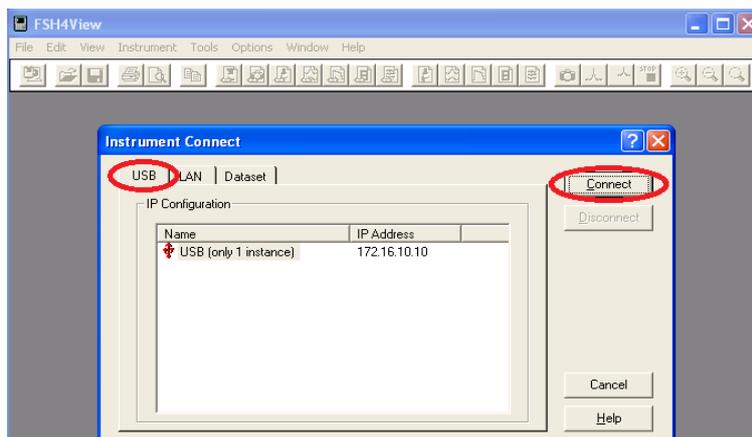


Figura 3.8 - Ligação entre o FSH4-View e o analisador de espectros (FSH8) via USB.

- Seleccionar a opção de múltiplas transferências (*Multiple Transfers* – Ver Figura 3.9)

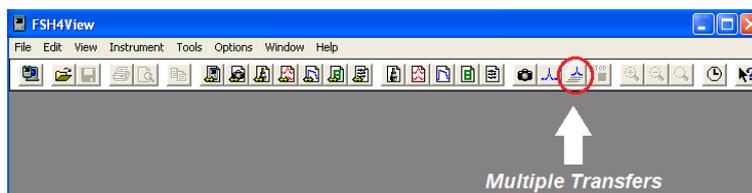


Figura 3.9 - Opção de múltiplas transferências.

- Por último, definir o número de transferências a realizar, o intervalo de tempo entre transferências e a localização onde ficaram guardados os ficheiros .CSV (ver Figura 3.10). O número de transferências corresponde ao número de medições que serão efectuadas. Por exemplo, se for pretendido obter o diagrama de radiação de uma antena com precisão de 5°, deve-se ter um total de 72 medições ( $360^\circ/5^\circ = 72$ ).

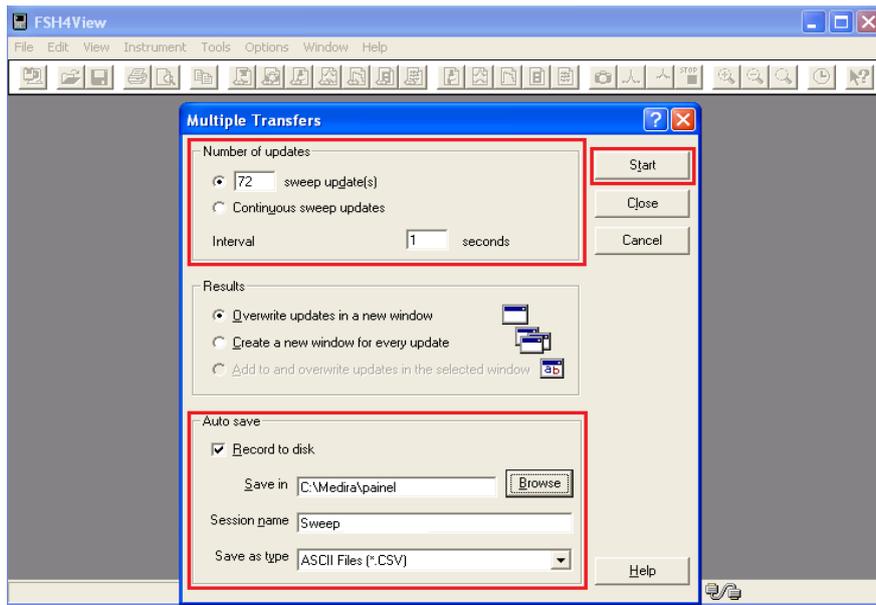


Figura 3.10 - Definição do número de transferências, intervalo entre transferências e localização de armazenamento dos dados.

## Software

Desenvolveu-se um programa no Matlab de modo a poder controlar o microcontrolador e, por sua vez, o motor passo a passo, à medida que se recebe os dados do medidor de sinal. O programa desenvolvido apresenta uma interface gráfica, elaborada através da ferramenta GUI do Matlab, de modo a tornar o programa mais intuitivo e de fácil utilização. A interface gráfica do programa desenvolvido encontra-se apresentada na Figura 3.11 e o código implementado encontra-se apresentado no Anexo C.

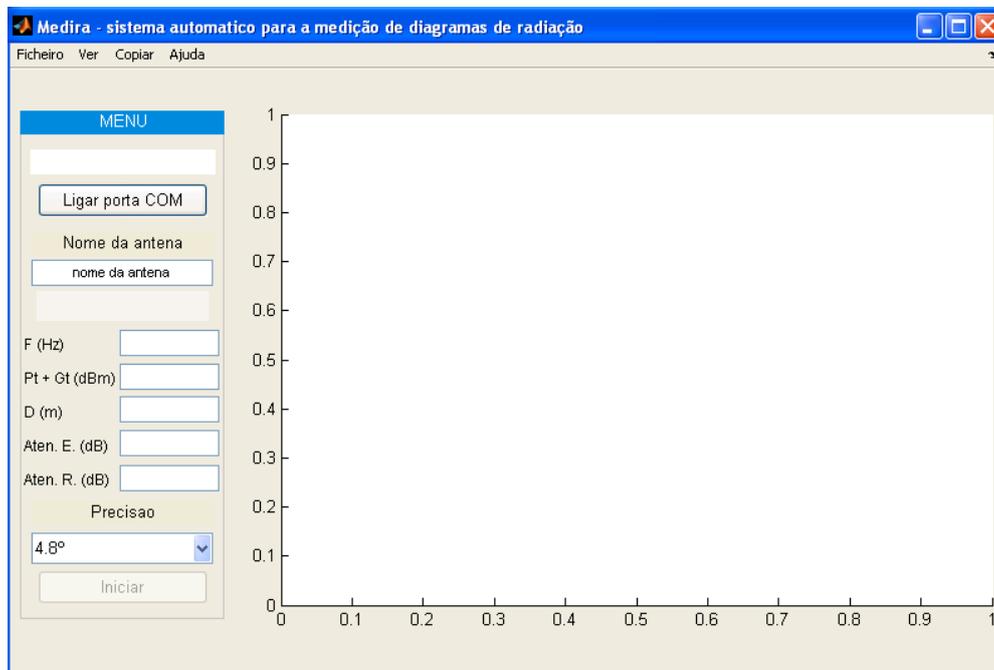


Figura 3.11 - Interface gráfica do programa desenvolvido.

### 3.1.2 Funcionamento do programa

Para a utilização do sistema, o utilizador deve inicialmente clicar em “ligar porta COM”, isto para que o programa consiga descobrir em qual das portas COM disponíveis é que se encontra ligado o microcontrolador. De seguida, deve preencher todos os campos pedidos, ou seja, introduzir o nome da antena ou simplesmente um nome para identificá-la, definir a frequência de operação, a potência transmitida mais o ganho da antena emissora, a distância entre as antenas emissora e receptora, a atenuação dos cabos da emissão e recepção e, por último, deve escolher a precisão que deseja para efectuar o diagrama. Após estes campos estarem preenchidos o botão “Iniciar” fica activo e ao clicar sobre este o programa começa a correr. Após isto, é criada automaticamente uma pasta na directoria C:\Medira\ com o nome colocado na opção de “nome da antena” da Figura 3.11. Sendo assim, o utilizador deve abrir o software FSH4-View, efectuar o procedimento explicado na secção 3.1.1 (medidor de sinal) e procurar essa directoria para guardar os dados obtidos pelo analisador e de seguida clicar no botão “Start”.

À medida que as transferências vão sendo recebidas, o programa vai enviando informações para o microcontrolador para mandar rodar o motor para a posição seguinte. Ao mesmo tempo, vai abrindo cada um dos ficheiros .CSV e seleccionando apenas o valor do nível de sinal recebido na frequência de interesse, guardando o seu valor num vector com o respectivo ângulo. Por último, quando o motor efectuar uma volta completa, o programa selecciona o menor valor do nível de sinal recebido em cada posição e efectua a subtracção deste a todos os outros valores, de modo a permitir a visualização do diagrama de radiação na forma polar em dB. Na Figura 3.12 encontra-se apresentado o esquema de funcionamento do programa desenvolvido.

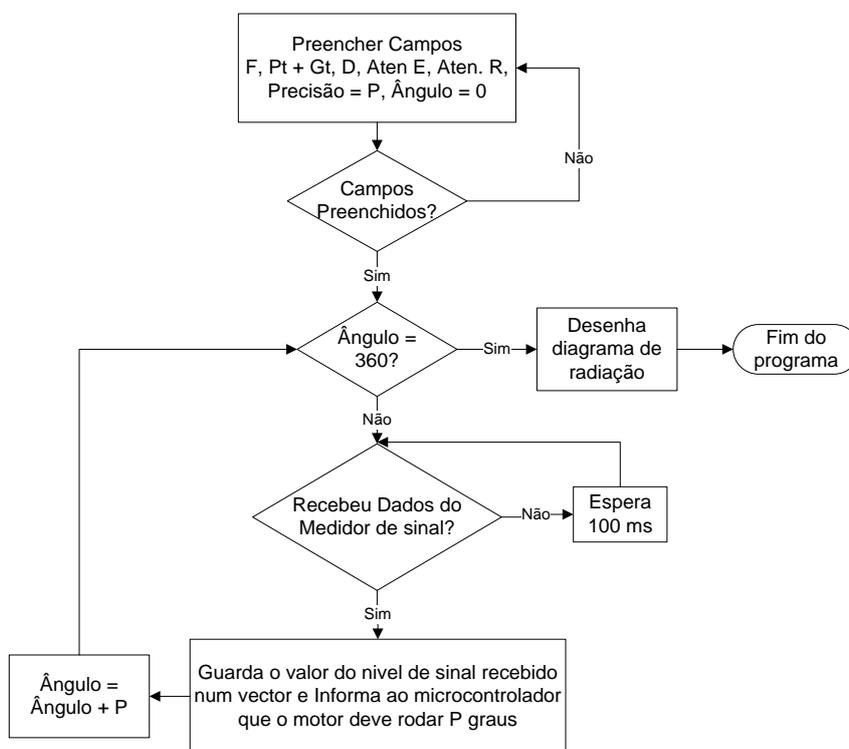


Figura 3.12 - Fluxograma do programa desenvolvido para a medição do diagrama de radiação.

A Figura 3.13 apresenta um exemplo do diagrama de radiação obtido após aplicar este procedimento.

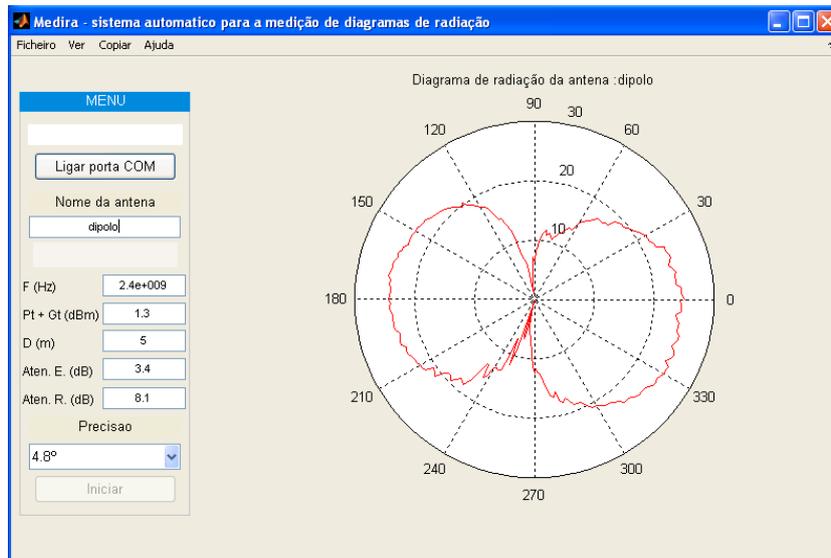


Figura 3.13 - Exemplo do diagrama de radiação polar da antenna dipolo, obtido com o programa desenvolvido.

O programa, após a realização do diagrama de radiação, guarda automaticamente um ficheiro MATLAB (“nome da antenna”.mat), na directoria C:\Medira\“nome da antenna”, com todos os parâmetros introduzidos e os respectivos valores do nível do sinal recebido, para poder ser visualizado em qualquer outro momento. Para tal, o utilizador deverá abrir o programa e no menu “ficheiro” seleccionar a opção “Abrir”, na qual deverá seleccionar o respectivo ficheiro. Também é criado automaticamente um ficheiro Excel (“nome da antenna”.xls), onde é guardado o nível do sinal recebido em cada ângulo.

O programa permite ainda a visualização do diagrama de radiação cartesiano. Para tal, o utilizador deverá seleccionar no menu “Ver” e seleccionar o tipo de diagrama que pretende visualizar, tal como apresentado na Figura 3.14.

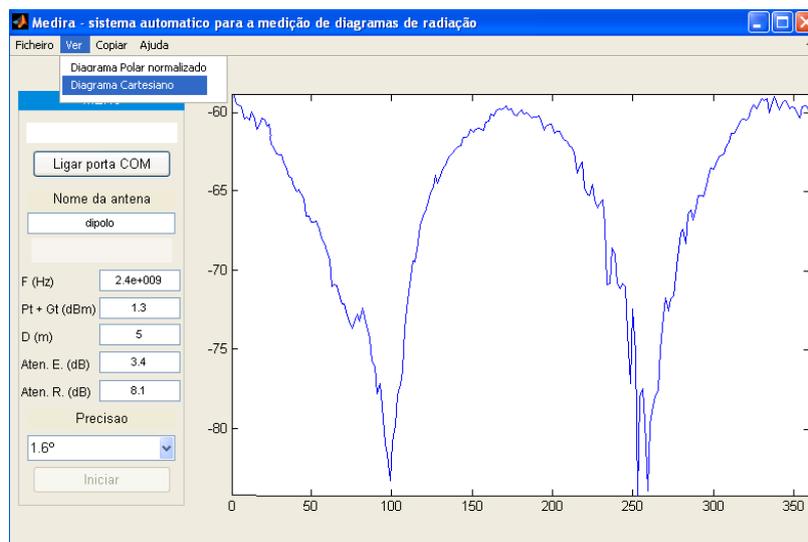


Figura 3.14 - Diagrama de radiação cartesiano da antenna dipolo.

## 3.2 Sistema de medição da atenuação em função da distância

Para facilitar o estudo da propagação do sinal em função da distância, criou-se um sistema que interliga a antena ao computador através do analisador de espectros, de modo a que, através de um programa desenvolvido em Matlab, fosse sendo registado o nível de sinal recebido em cada ponto.

### 3.2.1 Desenvolvimento do sistema

A Figura 3.15 mostra as ligações do sistema desenvolvido, constituído pela antena considerada nas medições, um analisador de espectros e um computador portátil.

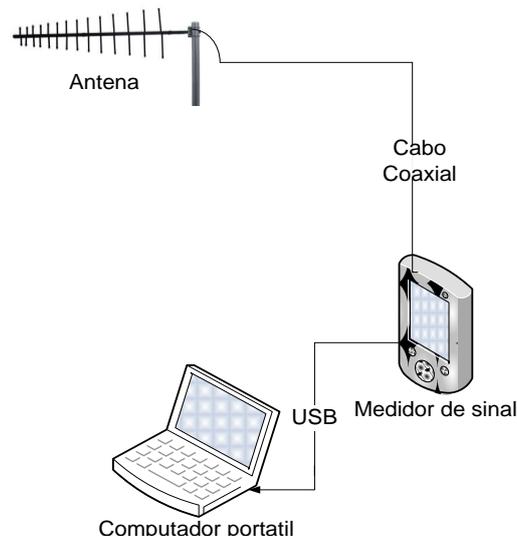


Figura 3.15 - Sistema implementado para a medição do nível de sinal recebido em função da distância.

### Medição do sinal

Tal como acontece com o sistema de medição do diagrama de radiação, este sistema baseia-se na medição do nível de sinal recebido pela antena, sendo para tal, mais uma vez, utilizado o analisador de espectro FSH8. Assim, o processo para a aquisição de dados é semelhante ao referido para o sistema de medição do diagrama de radiação, sendo apenas necessário mudar-se o número de transferências a realizar em cada ponto.

### Programa de controlo

O programa desenvolvido faz o tratamento dos dados à medida que o analisador de espectros envia os ficheiros .CSV para o computador através do *software* FSH4-View. Mais uma vez, este programa foi desenvolvido com a ferramenta GUI do Matlab, pelas mesmas razões anteriormente referidas na secção 3.1.1. A interface gráfica do programa encontra-se apresentada na Figura 3.16 e o código implementado encontra-se no Anexo D.

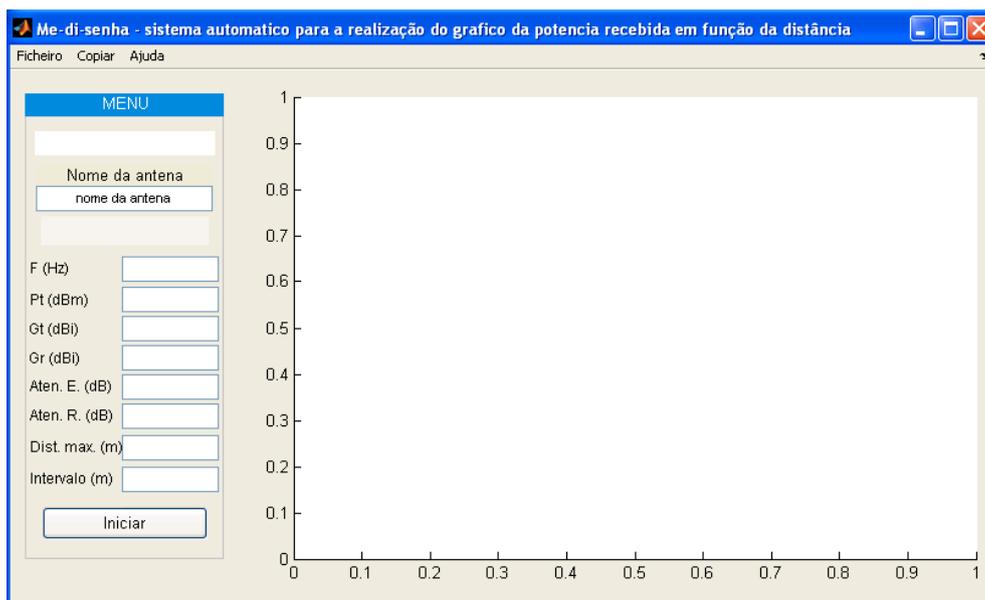


Figura 3.16 - Interface gráfica do programa desenvolvido.

### 3.2.2 Funcionamento do programa

Para a utilização do sistema o utilizador deve inicialmente preencher todos os campos especificados na Figura 3.16, ou seja, introduzir o nome da antena, a frequência de operação, a potência transmitida, o ganho da antena emissora, o ganho da antena receptora, a atenuação dos cabos da emissão e recepção, a distância máxima e o intervalo entre pontos. Para finalizar deve clicar sobre o botão “Iniciar” para o programa começar a correr. Após ter-se colocado o programa a correr, é criada automaticamente uma pasta na directoria C:\Medisenha\ com o nome colocado na opção de “nome da antena” da Figura 3.16. Sendo assim, o utilizador deve abrir o *software* FSH4-View e efectuar o procedimento explicado na secção 3.1.1 (medidor de sinal), tendo em conta que agora na opção de número de transferências deverá ser colocado apenas três transferências, e procurar a directoria para guardar os dados obtidos pelo analisador. Para finalizar, o utilizador deve carregar no botão “Start”, sendo que este último passo deverá ser repetido em cada ponto.

À medida que as três transferências vão sendo recebidas, o programa automaticamente vai abrindo cada um dos ficheiros .CSV e seleccionando apenas o valor do nível de sinal recebido na frequência de operação. Com esses três valores calcula e guarda num vector o menor, a média e o maior valor obtido em cada ponto, assim como o valor esperado da atenuação no espaço livre obtido através de (2.2). Por fim, apresenta graficamente cada um desses valores em cada ponto, tal como apresentado na Figura 3.17. O valor obtido em cada ponto corresponde apenas à atenuação do sinal nesse ponto, isto porque o programa automaticamente retira todos os efeitos dos cabos, ganhos e potência transmitida aos valores obtidos.

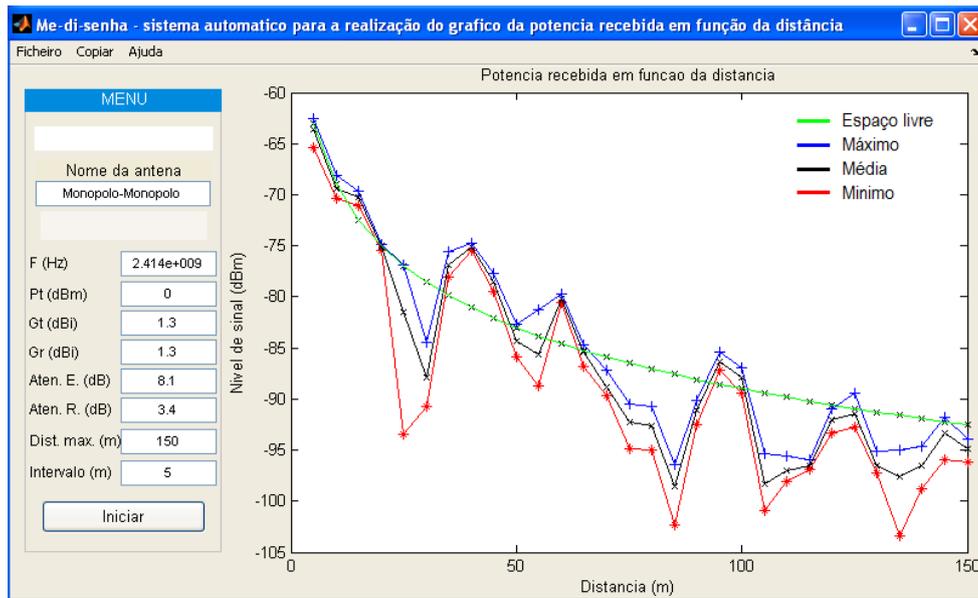


Figura 3.17 - Resultado da atenuação do sinal em função da distância.

Na Figura 3.18 encontra-se apresentado o esquema de funcionamento do programa desenvolvido.

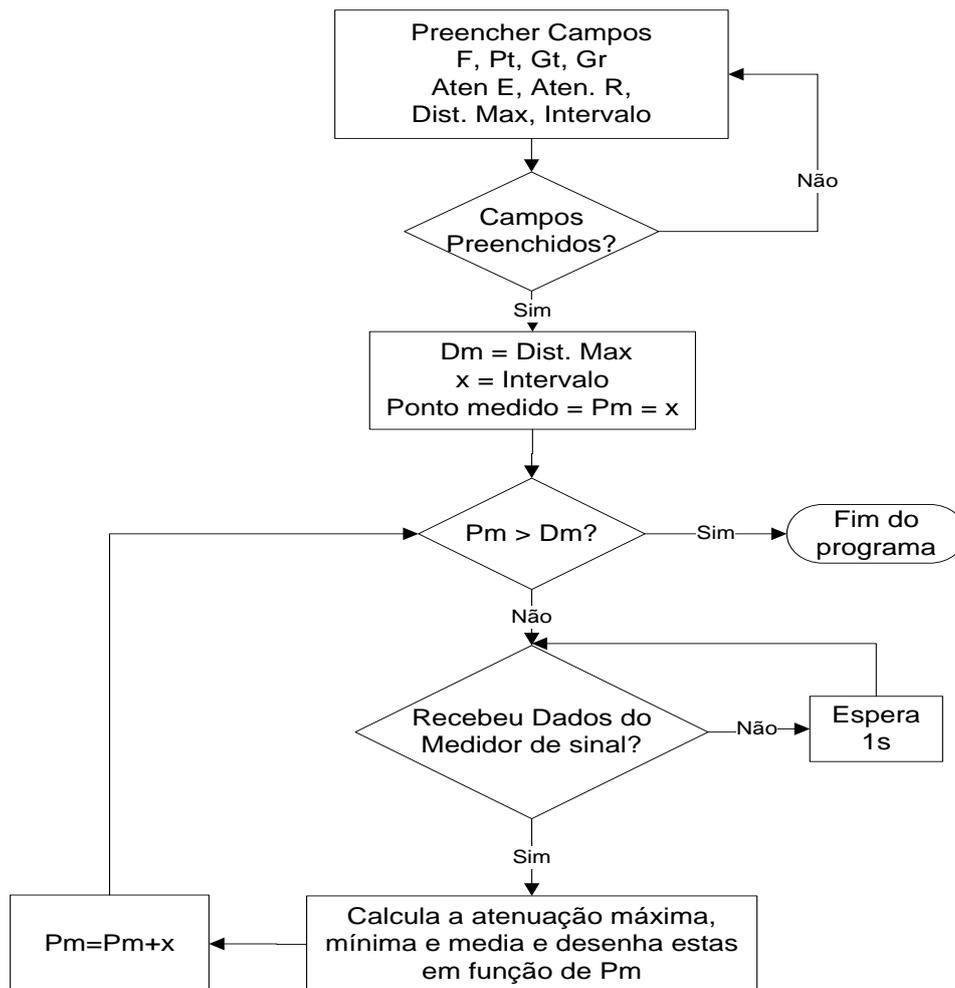


Figura 3.18- Fluxograma do programa desenvolvido para a medição da atenuação em função da distância.

De igual forma como acontece com o programa desenvolvido para a medição do diagrama de radiação, este programa também guarda os resultados num ficheiro MATLAB e Excel dentro da pasta criada na directoria C:\Medisenha\“nome da antena”.

Foi criado um segundo programa tal como o anterior, mas com a diferença que o programa fica à espera de 9 valores para cada ponto, sendo 3 para a posição de  $30^\circ$  em relação a linha de vista entre as antenas emissora e receptora, 3 para a posição em linha de vista ( $0^\circ$ ) e 3 para a posição de  $330^\circ$ . No FSH4-View, o utilizador deverá repetir o processo de recepção de dados em cada ponto e em cada ângulo.

## 4. Medições em diferentes meios de propagação

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos da propagação do sinal em meios com características de propagação diferentes. Inicialmente, são apresentados as características das antenas utilizadas para o estudo da propagação do sinal, nomeadamente o ganho e o diagrama de radiação. De seguida apresenta-se o método de medição utilizado para o estudo da propagação do sinal e por último apresentam-se os locais e resultados obtidos onde foram realizadas estas medições.

### 4.1 Características das antenas

As antenas utilizadas neste trabalho foram as desenvolvidas em [6], sendo elas: 2 antenas monopolo, 2 colineares, 2 grelhas, 2 antenas Yagi, 2 painéis e 2 parabólicas. No entanto, como estas antenas têm polarização linear, de modo a completar-se o estudo realizado, foram construídas duas antenas helicoidais com polarização circular. O processo de construção desta antena encontra-se no Anexo E. Na Figura 4.1 são apresentadas as antenas utilizadas para a realização deste trabalho.

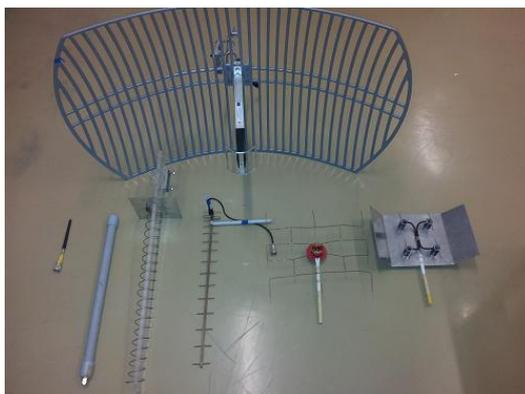


Figura 4.1 - Antenas utilizadas para o estudo da propagação do sinal em diferentes meios.

Tal como foi referido anteriormente na secção 2.3, para a medição das características das antenas, é necessário que estas se encontrem na região de campo distante. Sendo assim, começou-se por calcular a respectiva região de campo distante para cada antena através de (2.17), excepto para a antena monopolo que tem uma dimensão menor que o comprimento de onda, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dimensões das antenas e a sua respectiva região de campo distante.

Antenas	Maior dimensão (m)	Campo distante (m)
Monopolo	0,09	> 1,2
Colineares	0,5	> 4,0
Grelhas	0,3	> 1,5
Yagi 1 (15 elementos)	0,5	> 4,0
Yagi 2 (maior ganho)	0,81	> 10,5
Painéis	0,3	> 1,5
Parabólicas	0,9	> 13,0
Helicoidais	0,59	> 5,6

### 4.1.1 Ganho

Tendo-se conhecimento do campo distante para cada uma das antenas, procedeu-se então à medição do ganho das mesmas. Para as antenas com a região de campo distante inferior ou igual a 4 metros, efectuou-se a medição do ganho no terraço da universidade utilizando o sistema elevado com as antenas (emissora e receptora) colocadas a uma altura de 5 metros, tal como apresentado na Figura 4.2 (a), enquanto para as restantes antenas o ganho foi medido utilizando o sistema enviesado com recurso ao topo do edifício, tal como apresentado na Figura 4.2 (b).

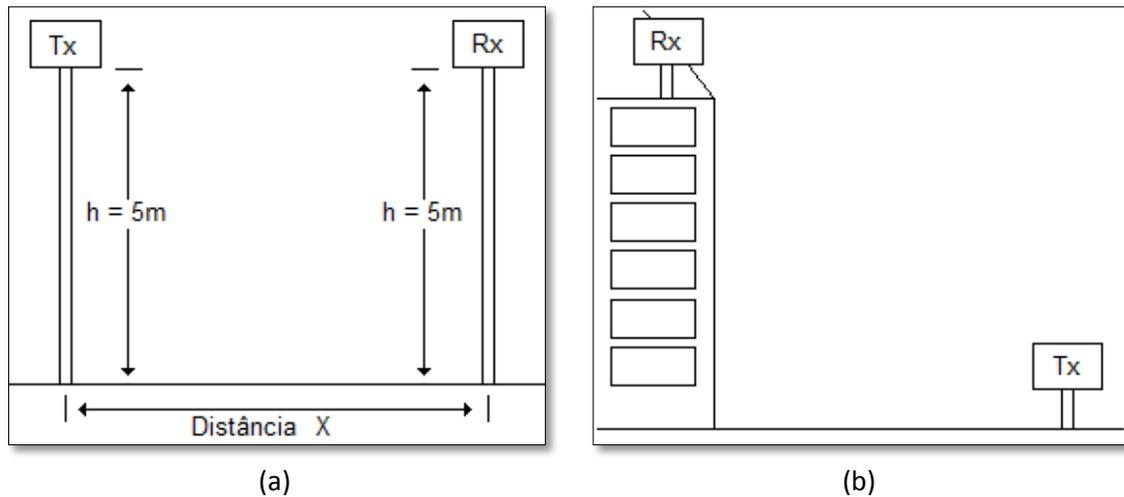


Figura 4.2- Esquema de montagem para a medição do ganho das antenas: (a) sistema elevado; (b) sistema enviesado.

Para as medições utilizando o sistema elevado, inicialmente calculou-se o ganho das antenas monopolo de modo a que estas sirvam de referência para o cálculo do ganho das restantes antenas. Para tal, colocou-se uma antena monopolo a emitir ligada através de um cabo coaxial RG213, com atenuação de 3,4 dB, a um gerador de sinais com uma potência de saída de 0 dBm à frequência de 2,414 GHz. Com uma outra antena monopolo ligada ao analisador de espectros através de um cabo coaxial RG58, com atenuação de 8,1 dB, foi-se registando o nível de sinal recebido para diferentes distâncias, começando pela distância do campo distante e terminando nos 10 metros, de modo a obter uma média do ganho destas antenas. O ganho destas foi determinado através da diferença entre a potência recebida pela antena monopolo, sendo necessário retirar o efeito da atenuação dos cabos, e a atenuação no espaço livre.

Dado que o resultado obtido é o ganho do conjunto das antenas (emissora e receptora), e tendo em conta que as antenas são idênticas, o ganho individual de cada uma delas é metade do resultado obtido. Na Tabela 4.2 encontram-se os resultados obtidos do nível de sinal recebido pela antena monopolo, o valor esperado da atenuação no espaço livre, obtido através de (2.2), e o ganho conjunto das antenas em cada ponto.

Tabela 4.2 - Resultados obtidos para o cálculo do ganho da antena monopolo.

Distância (m)	$P_R$ (dBm)	$PL_{FS}$ (dB)	Ganho (dBi)
2	-43,3	46,1	2,8
3	-46,8	49,7	2,9
4	-49,4	52,2	2,8
5	-51,7	54,1	2,4
6	-53,2	55,7	2,4
7	-54,6	57,0	2,4
8	-55,6	58,2	2,5
9	-56,8	59,2	2,4
10	-57,3	60,1	2,8
Media -->			2,6

Ao analisar a Tabela 4.2 pode-se observar que em média, o ganho conjunto das antenas monopolo é de 2,6 dBi, ou seja, o ganho de cada uma delas é de 1,3 dBi.

Tendo o ganho da antena monopolo, e conhecendo-se a potência recebida por esta antena em cada ponto, substitui-se a antena receptora pelas outras antenas e registou-se o nível de sinal recebido por cada uma delas em vários pontos, a partir da respectiva região de campo distante até aos 10 metros, tal como efectuado para a antena monopolo. O ganho das antenas foi calculado através da diferença do nível de sinal recebido por cada uma das antenas, com o nível de sinal recebido pela antena monopolo no mesmo ponto, sendo que o resultado será o ganho da antena em relação à antena monopolo. Para se obter o ganho de cada antena em dBi foi necessário somar-se o ganho da antena monopolo. O resultado obtido do nível de sinal recebido por cada uma das antenas encontra-se representado na Figura 4.3.

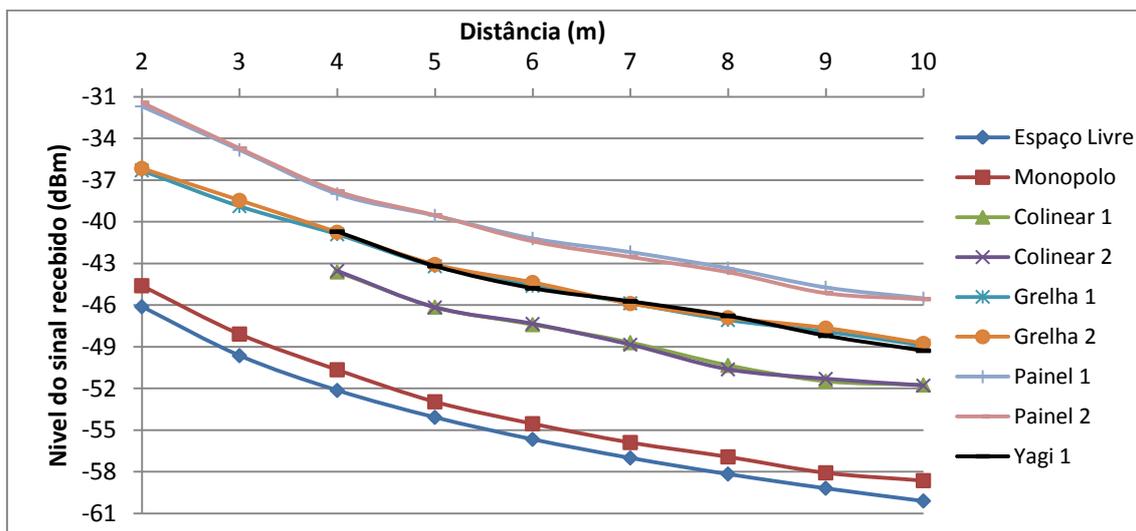


Figura 4.3 - Resultados obtidos para o cálculo do ganho das antenas com região de campo distante inferior a 4 metros.

Ao analisar o gráfico da Figura 4.3 foram obtidos os seguintes ganhos:

- Antena Colinear 1 e 2: 8 dBi
- Antena Painel 1 e 2: 14,5dBi
- Antena Grelha 1 e 2: 11 dBi
- Antena Yagi 1: 11 dBi

Para o cálculo do ganho das antenas com região de campo distante superior a 4 metros, efectuou-se a medição tal como apresentado na Figura 4.2 (b), onde na emissão se colocou uma antena painel com ganho de 14,5 dBi e na recepção a antena Yagi 1 com ganho de 11 dBi. Registou-se o nível de sinal recebido por esta e, de seguida, substituiu-se a antena receptora pelas outras antenas. Através da diferença do valor obtido com a antena Yagi 1 e com cada uma das outras antenas chegou-se ao ganho de cada uma delas em relação à antena Yagi 1, sendo que, para se obter o ganho em dBi, foi somado o ganho da antena Yagi 1. O resultado obtido encontra-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Ganho das antenas de maior dimensão.

Antena emissora	Antena receptora	Nível de sinal recebido (dBm)	Ganho (dBi)
Painel	Yagi 1	-54,4	11,0
Painel	Yagi 2	-50,2	15,2
Painel	Parabólica 1	-42,7	22,7
Painel	Parabólica 2	-42,8	22,6

Para se calcular o ganho das antenas helicoidais substituiu-se a antena painel na emissão por a antena helicoidal 1 e na recepção colocou-se a antena helicoidal 2, isto para evitar as perdas devido a polarização, e registou-se o nível de sinal recebido (-58,9 dBm).

Verifica-se que o nível de sinal recebido pelas antenas helicoidais é 4,5 dB inferior ao nível de sinal recebido pelo conjunto Painel – Yagi 1, ou seja, o ganho do conjunto de antenas helicoidais é inferior ao ganho do conjunto Painel – Yagi 1 em 4,5 dB. Sendo assim, obtêm-se um ganho de  $14,5+11-4,5 = 21$  dBi para as antenas helicoidais. Como as antenas são idênticas, o ganho de cada uma delas é 10,5 dBi.

Na Tabela 4.4 encontram-se os ganhos das antenas utilizadas para a realização deste projecto.

Tabela 4.4 - Ganho das antenas.

Antena	Ganho (dBi)
Monopolo	1,3
Colineares	8
Helicoidais	10,5
Yagi	11
Painéis	14,5
Yagi (maior dimensão)	15
Agrupamento	17,5
Parabólicas	23

#### 4.1.2 Diagramas de radiação

Relativamente aos diagramas de radiação, estes foram medidos com o sistema desenvolvido no capítulo 3 com uma precisão de 4,8°. Da mesma forma que para a medição do ganho, os diagramas de radiação das antenas com a região de campo distante inferior a 4 metros foram medidos no terraço da universidade, com o sistema elevado, tal como apresentado na Figura 4.2 (a), com as antenas emissora e receptora distanciadas de 5 metros. Os diagramas de radiação para as antenas com a região de campo distante superior a 4 m

também foram medidas no terraço da universidade, mas numa zona onde se pode reduzir a reflexão no solo, tal como apresentado na Figura 4.4. Nesta situação, as antenas encontram-se a uma altura de 3 metros do solo e distanciadas de 11 metros. A antena utilizada na emissão foi sempre a antena monopolo, com a excepção que para medir o diagrama de radiação das antenas helicoidais foi utilizada uma antena helicoidal a emitir e a outra a receber.

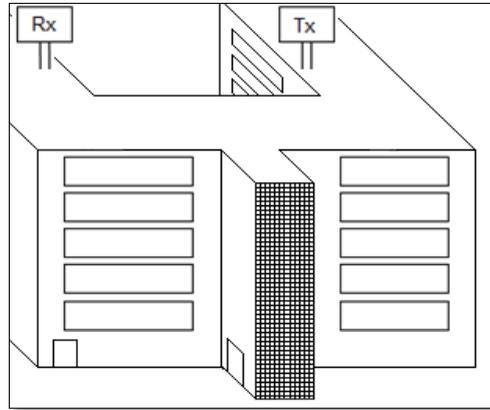
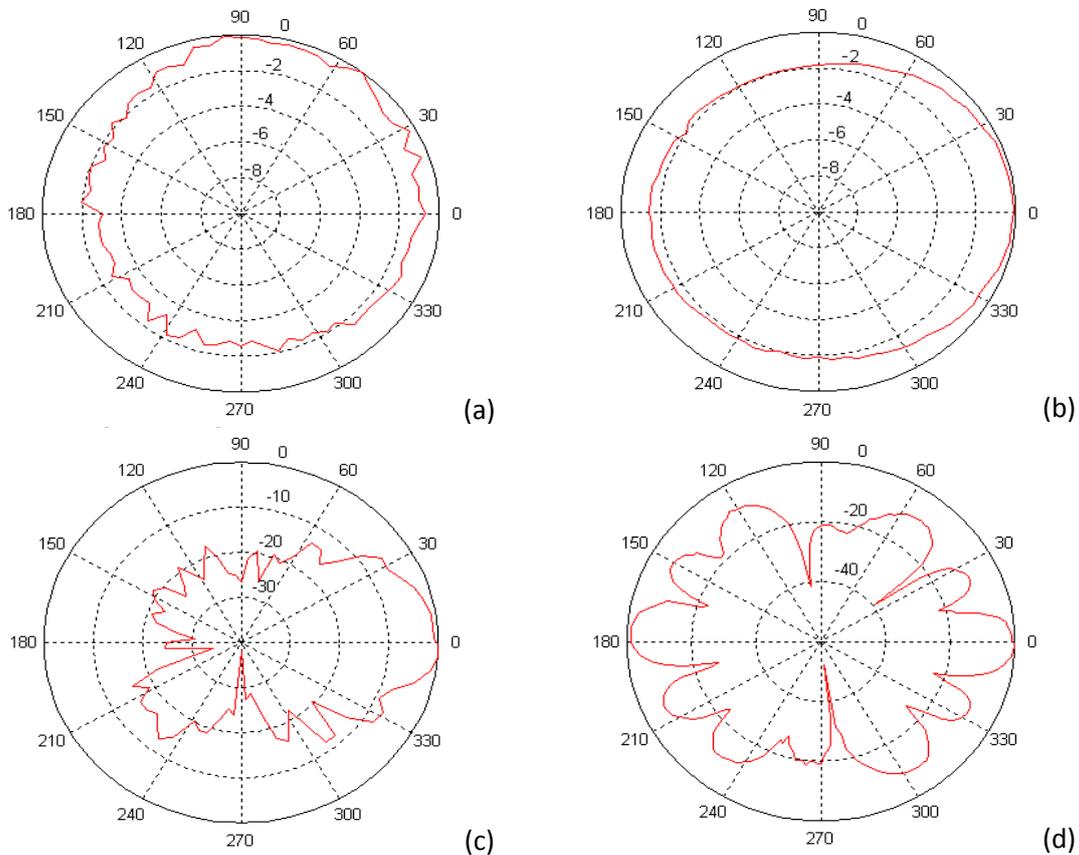


Figura 4.4 - Esquema de medição do diagrama de radiação para as antenas com região de campo distante superior a 4 metros.

Os diagramas de radiação obtidos estão representados na Figura 4.5. É de referir que os diagramas das antenas parabólicas e helicoidais, foram medidas manualmente, uma vez que o suporte de antenas do sistema desenvolvido no capítulo 3 no suportava o peso destas.



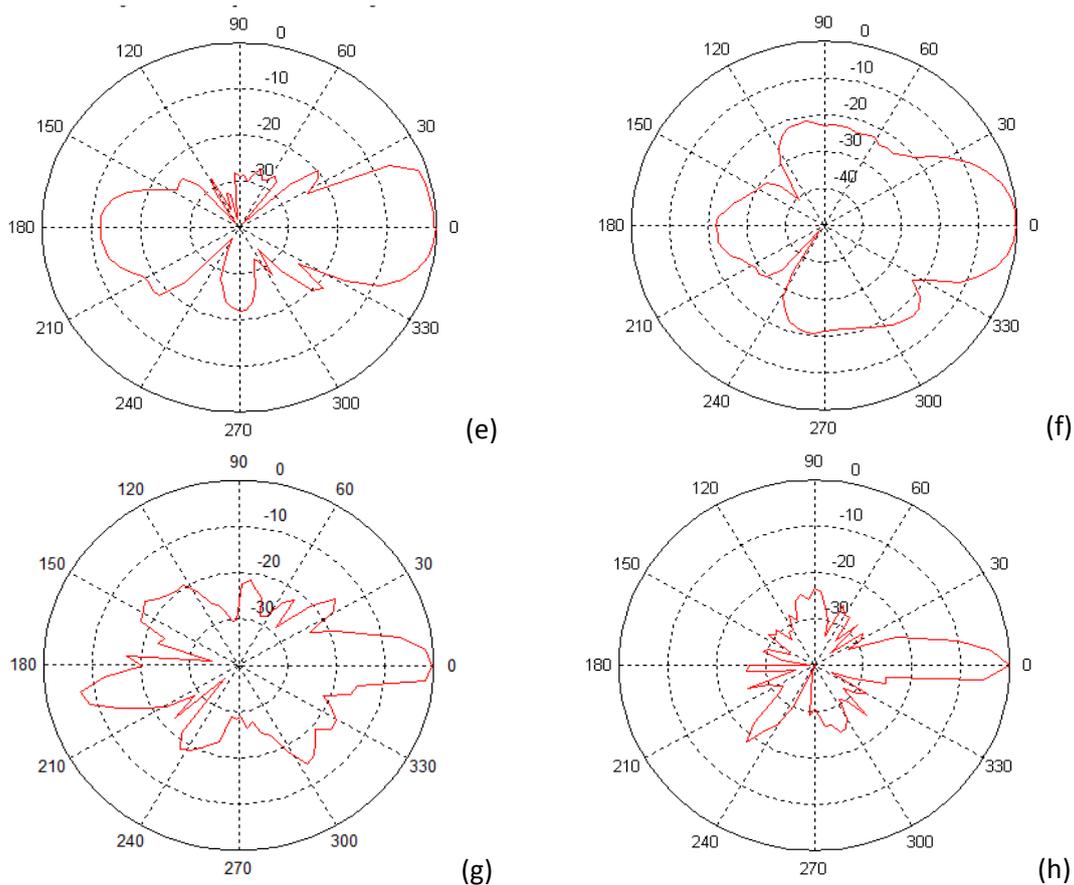


Figura 4.5 - Diagramas de radiação das antenas: (a) monopolo; (b) colinear; (c) helicoidal; (d) grelha; (e) Yagi; (f) painel; (g) agrupamento; (h) parabólica.

Ao observar os resultados obtidos na Figura 4.5, verifica-se que o nível de sinal recebido por as antenas omnidireccionais (monopolo e colinear) é semelhante em todas as direcções, existindo pequenas variações em alguns pontos, sendo isto devido a movimentos do mastro que suporta as antenas.

Relativamente ao diagrama de radiação da antena grelha, verifica-se que apesar de ser uma antena directiva para os 0° e 180°, apresenta lóbulos secundários com níveis de sinal 10 dB inferior ao principal

Em relação às antenas com elemento reflector verifica-se que a antena Yagi e o agrupamento são os que apresentam um lóbulo secundário na direcção oposta à do lóbulo principal com elevado nível de sinal, enquanto nas restantes antenas (painel, parabólica e helicoidal) esse mesmo lóbulo é mais reduzido, com diferenças de aproximadamente -25 dB.

## 4.2 Método de medição para o estudo da propagação do sinal

Para se medir o sinal recebido em diferentes meios de propagação foram utilizadas duas antenas, uma emissora e outra receptora, no topo de mastros com 3 metros de comprimento, tal como apresentado na Figura 4.6. A antena emissora é colocada numa posição fixa e as medições são realizadas com o afastamento da antena receptora em intervalos de 5 metros até aos 150 metros. Para as medições numa zona sem obstáculos, numa zona de troncos e numa zona de folhagem, além da medição em que ambas as antenas estão orientadas na

direcção de máxima radiação, foram efectuadas medições com um desvio de 30° e 330° em relação à direcção de máxima radiação.

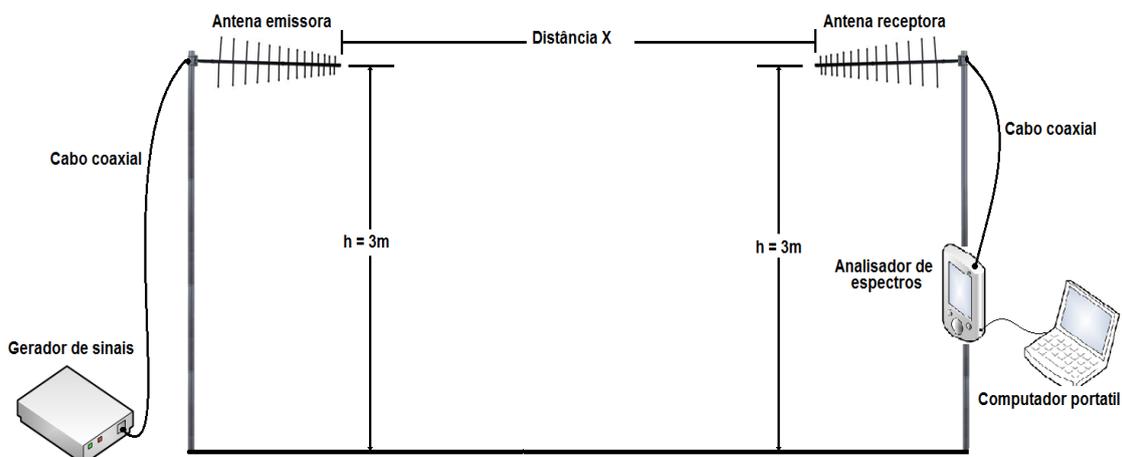


Figura 4.6 - Esquema de medição.

Para a realização destas medições a antena emissora é ligada através dum cabo coaxial RG58, com 8,1 dB de atenuação, ao gerador de sinais. Os níveis de sinal de emissão utilizados foram os seguintes consoante o meio: uma potência de saída de 0 dBm para o meio sem obstáculos e meio urbano, de 14 dBm para a zona de troncos e de 19 dBm para a zona de folhagem. A antena receptora é ligada ao analisador de espectros através de um cabo coaxial RG213 com 3,4 dB de atenuação e o analisador foi ligado ao computador portátil de modo a ser utilizado o sistema desenvolvido para a medição da atenuação. A frequência de funcionamento de ambos os equipamentos (emissor e receptor) foi de 2,414 GHz.

### 4.3 Locais das medições e resultados obtidos

As medições foram efectuadas em 4 diferentes meios, sendo estes: meio sem obstáculos, meio urbano, meio florestal ao nível dos troncos e meio florestal ao nível da folhagem, de modo a, assim, analisar-se a variação da atenuação do sinal em locais com características diferentes.

No conjunto das medições efectuadas, nos diferentes meios, foram obtidos um total de 148 resultados, cada um deles com 30 pontos. Dado o grande número de gráficos obtidos, neste ponto apresentar-se-á apenas alguns gráficos representativos dos vários meios onde foram efectuadas as medições. De modo a poder observar-se algumas diferenças existentes entre cada meio, será representado o resultado da atenuação quando utilizadas as combinações monopolo – monopolo, monopolo – grelha e grelha – grelha, sendo que os resultados das restantes combinações são apresentados no Anexo F.

Os gráficos compilados dos valores medidos representam apenas a atenuação do sinal com a distância em relação à antena de ganho unitário, ou seja, onde já são descontados os ganhos efectivos das respectivas antenas, assim como os efeitos de atenuação dos cabos e a potência transmitida.

### 4.3.1 Meio sem obstáculos

O local escolhido para a realização das medições num meio sem obstáculos tem a característica de não possuir qualquer tipo de objecto que obstrua o sinal entre as antenas emissora e receptora, no entanto, dado que o mastro que suporta a antena emissora foi colocado ao pé de uma viatura, existirá uma reflexão causada por esta além da reflexão no solo. Na Figura 4.7 pode ser observada uma foto do local escolhido e na Figura 4.8 a respectiva localização obtida através do *Google Maps*.



Figura 4.7 - Local das medições no meio sem obstáculos.



Figura 4.8 - Local das medições no meio sem obstáculos (imagem obtida através do *Google Maps*).

Os resultados obtidos da atenuação do sinal no meio sem obstáculos quando utilizada a combinação de antenas monopolo – monopolo estão representados na Figura 4.9 para as três orientações referidas anteriormente para a antena receptora.

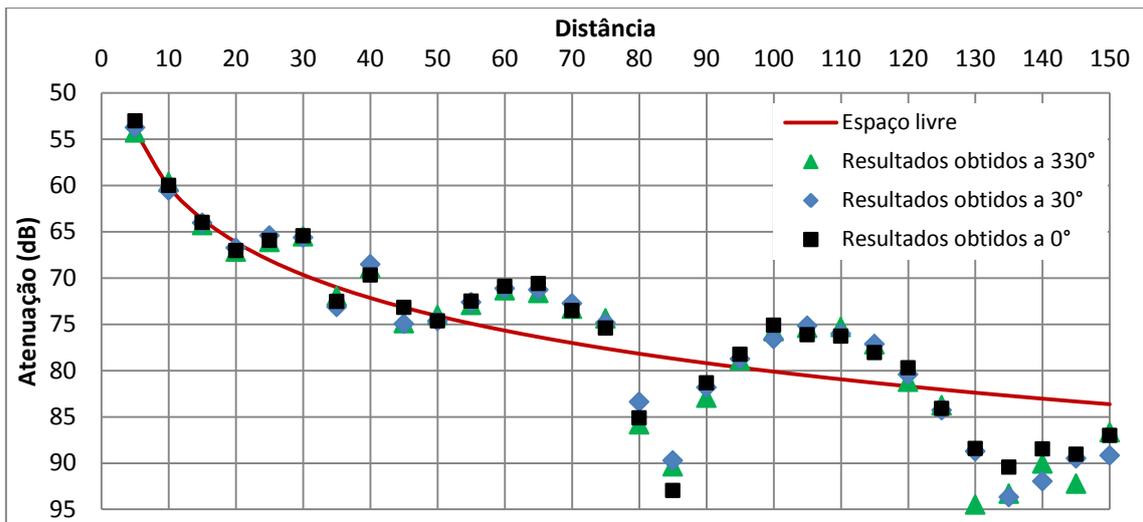


Figura 4.9 – Medições com a combinação de antenas monopolo – monopolo para os 3 ângulos medidos no meio sem obstrução.

Ao analisar o gráfico da Figura 4.9 pode-se observar que os resultados obtidos para os diferentes ângulos são muito semelhantes, como era de esperar devido às antenas serem omnidireccionais. Nota-se que os valores até os 20 metros acompanham a curva do espaço livre, sendo que a partir desse valor a atenuação começa a variar devido à reflexão no solo. Ainda, é de referir que, além desta reflexão, pode existir uma reflexão causada pela presença da viatura que suporta o mastro da antena emissora.

Ao contrário do que acontece com antenas omnidireccionais, na Figura 4.10 observa-se que a atenuação do sinal para os ângulos de 30° e 330°, quando utilizadas antenas directivas na recepção, apresentam uma maior atenuação, isto porque se está a considerar o ganho máximo da antena e não o ganho nos respectivos ângulos uma vez que, na medição do diagrama de radiação, este está sujeito a erros mais elevados. No entanto, pode-se observar pela Figura 4.5 (c) que o ganho da antena grelha para os ângulos em questão é aproximadamente 12 dB inferior ao ganho máximo da antena, o que corresponde à diferença existente entre os resultados da atenuação a 0° e 30/330°.

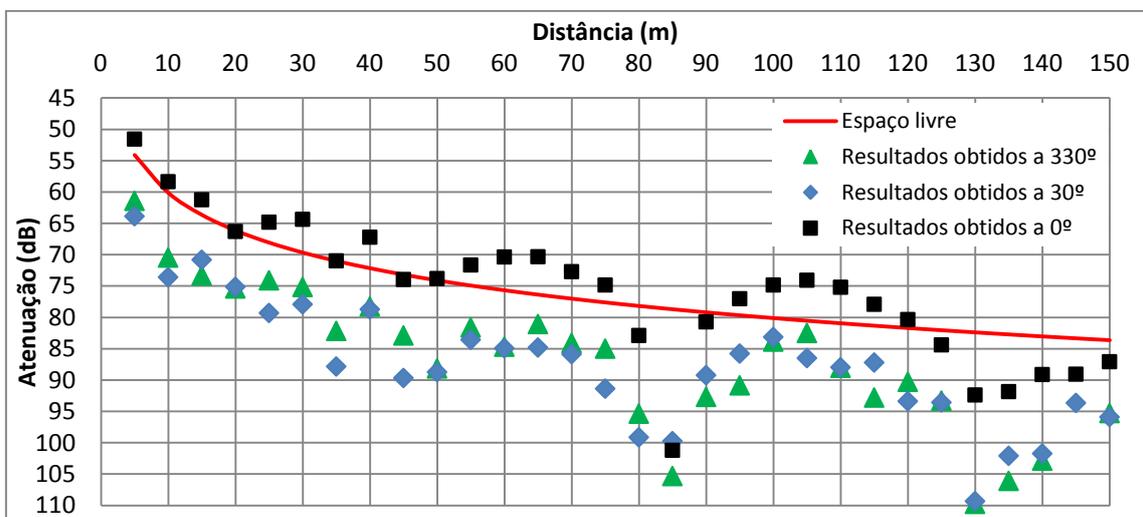


Figura 4.10 - Medições com a combinação de antenas monopolo – grelha para os 3 ângulos medidos no meio sem obstáculos.

Na Figura 4.11 é apresentado o resultado para a combinação grelha – grelha. Ao comparar este resultado com os obtidos quando a antena monopolo se encontra a emitir, observa-se que, nesta situação, os resultados acompanham a curva do espaço livre até os 40 metros. Isto deve-se ao facto da antena grelha ser mais directiva, ou seja, concentra mais a sua energia numa dada direcção, evitando, assim, mais as reflexões no solo até uma determinada distância.

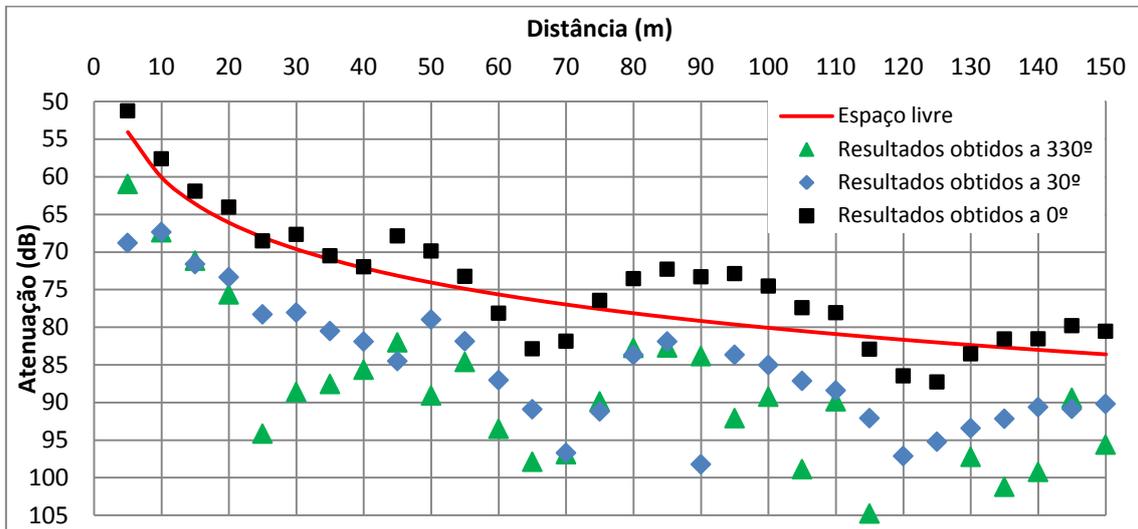


Figura 4.11- Medições com a combinação de antenas grelha – grelha para os 3 ângulos medidos no meio sem obstrução.

Observa-se que os resultados obtidos a 30° encontram-se aproximadamente 12 dB abaixo dos resultados obtidos a 0°, o que, mais uma vez, corresponde à diferença do ganho existente entre os ângulos em questão. Verifica-se que a atenuação para os 330° é semelhante à anterior uma vez que alguns pontos acompanham os valores a 30°. No entanto, nota-se uma maior variação do nível do sinal, podendo esta estar relacionada com a reflexão causada pela viatura presente no local das medições, ou por pequenos desajustes no posicionamento da antena, uma vez que pequenas variações no ângulo de posicionamento, faz alterar o ganho da mesma de forma significativa.

De modo a observar-se o comportamento do ganho da antena, a Figura 4.12 apresenta o resultado do desvio do ganho em cada ponto para as diferentes combinações de antenas receptoras, na direcção de máxima radiação, quando a antena monopolo se encontra na emissão. Nesta, é possível observar que o desvio do ganho para as diferentes antenas receptoras apresenta aproximadamente o mesmo comportamento, existindo oscilações em torno dos 0 dB, tal como era esperado devido às reflexões causadas no solo.

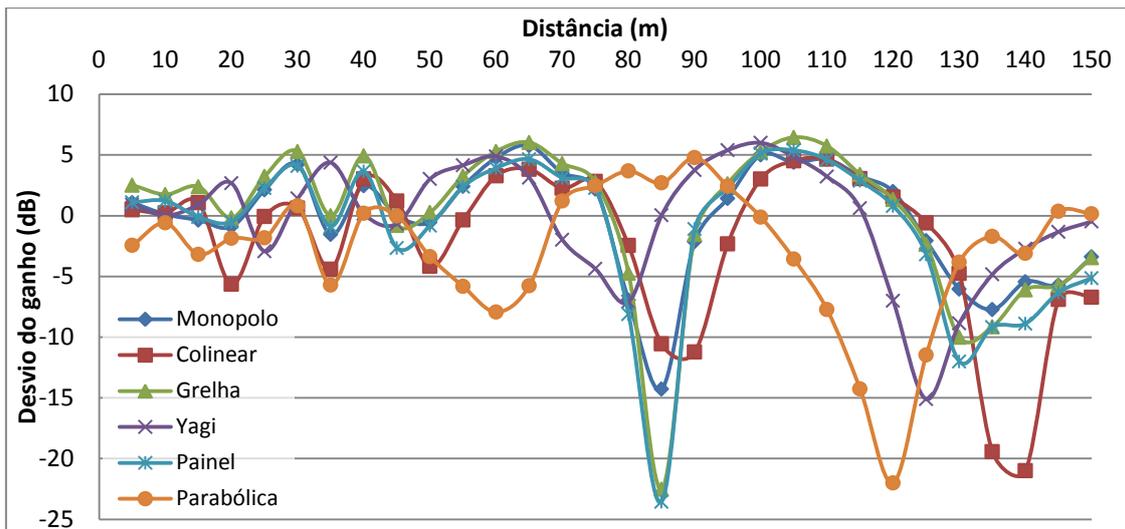


Figura 4.12- Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio sem obstáculos.

Os resultados para as restantes antenas utilizadas na emissão são apresentados no Anexo G.

#### 4.3.2 Meio urbano

As medições no meio urbano foram efectuadas num local que apresenta vários tipos de objectos que caracterizam este tipo de zona, tais como, prédios, árvores, carros, entre outros. Na Figura 4.13 pode ser observado uma foto do local escolhido e na Figura 4.14 a respectiva localização obtida através do *Google Maps*.



Figura 4.13 - Local das medições no meio urbano.



Figura 4.14 - Local das medições no meio urbano (imagem obtida através do Google Maps).

O resultado da atenuação do sinal no meio urbano para a combinação monopolo – monopolo, monopolo – grelha e grelha - grelha são apresentados na Figura 4.15, Figura 4.16 e Figura 4.17, respectivamente.

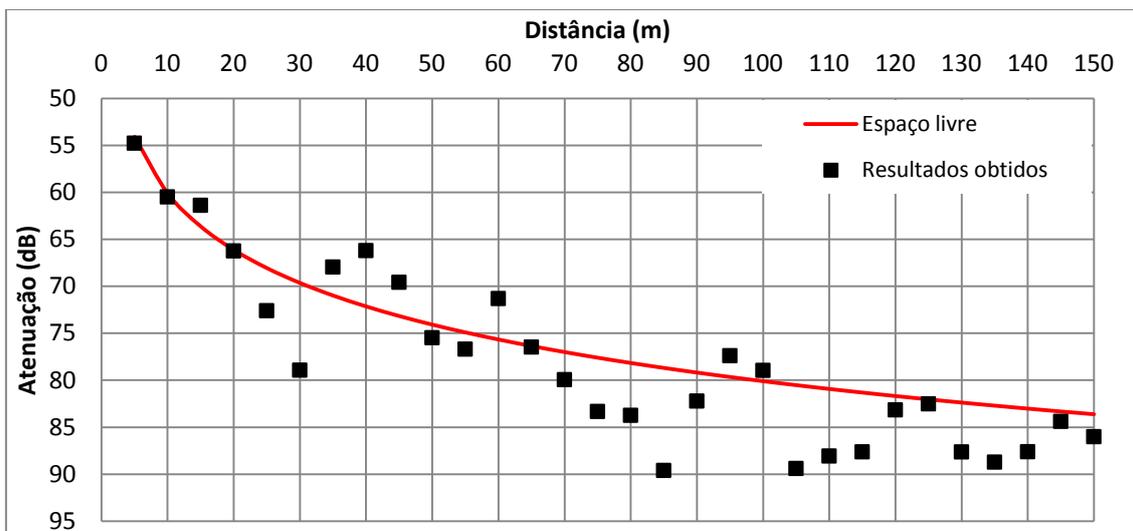


Figura 4.15 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio urbano.

Comparando-se os resultados obtidos observa-se que existe uma maior oscilação nos resultados obtidos com a utilização de antenas omnidireccionais na emissão, devido às antenas radiarem de igual forma em todas as direcções, causando assim mais reflexões no meio envolvente. Esta variação é mais significativa quando na recepção também são usadas antenas omnidireccionais, dado que, da mesma forma que radiam em todas as direcções, também captam o sinal vindo de qualquer direcção.

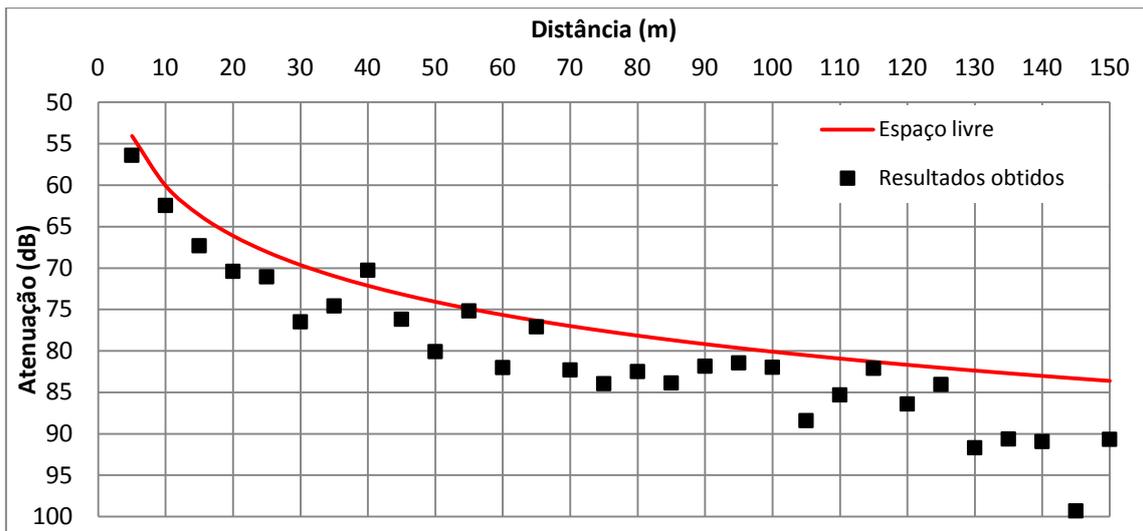


Figura 4.16 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio urbano.

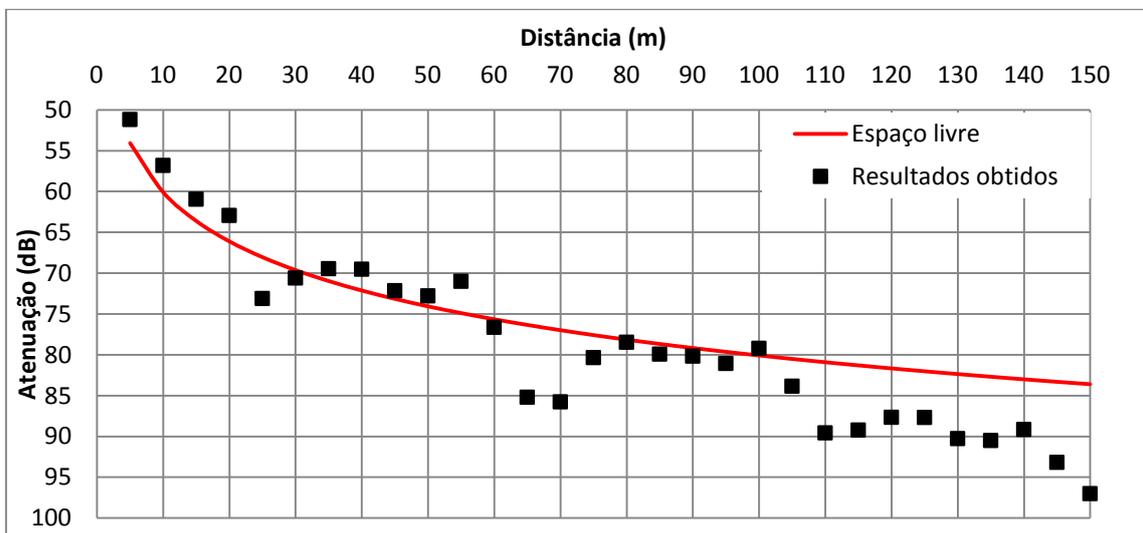


Figura 4.17 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio urbano.

Pelo contrário, tal como tinha sido referido no meio sem obstáculos, verifica-se que quando são utilizadas antenas directivas na emissão, existe menos oscilação nos resultados obtidos, devido a estas concentrarem a sua radiação numa dada direcção.

Na Figura 4.18 apresenta-se o comportamento do desvio do ganho das antenas receptoras quando na emissão é colocada a antena monopolo. É possível observar que, ao contrário do que acontece no meio sem obstáculos, os resultados apresentam uma grande variação, sendo esta causada pela grande diversidade de objectos existentes no meio que alteram a propagação do sinal.

Os restantes resultados do desvio do ganho para o meio urbano são apresentados no Anexo H.

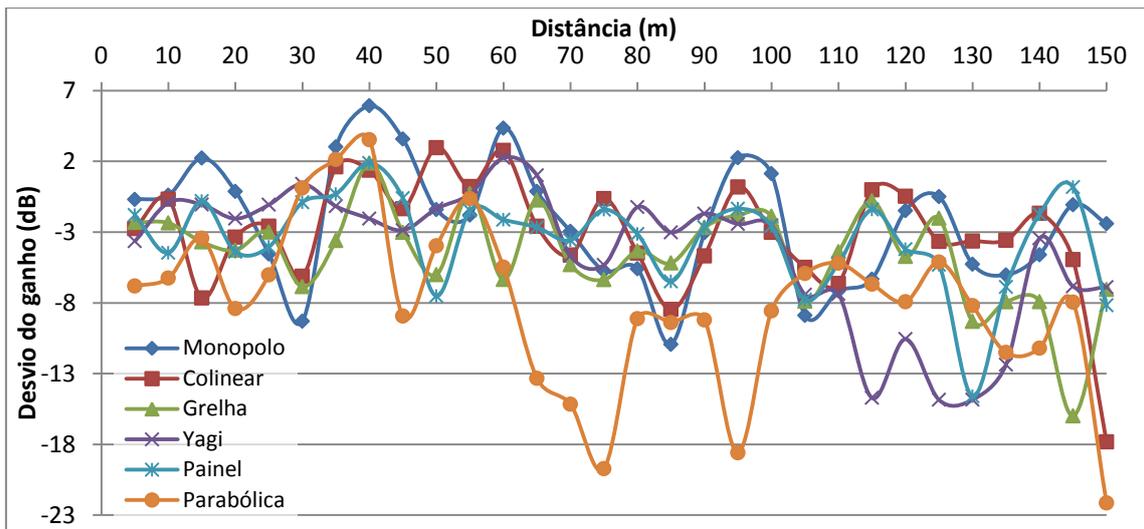


Figura 4.18 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio urbano.

### 4.3.3 Meio florestal ao nível dos troncos

As medições para um meio florestal em que o percurso de propagação ocorre, essencialmente, ao nível de troncos foram realizadas numa zona de pinheiros, com aproximadamente 29 cm de diâmetro e 0,14 árvores por metro quadrado. Na Figura 4.19 encontra-se uma foto do local em questão e na Figura 4.20 a sua localização (obtida através do *Google Maps*).

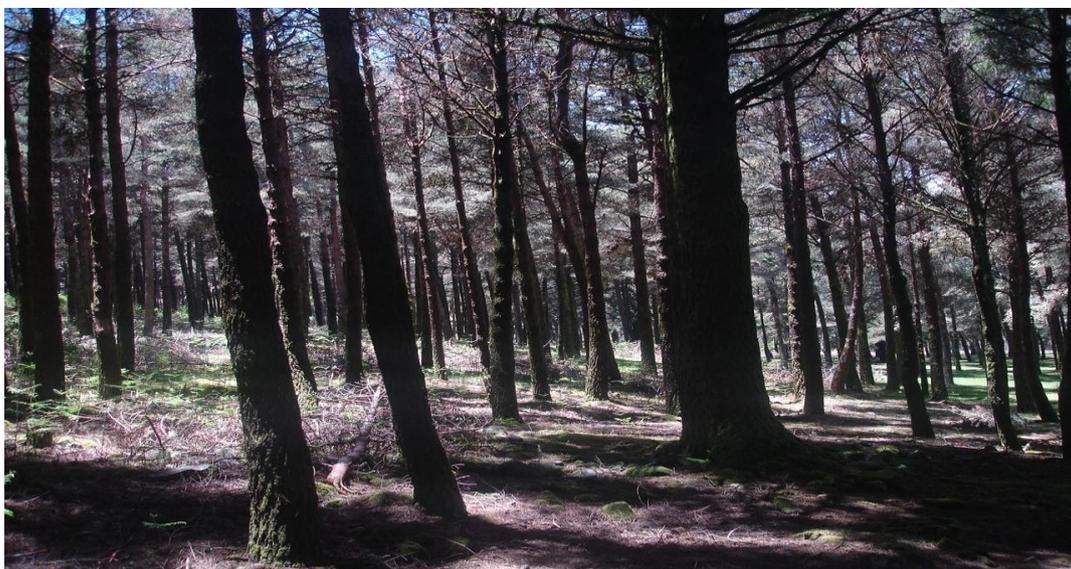


Figura 4.19 - Local das medições na zona de troncos.



Figura 4.20 - Local das medições na zona de troncos (imagem obtida através do Google Maps).

Neste conjunto de medições foi incorporada mais uma antena directiva com um ganho de 17,5 dBi de modo a comparar-se com os resultados das antenas mais directivas. A antena utilizada foi um agrupamento de 64 antenas S-P (*Shorted-Patch*) dobradas, desenvolvido por Gouveia [38].

Os resultados da atenuação do sinal para as combinações monopolo – monopolo, monopolo – grelha e grelha – grelha são apresentados na Figura 4.21, Figura 4.22 e Figura 4.23, respectivamente.

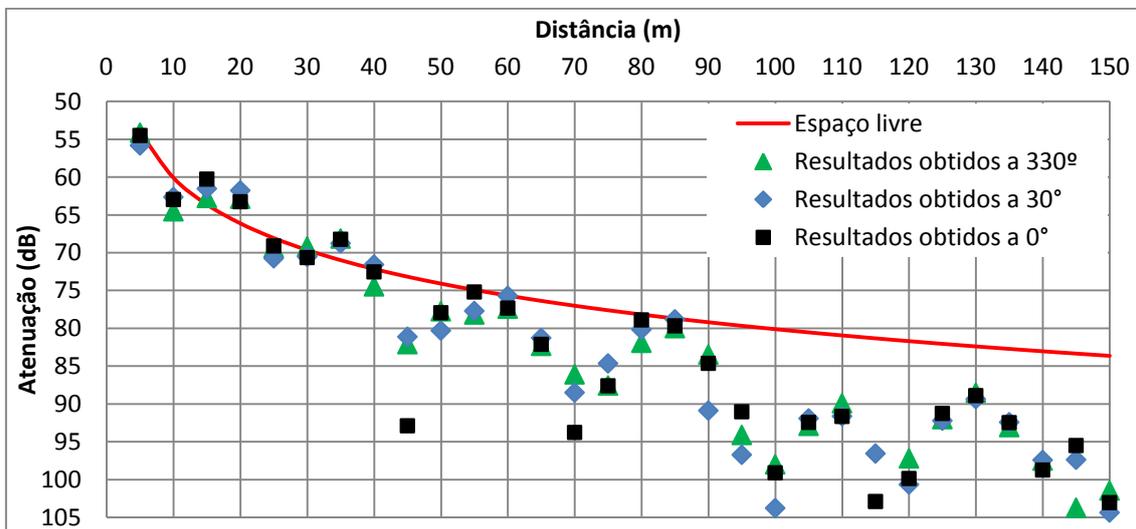


Figura 4.21 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio florestal (troncos).

Mais uma vez, é possível observar que, com a utilização de antenas omnidireccionais na recepção, os dados obtidos para os distintos ângulos são semelhantes. No entanto, neste meio já se verifica variações mais significativas comparativamente ao meio sem obstáculos.

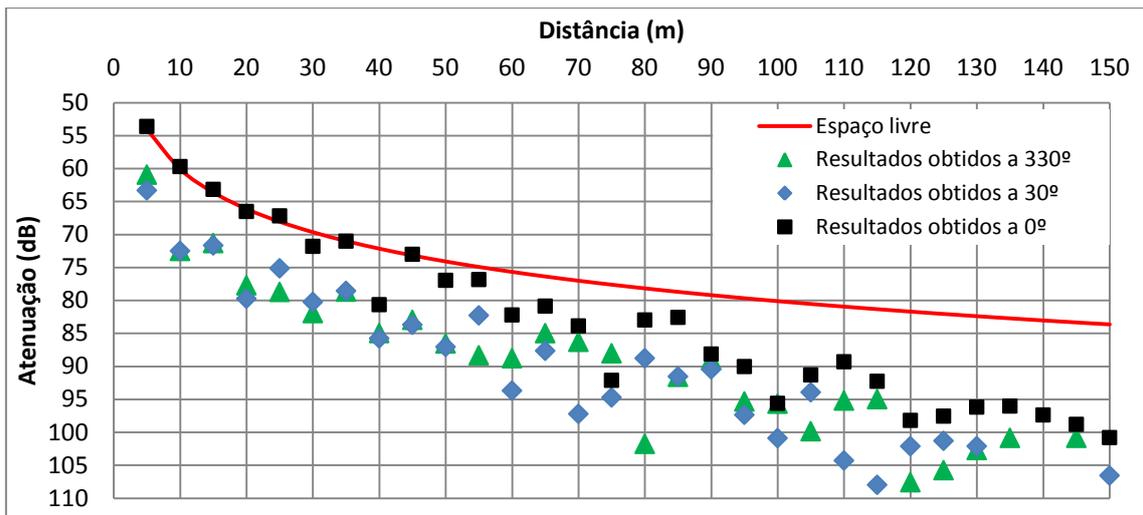


Figura 4.22 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio florestal (troncos).

Ao comparar os resultados da Figura 4.22 com os da Figura 4.23 nota-se que a atenuação existente nos primeiros 40 metros para os diferentes ângulos medidos é semelhante e a diferença da atenuação entre os 0° e 30/330° é de aproximadamente 12 dB. A partir desta distância observa-se uma grande oscilação dos dados obtidos, sendo que a diferença entre os diferentes ângulos já não é tão significativa comparativamente à diferença do ganho, devido às reflexões existentes.

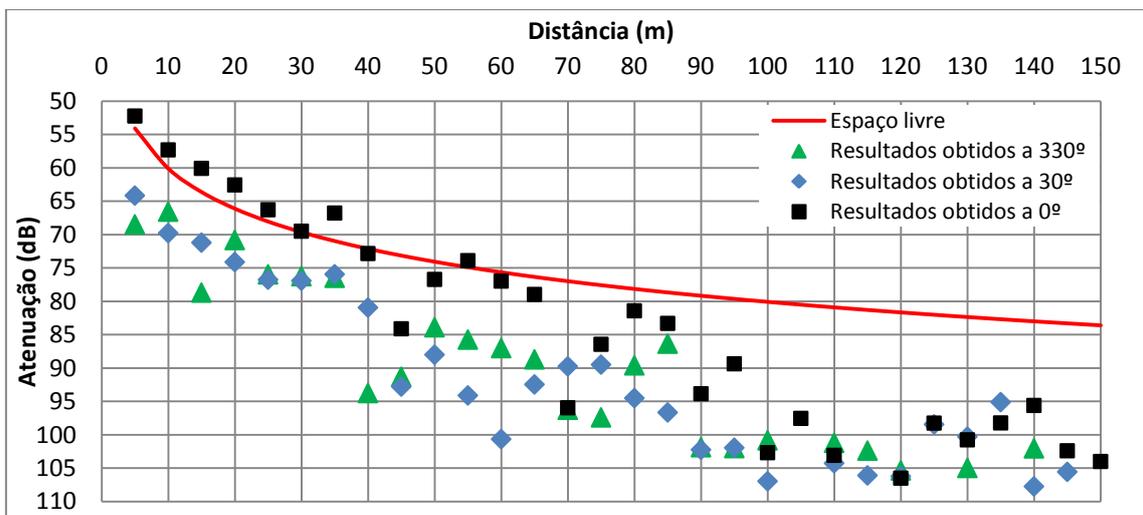


Figura 4.23 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio florestal (troncos).

As diferenças encontradas para os diferentes ângulos são causadas, mais uma vez, pelo posicionamento da antena e devido às reflexões existentes no meio. Ter em atenção que o efeito das reflexões é maior uma vez que o percurso que liga a antena emissora à receptora está obstruído pelos troncos.

Na Figura 4.24 encontra-se o resultado do desvio do ganho para as antenas receptoras, na direcção de máxima radiação, quando utilizada a antena monopolo na emissão. Nesta situação, e ao contrário do que acontece nos meios sem obstáculos e urbano, verifica-se que o desvio do ganho tende em aumentar com a distância, uma vez que o percurso que liga as antenas (emissora e receptora) fica mais obstruído por troncos.

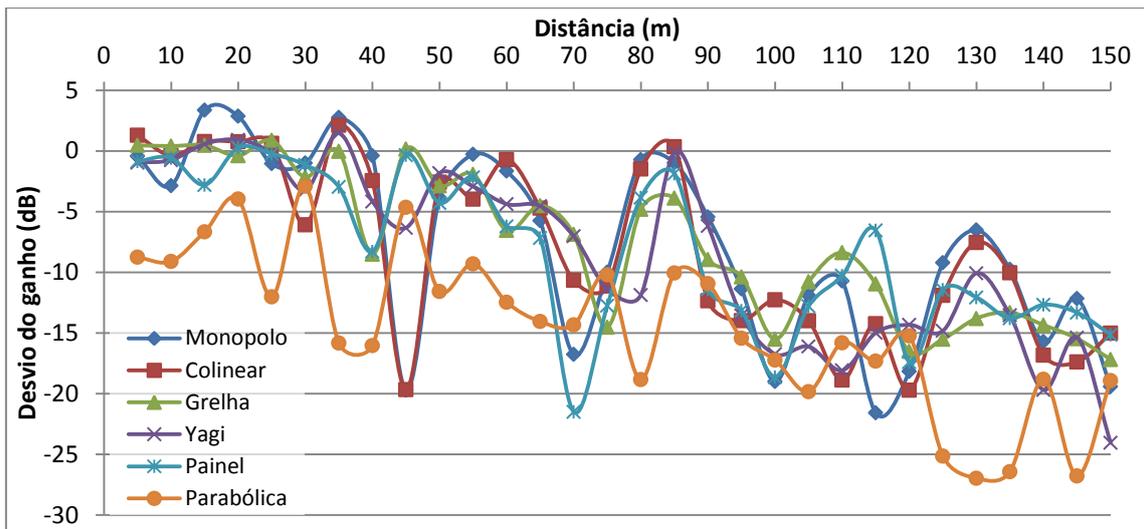


Figura 4.24 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio florestal (troncos).

Os restantes resultados do desvio do ganho para o meio florestal ao nível dos troncos encontram-se no Anexo I.

#### 4.3.4 Meio florestal ao nível da folhagem

Em relação às medições realizadas num meio florestal ao nível da folhagem, foi considerado um meio com vários tipos de árvores com folhagem, com aproximadamente 38 cm de diâmetro e 0,065 árvores por metro quadrado. O local das medições é apresentado na Figura 4.25 e a respectiva localização obtida através do *Google Maps* na Figura 4.26.



Figura 4.25 - Local das medições na zona de folhagem.



Figura 4.26 - Local das medições na zona de folhagem (imagem obtida através do Google Maps).

Na Figura 4.27, Figura 4.28 e Figura 4.29 são apresentados os resultados obtidos da atenuação do sinal no meio considerado para as combinações monopolo – monopolo, monopolo – grelha e grelha – grelha, respectivamente.

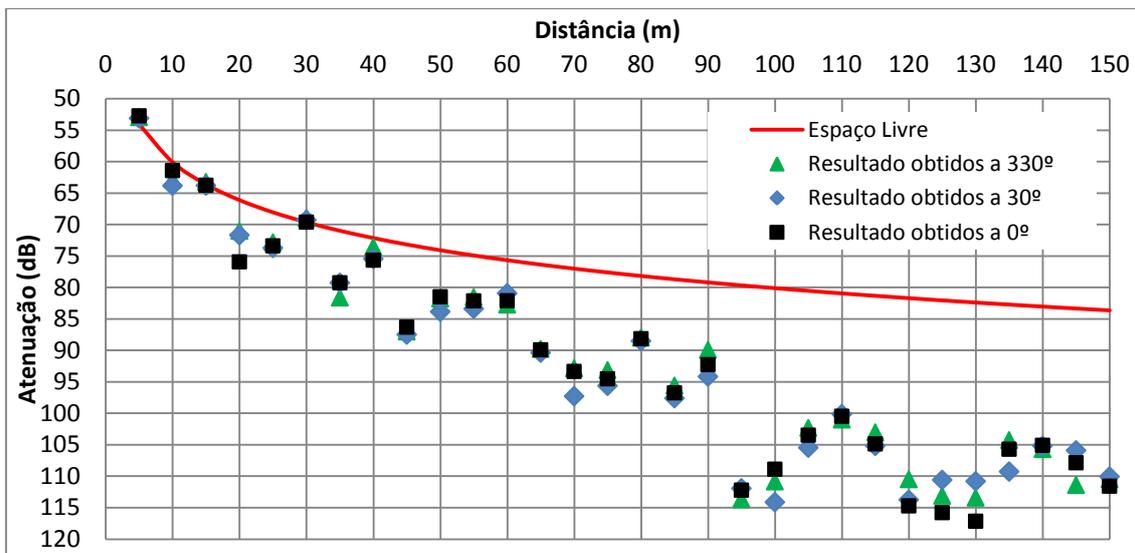


Figura 4.27 - Medições com a combinação de antenas monopolo - monopolo no meio florestal (folhagem).

Analisando os resultados da Figura 4.27, observa-se, novamente, a semelhança existente na atenuação do sinal para os diferentes ângulos medidos com as antenas omnidireccionais. No entanto, comparando estes resultados com os restantes meios, observa-se um aumento na atenuação, uma vez que se está perante um meio com vegetação mais densa.

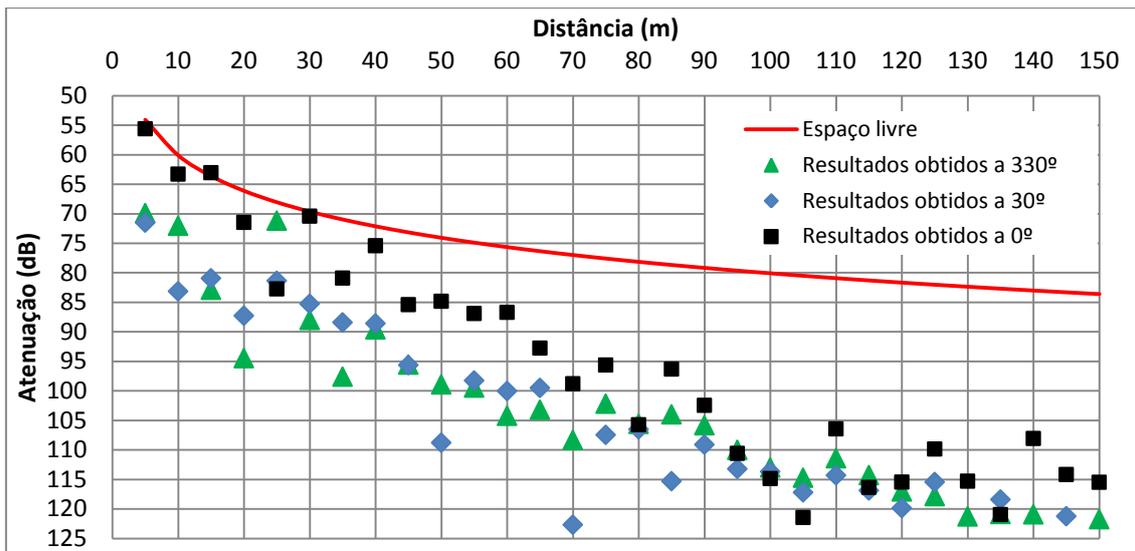


Figura 4.28 - Medições com a combinação de antenas monopolo - grelha no meio florestal (folhagem).

Quando as antenas omnidireccionais estão a emitir verifica-se que a atenuação acompanha a curva do espaço livre até cerca dos 15 metros, sendo que, a partir deste ponto, a atenuação varia mais significativamente.

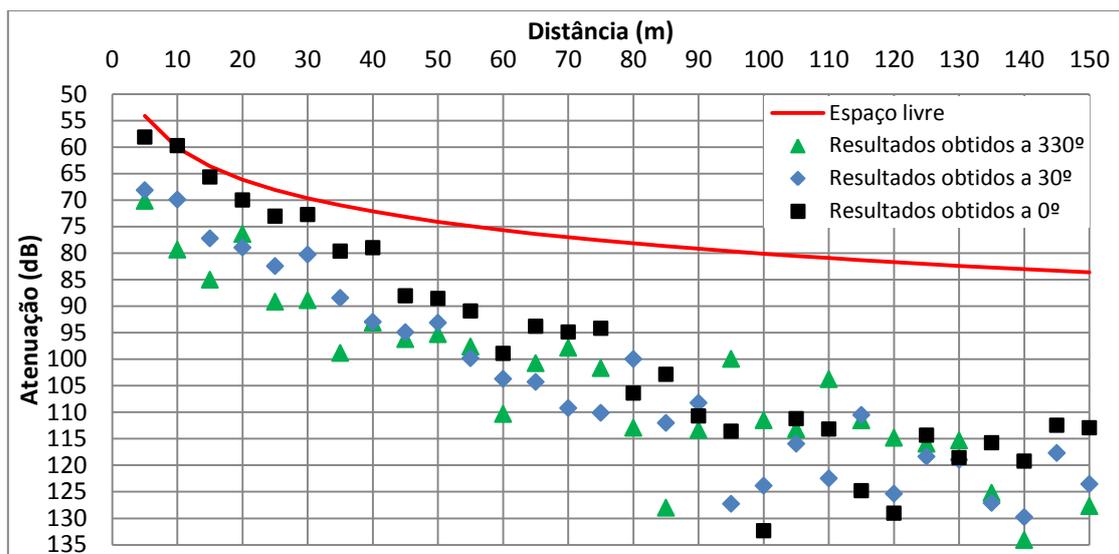


Figura 4.29 - Medições com a combinação de antenas grelha - grelha no meio florestal (folhagem).

Para a combinação grelha - grelha verifica-se uma maior variação do sinal recebido para longas distâncias da antena emissora. Nota-se, ainda, uma maior diferença entre os resultados obtidos para as três direcções, tendo em atenção o tipo de meio em causa, sendo que nos metros iniciais a diferença é próxima da diferença do ganho dos respectivos ângulos. No entanto, para distâncias superiores essa diferença é mínima, devido a receber-se sinal proveniente das reflexões com a mesma intensidade do que da direcção que liga a antena emissora e receptora.

Na Figura 4.30 apresenta-se o desvio do ganho para as antenas receptoras na direcção de máxima radiação, quando na emissão encontra-se a antena monopolo. Tal como acontece no meio florestal ao nível dos troncos, verifica-se que o desvio do ganho aumenta com a distância, devido ao aumento do número de árvores/folhas entre as antenas.

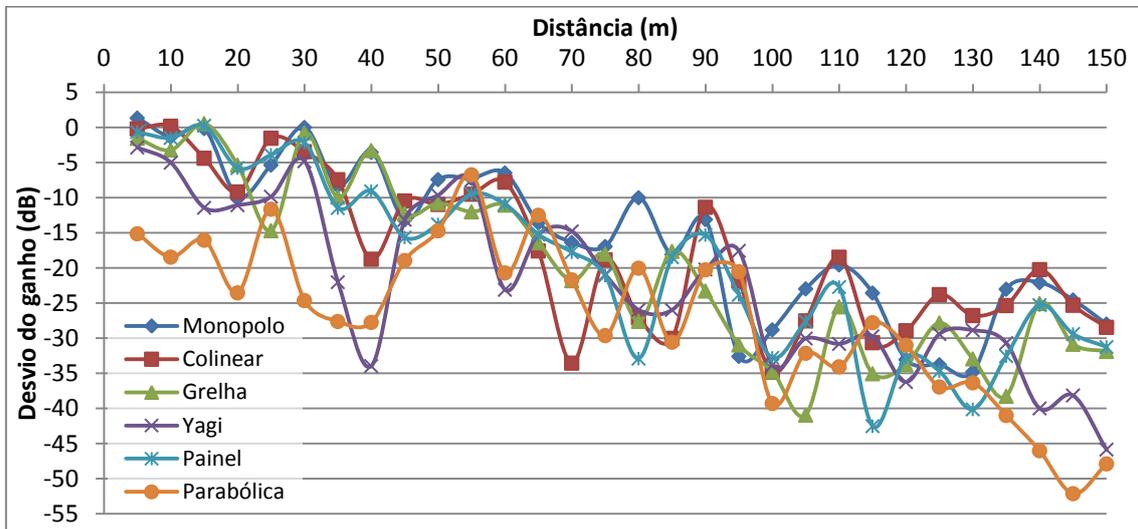


Figura 4.30 - Desvio do ganho obtido em cada ponto quando utilizada a antena monopolo na emissão no meio florestal (folhagem).

Os restantes resultados do desvio do ganho para este meio são representados no Anexo J.

#### 4.4 Comparação com os modelos conhecidos

Para a análise dos resultados, que será apresentada no próximo capítulo, é importante escolher um modelo que possa ajudar no estudo a realizar. Desta forma, nesta secção são apresentadas comparações entre alguns resultados obtidos, para as medições realizadas nos vários meios considerados, com os resultados dos modelos conhecidos da bibliografia.

Uma vez que se verifica uma grande diferença para os dados obtidos para os diferentes ângulos, apenas será apresentado a comparação de alguns resultados obtidos na direcção de máxima radiação.

O resultado obtido da atenuação do sinal no meio sem obstáculos, quando utilizada a combinação de antenas colinear – colinear, encontra-se apresentado na Figura 4.31. Nesta são apresentados os modelos característicos para este tipo de meio, nomeadamente os modelos do espaço livre (com e sem reflexão no solo), o modelo de Azevedo e Santos e o modelo log – normal. Ao comparar os resultados obtidos com os vários modelos apresentados, verifica-se que o modelo do espaço livre e o modelo log–normal são os que mais se aproximam da tendência dos resultados obtidos.

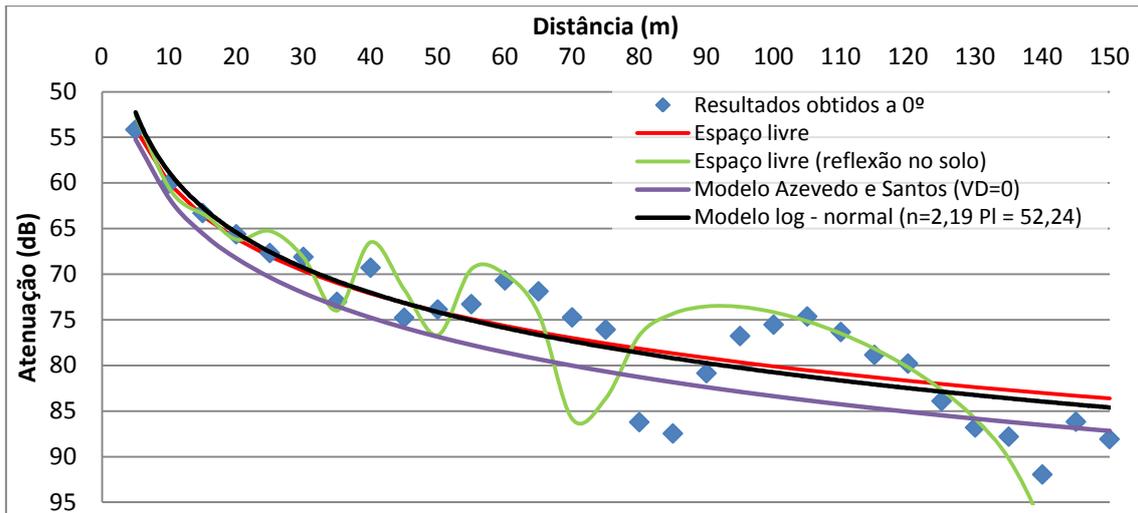


Figura 4.31 – Comparação entre as medições da combinação de antenas colinear - colinear e os modelos característicos para o meio sem obstáculos.

O resultado da atenuação do sinal para o meio urbano, quando utilizada a combinação colinear – painel, assim como a atenuação prevista pelos modelos referidos anteriormente para este tipo de meio são representados na Figura 4.32. Comparando os resultados obtidos com os que eram esperados pelos modelos de HATA e COST 231 pode-se observar que estes últimos apresentam um resultado muito pessimista em relação a atenuação do sinal neste tipo de meio. Esta grande divergência de resultados deve-se ao facto que estes modelos consideram a antena emissora colocada a alturas entre os 30 e 200 m e com prédios no percurso de propagação. Relativamente ao modelo log-normal, verifica-se que é o que mais se adequa aos resultados obtidos.

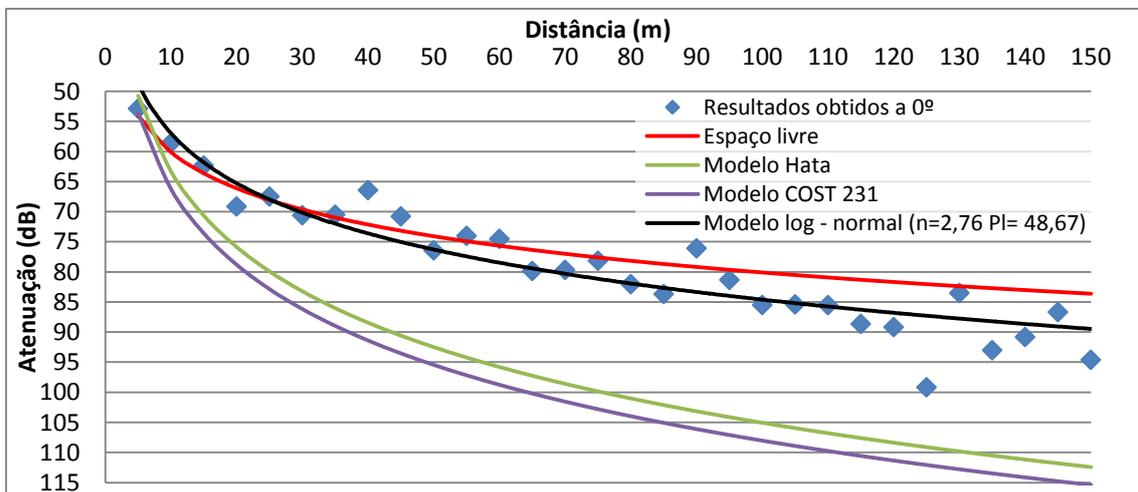


Figura 4.32 - Comparação entre as medições da combinação de antenas colinear - painel e os modelos existentes para o meio urbano.

Os resultados da atenuação do sinal para a combinação painel – colinear, no meio florestal ao nível dos troncos, assim como os diversos modelos existentes para este tipo de meio são apresentados na Figura 4.33. Verifica-se uma grande discrepância entre os resultados dos vários modelos, com o modelo log-normal a melhor adequar-se aos valores medidos. Para distâncias próximas da antena emissora os resultados acompanham a atenuação no espaço livre.

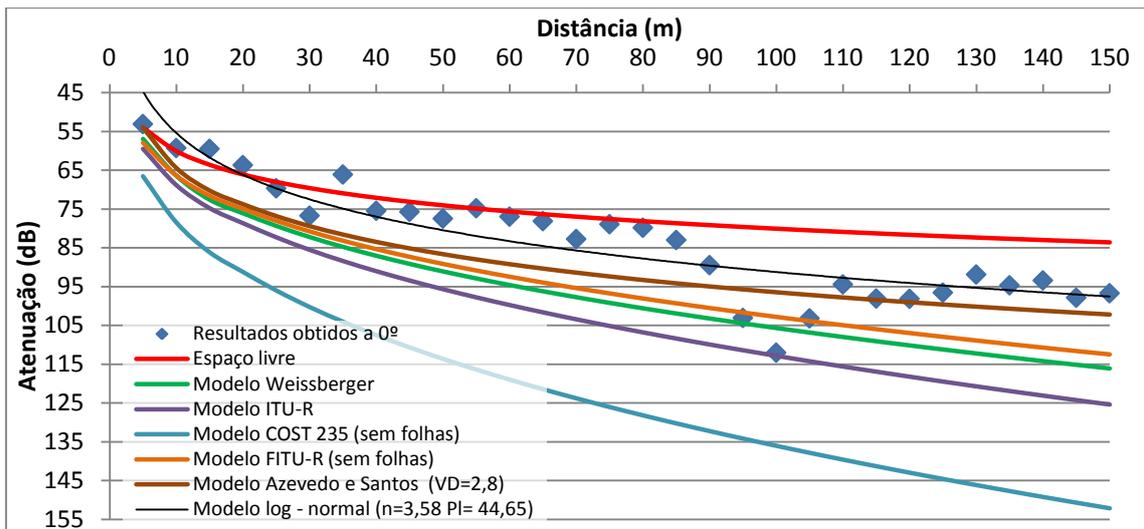


Figura 4.33 - Comparação entre as medições da combinação de antenas painel - colinear e os modelos existentes para a zona de troncos.

Na Figura 4.34 são apresentados os resultados obtidos da atenuação do sinal no meio florestal ao nível da folhagem para a combinação painel – painel. Pode-se observar que os valores medidos são inferiores à atenuação no espaço livre pelo facto de se estar perante um meio com grande atenuação. Verifica-se, ainda, que os modelos de Weissberger, ITU-R, FITU-R (com folhas) e log-normal são os que mais se aproximam aos resultados obtidos, com o ITU-R a aproximar melhor a atenuação para menores distâncias do emissor e o FITU-R a acompanhar a atenuação para maiores distâncias.

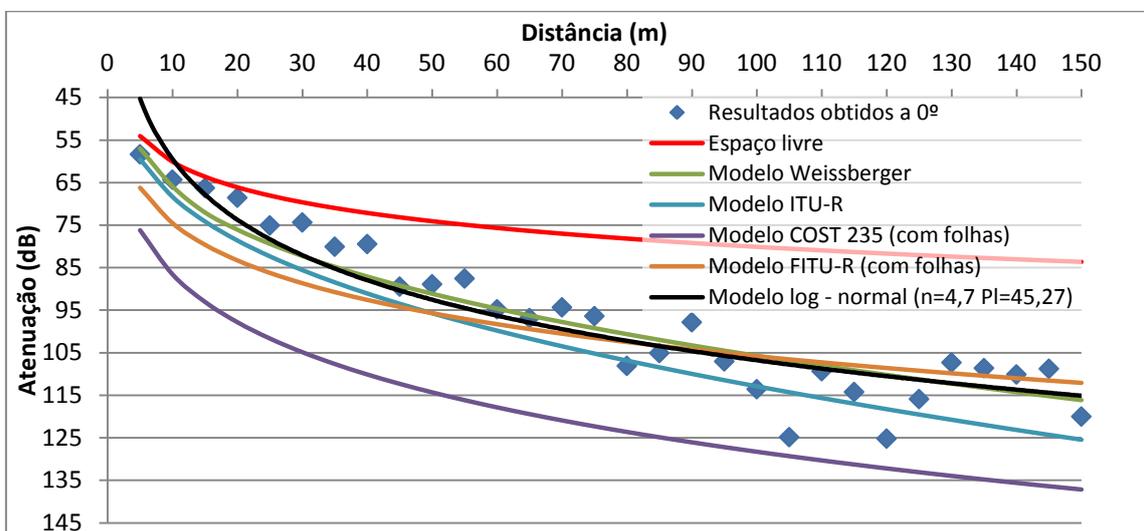


Figura 4.34 - Comparação entre as medições da combinação de antenas painel - painel e os modelos existentes para a zona de folhagem.

Desta abordagem, pode-se concluir que o modelo mais adequado para análise dos resultados é o log-normal, uma vez que os parâmetros utilizados pelo mesmo podem ser adequados a qualquer meio de propagação, aproximando-se, assim, dos resultados obtidos.

## 5. Análise de resultados

Neste ponto analisam-se os resultados obtidos das diversas medições registadas no capítulo 4. Em primeiro lugar, é apresentado o método de análise que será utilizado para os diferentes meios. Seguidamente mostra-se a análise realizada em cada meio e apresenta-se uma comparação entre os diversos meios analisados.

### 5.1 Método de análise

Para analisar os dados efectuaram-se três abordagens a cada meio. Ao manter as mesmas abordagens aos diferentes meios realça-se as diferenças existentes entre eles.

A primeira análise visa quantificar o desvio de ganho médio obtido para cada conjunto de antenas. Esta quantificação consiste em calcular a média da diferença existente entre os ganhos obtidos e os esperados (obtidos na secção 4.1.1) em cada ponto. O ganho médio do conjunto inclui os ganhos das antenas e a perda de percurso. Esta perda varia de forma significativa com a distância e o estudo aqui realizado pretende avaliar em que medida o seu valor é afectado pelo ganho das antenas.

A segunda análise consiste no cálculo dos parâmetro  $n$ ,  $PL(d_0 = 5m)$  e  $X_\sigma$  do modelo log-normal. Para tal, aos resultados obtidos aplicou-se uma linha de tendência logarítmica de modo a obter a expressão desta, sendo do tipo  $y = A \times \ln(x) + B$ . Deste modo, o parâmetro  $n$  é obtido através de

$$n = \frac{-A \times \ln(10)}{10} \quad (5.1)$$

$PL(d_0 = 5m)$  é obtido através de

$$PL(d_0 = 5m) = B - n \times 10 \times \log_{10}(5) \quad (5.2)$$

e  $X_\sigma$  é obtido através do desvio padrão da diferença entre os valores da linha de tendência e os resultados obtidos.

Na terceira abordagem analisou-se a dependência dos parâmetros do modelo log-normal em função da distância do último ponto medido, sendo, para isso, consideradas as distâncias de 75, 100, 125 e 150 metros.

No caso dos resultados registados para as posições de 30° e 330° limitou-se à análise do cálculo de desvio do ganho e dos parâmetros do modelo Log-normal.

## 5.2 Meio sem obstáculos

Nesta secção são apresentadas as análises efectuadas aos resultados obtidos no meio sem obstáculos para os diferentes ângulos medidos.

### 5.2.1 Análise na direcção de máxima radiação

#### Análise 1 – Desvio do ganho

Os resultados obtidos da análise do desvio do ganho são apresentados na Figura 5.1. Destes resultados pode-se observar que estes encontram-se, em geral, dentro do valor esperado (0 dB), existindo apenas pequenas variações para alguns conjuntos de antenas.

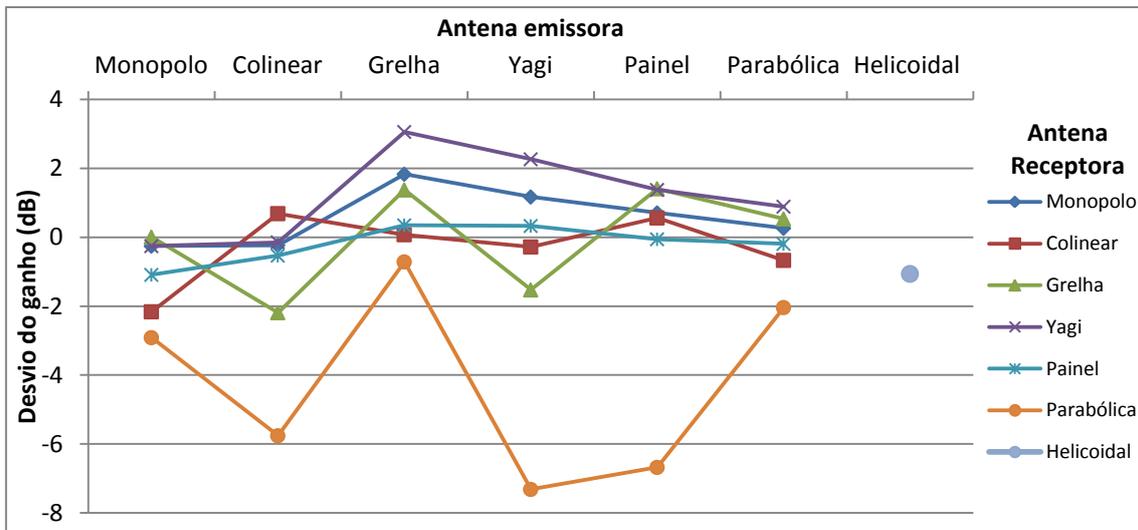


Figura 5.1 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio sem obstáculos.

Verifica-se uma grande variação quando a antena parabólica é utilizada na recepção. Esta situação deve-se ao facto da antena parabólica ser muito directiva, sendo que, para pequenas diferenças no ângulo de posicionamento, o ganho da mesma diminui de forma significativa, tal como pode ser observado na Figura 4.5 (h). No entanto, quando a antena parabólica é utilizada na emissão nota-se que, qualquer que seja a antena utilizada na recepção com a excepção da parabólica, não existem grandes diferenças, obtendo-se um desvio do ganho muito próximo ao esperado.

Observa-se, ainda, que as antenas omnidireccionais (monopolo e colinear) e a antena painel, quando se encontram a receber, são as que apresentam um resultado mais constante, apresentando pequenas variações no desvio do ganho.

#### Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

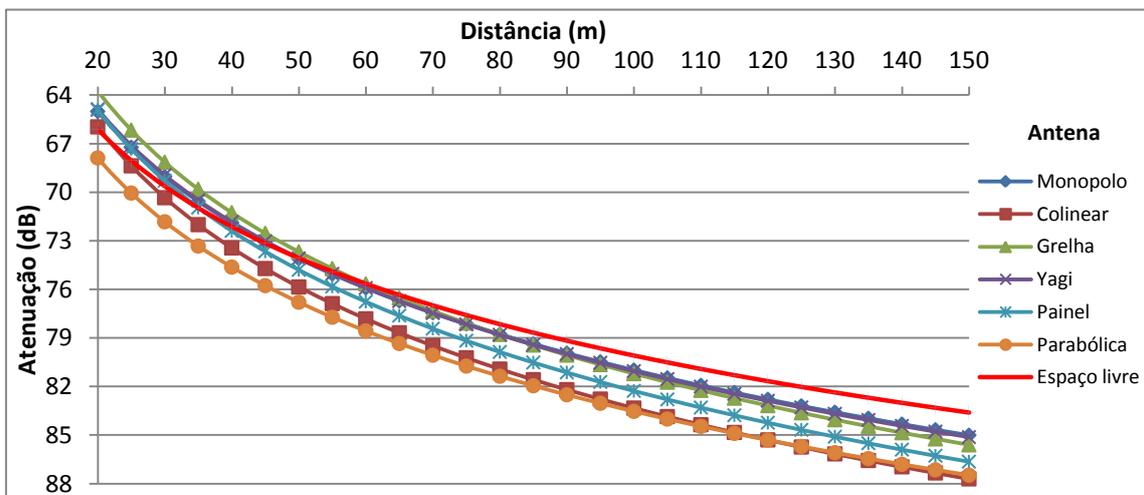
Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal encontram-se na Tabela 5.1, onde na primeira linha de cada célula é apresentado o factor de perda de percurso ( $n$ ), na segunda linha apresenta-se a atenuação a 5 metros ( $PL(d_0 = 5m)$ ) e na última linha apresenta-se a variância ( $X\sigma$ ).

Tabela 5.1 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio sem obstrução.

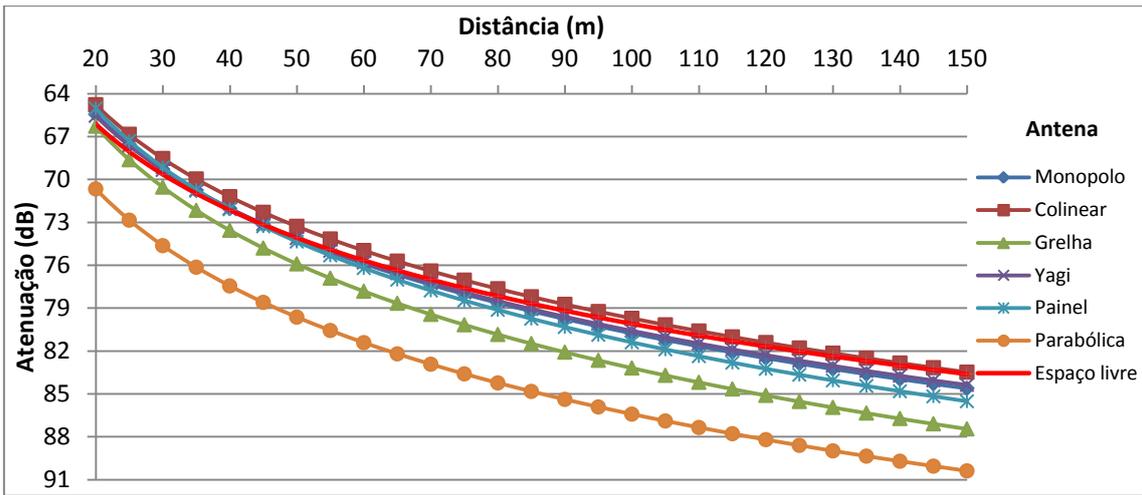
		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	2,29	2,19	1,97	2,10	2,09	1,98		
		51,25	52,24	52,53	51,81	52,35	54,01		
		4,52	3,95	4,02	4,91	4,05	4,67		
	Colinear	2,48	2,14	2,03	2,02	2,14	1,90		
		51,00	51,89	53,68	54,09	51,95	55,79		
		6,25	3,36	4,53	5,51	3,54	4,50		
	Grelha	2,50	2,42	2,07	2,08	2,14	1,69		
		48,70	51,70	51,91	54,72	51,14	56,87		
		5,89	4,78	3,52	4,48	4,03	5,16		
	Yagi	2,31	2,15	1,89	1,96	2,02	1,95		
		50,94	52,59	52,12	52,22	52,48	53,69		
		4,65	3,60	3,81	5,07	4,32	4,58		
	Painel	2,48	2,34	1,91	2,15	2,09	2,03		
		49,97	50,93	54,72	52,13	53,13	53,98		
		6,08	4,72	3,96	4,82	4,40	5,04		
	Parabólica	2,24	2,25	1,91	2,83	1,55	1,67		
		54,40	57,09	55,73	52,42	65,59	59,72		
		5,56	6,96	6,04	5,22	5,93	5,78		
	Helicoidal								1,75
									57,78
									5,33

Analisando os resultados da Tabela 5.1 observa-se que, no geral, os parâmetros obtidos vão de encontro com o esperado no espaço livre ( $n = 2$  e  $PL(d_0 = 5m) = 54$  dB). No entanto, existem algumas combinações que fogem a estes resultados.

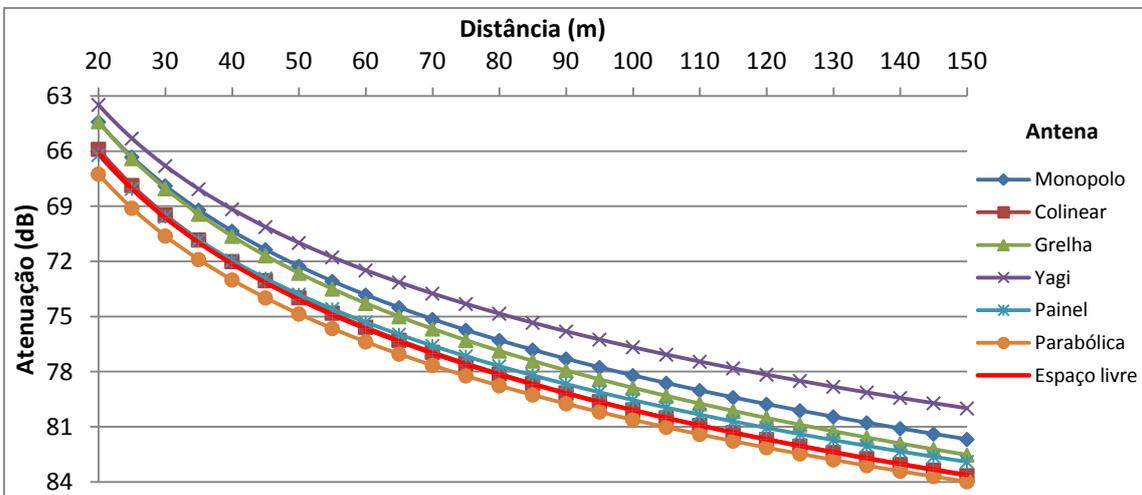
Com estes valores de forma isolada torna-se complicado analisarem-se as diferenças existentes para cada conjunto de antenas. Sendo assim, para uma melhor percepção, na Figura 5.2 apresentam-se as curvas de atenuação obtidas com estes parâmetros. Dado que os resultados obtidos para os primeiros 20 m acompanham muito bem a curva do espaço livre, os resultados são apresentados a partir desta distância até os 150 m.



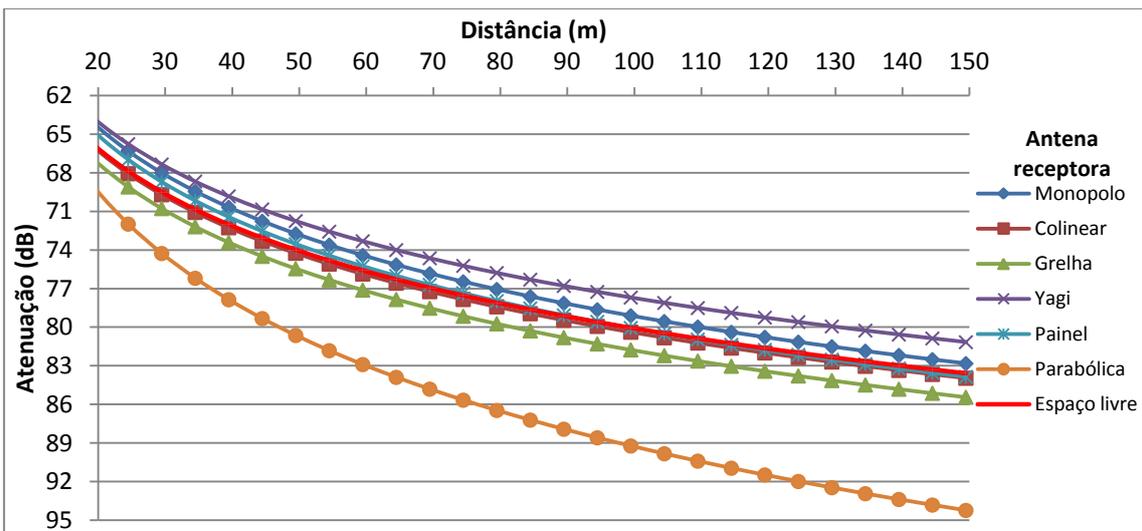
(a)



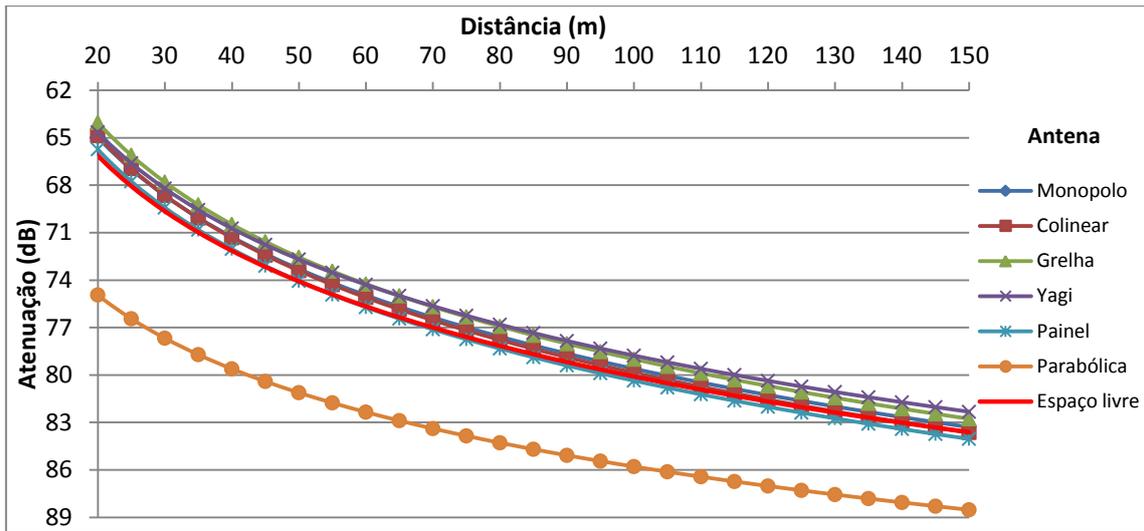
(b)



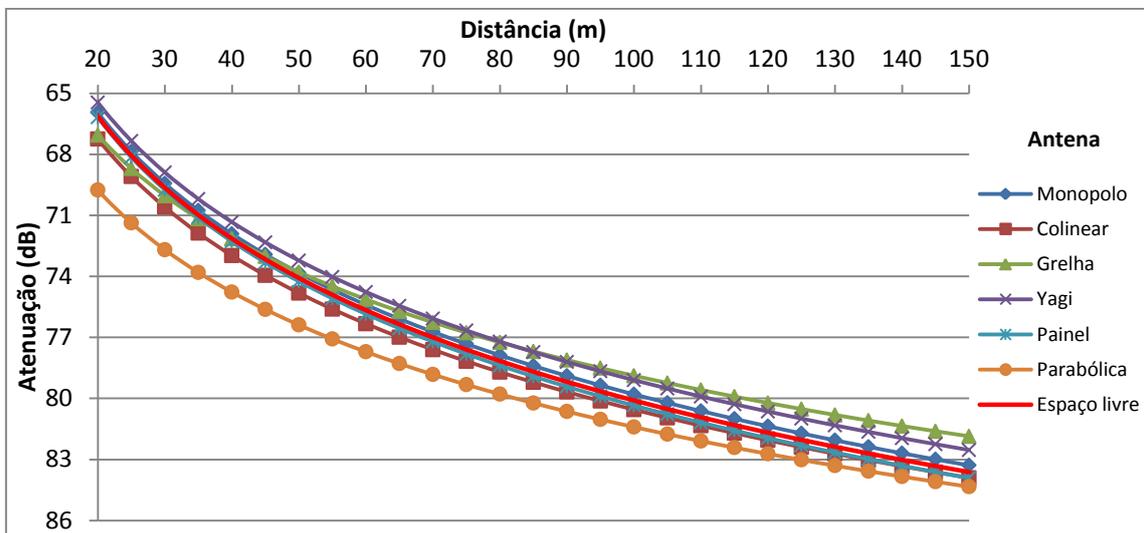
(c)



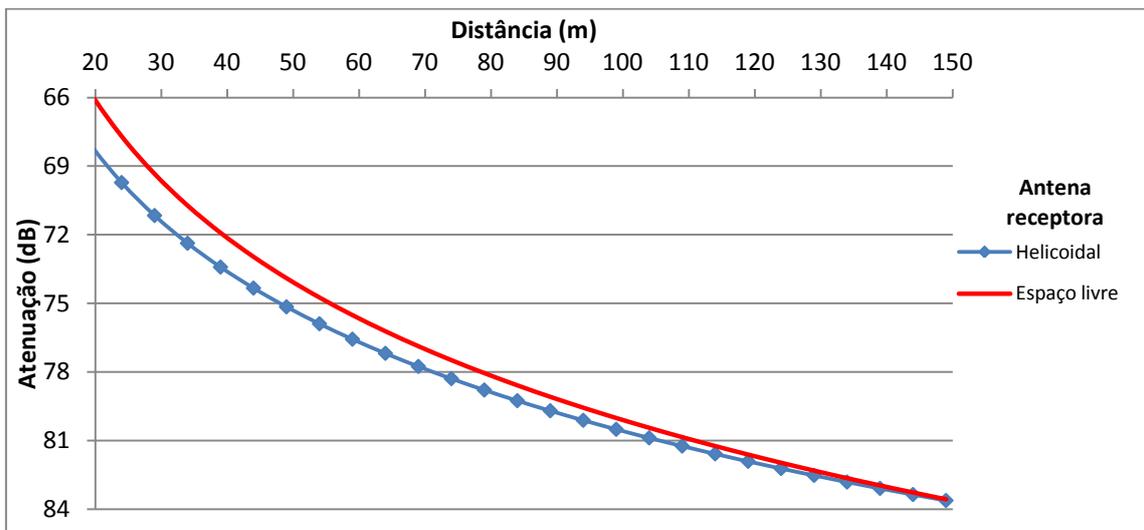
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 5.2 - Resultado obtido da atenuação no meio sem obstáculos quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal.

Ao analisar os gráficos da Figura 5.2 verifica-se que, geralmente, as combinações apresentam um decaimento muito próximo ao do espaço livre. Uma das que não segue essa tendência é a antena parabólica, que apresenta, na maior parte dos resultados, uma atenuação elevada. Ao contrário do que acontece quando se encontra a receção, esta antena apresenta resultados mais próximos do espaço livre quando é utilizada na emissão.

Também se pode observar que quando são utilizadas antenas omnidireccionais na emissão a atenuação de qualquer que seja a antena receptora tende a aumentar mais rapidamente, ao contrário do que acontece quando são utilizadas antenas directivas.

Relativamente a situação da antena com polarização circular (helicoidal), verifica-se que esta apresenta um comportamento semelhante ao da antena parabólica para algumas situações, ou seja, apresenta uma maior atenuação para menores distâncias e menor atenuação para longas distâncias.

Para finalizar esta análise pode-se referir que, no geral, os resultados obtidos vão ao encontro com o esperado neste tipo de meio, existindo apenas algumas variações que podem estar relacionadas com a presença da viatura no local onde foram efectuadas as medições ou com o posicionamento das antenas, uma vez que pequenas variações no ângulo de posicionamento altera o ganho da antena, sendo esta mais significativa para antenas directivas.

### **Análise 3 – Dependência dos parâmetros do modelo log-normal em função da distância**

Na Tabela 5.2 apresentam-se os parâmetros do modelo log-normal quando são consideradas diferentes distâncias máximas do último ponto de medição (75, 100, 125 e 150 m). Mais uma vez, os resultados são apresentados da seguinte forma: na primeira linha de cada célula encontra-se apresentado o factor de perda ( $n$ ), na segunda linha apresenta-se a atenuação a 5 metros ( $PL(d_0=5m)$ ) e na última linha encontra-se apresentado a variância ( $X\sigma$ ).

Ao analisar os resultados obtidos observa-se que existe uma variação dos parâmetros do modelo log-normal com a distância. Nota-se que, quando são utilizadas antenas omnidireccionais na emissão (antena monopolo e colinear), o factor de perda de percurso,  $n$ , diminui ao passar-se dos 75 para os 100 m, voltando a aumentar quando considera-se os 125 metros e novamente diminui quando considera-se os 150 m como o último ponto medido.

Tabela 5.2 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no espaço livre.

Antenas		Distância máxima				Antenas		Distância máxima			
Emissora	Receptora	75	100	125	150	Emissora	Receptora	75	100	125	150
Monopolo	Monopolo	1,71	2,12	1,99	2,29	Monopolo	Colinear	1,78	2,18	1,94	2,48
		54,75	52,56	53,40	51,25			-55,58	-53,36	-54,89	-51,00
	1,99	4,52	4,27	4,52	2,81		4,30	4,23	6,25		
Grelha	Grelha	1,83	2,33	2,15	2,50	Yagi	Yagi	1,98	1,92	2,18	2,31
		52,71	50,06	51,16	48,70			-53,18	-53,65	-51,90	-50,94
Painel	Painel	2,12	6,07	5,71	5,89	Parabólica	Parabólica	2,75	3,42	4,77	4,65
		1,82	2,29	2,11	2,48			2,06	1,70	2,40	2,24
Colinear	Monopolo	53,98	51,47	52,62	49,97	Colinear	Colinear	-55,86	-57,88	-53,27	-54,40
		2,09	6,23	5,84	6,08			3,03	3,35	5,94	5,56
	1,74	2,02	1,90	2,19	Colinear		Colinear	1,86	2,11	1,89	2,14
55,04	53,58	54,35	52,24	53,67		52,29		53,72	51,89		
Grelha	Grelha	1,75	3,59	3,52	3,95	Yagi	Yagi	1,54	2,90	3,04	3,36
		1,84	2,21	2,09	2,42			1,94	1,86	2,02	2,15
Painel	Painel	55,28	53,32	54,06	51,70	Parabólica	Parabólica	54,04	54,60	53,48	52,59
		2,05	4,59	4,43	4,78			2,41	3,15	3,76	3,60
Grelha	Monopolo	1,84	2,17	2,04	2,34	Grelha	Colinear	2,85	1,93	2,06	2,25
		53,96	52,26	53,05	50,93			54,16	59,38	58,46	57,09
	1,79	4,71	4,53	4,72	6,69		7,62	7,31	6,96		
Yagi	Monopolo	2,29	1,77	2,06	1,97	Yagi	Colinear	2,49	1,84	2,00	2,03
		50,87	53,84	51,86	52,53			51,24	54,98	53,88	53,68
	3,23	3,95	4,31	4,02	3,79		4,73	4,88	4,53		
Grelha	Grelha	2,40	1,90	2,11	2,07	Yagi	Yagi	2,07	1,66	2,04	1,89
		50,21	53,04	51,60	51,91			51,17	53,46	51,04	52,12
Painel	Painel	2,88	3,58	3,79	3,52	Parabólica	Parabólica	2,82	3,34	4,00	3,81
		2,17	1,64	1,96	1,91			2,45	1,70	2,06	1,91
Painel	Monopolo	53,42	56,43	54,30	54,72	Painel	Colinear	52,79	57,06	54,65	55,73
		3,16	3,88	4,28	3,96			5,37	6,09	6,50	6,04
	2,26	1,80	2,25	2,10	Colinear		Colinear	2,48	1,84	2,05	2,02
51,15	53,61	50,79	51,81	51,77		55,28		53,88	54,09		
Yagi	Grelha	3,79	4,10	5,25	4,91	Yagi	Yagi	5,56	5,91	6,00	5,51
		2,37	1,84	2,12	2,08			2,08	1,67	2,13	1,96
Painel	Painel	53,36	56,26	54,44	54,72	Parabólica	Parabólica	51,76	53,85	51,10	52,22
		3,80	4,36	4,84	4,48			3,83	4,20	5,35	5,07
Painel	Monopolo	2,48	1,91	2,24	2,15	Painel	Colinear	2,68	2,26	2,74	2,83
		50,53	53,65	51,49	52,13			53,98	56,20	53,08	52,42
	4,01	4,62	5,20	4,82	3,33		4,31	5,55	5,22		
Painel	Monopolo	2,31	1,84	2,08	2,09	Painel	Colinear	2,31	1,93	2,10	2,14
		51,36	54,09	52,45	52,35			51,19	53,42	52,22	51,95
	3,40	3,90	4,38	4,05	2,90		3,37	3,77	3,54		
Grelha	Grelha	2,36	1,91	2,10	2,14	Yagi	Yagi	2,25	1,80	2,17	2,02
		50,12	52,71	51,43	51,14			51,33	53,80	51,40	52,48
Painel	Painel	3,56	4,00	4,35	4,03	Parabólica	Parabólica	3,48	3,96	4,55	4,32
		2,39	1,86	2,09	2,09			1,87	1,25	1,55	1,55
Parabólica	Monopolo	51,64	54,68	53,13	53,13	Parabólica	Colinear	64,10	67,63	65,60	65,59
		3,96	4,46	4,77	4,40			5,89	6,04	6,33	5,93
	2,20	1,66	2,11	1,98	Yagi		Yagi	2,19	1,61	2,03	1,90
52,99	56,02	53,04	54,01	54,35		57,65		54,90	55,79		
Grelha	Grelha	3,20	3,93	5,01	4,67	Parabólica	Parabólica	2,73	3,86	4,83	4,50
		1,80	1,28	1,73	1,69			2,09	1,69	2,15	1,95
Painel	Painel	56,63	59,58	56,60	56,87	Parabólica	Parabólica	53,06	55,18	52,32	53,69
		4,50	4,74	5,63	5,16			2,88	3,45	4,75	4,58
Helicoidal	Helicoidal	2,27	1,71	2,16	2,03	Parabólica	Parabólica	1,81	1,25	1,75	1,67
		52,84	56,00	53,04	53,98			59,24	62,41	59,10	59,72
Helicoidal	Helicoidal	3,86	4,43	5,40	5,04	Helicoidal	Helicoidal	5,05	5,28	6,30	5,78
		1,86	1,66	1,99	1,75			57,12	58,10	56,16	57,78
Helicoidal	Helicoidal	5,22	4,90	5,50	5,33	Helicoidal	Helicoidal	5,22	4,90	5,50	5,33

De modo a perceber estas variações, na Figura 5.3 apresenta-se o resultado obtido da atenuação do sinal quando são utilizadas as antenas monopolo e as 4 linhas de tendências considerando-se as diferentes distâncias máximas do último ponto medido.

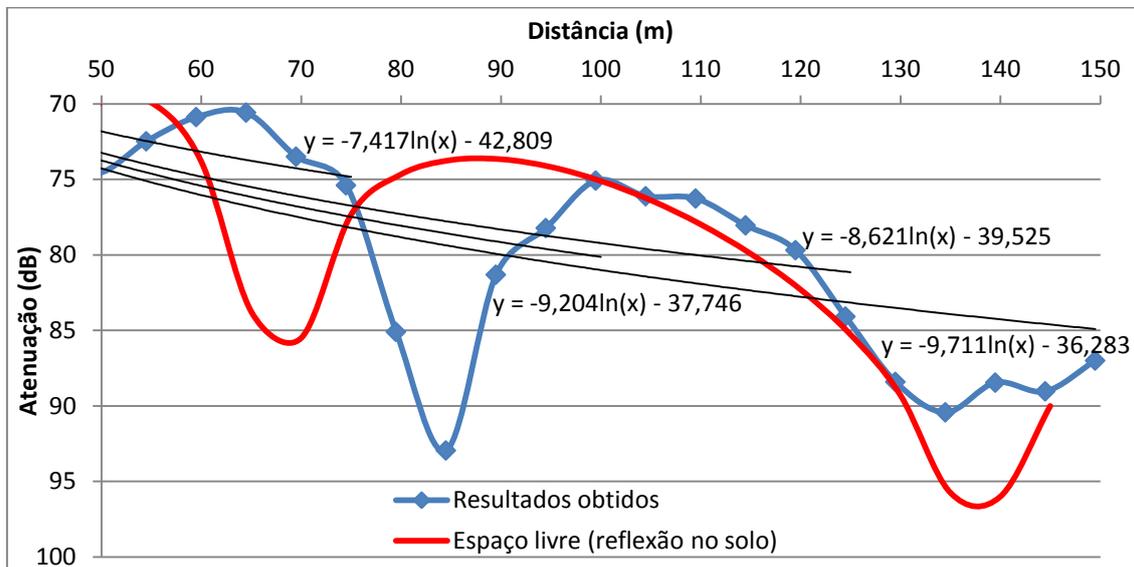


Figura 5.3 - Resultado da atenuação obtido para a combinação monopolo - monopolo.

Analisando o gráfico da Figura 5.3, observa-se que, quando é considerado uma distância máxima de 100 metros, a linha de tendência diminui devido à grande atenuação existente entre os 80 e 90 metros, fazendo com que o factor de perda de percurso aumente significativamente. De igual forma acontece novamente para os 150 metros, devido à atenuação existente entre os 125 e os 150 metros. Esta variação é característica devido às reflexões existentes no solo tal como pode-se observar na Figura 5.3 (linha vermelha). Apesar dos resultados obtidos não coincidirem com o resultado teórico, pode-se observar que o comportamento é semelhante.

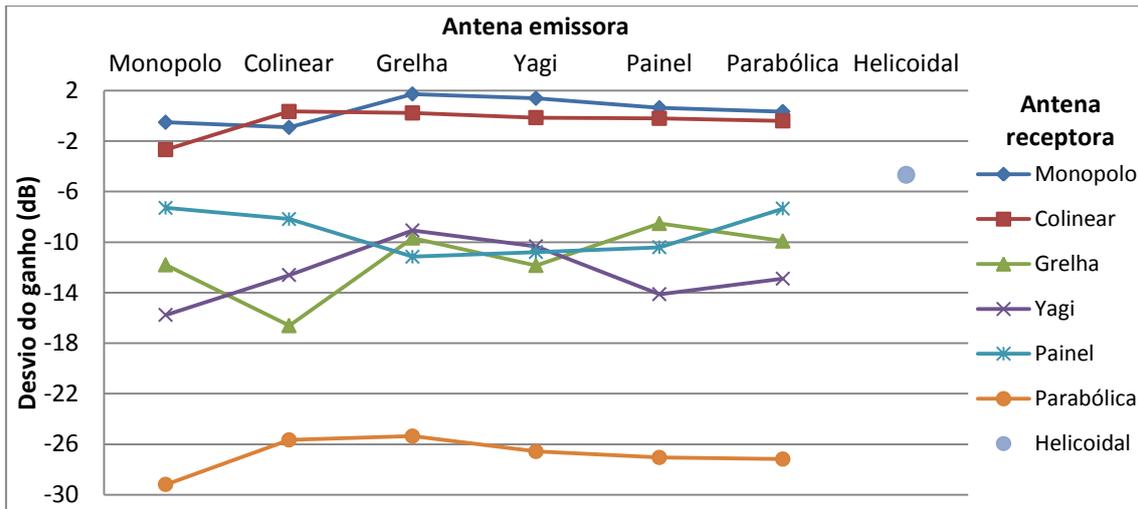
Em relação a perda de percurso a 5 metros ( $PL(d_0 = 5m)$ ), na Tabela 5.2 pode-se observar que esta varia de forma contrária ao que acontecia com o expoente de perda de percurso ( $n$ ), ou seja, quando o parâmetro  $n$  aumenta o parâmetro  $PL(d_0 = 5m)$  diminui e vice-versa, fazendo com que a atenuação não varie drasticamente. Em relação à variância pode-se observar que esta tem tendência em aumentar até os 125 metros, diminuindo novamente quando considera-se os 150 metros.

Em relação às antenas directivas observar-se o mesmo tipo de variações, com a diferença que o parâmetro  $n$  em vez de começar a aumentar dos 75 para os 100 m começa por diminuir.

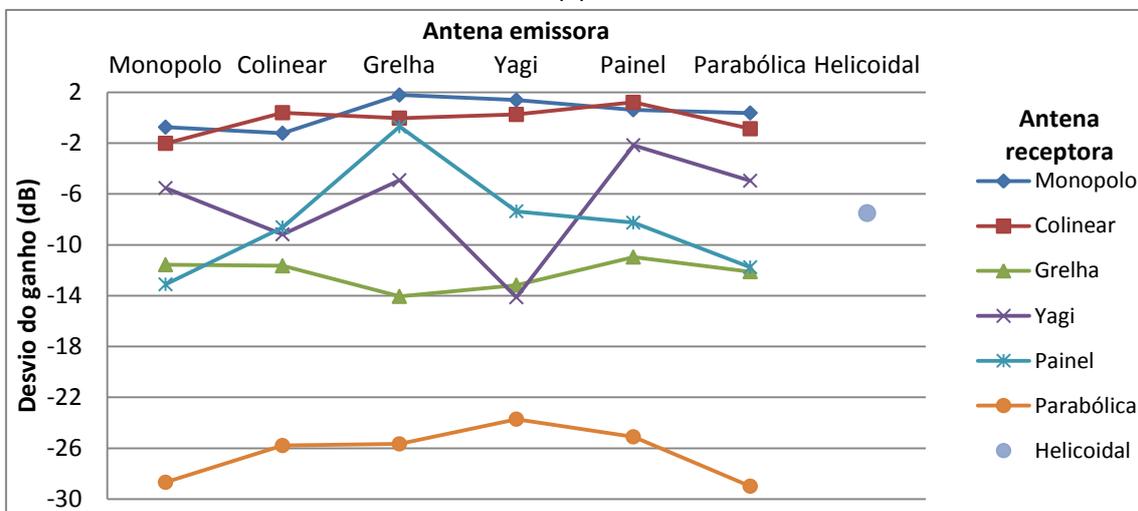
## 5.2.2 Análise 30° e 330°

### Análise 1 – Desvio do ganho

Os resultados do desvio do ganho para os ângulos de 30° e 330° são apresentados na Figura 5.4.



(a)



(b)

Figura 5.4 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio sem obstáculos para os: (a) 30°; (b) 330°.

Ao analisar os resultados obtidos na Figura 5.4, observa-se uma grande diferença entre as antenas directivas (grelha, Yagi, painel e parabólica) e omnidireccionais (monopolo e colinear), sendo que estas últimas apresentam um desvio de ganho inferior e muito semelhante ao obtido para a direcção de máxima radiação, dado às antenas serem omnidireccionais.

A grande diferença para as antenas directivas deve-se ao facto de se estar a considerar o ganho máximo da antena e não o ganho no ângulo em questão. No entanto, esta análise foi feita de modo a perceber-se qual antena consegue receber mais sinal vindo de reflexões. Sendo assim, e dado que se está perante um meio em que não existem reflexões laterais, ou seja, apenas existe a reflexão no solo e a do veículo próximo da antena emissora, era esperado que o desvio do ganho fosse próximo ao da diferença do ganho entre a direcção de máxima radiação e o ganho a 30° e 330°. Através dos diagramas de radiação das antenas directivas (Figura 4.5 (c, d, e, f e h)), era esperado que o desvio do ganho fosse de aproximadamente -7 dB para a antena helicoidal, -12 dB para antena grelha, -16 dB para a painel, -24 dB para a Yagi e -28 dB para a parabólica. De facto, verifica-se que as antenas grelha, helicoidal e parabólica apresentam um desvio do ganho muito próximo ao do esperado. No entanto para as antenas

Yagi e painel o mesmo já não acontece. Esta diferença pode estar relacionada com erros na medição do diagrama de radiação.

## Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal obtidos para a posição de 30° encontram-se apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio sem obstáculos para os 30°.

		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	2,33	2,38	2,00	2,05	2,11	1,95		
		50,98	50,86	52,39	52,14	52,27	54,25		
		4,65	4,57	3,80	4,48	4,15	4,79		
	Colinear	2,58	2,27	2,02	2,03	2,09	1,89		
		50,52	50,83	53,61	53,92	53,32	55,69		
		6,79	3,63	3,69	5,54	3,35	4,47		
	Grelha	2,25	2,51	1,94	2,11	2,28	1,29		
		63,20	65,14	64,38	64,73	59,60	71,69		
		5,44	5,22	4,15	4,53	4,68	4,66		
	Yagi	2,52	2,28	2,33	1,22	2,22	1,75		
		64,10	63,49	59,44	72,56	65,72	69,51		
		6,49	4,67	4,73	7,64	6,03	5,23		
	Painel	2,34	2,06	1,92	2,15	2,28	2,05		
		57,67	61,55	66,11	63,21	61,45	60,92		
		5,96	4,46	4,30	4,56	4,64	4,77		
	Parabólica	1,63	2,53	1,97	2,33	2,00	2,28		
		87,23	73,98	79,77	77,15	81,10	78,18		
		6,45	4,45	4,39	4,87	4,98	5,46		
	Helicoidal								1,44 64,75 5,19

Ao observar os resultados obtidos na Tabela 5.3, e comparando-se esta com os resultados obtidos na análise na direcção de máxima radiação, verifica-se que as antenas omnidireccionais apresentam resultados semelhantes. Em relação às antenas directivas observa-se que existe uma grande diferença, principalmente no que respeita a atenuação a 5 m, sendo esta muito superior. Mais uma vez, esta diferença é devido a ter-se considerado o ganho máximo da antena e não o ganho da antena a 30°.

De modo a observar-se melhor estas diferenças, traçou-se as curvas do modelo log-normal com base nos resultados da Tabela 5.3 sendo estes resultados no Anexo K.

Relativamente aos resultados para a posição de 330°, verifica-se que estes apresentam basicamente o mesmo comportamento, com variações pouco significativas em relação aos resultados obtidos para 30°. Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal assim como as curvas da atenuação para este ângulo são representados no Anexo L.

## 5.3 Meio Urbano

### Análise 1 – Desvio do ganho

Na Figura 5.5 encontram-se apresentados os resultados obtidos da análise do desvio do ganho.

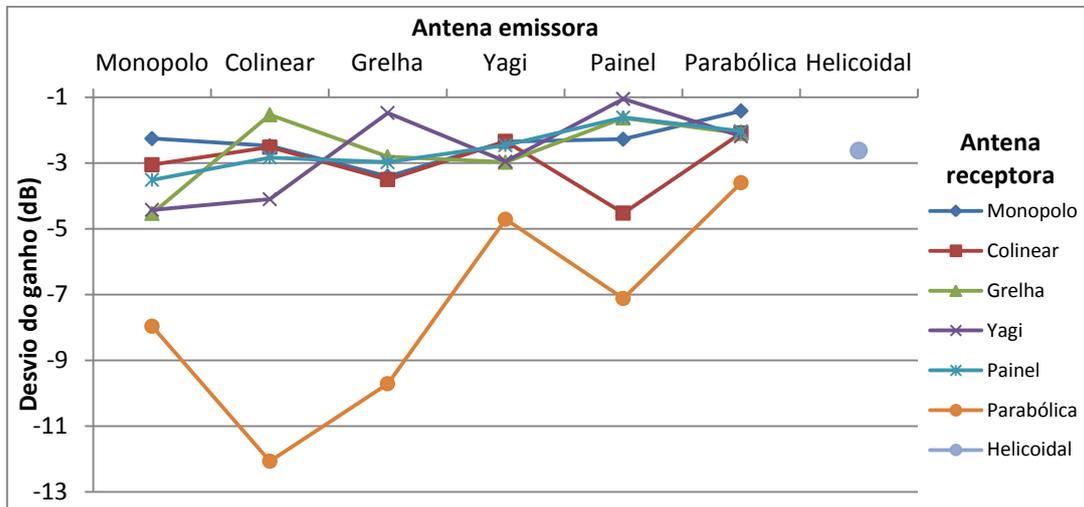


Figura 5.5 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio urbano.

Ao analisar o gráfico da Figura 5.5 observa-se que quando a antena parabólica é utilizada na recepção apresenta sempre um pior resultado seja qual for a antena que se encontra a emitir, sendo este pior, quando antenas com menor ganho são utilizadas na emissão. Em contra partida, para a situação em que a antena parabólica encontra-se a emitir, verifica-se que, no geral, esta apresenta um desvio de ganho inferior a qualquer outra combinação de antenas, podendo-se assim concluir que este tipo de antena funciona melhor quando se encontra na situação de antena emissora.

Relativamente à antena painel quando está a emitir, nota-se que apresenta um menor desvio do ganho (aproximadamente -2 dB), com a exceção da combinação Painel – Colinear que apresenta um desvio superior aos -4 dB.

Em relação às antenas Yagi e grelha, que são antenas que possuem o mesmo ganho (11 dBi), verifica-se que quando estas estão a emitir a antena Yagi apresenta um melhor resultado, com desvios a variar entre os -2,4 e -3 dB, enquanto para a antena grelha esses desvios variam entre os -2,8 e -3,5 dB, com a exceção da combinação Grelha - Yagi que apresenta um desvio de -1,5 dB.

### Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

Na Tabela 5.4 encontram-se os resultados obtidos dos parâmetros do modelo log-normal para todas as combinações de antenas utilizadas neste meio. Os dados estão organizados da mesma forma referida no meio sem obstáculos.

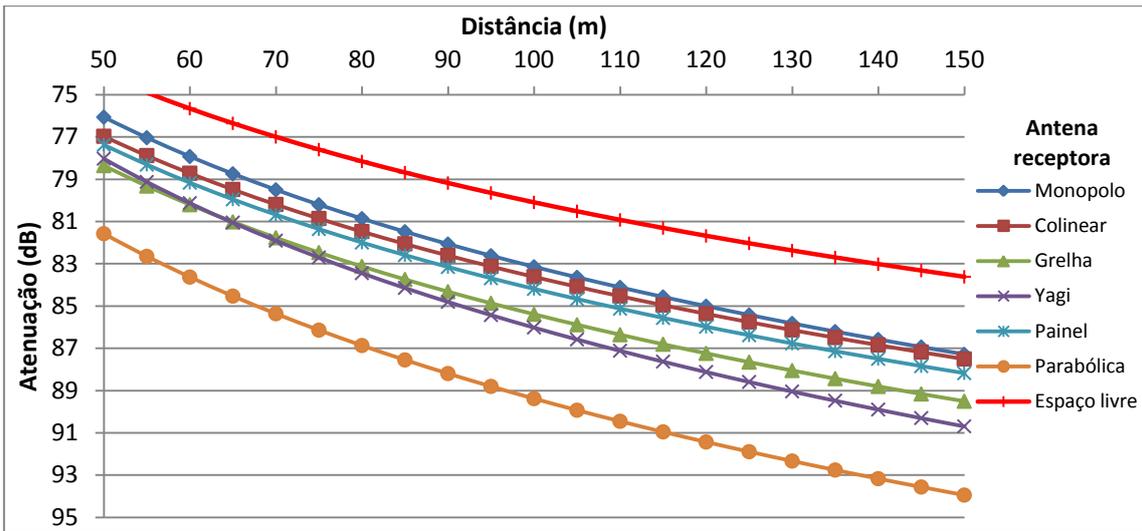
Tabela 5.4 – Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio urbano.

		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	2,35	2,34	2,89	2,43	2,79	2,51		
		52,53	52,87	47,93	51,78	47,84	50,04		
		4,00	3,67	3,94	2,78	4,44	3,49		
	Colinear	2,21	2,77	3,09	2,51	3,02	2,76		
		54,88	48,24	45,85	50,93	47,55	47,96		
		3,97	4,56	4,23	3,26	5,13	5,15		
	Grelha	2,34	2,53	2,89	2,74	2,78	2,65		
		54,98	49,86	47,33	49,16	47,32	49,16		
		3,18	4,12	3,54	4,48	4,38	4,43		
	Yagi	2,65	2,62	2,55	2,66	2,46	2,54		
		51,48	51,48	49,68	50,03	50,20	50,50		
		4,06	4,66	2,83	5,58	3,37	3,84		
	Painel	2,26	2,76	2,87	2,39	2,51	2,57		
		54,73	48,67	47,69	52,39	50,23	49,98		
		3,13	3,88	4,06	4,61	3,10	3,55		
	Parabólica	2,59	1,76	2,96	2,43	2,29	2,74		
		55,65	68,69	53,42	54,12	58,01	49,72		
		5,41	5,39	6,68	4,39	5,11	5,45		
	Helicoidal								2,87 47,27 4,58

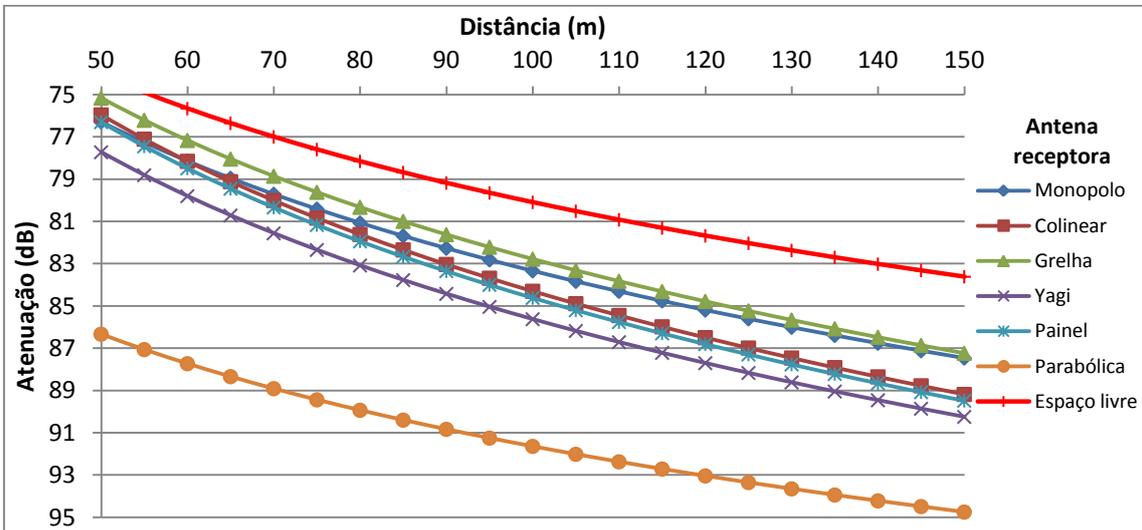
Analisando os resultados obtidos na Tabela 5.4, observa-se que a antena grelha, quando utilizada na emissão, apresenta um maior factor de perda de percurso e uma menor atenuação a 5 metros, podendo-se assim concluir que esta antena apresenta uma menor atenuação do que qualquer outra antena para distâncias próximas do emissor e uma pior atenuação para grandes distancias. Observa-se também que as antenas com menor ganho apresentam, no geral, um menor factor de perda de percurso, tanto na emissão como na recepção, e uma maior atenuação a 5 m. Sendo assim, conclui-se que esta apresentará uma maior atenuação para distâncias próximas do emissor e uma menor atenuação para grandes distâncias, ao contrário do que acontece com a antena grelha. Verifica-se, ainda, que a antena Yagi, quando utilizada na recepção, apresenta resultados mais consistentes, tanto para o factor de perda de percurso tanto para a atenuação a 5 m.

De modo a analisar-se melhor a atenuação existente para cada conjunto de antenas, traçou-se a curva da atenuação para cada combinação com base nos resultados obtidos na Tabela 5.4 e comparou-se cada um destes com a atenuação do espaço livre. Os resultados obtidos encontram-se representados na Figura 5.6.

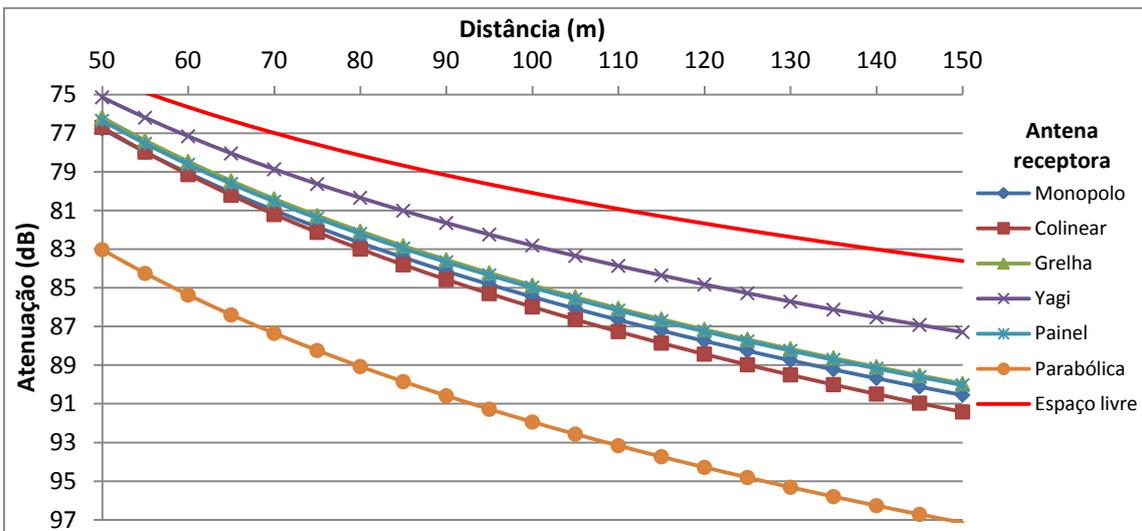
Dado que nos metros iniciais não existe uma grande variação da atenuação para qualquer conjunto de antenas, aproximando-se da atenuação do espaço livre, serão representados os resultados a partir dos 50 metros, de modo a poder observar-se melhor as diferenças para cada conjunto.



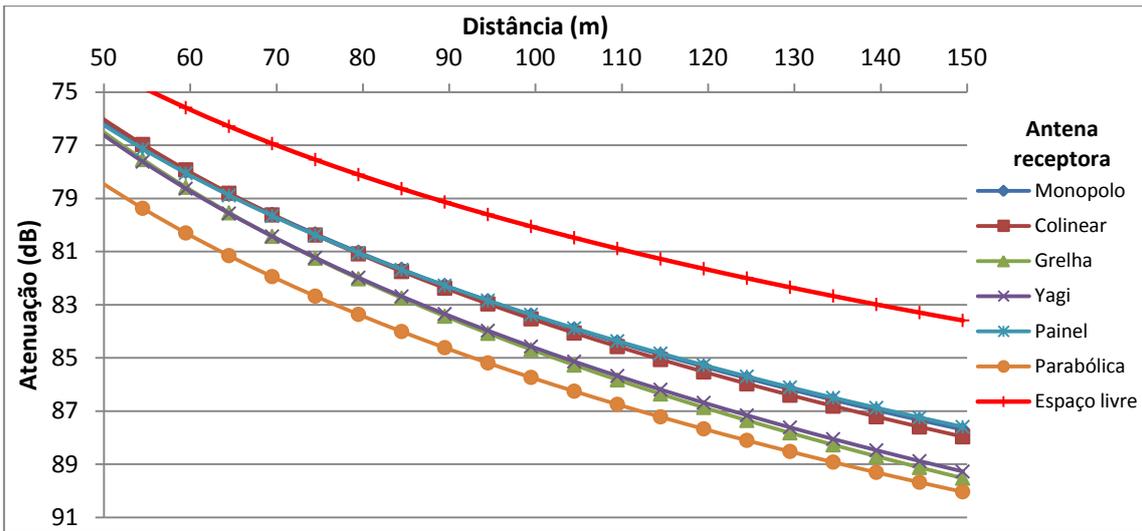
(a)



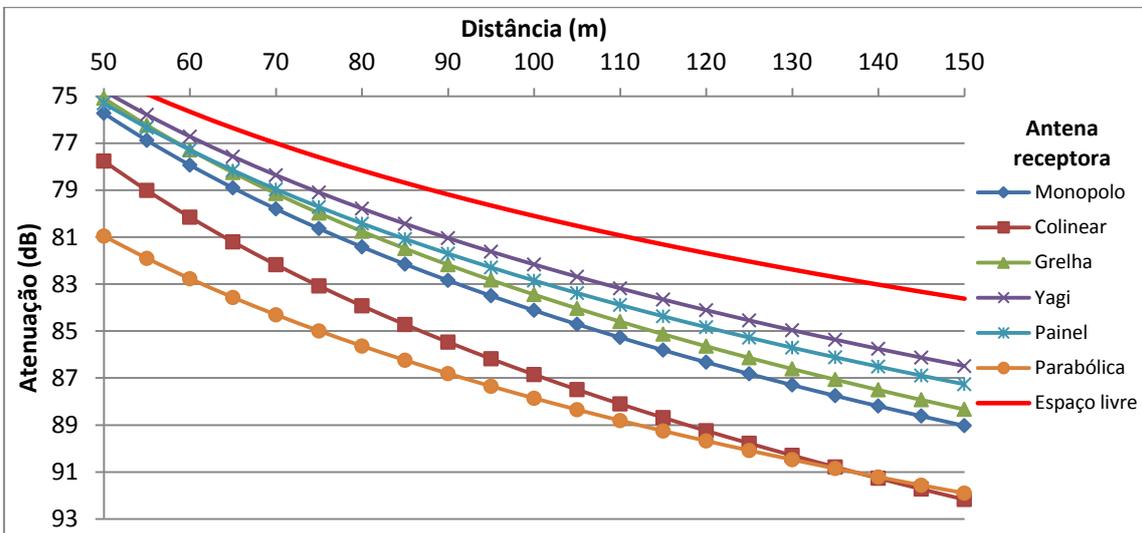
(b)



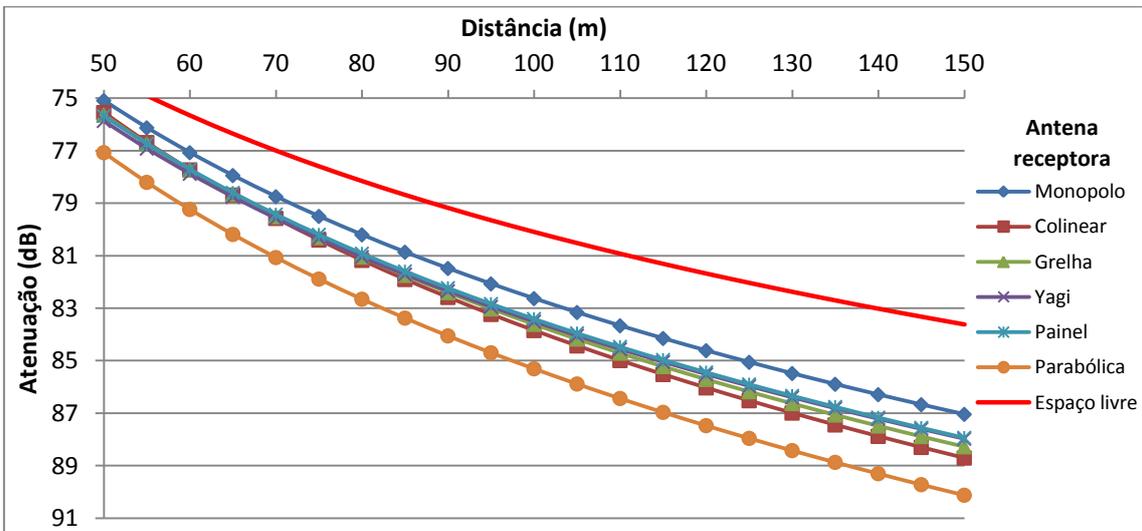
(c)



(d)



(e)



(f)

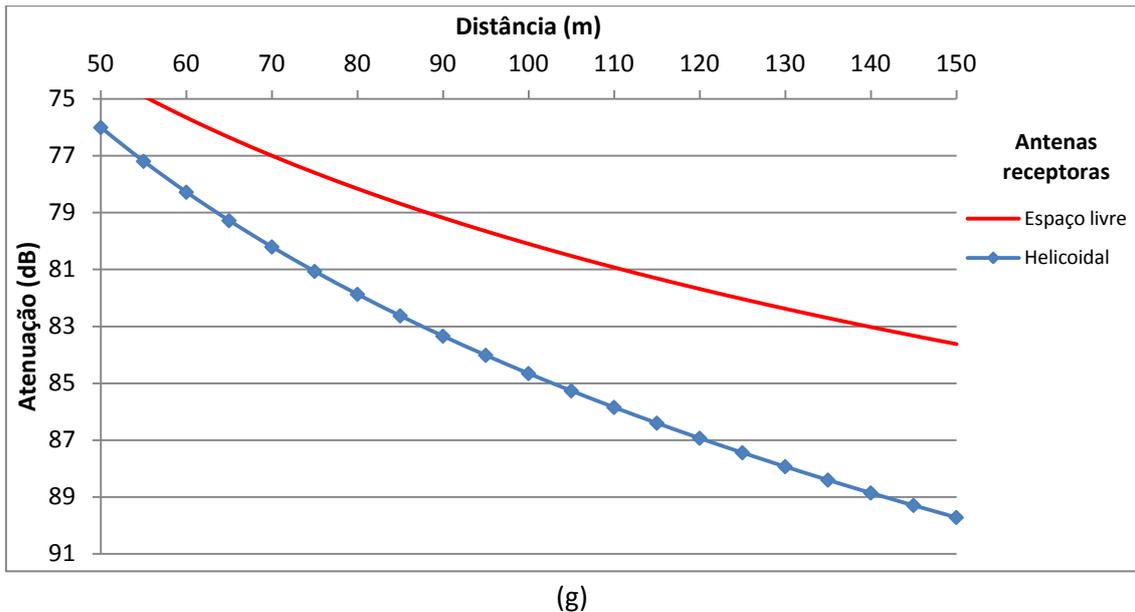


Figura 5.6- Resultado obtido da atenuação do sinal no meio urbano quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal.

Ao analisar os gráficos da Figura 5.6 observa-se uma maior atenuação por parte da antena parabólica em relação as restantes antenas, sendo esta mais significativa quando são utilizadas antenas de menor ganho na emissão.

Verifica-se que as antenas omnidireccionais apresentam, geralmente, uma menor atenuação. No entanto, a diferença não é muito significativa quando comparada com as antenas grelha, Yagi e painel.

Ainda, observa-se que quando as antenas Yagi e parabólica estão a emitir não existe uma grande variação da atenuação seja qual for a antena que se encontra na recepção.

Relativamente a antena helicoidal, pode-se observar que apresenta uma atenuação muito semelhante aos resultados obtidos com as combinações grelha - grelha, Yagi – Yagi e Yagi - grelha, isto deve-se ao facto das antenas apresentarem aproximadamente o mesmo ganho.

### **Análise 3 – Dependência dos parâmetros do modelo log-normal em função da distância**

Na Tabela 5.5 encontram-se os resultados dos parâmetros do modelo log-normal quando são consideradas as diferentes distâncias do último ponto medido. Nesta, observa-se que o parâmetro  $n$  tende a aumentar com a distância, enquanto a atenuação a 5 metros diminui, fazendo com que a atenuação não varie drasticamente quando considerado os diferentes parâmetros para cada distância.

Ao contrário do que acontece no meio sem obstáculos, neste meio já não se verifica a variação dos parâmetros devido à reflexão no solo, isto porque, apesar de continuar a existir essa reflexão, a atenuação existente devido às árvores, carros e diferentes objectos existentes no meio em questão é mais significativa.

Tabela 5.5 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no meio urbano.

Antenas		Distância máxima				Antenas		Distância máxima			
Emissora	Receptora	75	100	125	150	Emissora	Receptora	75	100	125	150
Monopolo	Monopolo	2,04	2,19	2,33	2,35	Monopolo	Colinear	1,69	1,96	2,02	2,21
		54,28	53,52	52,62	52,53			58,15	56,68	56,28	54,88
	4,06	4,38	4,31	4,00	2,94		3,24	3,16	3,97		
	Grelha	2,12	2,05	2,06	2,34		Yagi	1,96	2,02	2,53	2,65
		56,55	56,98	56,94	54,98			55,93	55,59	52,32	51,48
	2,47	2,26	2,30	3,18	2,01		1,78	3,88	4,06		
Painel	1,97	2,04	2,15	2,26	Parabólica	2,47	2,67	2,44	2,59		
	56,61	56,23	55,50	54,73		56,43	55,27	56,79	55,65		
2,26	2,17	2,27	3,13	6,21	5,75	5,35	5,41				
Colinear	Monopolo	2,13	2,18	2,21	2,34	Colinear	Colinear	2,09	2,18	2,59	2,77
		54,42	54,04	53,84	52,87			52,70	52,20	49,58	48,24
	4,13	4,21	3,81	3,67	2,18		2,30	3,99	4,56		
	Grelha	2,48	2,11	2,29	2,53		Yagi	2,22	2,11	2,35	2,62
		50,74	52,79	51,60	49,86			54,43	54,97	53,38	51,48
	4,16	4,13	3,88	4,12	3,28		3,08	3,62	4,66		
Painel	2,17	2,31	2,68	2,76	Parabólica	1,94	1,71	1,73	1,76		
	52,52	51,75	49,26	48,67		67,73	69,09	68,94	68,69		
2,34	2,67	3,85	3,88	6,10	5,76	5,47	5,39				
Grelha	Monopolo	2,54	2,37	2,65	2,89	Grelha	Colinear	2,30	2,65	2,90	3,09
		50,52	51,47	49,56	47,93			50,79	48,78	47,18	45,85
	3,45	3,21	3,67	3,94	2,58		3,48	3,95	4,23		
	Grelha	2,64	2,45	2,67	2,89		Yagi	1,98	2,23	2,38	2,55
		49,24	50,29	48,87	47,33			53,24	51,81	50,85	49,68
	3,65	3,30	3,35	3,54	2,27		2,52	2,52	2,83		
Painel	2,30	2,30	2,54	2,87	Parabólica	2,81	2,87	2,95	2,96		
	51,65	51,69	50,07	47,69		54,46	53,92	53,46	53,42		
3,25	2,93	3,16	4,06	7,72	7,79	7,17	6,68				
Yagi	Monopolo	2,29	2,36	2,40	2,43	Yagi	Colinear	2,38	2,41	2,56	2,51
		52,60	52,27	52,04	51,78			51,75	51,57	50,59	50,93
	3,14	2,91	3,00	2,78	2,26		2,26	2,71	3,26		
	Grelha	2,67	2,49	2,67	2,74		Yagi	2,08	2,17	2,44	2,66
		49,72	50,68	49,62	49,16			53,62	53,11	51,49	50,03
	5,46	4,87	4,71	4,48	4,78		4,38	4,53	5,58		
Painel	2,69	2,43	2,43	2,39	Parabólica	2,04	2,13	2,33	2,43		
	50,61	52,01	52,08	52,39		56,60	56,11	54,87	54,12		
5,50	5,03	4,82	4,61	3,57	4,19	4,70	4,39				
Painel	Monopolo	2,40	2,56	2,70	2,79	Painel	Colinear	2,74	2,62	3,02	3,02
		50,22	49,37	48,47	47,84			49,42	50,15	47,55	47,55
	4,22	4,11	4,39	4,44	5,95		5,28	5,40	5,13		
	Grelha	2,35	2,53	2,57	2,78		Yagi	2,02	2,17	2,32	2,46
		50,00	49,11	48,86	47,32			52,99	52,17	51,17	50,20
	3,10	3,65	3,44	4,38	3,48		3,36	3,33	3,37		
Painel	2,47	2,40	2,54	2,51	Parabólica	2,60	2,43	2,24	2,29		
	50,42	50,80	49,91	50,23		56,29	57,17	58,41	58,01		
2,81	2,77	2,99	3,10	6,15	5,91	5,46	5,11				
Parabólica	Monopolo	1,80	1,95	2,25	2,51	Parabólica	Colinear	1,83	1,92	2,30	2,76
		54,71	53,89	51,92	50,04			54,29	53,79	51,28	47,96
	2,81	2,54	3,07	3,49	1,98		1,79	3,36	5,15		
	Grelha	2,22	2,13	2,38	2,65		Yagi	1,95	2,04	2,23	2,54
		52,30	52,75	51,12	49,16			54,37	53,88	52,67	50,50
	4,73	4,14	4,26	4,43	3,80		3,35	3,30	3,84		
Painel	1,96	2,07	2,43	2,57	Parabólica	1,77	1,83	2,21	2,74		
	53,92	53,30	50,99	49,98		56,32	56,00	53,50	49,72		
3,66	3,22	3,72	3,55	3,83	3,42	3,91	5,45				
Helicoidal	Helicoidal	2,36	2,24	2,44	2,87						
		50,95	51,65	50,33	47,27						
2,69	2,47	3,00	4,58								

## 5.4 Meio florestal ao nível dos troncos

Nesta secção apresentam-se as análises realizadas aos resultados obtidos no meio florestal ao nível dos troncos para os diferentes ângulos de posicionamento da antena receptora.

### 5.4.1 Análise na direcção de máxima radiação

#### Análise 1 – Desvio do ganho

Os resultados obtidos da análise do desvio do ganho encontram-se apresentados na Figura 5.7.

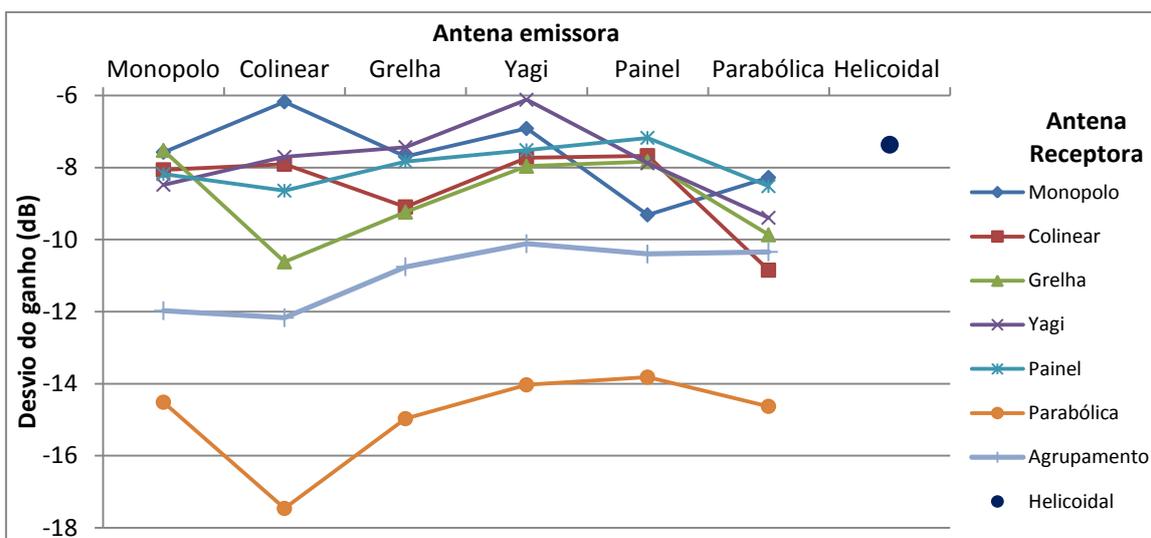


Figura 5.7 - Resultados obtidos para o desvio do ganho no meio florestal (troncos).

Ao analisar o gráfico da Figura 5.7 observa-se, mais uma vez, que a antena parabólica apresenta um pior resultado quando utilizada na recepção. Ao contrário do que tem vindo a acontecer nos meios anteriormente analisados, verifica-se que a antena parabólica, quando se encontra na emissão, apresenta o pior desvio de ganho em relação às outras antenas.

Relativamente ao agrupamento de antenas utilizado para comparar com a antena parabólica, pode-se observar que este apresenta um desvio de ganho inferior ao da antena parabólica. No entanto, continua a ter um pior resultado em relação a qualquer outra antena, verificando-se, assim, que antenas muito directivas apresentam piores resultados.

Mais uma vez observa-se que as antenas monopolo, colinear, Yagi e painel apresentam, em geral, um melhor resultado quando utilizadas como antenas receptoras.

#### Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

Na Tabela 5.6 apresentam-se os resultados obtidos dos parâmetros do modelo log-normal, onde, mais uma vez, observa-se que a antena grelha quando encontra-se a emitir é a que apresenta um maior factor de perda de percurso. Verifica-se, novamente, que a antena Yagi é a que apresenta resultados mais consistentes quando utilizada na recepção, não existindo muita variação seja qual for a antena utilizada na emissão.

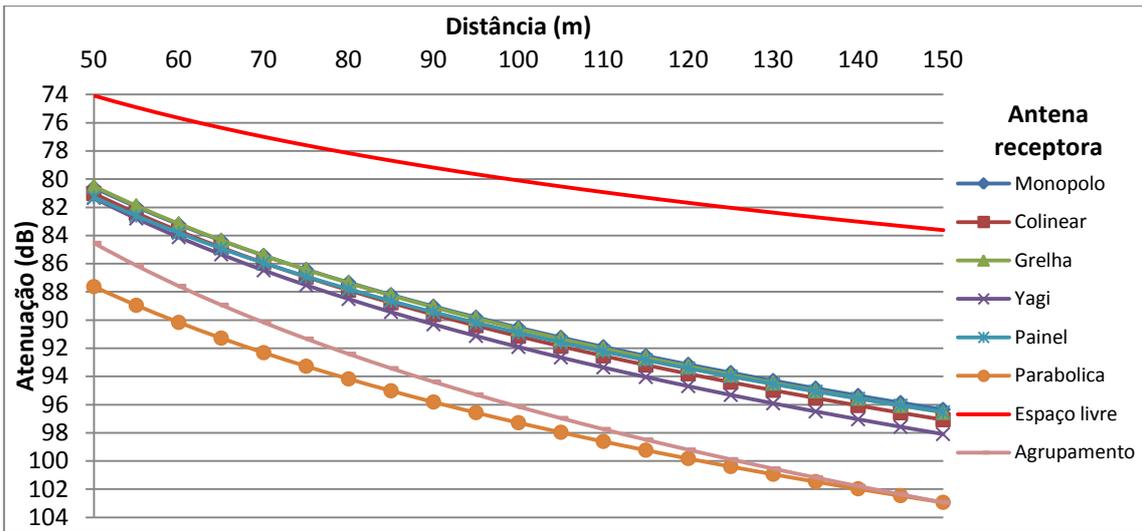
Tabela 5.6 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal (troncos).

		Antena Emissora							
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica	Helicoidal	
Antena Receptora	Monopolo	3,30	3,12	3,45	3,16	3,82	3,52		
		47,60	48,17	46,86	48,45	43,68	45,95		
		5,97	3,92	5,08	4,09	5,32	5,15		
	Colinear	3,36	3,44	3,73	3,24	3,58	3,52		
		47,38	46,47	44,50	48,36	44,65	48,53		
		5,20	5,16	6,89	4,88	6,69	5,43		
	Grelha	3,36	3,47	4,10	3,56	3,47	3,88		
		46,86	48,85	40,63	45,18	45,98	43,66		
		3,58	5,79	6,45	5,95	3,59	5,17		
	Yagi	3,51	3,39	3,64	3,41	3,62	3,59		
		46,23	46,72	43,83	44,97	44,49	46,25		
		4,58	5,50	5,72	4,94	4,52	4,69		
	Painel	3,20	3,10	3,76	3,43	3,14	3,55		
		49,33	50,83	42,85	46,13	48,91	45,82		
		4,43	3,94	5,82	4,20	3,84	4,50		
	Parabólica	3,21	3,34	3,48	3,15	3,28	3,86		
		55,55	57,05	53,09	55,72	54,08	48,57		
		4,76	5,76	5,03	5,01	4,44	6,04		
	Agrupamento	3,86	4,14	3,98	3,75	3,70	3,61		
		45,97	43,06	43,40	45,22	46,11	47,00		
		6,47	6,71	5,22	4,91	5,43	7,30		
	Helicoidal								3,81 41,92 5,71

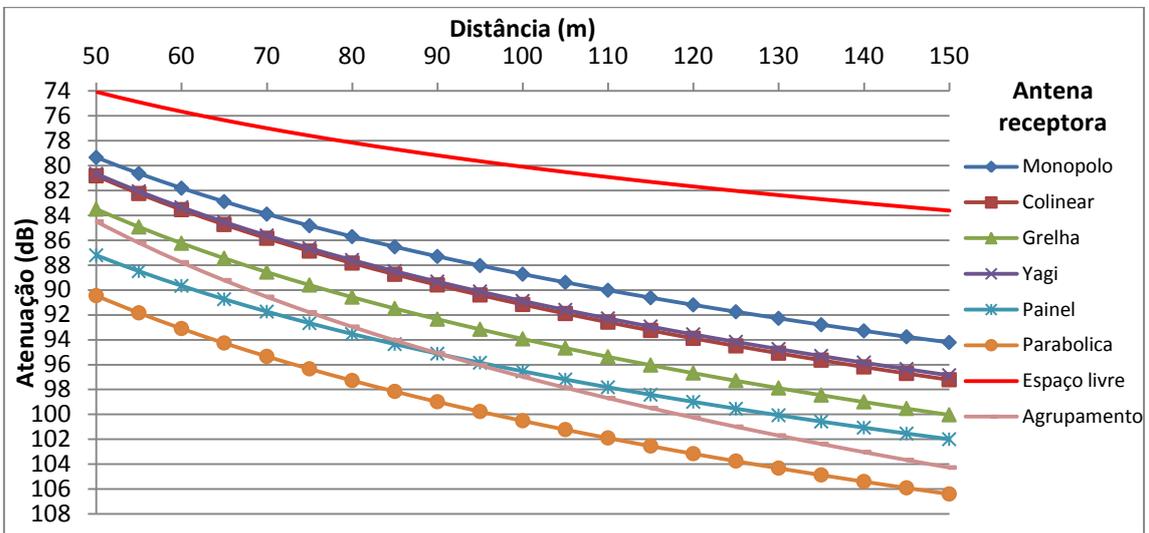
Comparando-se os resultados da antena parabólica e do agrupamento, verifica-se que esta última apresenta uma menor atenuação a 5 metros, por conseguinte irá apresentar uma menor atenuação nos metros iniciais. No entanto, devido ao elevado valor do factor de perda de percurso, para grandes distâncias apresentará uma atenuação muito próxima à da antena parabólica.

Os resultados das curvas da atenuação encontram-se representados na Figura 5.8. Mais uma vez, será representado a atenuação a partir dos 50 metros, pelas mesmas razões referidas nas análises anteriores.

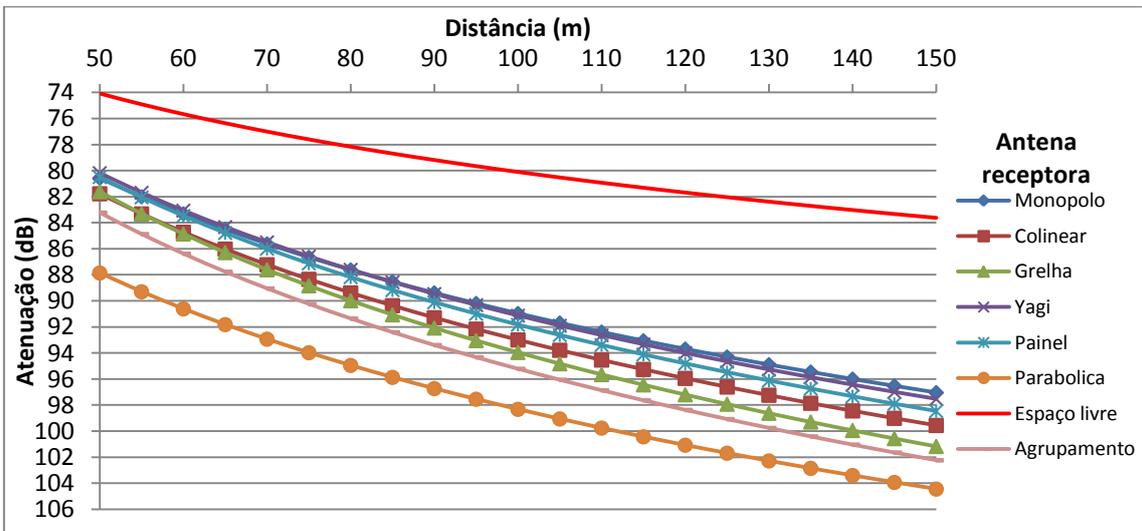
Analisando os resultados obtidos pode-se observar que a antena parabólica e o agrupamento são as que apresentam uma maior atenuação. No entanto, para o caso do agrupamento pode-se observar um decaimento que praticamente não depende da antena na emissão. É de referir que, apesar da antena parabólica apresentar em todas as combinações uma maior atenuação, o nível de sinal recebido por esta é superior a qualquer outra antena devido ao seu elevado ganho. No entanto, essa diferença não é tão significativa quando comparada com a antena painel.



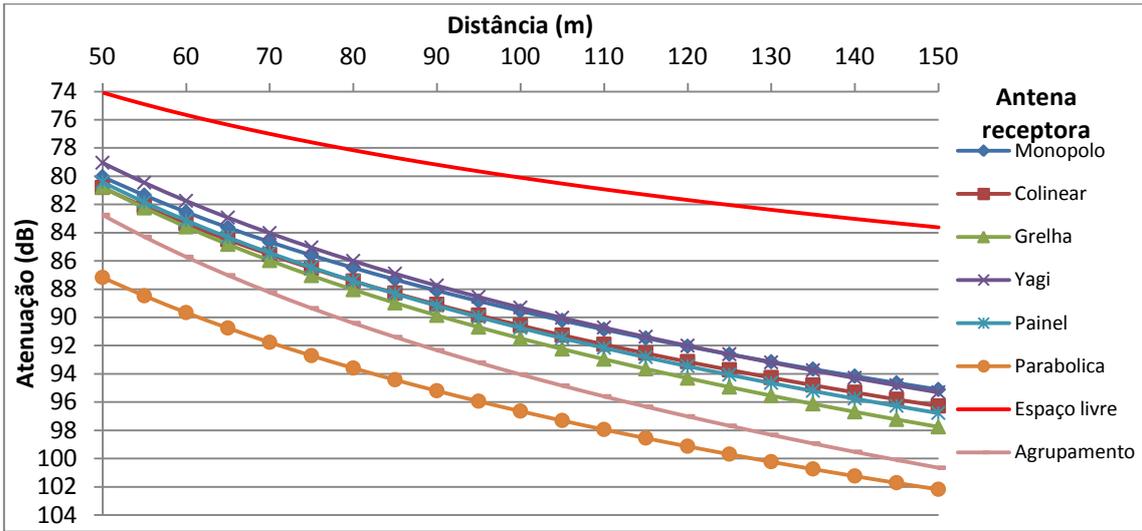
(a)



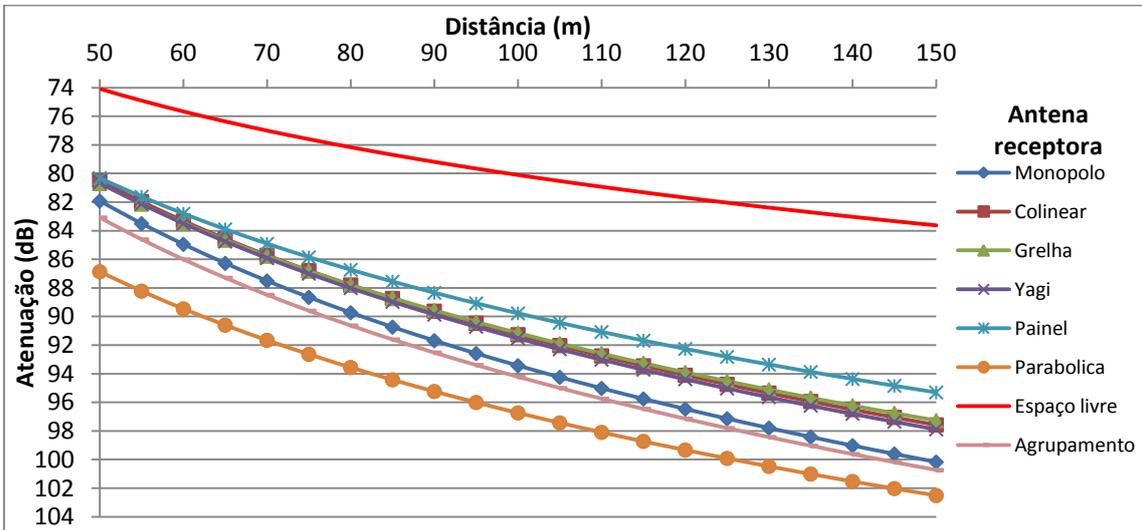
(b)



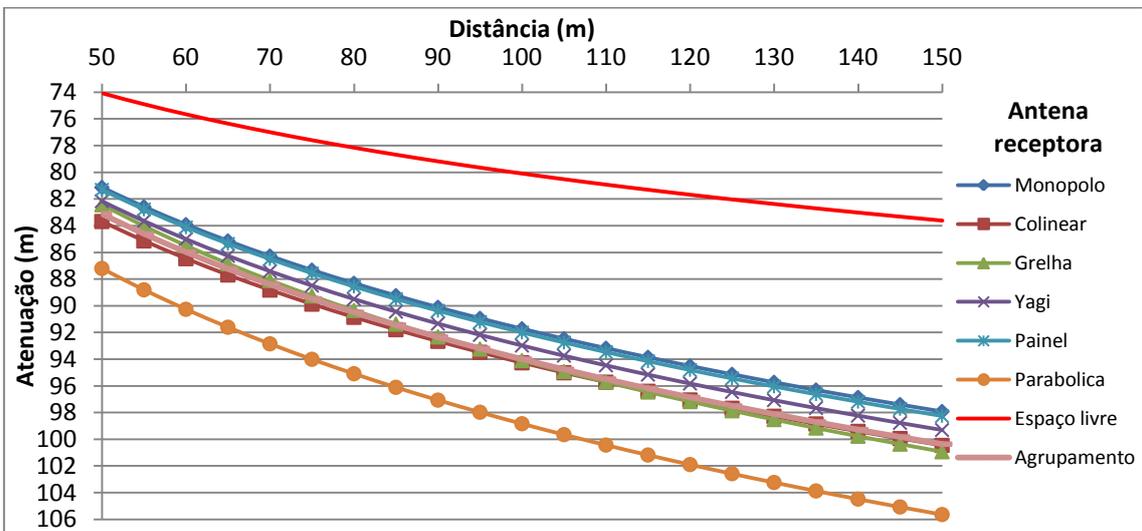
(c)



(d)



(e)



(f)

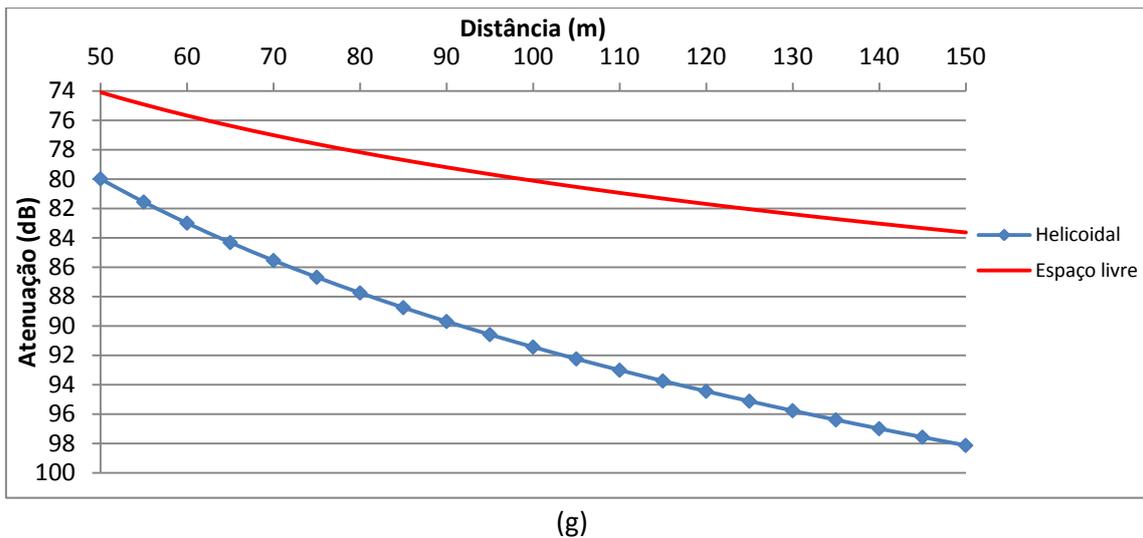


Figura 5.8 - Resultado obtido da atenuação no meio florestal ao nível dos troncos quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal.

Observa-se ainda que, quando a antena parabólica encontra-se a emitir, a atenuação existente para qualquer que seja a antena utilizada na recepção mantém-se aproximadamente constante. O mesmo acontece quando as antenas monopolo e Yagi encontram-se a emitir, com a exceção de ter a antena parabólica e o agrupamento na recepção, que apresentam uma atenuação superior.

Para a situação quando as antenas estão a receber, pode-se observar que as antenas monopolo, Yagi e painel apresentam uma atenuação aproximadamente igual e menor do que as outras antenas. Em relação a antena helicoidal, mais uma vez, nota-se que apresenta uma atenuação semelhante às combinações grelha – Yagi e Yagi – grelha.

### **Análise 3 – Dependência dos parâmetros do modelo log-normal em função da distância**

Na Tabela 5.7 encontram-se os parâmetros do modelo log-normal quando são consideradas diferentes distâncias máximas do último ponto de medição. Nesta, verifica-se que à medida que aumenta a distância do último ponto medido, o factor de perda (parâmetro  $n$ ) também aumenta, isto devido a que o número de troncos que encontram-se entre a antena emissora e receptora também aumenta. No entanto, nota-se um aumento mais significativo quando se passa dos 100 para os 125 metros, isto devido à existência de um tronco de grande dimensão presente à distância de 103 metros, aproximadamente, fazendo com que o sinal seja mais atenuado e conseqüentemente aumente o factor de perda de percurso.

Quanto à atenuação a 5 metros, verifica-se novamente que esta varia de forma inversa do que o parâmetro  $n$ , ou seja, diminui com o aumento da distância. Relativamente à variância, observa-se que esta apresenta uma maior variação, com uma tendência em aumentar com o aumento da distância do último ponto medido.

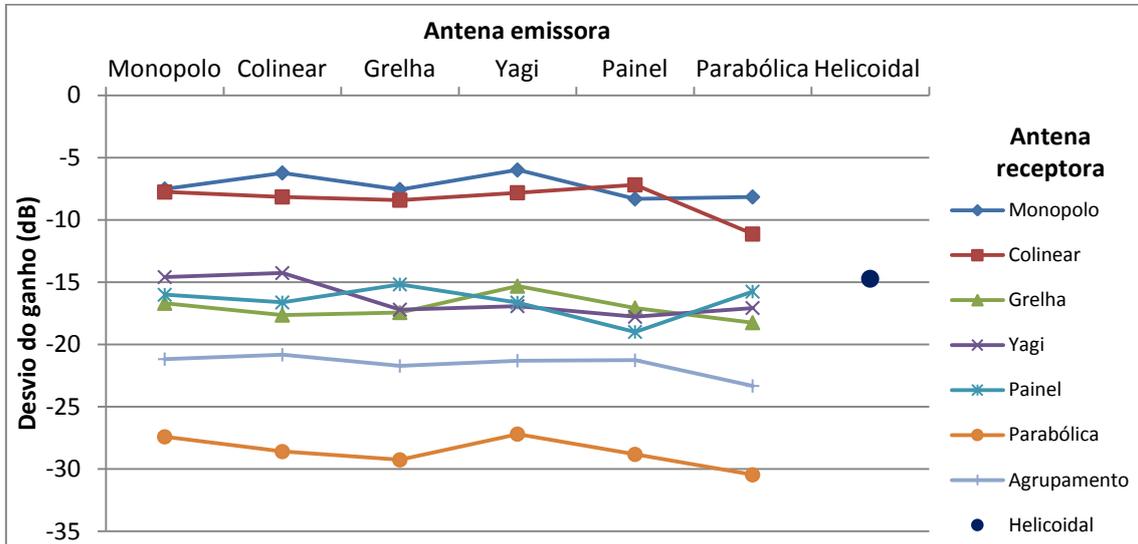
Tabela 5.7 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas no meio florestal (troncos).

Antenas		Distância máxima				Antenas		Distância máxima			
Emissora	Receptora	75	100	125	150	Emissora	Receptora	75	100	125	150
Monopolo	Monopolo	2,93	2,95	3,26	3,30	Monopolo	Colinear	2,93	2,96	3,33	3,36
		50,24	49,94	47,92	47,60			50,37	50,04	47,64	47,38
		6,09	6,24	6,26	5,97			5,12	5,31	5,47	5,20
	Grelha	2,82	2,99	3,20	3,36		Yagi	2,65	2,94	3,32	3,51
		50,47	49,45	48,06	46,86			51,79	50,08	47,63	46,23
		3,39	3,60	3,68	3,58			2,68	3,98	4,35	4,58
	Painel	3,00	3,08	3,14	3,20		Parabólica	2,46	2,62	2,89	3,21
		50,71	50,12	49,78	49,33			60,50	59,56	57,80	55,55
		4,83	5,11	4,83	4,43			3,91	3,89	4,16	4,76
Colinear	Monopolo	2,54	2,62	2,95	3,12	Colinear	Colinear	2,88	3,24	3,35	3,44
		52,04	51,57	49,41	48,17			49,99	47,87	47,11	46,47
		2,19	2,79	3,45	3,92			4,39	5,30	4,82	5,16
	Grelha	2,65	3,03	3,35	3,47		Yagi	2,70	3,03	3,30	3,39
		54,11	51,86	49,70	48,85			51,02	49,17	47,38	46,72
		2,69	5,20	5,45	5,79			4,68	5,17	5,87	5,50
	Painel	2,73	3,04	3,15	3,10		Parabólica	2,87	3,02	3,10	3,34
		53,01	51,16	50,45	56,23			60,16	59,23	58,70	57,05
		3,92	4,21	4,11	3,94			2,74	4,50	4,24	5,76
Grelha	Monopolo	2,83	3,06	3,41	3,45	Grelha	Colinear	3,11	3,20	3,70	3,73
		50,15	48,65	46,37	46,09			48,57	47,88	44,68	44,50
		4,32	5,48	5,48	5,08			6,46	6,63	7,35	6,89
	Grelha	3,09	3,44	4,08	4,10		Yagi	2,65	2,93	3,52	3,64
		47,06	44,96	40,79	40,63			50,19	48,48	44,67	43,83
		5,28	5,89	6,98	6,45			3,09	4,51	6,18	5,72
	Painel	2,68	2,98	3,58	3,76		Parabólica	3,12	3,17	3,51	3,48
		49,85	48,01	44,14	42,85			55,38	55,09	52,88	53,09
		3,11	4,18	5,55	5,82			4,88	4,73	5,05	5,03
Yagi	Monopolo	2,95	2,96	3,13	3,16	Yagi	Colinear	2,66	2,91	2,98	3,24
		49,90	49,73	48,66	48,45			52,14	50,64	50,24	48,36
		4,56	4,47	4,19	4,09			4,61	5,00	4,63	4,88
	Grelha	2,68	2,82	3,37	3,56		Yagi	2,73	3,06	3,33	3,41
		51,02	50,16	46,50	45,18			49,20	47,29	45,58	44,97
		3,64	3,89	6,19	5,95			3,58	4,03	4,85	4,94
	Painel	2,82	3,02	3,31	3,43		Parabólica	2,38	2,52	2,93	3,15
		50,06	48,87	46,98	46,13			60,81	59,96	57,28	55,72
		4,13	3,93	4,13	4,20			5,11	4,89	5,12	5,01
Painel	Monopolo	2,92	3,18	3,62	3,82	Painel	Colinear	2,37	3,32	3,69	3,58
		49,46	47,98	45,10	43,68			51,02	46,21	43,90	44,65
		4,00	4,16	5,14	5,32			2,98	7,53	7,27	6,69
	Grelha	2,80	3,13	3,40	3,47		Yagi	2,88	3,09	3,47	3,62
		50,21	48,28	46,50	45,98			49,30	48,02	45,51	44,49
		2,87	3,74	3,77	3,59			3,73	4,18	4,55	4,52
	Painel	2,62	2,95	3,14	3,14		Parabólica	2,96	3,08	3,32	3,28
		52,15	50,13	48,97	48,91			56,10	55,29	53,75	54,08
		2,60	4,17	4,16	3,84			4,00	4,32	4,34	4,44
Parabólica	Monopolo	2,66	3,04	3,38	3,52	Parabólica	Colinear	3,12	3,33	3,57	3,52
		51,41	49,11	46,95	45,95			51,00	49,66	48,13	48,53
		3,44	5,06	5,24	5,15			5,75	6,21	5,95	5,43
	Grelha	3,08	3,43	3,78	3,88		Yagi	3,31	3,31	3,62	3,59
		48,74	46,64	44,36	43,66			48,16	48,02	46,05	46,25
		4,67	5,16	5,55	5,17			4,80	4,83	5,02	4,69
	Painel	2,89	3,08	3,48	3,55		Parabólica	3,03	3,12	3,69	3,86
		50,07	48,90	46,29	45,82			54,12	53,57	49,83	48,57
		3,49	4,26	4,83	4,50			5,98	5,58	6,26	6,04
Helicoidal	Helicoidal	2,76	3,08	3,53	3,81						
		48,74	46,81	43,92	41,92						
		2,96	3,50	4,66	5,71						

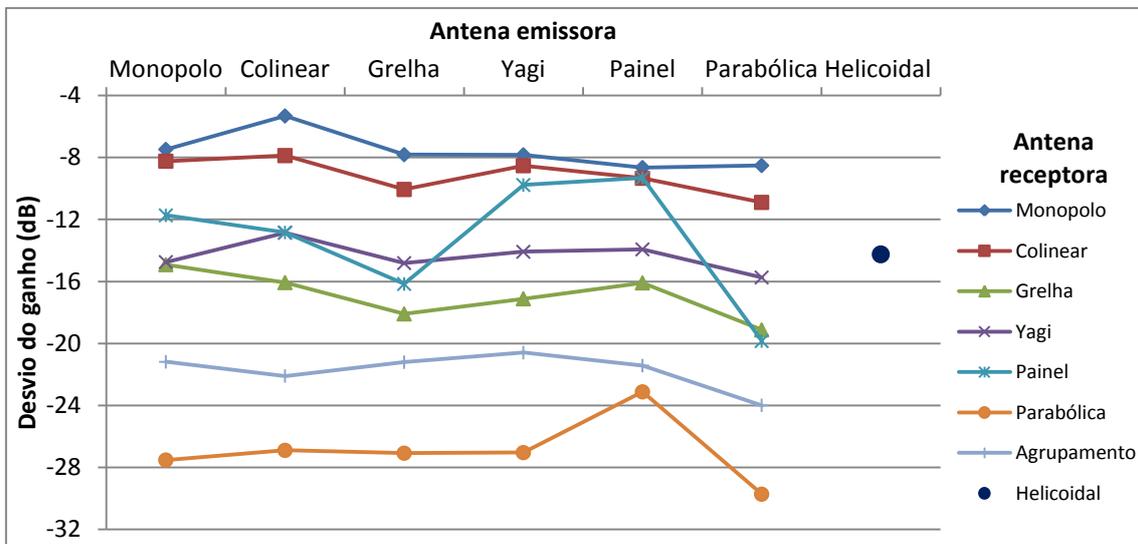
## 5.4.2 Análise 30° e 330°

### Análise 1 – Desvio do ganho

Os resultados obtidos do desvio do ganho, para as posições de 30° e 330°, são apresentados na Figura 5.9 (a) e (b), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 5.9 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio florestal (troncos) para os: (a) 30°; (b) 330°.

Analisando os resultados obtidos do desvio do ganho para as posições de 30° e 330°, e comparando-os com os resultados na direcção de máxima radiação, verifica-se, mais uma vez, que as antenas omnidireccionais apresentam resultados muito semelhantes.

Em relação às antenas directivas verifica-se algumas diferenças para os 30° e 330°, estando estas relacionadas com o meio envolvente, uma vez que não é simétrico, ou seja, as reflexões não são iguais para ambos os ângulos medidos.

Ainda se pode verificar que quanto maior for a directividade da antena maior é o desvio do ganho, ou seja, às antenas com lóbulo principal muito estreito (parabólica e agrupamento) não recebem muito sinal vindo de reflexões.

Relativamente às antenas grelha, Yagi e painel, verifica-se que para os 30° estas apresentam desvios de ganho muito próximos, ou seja, a atenuação existente para estas antenas é mais ou menos semelhante. No entanto, para os 330° verifica-se uma maior diferença, sendo que as antenas Yagi e painel são as que possuem um menor desvio de ganho, ou seja, uma menor atenuação.

Comparando os resultados do desvio do ganho na direcção de máxima radiação e 30/330° verifica-se que a diferença entre estes não corresponde a diferença do ganho da antena em 0° e 30/330°. Por exemplo, nota-se que a diferença do ganho da antena parabólica na direcção de máxima radiação varia em torno dos -15dB (Figura 5.7), enquanto para os 30/330° varia em torno dos -28 dB o que corresponde uma diferença de -13 dB. Sendo assim, uma vez que a diferença do ganho da antena nos referidos ângulos (0° e 30/330°) é de aproximadamente -28 dB, pode-se concluir que o nível de sinal recebido é superior devido a reflexões.

Esta situação verifica-se para às restantes antenas directivas com a excepção da antena helicoidal, que apresenta um desvio de ganho de -7 dB na direcção de máxima radiação, e de -14 dB para os 30/330°, ou seja, existe uma diferença de -7 dB o que corresponde a diferença do ganho da antena nos ângulos em questão. Sendo assim pode-se concluir que a antena helicoidal não consegue receber sinal proveniente das reflexões.

## **Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal**

Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal obtidos para a posição de 30° encontram-se apresentados na Tabela 5.8 Tabela 5.3 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio sem obstáculos para os 30°. , onde se pode observar que as antenas omnidireccionais, quando na situação de antena receptora, apresentam uma menor atenuação, dado que apresentam um valor de  $PL(5m)$  muito inferior ao das antenas directivas.

Comparando-se os resultados obtidos na direcção de máxima radiação (Tabela 5.6) com os resultados obtidos a 30° (Tabela 5.8), afere-se um aumento significativo do parâmetro  $PL(5m)$  para as antenas directivas, estando isto relacionado com uma maior atenuação para distâncias próximas da antena emissora. No entanto, verifica-se que o expoente de perda de percurso diminui, o que significa um menor decaimento com a distância.

As curvas da atenuação obtidas com base nos parâmetros da Tabela 5.8 encontram-se no Anexo M. As antenas omnidireccionais apresentam uma menor atenuação, mais uma vez devido a estas conseguirem receber sinal de qualquer direcção. Relativamente às antenas grelha, Yagi e painel verifica-se que estas apresentam atenuações muito próximas, sendo que a antena grelha apresenta uma atenuação menor para distâncias próximas do emissor.

Em relação aos resultados obtidos para os 330° verifica-se que apresentam resultados semelhantes aos obtidos para os 30°, com a diferença que a atenuação das antenas Yagi e painel são inferiores do que a antena grelha. Os resultados dos parâmetros do modelo log

normal assim como as curvas da atenuação obtidas com base neste modelo, para os 330°, são apresentados no Anexo N.

Tabela 5.8 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal ao nível dos troncos para os 30°.

		Antena Emissora							
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica	Helicoidal	
Antena Receptora	Monopolo	3,34	3,13	3,49	3,01	3,72	3,62		
		47,12	48,06	55,73	49,21	43,86	44,80		
		5,44	4,96	5,14	4,29	5,49	5,75		
	Colinear	3,29	3,39	3,60	3,03	3,54	3,61		
		47,90	47,23	45,22	50,84	44,64	47,77		
		5,58	5,45	6,41	4,80	6,62	6,15		
	Grelha	3,39	3,06	3,43	3,22	3,49	3,60		
		55,73	60,25	56,01	56,27	55,06	55,06		
		6,07	4,19	5,67	5,64	5,20	5,32		
	Yagi	2,68	1,84	2,79	2,71	2,58	3,57		
		61,19	69,90	62,63	63,15	65,46	54,06		
		5,40	5,56	5,66	7,10	4,81	7,10		
	Painel	2,89	2,86	3,29	2,44	2,65	2,93		
		60,53	61,38	55,28	65,95	66,02	59,80		
		4,42	5,23	4,54	5,79	5,09	4,65		
	Parabólica	2,37	1,74	2,32	1,87	2,44	2,31		
		77,51	85,51	79,85	82,67	78,18	81,19		
		5,83	4,73	6,19	5,16	5,65	7,09		
	Agrupamento	3,30	2,15	2,93	2,50	2,97	2,99		
		61,19	73,24	65,73	69,98	64,84	66,66		
		5,37	5,88	4,28	5,21	5,58	6,63		
	Helicoidal								3,40
									53,80
									5,12

## 5.5 Meio florestal ao nível da folhagem

Nesta secção são apresentadas as análises efectuadas aos resultados obtidos no meio florestal ao nível da folhagem para os diferentes ângulos medidos.

### 5.5.1 Análise na direcção de máxima radiação

#### Análise 1 – Desvio do ganho

Na Figura 5.10 encontram-se apresentados os resultados obtidos da análise do desvio do ganho.

Ao analisar os resultados observa-se que a antena parabólica apresenta piores resultados quer na emissão quer na recepção. Isto deve-se ao facto da antena parabólica ser muito directiva, o que consequentemente irá concentrar a sua radiação numa dada direcção, sendo que, se essa direcção encontra-se obstruída, o sinal será fortemente atenuado.

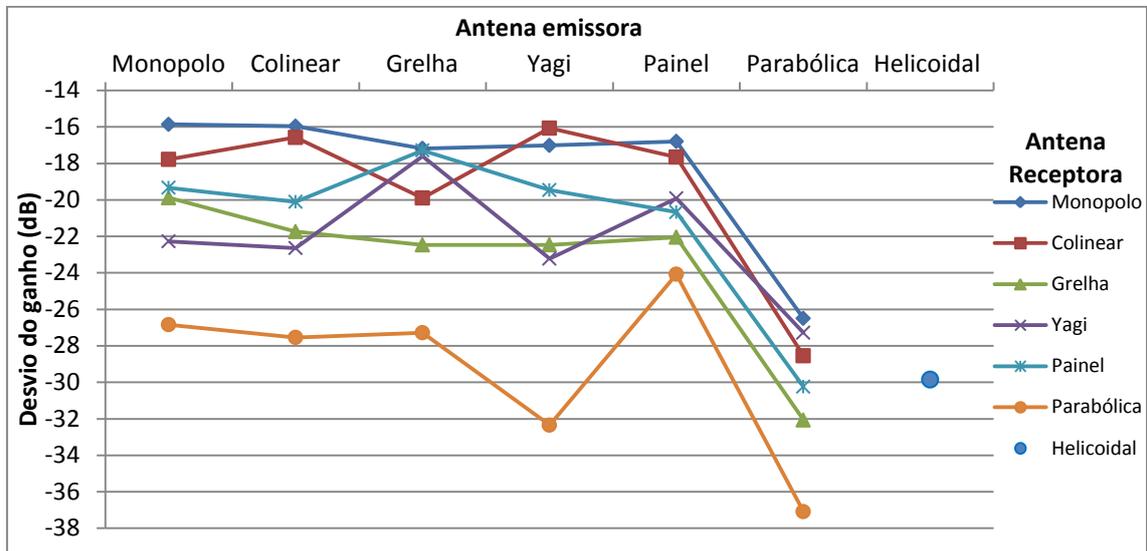


Figura 5.10 - Resultados obtidos para o desvio do ganho na zona de folhagem.

Ainda, verifica-se que, quando as antenas estão na recepção, geralmente, o desvio do ganho aumenta à medida que o ganho da antena aumenta, com a excepção da antena painel que apresenta um desvio do ganho inferior ao da antena grelha e Yagi que são antenas de ganho inferior.

### Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal encontram-se apresentados na Tabela 5.9.

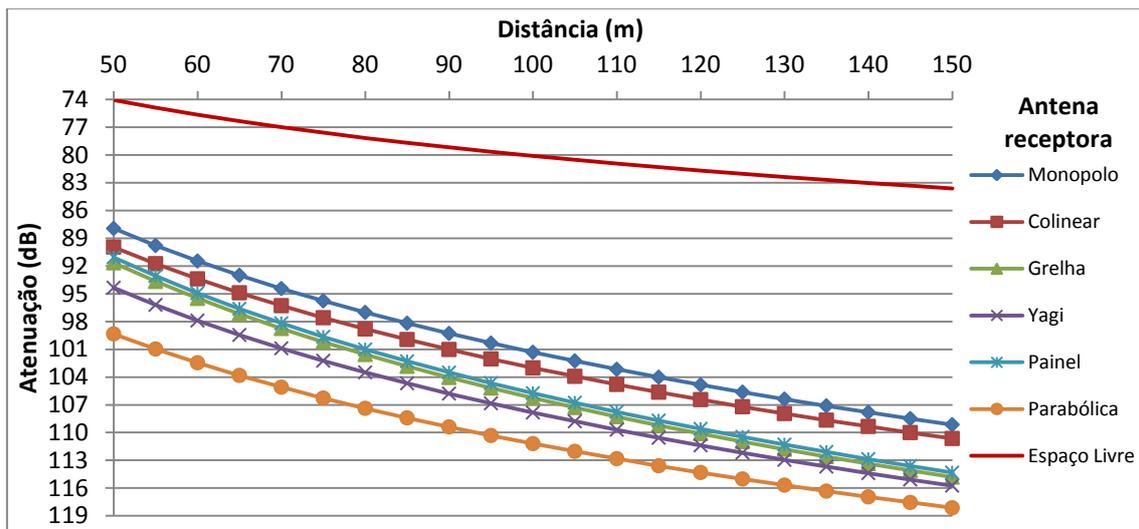
Ao contrário do que tem vindo a acontecer nos restantes meios analisados, através da Tabela 5.9 é possível observar que a antena grelha não apresenta o pior factor de perda quando encontra-se a emitir, mas sim quando encontra-se na recepção.

Observa-se que as antenas omnidireccionais, quando utilizadas na recepção, são as que apresentam um menor factor de perda e uma menor atenuação a 5 metros, podendo-se concluir que estas antenas são as que apresentaram uma menor atenuação. Verifica-se que apesar da antena parabólica, quando está a emitir, apresentar um factor de perda inferior a muitas outras combinações, apresenta uma atenuação a 5 metros muito elevada, fazendo assim com que a sua atenuação seja superior a todas as outras combinações para distâncias próximas do emissor.

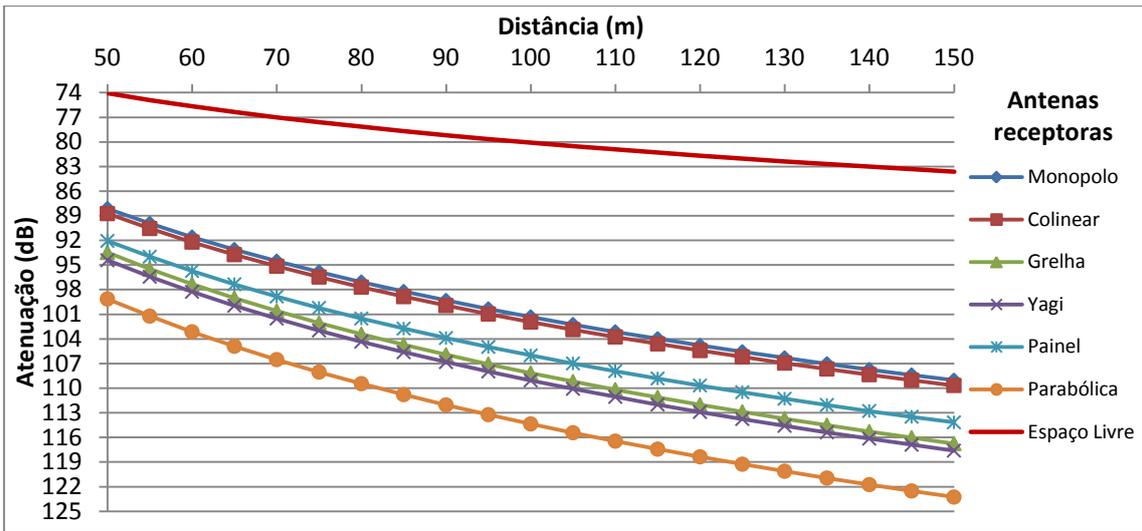
Tabela 5.9 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal (folhagem).

		Antena Emissora							
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		Helicoidal
Antena Receptora	Monopolo	4,44	4,38	4,26	4,40	4,38	4,13		
		43,51	44,29	43,12	45,11	45,12	57,57		
		6,30	5,21	4,71	6,72	5,65	5,41		
	Colinear	4,34	4,39	4,30	4,64	4,28	4,39		
		46,60	44,85	49,11	41,59	47,06	56,77		
		6,27	5,63	6,57	6,53	4,28	4,43		
	Grelha	4,85	4,88	5,27	5,14	5,07	5,22		
		43,12	44,68	41,19	42,63	42,92	51,38		
		6,62	5,22	7,87	7,33	7,64	6,93		
	Yagi	4,48	4,86	4,38	4,82	4,82	4,34		
		49,52	45,81	46,01	46,79	43,45	56,12		
		7,20	5,87	5,05	6,59	6,16	4,33		
	Painel	4,87	4,63	4,48	4,71	4,73	4,43		
		42,32	45,74	44,59	44,27	45,27	58,05		
		6,49	5,06	4,58	6,52	6,68	5,54		
	Parabólica	3,94	5,06	4,63	5,14	4,69	4,77		
		59,94	48,55	52,97	52,50	49,08	61,21		
		8,74	7,01	5,77	7,66	7,93	9,48		
	Helicoidal								4,72
									54,50
									7,01

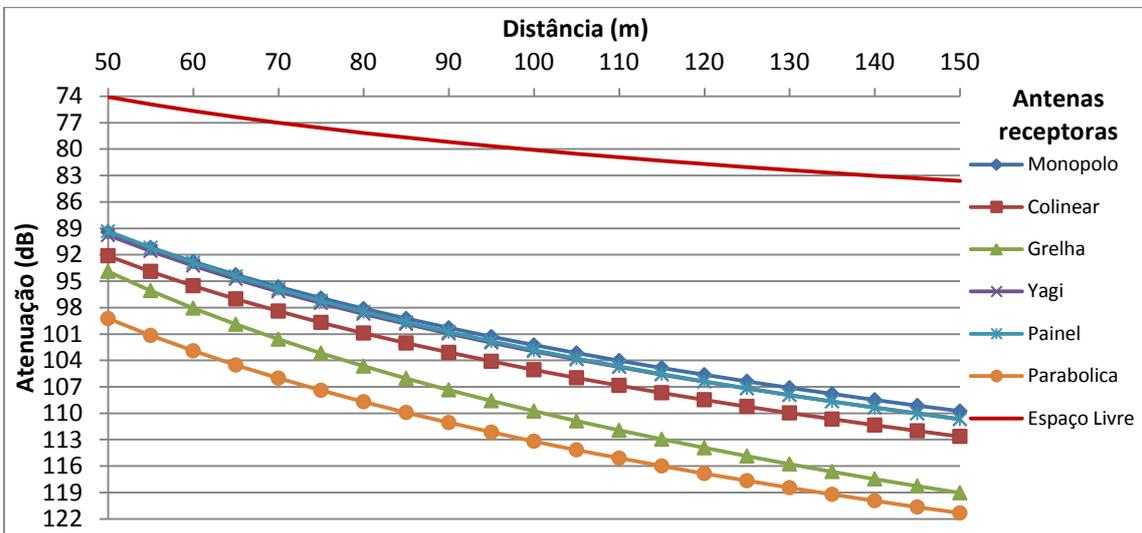
Os resultados da atenuação em função da distância, obtidos com base nos resultados dos parâmetros do modelo log-normal apresentados na Tabela 5.9, são representados na Figura 5.11.



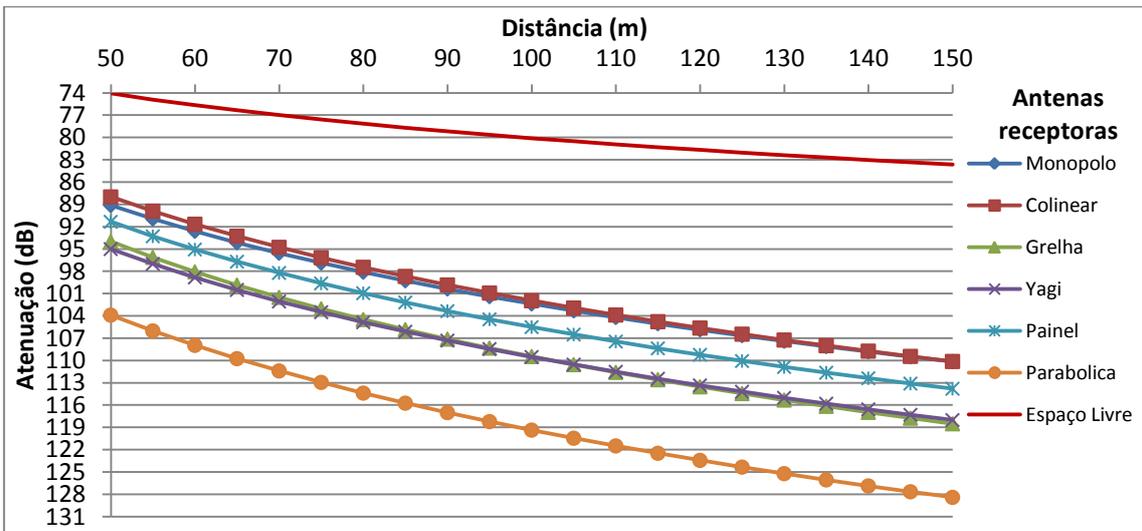
(a)



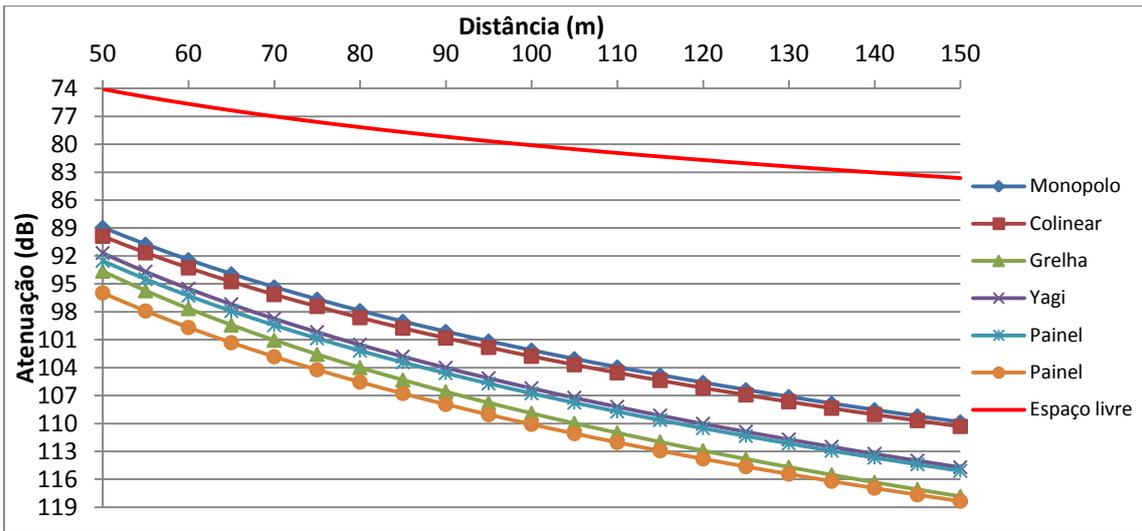
(b)



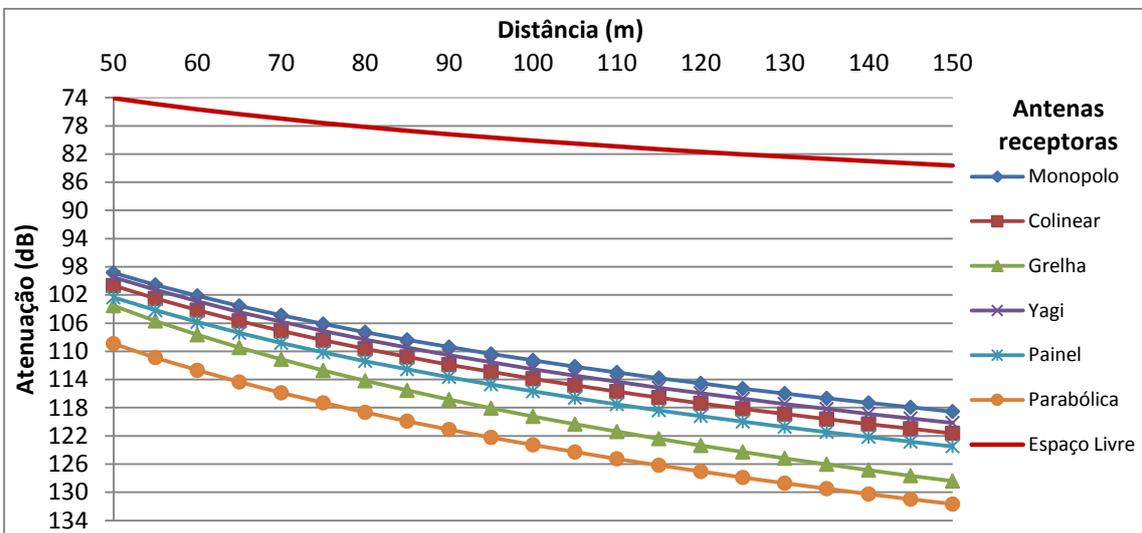
(c)



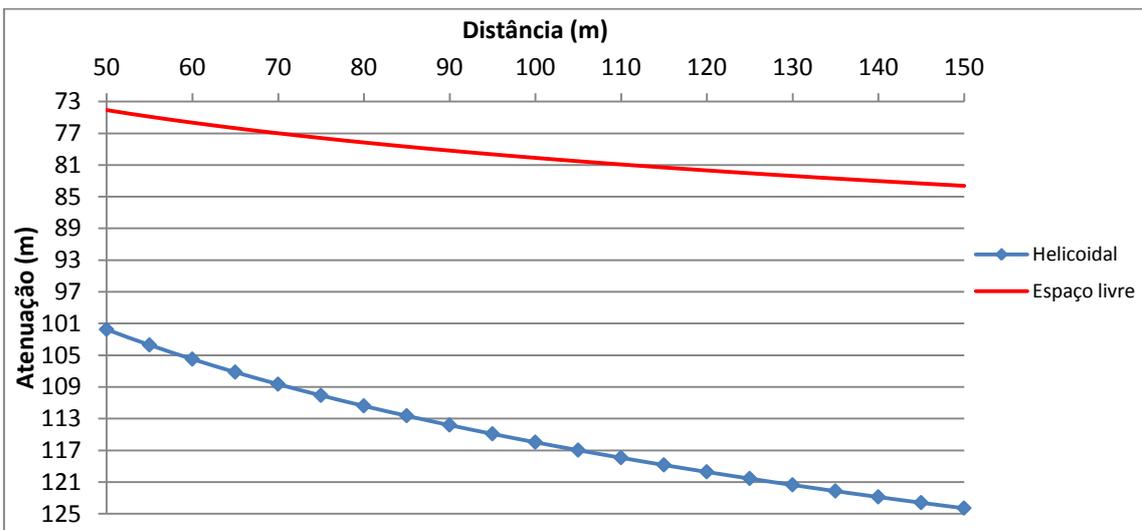
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 5.11 - Resultado obtido da atenuação no meio florestal ao nível da folhagem quando na emissão encontra-se a antena: (a) monopolo; (b) colinear; (c) grelha; (d) Yagi; (e) painel; (f) parabólica; (g) helicoidal.

Comparando os resultados obtidos da atenuação no meio florestal ao nível da folhagem afere-se um aumento da atenuação das antenas receptoras com o aumento do ganho das mesmas, com a excepção da antena painel que tem vindo a apresentar um bom desempenho em quase todas as combinações e meios analisados.

Ao contrário do que acontece nos meios anteriormente analisados, neste verifica-se que o aumento da atenuação de algumas antenas é bastante significativo, sendo em muitas ocasiões superior à diferença de ganho existente com antenas de menor ganho. Por exemplo, nota-se que em muitas combinações a antena parabólica apresenta uma atenuação, entre 9 a 12 dB, superior à antena painel que possui um ganho de 8,5 dB abaixo da antena parabólica. De igual forma, acontece com as antenas grelha e Yagi, que são antenas com ganho de 11 dBi e que apresentam atenuações semelhantes e nalgumas situações superiores entre 3 a 6 dB à da antena painel que apresenta um ganho de 14 dBi.

Relativamente à antena helicoidal, verifica-se que apresenta uma atenuação muito próxima à antena parabólica, demonstrando assim que este tipo de antenas, com polarização circular, não são adequadas para este tipo de meios.

### **Análise 3 – Dependência dos parâmetros do modelo log-normal em função da distância**

Na Tabela 5.10 encontram-se os parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas do último ponto medido. Tal como tem sido observado nos restantes meios, verifica-se o aumento do factor de perda de percurso e diminuição da atenuação a 5 metros em função da distância máxima do último ponto medido.

Em relação a variância, observa-se novamente que, apesar de esta apresentar uma maior variação, tem a tendência em aumentar até os 125 metros, sendo que para os 150 metros diminui ligeiramente.

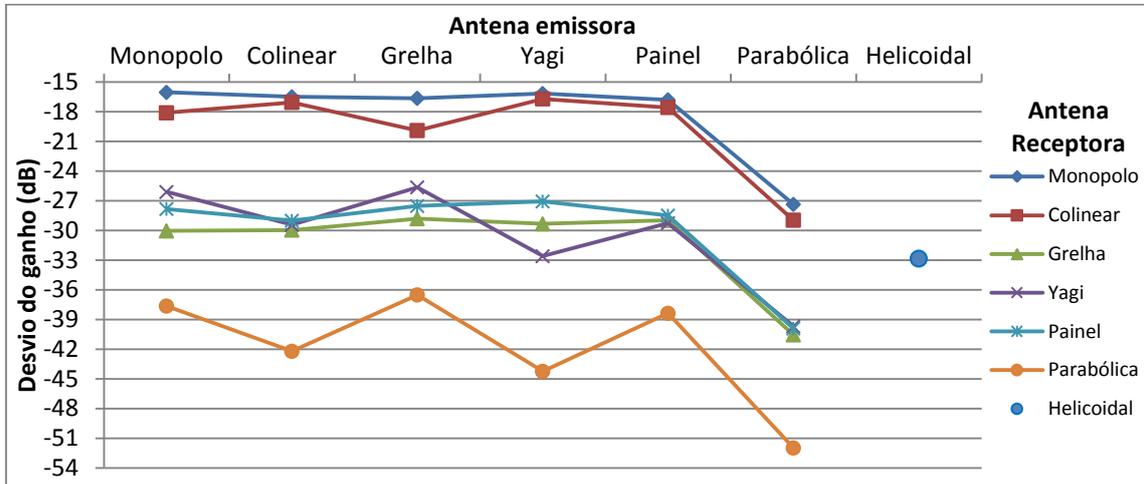
Tabela 5.10 - Parâmetros do modelo log-normal para as diferentes distâncias máximas na zona de folhagem.

Antenas		Distância máxima				Antenas		Distância máxima			
Emissora	Receptora	75	100	125	150	Emissora	Receptora	75	100	125	150
Monopolo	Monopolo	3,31	3,88	4,34	4,44	Monopolo	Colinear	3,86	4,32	4,42	4,34
		50,72	47,27	44,26	43,51			49,26	46,64	46,04	46,60
		3,90	6,05	6,49	6,30			6,36	7,23	6,76	6,27
	Grelha	3,49	4,28	4,76	4,85		Yagi	3,31	3,68	4,09	4,48
		51,43	46,87	43,78	43,12			57,19	55,09	52,38	49,52
		4,60	6,28	6,94	6,62			7,08	6,98	6,83	7,20
	Painel	3,67	4,23	4,76	4,87		Parabólica	2,30	2,71	3,18	3,94
		49,76	46,57	43,14	42,32			70,95	68,51	65,48	59,94
		3,61	5,64	6,64	6,49			6,54	7,12	7,10	8,74
Colinear	Monopolo	3,75	3,91	4,19	4,38	Colinear	Colinear	3,27	3,96	4,46	4,39
		48,35	47,51	45,66	44,29			51,51	47,64	44,37	44,85
		4,25	4,39	4,97	5,21			3,99	5,16	5,78	5,63
	Grelha	3,73	4,66	4,89	4,88		Yagi	4,11	4,50	4,67	4,86
		51,38	46,13	44,60	44,68			50,51	48,30	47,23	45,81
		3,23	5,84	5,52	5,22			5,86	6,11	5,63	5,87
	Painel	3,70	4,18	4,55	4,63		Parabólica	3,90	4,74	4,96	5,06
		51,57	48,72	46,30	45,74			55,39	50,64	49,30	48,55
		3,90	4,74	5,00	5,06			5,17	7,94	7,53	7,01
Grelha	Monopolo	3,56	3,73	4,08	4,26	Grelha	Colinear	3,81	3,95	4,43	4,30
		51,48	50,45	48,10	46,80			52,11	51,40	48,21	49,11
		4,47	4,27	4,76	4,71			4,72	5,68	6,70	6,57
	Grelha	3,75	4,94	5,40	5,27		Yagi	3,59	4,02	4,41	4,38
		50,15	43,29	40,26	41,19			50,69	48,32	45,76	46,01
		4,21	8,26	8,43	7,87			3,70	4,82	5,43	5,05
	Painel	3,72	4,14	4,39	4,48		Parabólica	3,66	4,53	4,68	4,63
		49,20	46,86	45,23	44,59			58,54	53,56	52,61	52,97
		3,99	4,70	4,71	4,58			3,33	6,44	6,07	5,77
Yagi	Monopolo	3,13	3,76	4,29	4,40	Yagi	Colinear	3,02	3,77	4,38	4,64
		53,08	49,54	45,97	45,11			51,67	47,40	43,44	41,59
		3,44	5,08	7,04	6,72			2,46	4,67	6,35	6,53
	Grelha	3,65	4,56	5,19	5,14		Yagi	3,77	4,41	5,00	4,82
		51,72	46,37	42,23	42,63			52,90	49,33	45,53	46,79
		4,05	7,63	7,99	7,33			3,00	6,22	7,00	6,59
	Painel	3,33	4,12	4,58	4,71		Parabólica	3,97	4,72	5,00	5,14
		52,57	48,16	45,20	44,27			59,64	55,29	53,48	52,50
		4,50	6,49	6,82	6,52			7,63	8,74	8,10	7,66
Painel	Monopolo	3,63	4,00	4,23	4,38	Painel	Colinear	3,67	3,90	4,21	4,28
		49,89	47,80	46,27	45,12			50,92	49,62	47,62	47,06
		5,77	5,95	5,82	5,65			3,19	4,12	4,29	4,28
	Grelha	3,89	4,85	5,45	5,07		Yagi	3,39	3,92	4,57	4,82
		49,60	44,11	40,18	42,92			52,63	49,51	45,33	43,45
		5,30	7,21	7,70	7,64			2,94	4,62	6,12	6,16
	Painel	3,59	4,25	4,91	4,73		Parabólica	3,24	3,86	4,16	4,69
		52,02	48,26	44,02	45,27			58,39	54,81	52,93	49,08
		3,80	5,34	6,97	6,68			6,68	7,04	7,10	7,93
Parabólica	Monopolo	3,91	3,74	4,08	4,13	Parabólica	Colinear	4,18	4,24	4,48	4,39
		59,16	60,09	57,91	57,57			58,16	57,73	56,15	56,77
		6,13	5,39	5,84	5,41			4,59	4,80	4,71	4,43
	Grelha	4,18	4,55	5,16	5,22		Yagi	3,85	4,06	4,37	4,34
		57,87	55,72	51,75	51,38			59,09	57,86	55,87	56,12
		4,85	5,57	7,27	6,93			4,18	4,28	4,66	4,33
	Painel	3,94	4,06	4,42	4,43		Parabólica	3,56	4,54	4,87	4,77
		61,11	60,48	58,15	58,05			68,43	62,68	60,49	61,21
		6,11	5,89	6,04	5,54			9,12	11,10	10,14	9,48
Helicoidal	Helicoidal	3,60	4,04	4,30	4,72						
		61,71	59,15	57,47	54,50						
		6,68	6,32	6,01	7,01						

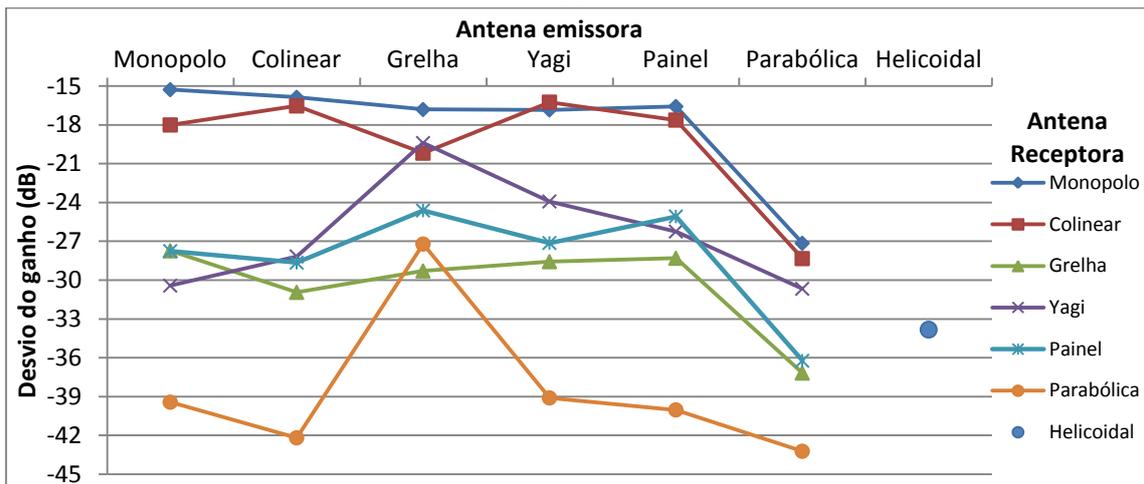
## 5.5.2 Análise 30° e 330°

### Análise 1 – Desvio do ganho

Os resultados do desvio do ganho para às posições de 30° e 330° no meio florestal ao nível da folhagem encontram-se representados na Figura 5.12 (a) e (b), respectivamente.



(a)



(b)

Figura 5.12 - Resultados obtidos do desvio do ganho no meio florestal (folhagem) para os: (a) 30°; (b) 330°.

Tal como tem vindo a acontecer nos restantes meios, verifica-se na Figura 5.12 que os resultados do desvio do ganho para as antenas omnidireccionais apresentam resultados muito semelhantes para ambas as posições e muito próximos aos resultados obtidos para 0°.

Mais uma vez, verifica-se que o desvio do ganho para as antenas directivas varia para os 30° e 330°. No entanto, em ambas as situações observa-se que quanto maior for o ganho da antena maior é o desvio do ganho, com a excepção da antena painel, que possui um ganho superior ao das antenas grelha e Yagi e no entanto apresenta desvios muito semelhantes a estes e nalgumas situações inferiores. Em relação à antena helicoidal, observa-se que a diferença do desvio de ganho na direcção de máxima radiação é os 30/330° é de aproximadamente -4 dB, sendo este valor muito próximo à diferença do ganho da antena na posição de 0 e 30/330°.

De igual forma ao que acontece para a direcção de máxima radiação, verifica-se que quando a antena parabólica está a emitir os desvios dos ganhos aumenta significativamente para qualquer que seja a antena receptora.

## Análise 2 – Parâmetros do modelo log-normal

Os resultados dos parâmetros do modelo log-normal obtidos para a posição de 30° são apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Parâmetros do modelo log-normal obtidos no meio florestal ao nível da folhagem para os 30°.

		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	4,39	4,35	4,26	4,34	4,46	4,22		
		44,33	45,16	46,22	45,03	44,23	57,46		
		5,98	5,94	4,67	6,19	5,50	5,36		
	Colinear	4,43	4,37	4,24	4,54	4,29	4,28		
		45,93	45,55	49,75	43,47	46,88	58,35		
		6,56	5,46	7,36	6,50	4,41	4,19		
	Grelha	4,10	3,98	4,65	4,42	4,35	4,46		
		61,40	62,62	54,18	57,34	57,64	68,03		
		6,62	5,90	6,18	5,75	5,60	7,16		
	Yagi	4,40	4,71	4,60	4,26	5,27	3,98		
		54,38	54,08	51,53	62,14	47,89	-72,23		
		8,22	6,23	6,40	7,35	6,68	8,24		
	Painel	4,51	3,98	4,88	4,24	4,00	4,02		
		54,81	61,64	50,46	57,03	60,94	72,18		
		6,62	5,54	7,45	7,88	6,65	4,99		
	Parabólica	3,39	3,82	4,02	3,54	3,60	3,81		
		76,66	76,68	68,74	81,78	75,13	86,51		
		7,05	6,51	7,04	7,10	6,89	9,05		
	Helicoidal								4,28
									62,66
									7,46

Analisando o resultado da Tabela 5.11 observa-se uma grande diferença entre as antenas omnidireccionais e directivas em relação ao parâmetro  $PL(5m)$ , sendo este maior para as antenas directivas, demonstrando assim, mais uma vez, que as antenas omnidireccionais são as mais adequadas quando se pretende receber sinal de qualquer direcção.

Tal como acontece para o meio florestal ao nível dos troncos, verifica-se que existe um aumento do parâmetro  $PL(5m)$  e uma diminuição do parâmetro  $n$  por parte das antenas directivas em relação à direcção da máxima radiação. Isto deve-se ao facto destas antenas não conseguirem receber sinal devido às reflexões para distâncias próximas do emissor mas sim para grandes distâncias.

As curvas da atenuação obtidas com os parâmetros da Tabela 5.11 são apresentadas no Anexo O. Em relação aos resultados obtidos para os 330° observa-se que estes apresentam resultados semelhantes aos obtidos para 30°. Os resultados dos parâmetros do modelo log normal e as curvas da atenuação obtidas para os 330° encontram-se no Anexo P.

## 5.6 Comparação de resultados

De modo a analisar-se a variação da atenuação de meio para meio, traçaram-se as curvas do desvio do ganho para as combinações onde a antena emissora é igual à antena receptora. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.13. À medida que se passa para meios com maior obstrução o desvio do ganho tende em desviar-se do ideal (0 dB), ou seja, a atenuação aumenta.

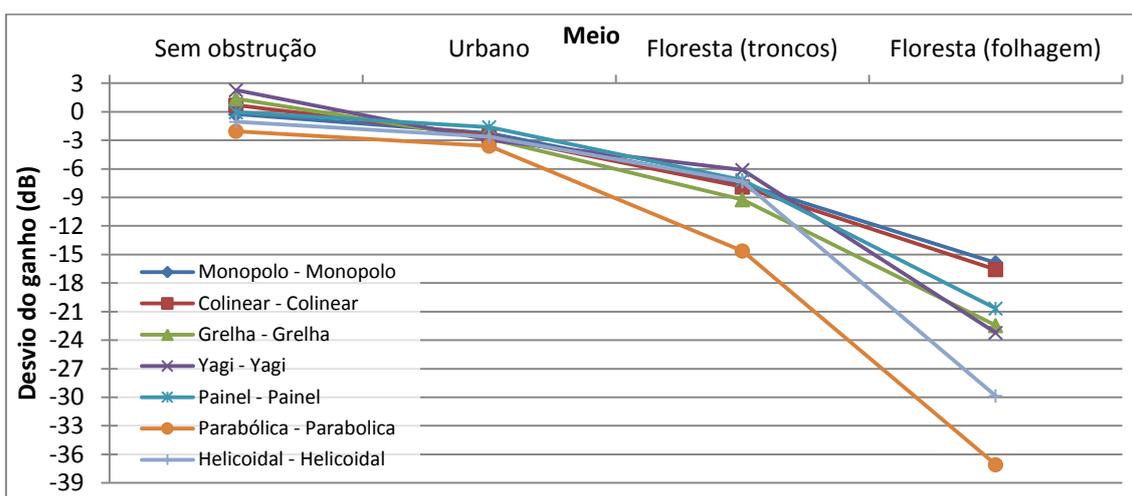


Figura 5.13 - Desvio do ganho para os diferentes meios, na direcção de máxima radiação.

Também se observa que à medida que se vai passando para meios mais obstruídos as diferenças das atenuações entre antenas aumenta. No entanto, na maior parte das combinações efectuadas verifica-se que a diferença da atenuação entre duas antenas não supera a diferença do ganho das mesmas, ou seja, o nível de sinal recebido por uma antena de maior ganho que apresente maior atenuação é superior a uma antena de menor ganho que apresente uma menor atenuação. Para uma melhor percepção desta situação, na Tabela 5.12 é apresentada uma comparação do nível de sinal recebido para os 150 metros de todas as combinações de antenas e para os 4 meios analisados, resultados obtidos através dos parâmetros do modelo log-normal. É de referir que estes resultados já têm em consideração do ganho das antenas emissora e receptora.

Analisando a Tabela 5.12, verifica-se mais uma vez que o nível de sinal recebido diminui à medida que se passa para meios mais obstruídos. Ainda, observa-se que à medida que o ganho das antenas aumenta o nível de sinal recebido também aumenta, sendo este muito próximo a diferença do ganho das antenas. No entanto, esta situação verifica-se apenas para o meio sem obstáculos. Nos meios com mais obstáculos, essa diferença é menos significativa, e nalgumas situações o nível de sinal recebido é menor ou aproximadamente igual ao nível de sinal recebido por antenas de menor ganho, como é o caso da antena painel que apresenta um ganho de 14,5 dBi e, no entanto, na maior parte dos resultados obtidos o nível de sinal recebido por esta é quase idêntico e em certos casos até é superior a nível de sinal recebido pela antena parabólica que possui um ganho de 23 dBi.

Relativamente a antena helicoidal, verifica-se que nos meios sem obstáculos, urbano e florestal ao nível dos troncos, apresenta resultados muito próximos das antenas grelha e Yagi quando na emissão encontram-se estas mesmas antenas. No entanto, para o meio florestal ao nível da folhagem verifica-se que o nível de sinal recebido por esta é muito inferior, sendo muito próximo ao nível de sinal recebido pela antena grelha e Yagi, mas quando na emissão encontra-se a antena monopolo.

Tabela 5.12 - Nível do sinal recebido, nos 150 metros, para as diferentes combinações nos distintos meios.

Antena		Nível de sinal recebido (dBm) para os 150 metros no meio			
Emissora	Receptora	Sem obstáculos	Urbano	Florestal (Troncos)	Florestal (Folhagem)
Monopolo	Monopolo	-82	-85	-94	-107
	Colinear	-78	-78	-88	-101
	Grelha	-73	-77	-84	-103
	Yagi	-73	-78	-86	-103
	Painel	-71	-72	-81	-99
	Parabólica	-63	-70	-79	-94
Colinear	Monopolo	-75	-78	-85	-100
	Colinear	-67	-73	-81	-94
	Grelha	-68	-68	-81	-98
	Yagi	-65	-71	-78	-99
	Painel	-63	-67	-80	-92
	Parabólica	-59	-64	-75	-92
Grelha	Monopolo	-66	-78	-86	-94
	Colinear	-65	-72	-81	-94
	Grelha	-64	-71	-82	-100
	Yagi	-58	-65	-76	-89
	Painel	-57	-65	-73	-85
	Parabólica	-50	-63	-70	-87
Yagi	Monopolo	-71	-75	-83	-98
	Colinear	-65	-69	-77	-91
	Grelha	-66	-71	-79	-100
	Yagi	-59	-67	-73	-96
	Painel	-58	-62	-71	-88
	Parabólica	-60	-56	-68	-94
Painel	Monopolo	-67	-73	-84	-94
	Colinear	-61	-70	-75	-88
	Grelha	-57	-63	-72	-92
	Yagi	-57	-61	-72	-89
	Painel	-55	-58	-66	-86
	Parabólica	-51	-54	-65	-81
Parabólica	Monopolo	-59	-63	-74	-94
	Colinear	-53	-58	-69	-91
	Grelha	-48	-54	-67	-94
	Yagi	-49	-54	-65	-86
	Painel	-46	-50	-61	-86
	Parabólica	-38	-44	-60	-86
Helicoidal	Helicoidal	-63	-69	-77	-103

De modo a observar-se melhor estas diferenças, traçaram-se as curvas que relacionam o nível de sinal recebido por pares de antenas iguais em função do seu ganho e comparou-se esta com o que era esperado obter através da curva do espaço livre. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 5.14.

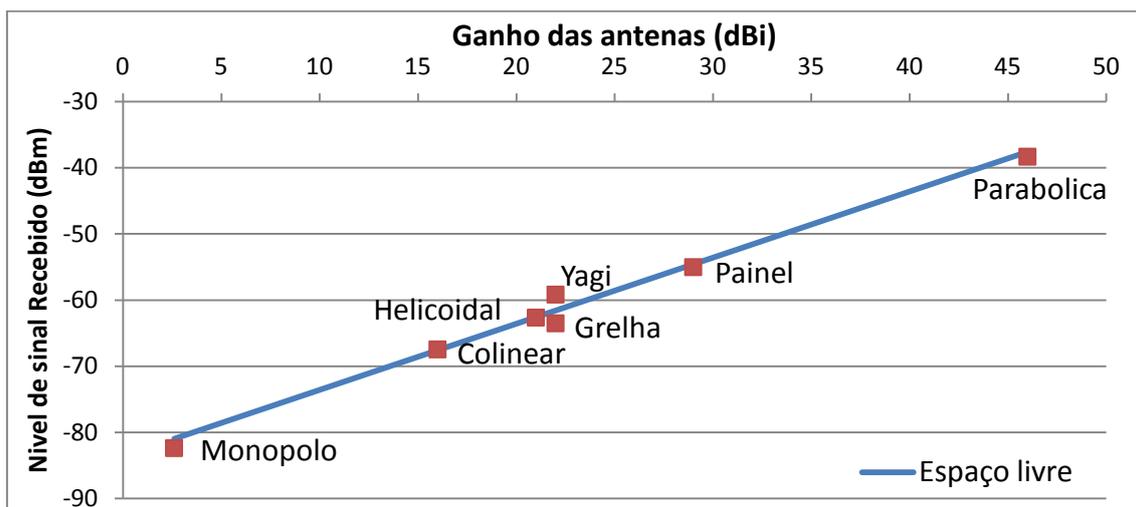
Ao analisar os resultados apresentados na Figura 5.14, verifica-se que para o meio sem obstáculos todas as combinações de antenas apresentadas acompanham a curva do espaço livre, ou seja, apresentam a mesma atenuação.

Em relação ao meio urbano observa-se que existe uma pequena diferença em relação ao que era esperado pela curva do espaço livre, no entanto, verifica-se que a antena painel acompanha a tendência da antena monopolo, ou seja, estas antenas apresentam a mesma atenuação.

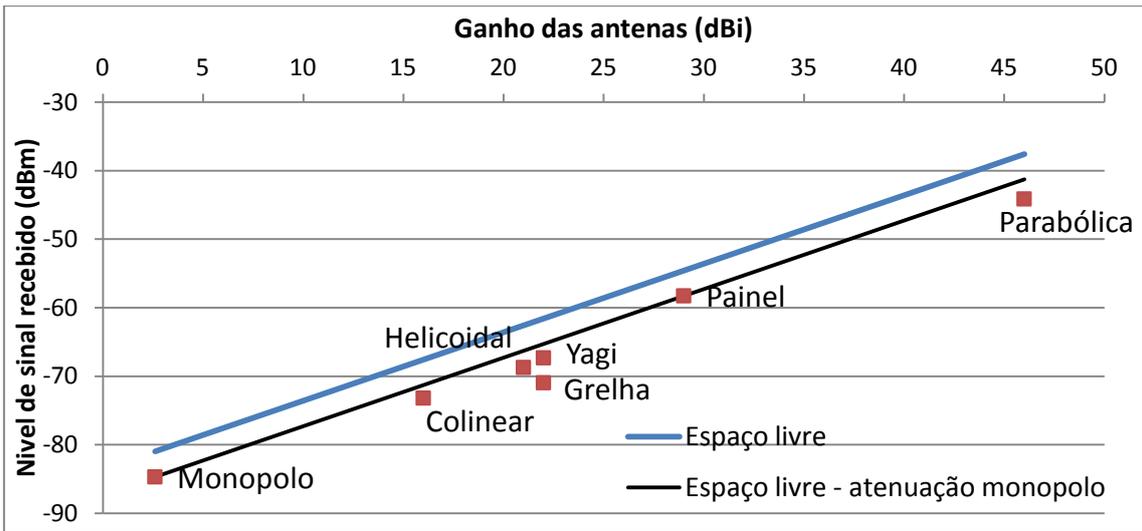
No meio florestal ao nível dos troncos nota-se que não só a antena painel, mas também a antena colinear e Yagi seguem essa tendência, podendo-se assim observar que a atenuação não aumenta com o aumento do ganho da antena.

E por último, no meio florestal ao nível da folhagem verifica-se que apenas a antena colinear segue essa tendência, sendo que as restantes antenas apresentam uma maior atenuação. No entanto, ainda é possível observar que a diferença do nível de sinal recebido pela antena painel é inferior aos das antenas grelha e Yagi que são antenas de menor ganho, demonstrando assim que o aumento da atenuação não depende somente do aumento do ganho da antena, mas também do diagrama de radiação.

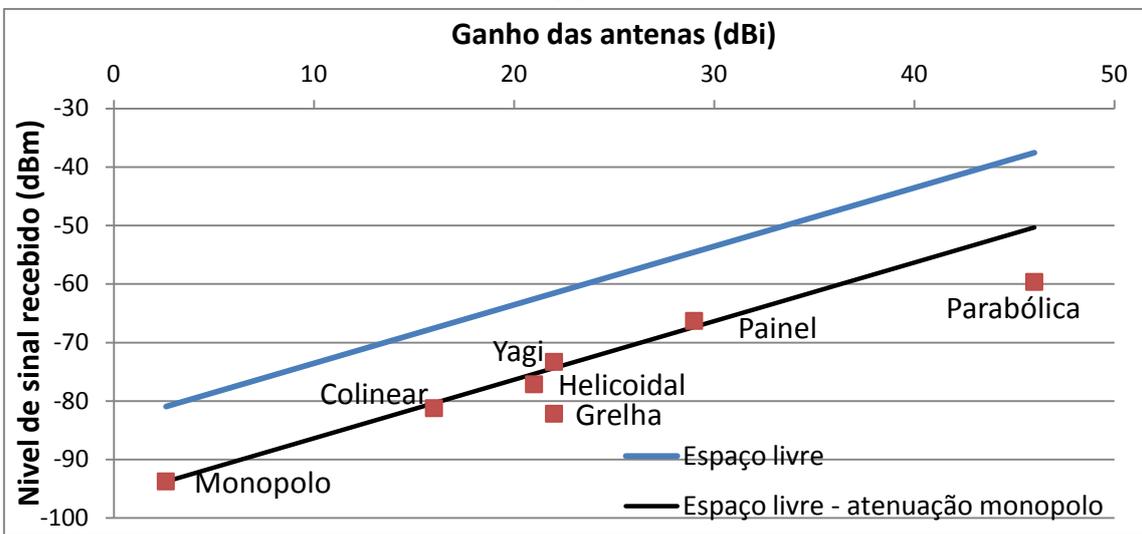
Ainda é possível observar que nos diferentes meios as antenas Yagi e grelha, que são antenas com ganhos idênticos apresentam resultados distintos.



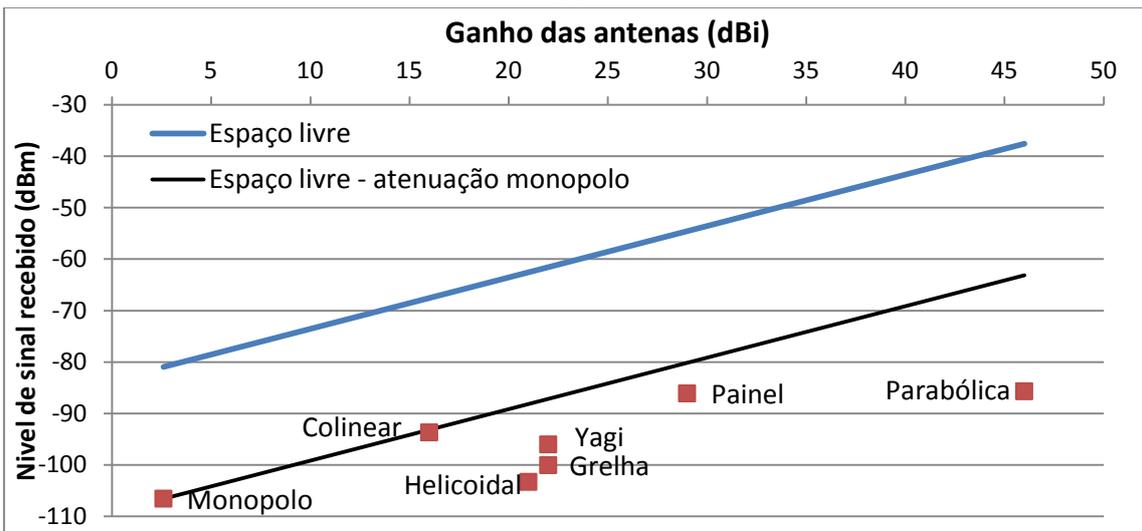
(a)



(b)



(c)



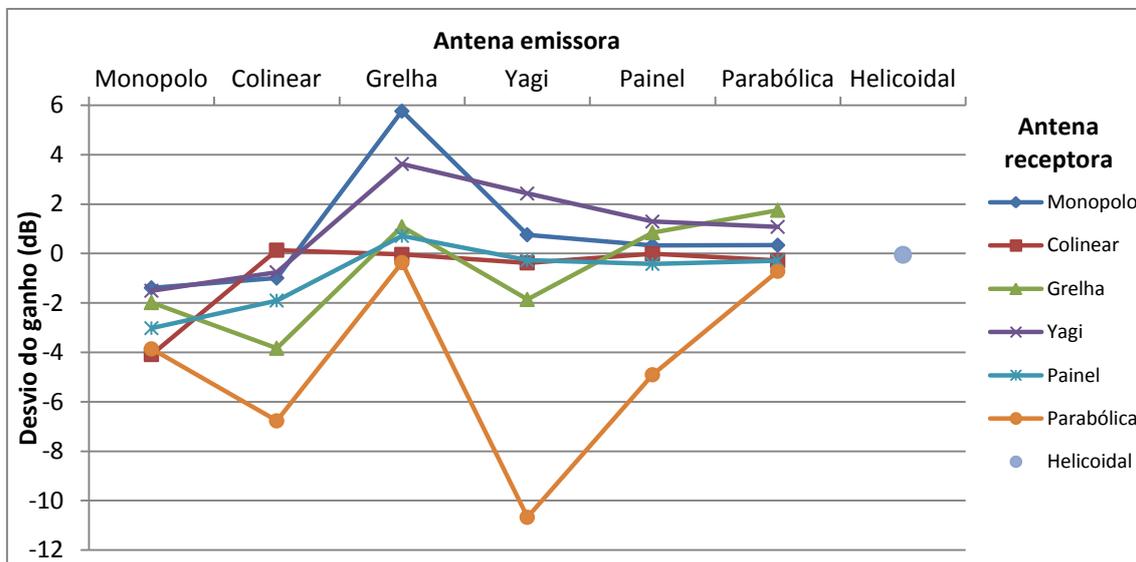
(d)

Figura 5.14 – Comparação do nível de sinal recebido em função do ganho da antena nos meios: (a) Sem obstáculos; (b) Urbano; (c) Florestal ao nível dos troncos; (d) Florestal ao nível da folhagem.

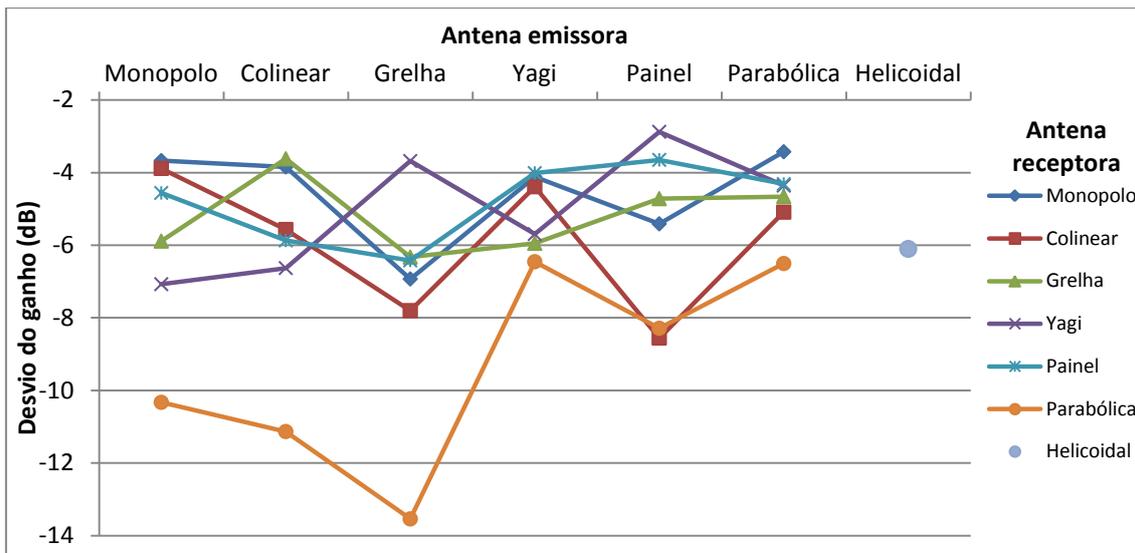
De forma a analisar qual a melhor antena a utilizar em cada meio, traçou-se os gráficos do desvio do ganho de cada combinação de antenas. Estes foram obtidos removendo o ganho das antenas e a atenuação do espaço livre ao nível de sinal recebido nos 150 m, obtidos através do modelo log-normal (Tabela 5.12). Os resultados obtidos em cada um dos meios são representados na Figura 5.15.

Ao analisar os vários resultados obtidos na figura 5.15, afere-se que a antena parabólica, quando encontra-se na situação de antena receptora, apresenta sempre um pior desempenho. De igual forma, no meio florestal ao nível dos troncos (Figura 5.15 (C)) observa-se que o agrupamento apresenta um resultado melhor do que a antena parabólica, no entanto, pior do que as restantes antenas. Sendo assim, pode-se concluir que antenas muito directivas, de ganho elevado, não são as mais adequadas para ser utilizadas como antenas receptoras em qualquer que seja o meio envolvente. Contrariamente, quando estas são utilizadas na emissão, nota-se que apresentam um bom desempenho nos meios com menos obstáculos, enquanto que para meios com vegetação são as que apresentam um pior resultado.

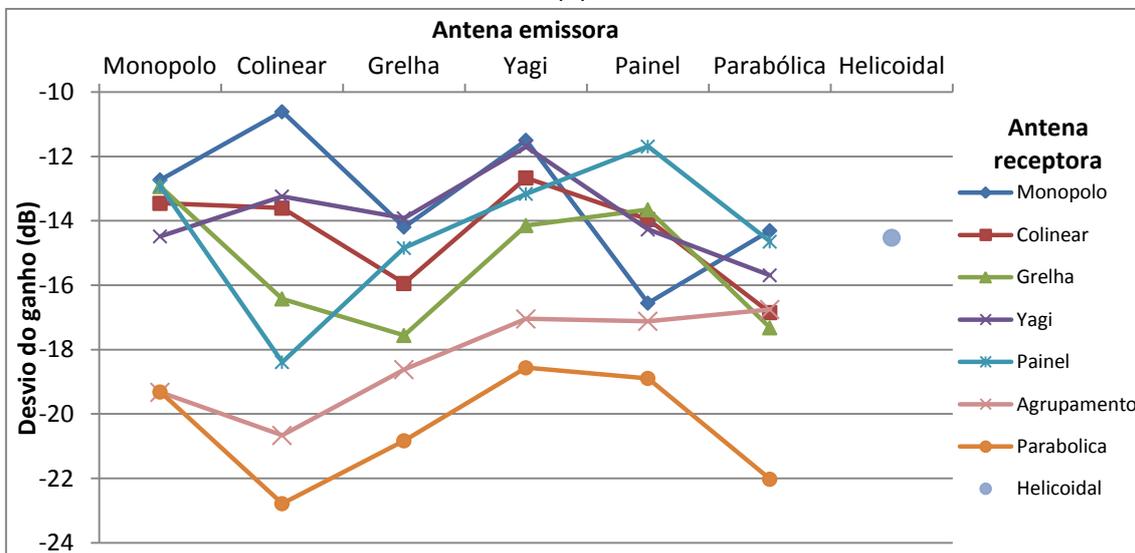
Relativamente às antenas omnidireccionais, quando se encontram como antenas receptoras, verifica-se que apresentam um bom desempenho em todos os meios. No entanto, para meios com menos obstáculos o desempenho em relação às antenas mais directivas não é muito significativo. Quando estas se encontram na situação de antena emissora, nota-se que para o meio sem obstáculos apresentam um pior desempenho, mas a diferença em relação as antenas directivas não é muito significativa.



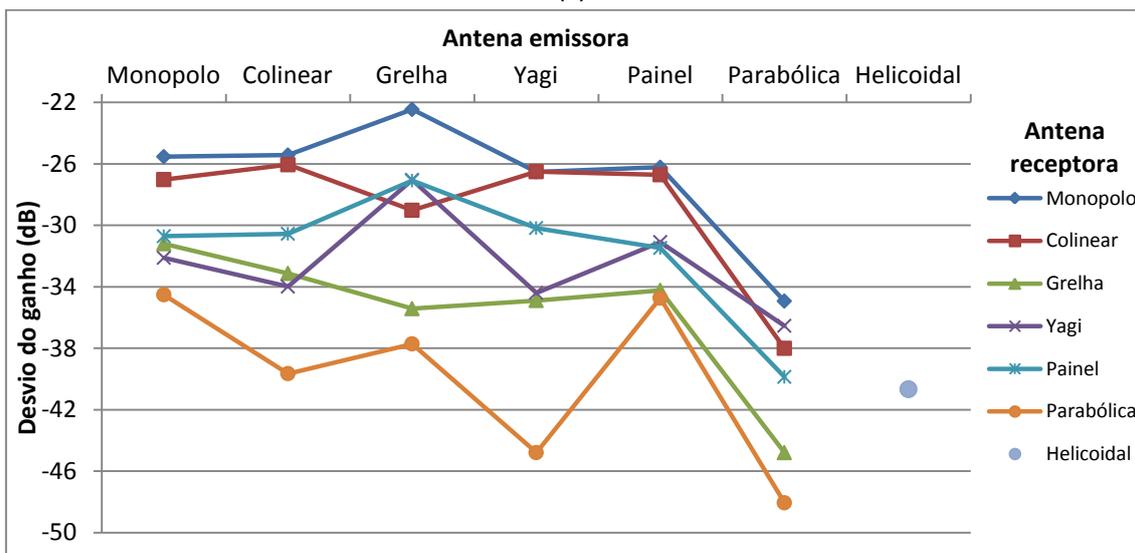
(a)



(b)



(c)



(d)

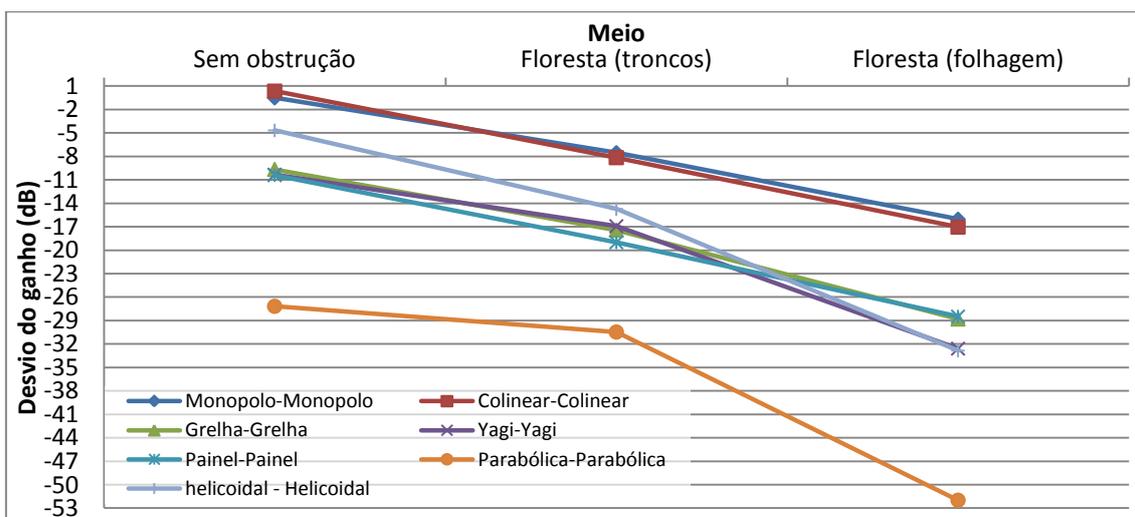
Figura 5.15 - Desvio do ganho no meio: (a) sem obstáculos; (b) urbano; (c) florestal ao nível dos troncos; (d) florestal ao nível da folhagem.

Quanto às antenas grelha e Yagi, que são antenas com ganhos idênticos (11 dBi), observa-se que esta última apresenta um melhor desempenho do que a antena grelha quando se encontra na situação de antena receptora em todos os meios e muito semelhantes aos das antenas omnidireccionais nos meios sem obstáculos, urbano e floresta ao nível dos troncos. Contrariamente, quando estas estão na emissão, nota-se que a antena Yagi no geral apresenta um menor desvio do ganho, no entanto, no meio sem obstáculos, a antena grelha é melhor. Ainda, em relação a antena helicoidal, cujo ganho é de 10,5 dBi, verifica-se que esta apresenta resultados muito semelhantes às antenas grelha e Yagi em todos os meios, com a excepção no meio florestal ao nível da folhagem, cujo desempenho é muito pior.

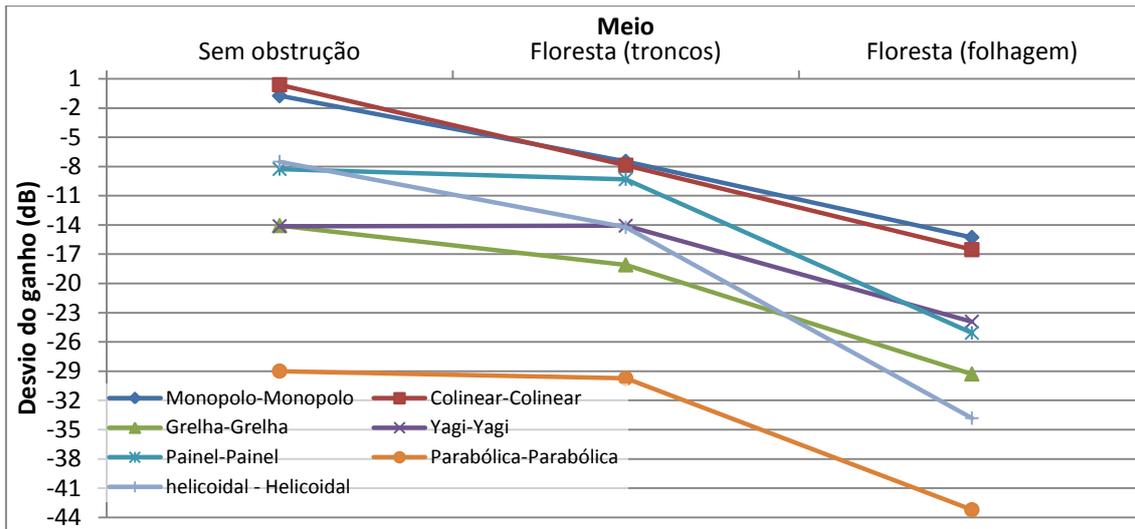
Relativamente à antena painel (com 14,5 dBi de ganho), quando se encontra na recepção, verifica-se que apresenta um bom desempenho em todos os meios, sendo muito semelhante e em certas situações melhores que as antenas omnidireccionais e Yagi cujos ganhos são inferiores. Este melhor desempenho pode estar relacionado com o facto da antena painel possuir um diagrama de radiação com lóbulo secundário (oposto ao lóbulo principal) com uma maior diferença do nível de sinal recebido em relação ao lóbulo principal (-21 dB), enquanto que a antena Yagi apresenta um lóbulo secundário (oposto ao lóbulo principal) com menor diferença do lóbulo principal (-11 dB, respectivamente).

Na Figura 5.16 (a) e (b) apresenta-se a comparação do desvio do ganho para os 30° e 330°, respectivamente, quando são utilizadas combinações de antenas do mesmo tipo nos diferentes meios analisados. Tal como tinha sido referido anteriormente, observa-se diferenças que os resultados obtidos para os 30° e 330° não são semelhantes, existindo um menor desvio do ganho para os 330°, sendo isto devido ao meio não ser simétrico.

Verifica-se que, tal como acontece na direcção de máxima radiação, o desvio do ganho aumenta à medida que passa-se para meios mais obstruídos. Ainda, nota-se que quanto maior for o ganho da antena maior é o desvio do ganho. No entanto, esta grande diferença deve-se ao facto de não estar a ser considerado o ganho relativo da antena para os 30/330°.



(a)



(b)

Figura 5.16 -Desvio do ganho para os: (a) 30°; (b) 330° nos diferentes meios.

No entanto, à medida que passa-se para meios com maior obstrução esse aumento é menos significativo, sendo isto devido ao aumento de propagação multi-percurso. De modo a se observar esta situação, na Figura 5.17 apresenta-se a diferença entre o desvio do ganho na direcção de máxima radiação e a média do desvio do ganho na direcção de 30/330° para os vários meios analisados. É de referir que estes desvios foram obtidos através da diferença do valor da atenuação no espaço livre e da atenuação obtida através dos parâmetros do modelo log-normal para os 150 m.

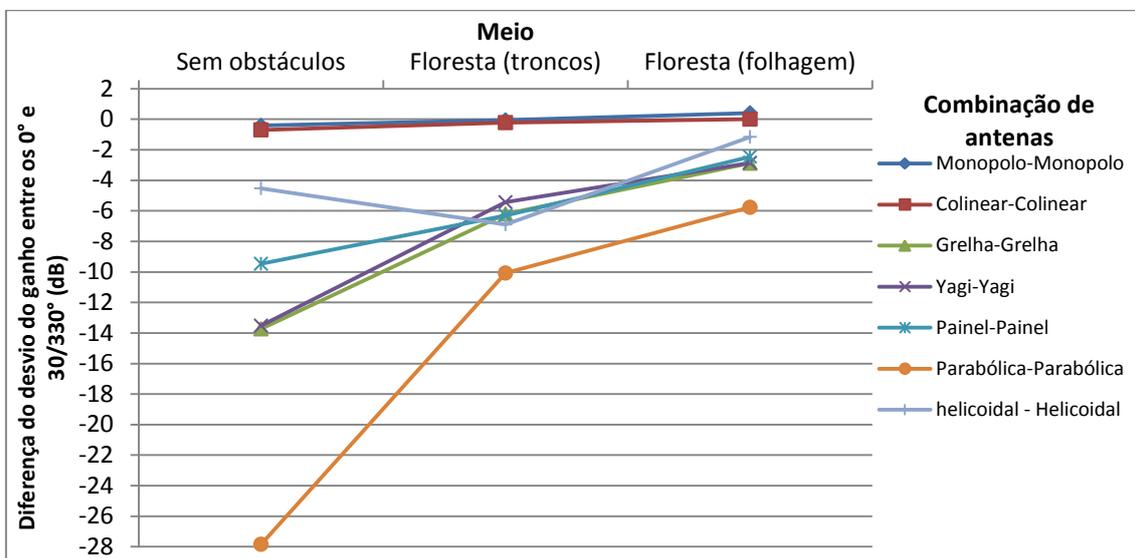


Figura 5.17- Diferença do desvio do ganho entre os 0° e 30/330°.

Tal como pode-se observar, nota-se que a maior diferença ocorre para o meio sem obstáculos. No entanto, a diferença do ganho neste meio corresponde, aproximadamente, à diferença do ganho da antena entre os 0° e 30/330°, com a excepção das antenas helicoidal, Yagi e painel que apresentam um desvio inferior ao esperado (-7 dB, -20 dB e -15 dB, respectivamente).

Ainda, verifica-se que a diferença do desvio do ganho para as antenas monopolo e colinear mantêm-se constante, sendo isto devido às antenas serem omnidireccionais.

Relativamente à antena helicoidal, verifica-se que, ao contrário do que acontece com as restantes combinações, apresenta um aumento da diferença do ganho do meio sem obstáculos para o meio florestal (troncos), voltando a diminuir para o meio florestal folhagem. No entanto, verifica-se que a diferença encontra-se muito próximo da diferença do ganho da antena nas posições de 0° e 30/330°. Sendo assim, verifica-se que este tipo de antenas, com polarização circular, reduzem o efeito da propagação multi-percurso, tal como tinha sido referido no capítulo 2.

Por último é de referir que nos meios florestais esta diferença do desvio do ganho diminui com a distância, uma vez que, para distâncias próximas do emissor, a diferença da atenuação entre os 0° e 30/330° é muito próxima da diferença do ganho da antena nas respectivas posições e para distâncias mais afastadas do emissor as atenuações para os diversos ângulos aproximam-se, tal como pode ser observado na Figura 5.18.

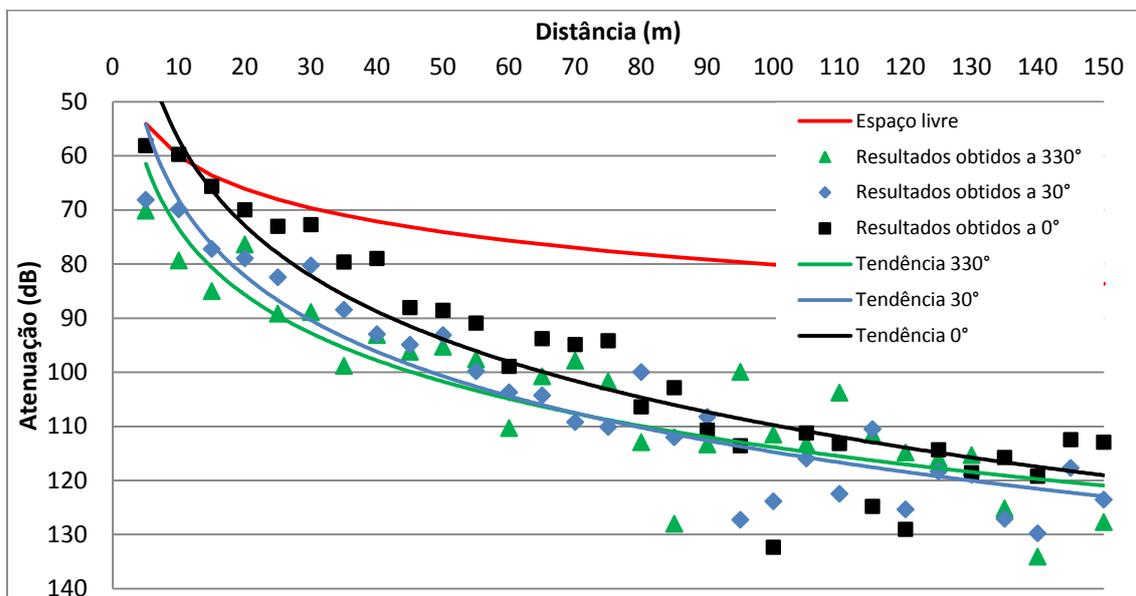


Figura 5.18 - Comparação entre a atenuação a 0° e 30/330°.

## 6. Conclusões e trabalhos futuros

Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais do presente trabalho e são indicados alguns trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos de modo a implementar um modelo adequado que considere o ganho e tipo de antena.

### 6.1 Conclusão

Com o culminar deste trabalho pode-se dizer que o objectivo principal foi atingido, ou seja, analisou-se o efeito do ganho das antenas nas perdas de percurso de uma ligação. Para tal, foram utilizadas 37 combinações de antenas com ganhos a variar desde os 2,6 dBi até os 46 dBi, das quais 36 foram com polarização linear (vertical) e a outra sendo de polarização circular.

Para a realização deste trabalho aferiu-se a importância da implementação de um sistema automático para a medição do diagrama de radiação das antenas, uma vez que permite-nos obter as características de radiação das mesmas com uma boa precisão.

Verificou-se a relevância da implementação de um sistema que interliga a antena ao computador através do analisador de espectro para a medição da propagação do sinal, uma vez que permite analisar-se a curva da propagação do sinal em tempo real e ainda ser comparada com a curva do espaço livre.

Relativamente ao estudo da propagação do sinal, este foi efectuado em 4 meios diferentes, sendo estes: meio sem obstáculos, meio urbano, e dois meios florestais sendo um caracterizado por troncos e o outro por folhagem, verificando um aumento da atenuação do sinal à medida que passa-se para meios com maior obstrução.

Em relação ao meio sem obstáculos verificou-se que no geral todas as combinações de antenas utilizadas acompanham a curva do espaço livre, existindo apenas uma maior atenuação para a situação em que a antena parabólica encontra-se a receber. Esta variação deve-se ao facto desta antena ser muito directiva, sendo que pequenas variações no ângulo de posicionamento da mesma, altera de forma significativa o nível de sinal recebido pela mesma. No entanto, devido ao seu elevado ganho o nível de sinal recebido por esta é sempre superior a qualquer outra antena. Desta forma, observa-se que as melhores antenas a serem utilizadas quer na emissão quer na recepção são as antenas mais directivas.

Quanto ao meio urbano aferiu-se um pequeno aumento da atenuação face ao meio sem obstáculos, sendo esta devido a uma maior diversidade de objectos que alteram a propagação do sinal. No entanto, e tal como acontece no meio sem obstrução, verifica-se que com a utilização de antenas mais directivas, o nível de sinal recebido será superior. Apesar da antena parabólica ser a antena com maior ganho, verifica-se que a atenuação que esta apresenta quando encontra-se a receber, faz com que o nível de sinal recebido seja muito próximo ao da antena painel que possui um ganho 8,5 dB inferior. Sendo assim, pode-se concluir que a melhor antena a ser usada neste meio são antenas directivas na emissão e na recepção as antenas painel e omnidireccionais são as mais adequadas.

Relativamente ao meio florestal ao nível dos troncos, afere-se que existe um grande aumento da atenuação face aos meios sem obstáculos e urbano. Quanto ao desempenho das antenas no meio em questão verifica-se que existe uma maior divergência entre estas. Sendo que, as antenas monopolo, painel e Yagi são as que apresentam melhores resultados na situação de antena emissora e receptora.

No meio florestal ao nível da folhagem, verifica-se um grande aumento na atenuação à medida que o ganho da antena receptora aumenta, com excepção da antena painel que apresenta um melhor desempenho do que a antena grelha e Yagi, apesar de ter um ganho superior. Desta forma, afere-se que o melhor tipo de antena a ser utilizada neste meio, são as antenas omnidireccionais e painel para qualquer que seja a antena emissora, com a excepção da antena parabólica que apresenta sempre um pior desempenho.

Quanto aos resultados da propagação do sinal para os ângulos de  $30^\circ$  e  $330^\circ$ , observa-se que as antenas omnidireccionais apresentam resultados semelhantes aos resultados obtidos para a situação em que as antenas encontram-se na direcção de máxima radiação. Pelo contrário, verifica-se que as antenas directivas apresentam atenuações superiores à do espaço livre, sendo que para o meio sem obstáculos esta está relacionada com a diferença do ganho da antena entre os  $0^\circ$  e  $30/330^\circ$ . Nos meios florestais esta situação apenas se verifica para o caso da antena helicoidal, uma vez que apresenta desvios de ganhos muito próximos à diferença do ganho da antena nas respectivas posições, ou seja, não recebem muito sinal vindo de reflexões.

Relativamente às antenas grelha, Yagi e painel, verifica-se que apresentam, aproximadamente, o mesmo comportamento, sendo que o desvio existente entre a direcção de máxima radiação e os  $30/330^\circ$  é inferior à diferença do ganho das antenas nas posições referidas, ou seja, conseguem receber sinal proveniente de reflexões. Quanto à antena parabólica verifica-se que esta apresenta um maior desvio, no entanto, quando comparado com os resultados obtidos na direcção de máxima radiação observa-se que a diferença existente entre estas também é inferior a diferença do ganho nas posições de  $0$  e  $30/330^\circ$ .

## 6.2 Trabalhos futuros

Com a realização deste trabalho verificou-se que existem alguns pontos que podem ser melhorados nos sistemas de medição desenvolvidos, assim como diversas medições que devem ser efectuadas para implementar um modelo adequado a cada meio. Dentro destes pode-se referir:

- Melhorar a parte mecânica do sistema de medição do diagrama de radiação de modo a que possa suportar antenas de maior dimensão e peso.
- Uma vez que o modelo log normal é o mais adequado para a análise da propagação do sinal, o sistema de medição da atenuação em função da distância deve ser melhorado de modo a que de forma automática calcule os parâmetros do referido modelo, diminuindo assim o tempo de tratamento de dados.
- Efectuar-se mais medições noutros locais urbanos e florestais (troncos e folhagem) de modo a implementar-se um modelo de propagação adequado.

## 7. Bibliografia

- [1] Nutt, A., The History of Wireless Networking, *Ezine Articles*, [Online], URL: <http://ezinearticles.com/?The-History-of-Wireless-Networking&id=2761612>, Consultado em: 20 Junho 2011.
- [2] Manabe, T., Miura, Y. e Ihara, T., "Effects of Antenna Directivity and Polarization on Indoor Multipath Propagation Characteristics at 60 GHz", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, Nº 3, pp. 441-448, Abril 1996.
- [3] Rappaport, T.S., Liberti, J.C. e Blackard, K.L., "The Effects of Antenna Gains and Polarization on Multipath Delay Spread and Path Loss at 918 MHz on Cross-Campus Radio Links", *IEEE 42nd Vehicular Technology Conference*, pp. 550-553, 1992.
- [4] Rappaport, T. S., Liberti, J. C., Blackard, K. L. e Tuch, B., "Implications of Link Range and (In)Stability on Sensor Network Architecture", *WiNTECH '06*, pp. 65-72, 2006.
- [5] Vogel., J. G. e Wolfhard, J., *Handbook of Propagation Effects for Vehicular and Personal Mobile Satellite Systems - Overview of Experimental and Modeling Results*, Texas, 1998.
- [6] Sousa, T. A. P., *Relação entre ganho da antena e propagação em meio urbano*, Projecto de Licenciatura em Engenharia em Electrónica e Telecomunicações, CCCEE, Univ. da Madeira, 2010.
- [7] Pereira, M. A. B., *Análise de Modelos de Propagação na áre Urbana da Região de Curitiba – PR na Faixa de Frequência de 1800 MHz*, Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná, 2007.
- [8] Rogers, NC., Seville, A., Richter, J., Ndzi, D., Savage, N., Shukla, C. A. K., Al-Nuaimi, M. O., Craig, K.; Vilar, E. e Austin, J., *A Generic Model of 1-60 GHz Radio Propagation through Vegetation*, UK: Radiocommunications Agency, 2002.
- [9] Sizum, H., *Radio Wave Propagation for Telecommunication Applications*. 1ª ed., Paris: Springer, ISBN 3-540-40758-8, 2003.
- [10] Azevedo, J. A., *Fundamentos Básicos de Antenas*. Apontamentos da cadeira: Radiação e Propagação, CCCEE, Univ. da Madeira, Funchal, 2000
- [11] Azevedo, J. A. R. and Santos, F. E. S., "An Empirical Propagation Model for Forest Environments at Tree Trunk Level", *IEEE Antennas and Propagation Society*, Vols. 59, Nº 6, Portugal, 2011.
- [12] Seybold, J. S., *Introduction to RF propagation*. 1ª ed., New Jersey: Wiley-Interscience, 2005.
- [13] Lee, Y. S. e Meng, Y.H., "Investigations of Foliage Effect on Modern Wireless Communication Systems: A Review", *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 105, Singapore, 2010.
- [14] Hall, M. P. M., *COST 235 Radio Propagation Effects on Next-Generation Fixed-Service Terrestrial Telecommun*, Final Rep, ISBN 92-827-8023-6, 1996.
- [15] Balanis, C. A., *Antena Theory - Analysis and Design*, 2ª ed., USA: Jhon Wiley and Sons, 1997.
- [16] Balanis, C. A., *Antenna Theory - Analysis and Design*, 3ª ed, USA: Jhon Wiley & Sons, 2005.
- [17] Freescale Semiconductor, Freescale Semiconductor - Application Note. *Freescale*. [Online] URL:[http://freescalesemiconductorinc.com/files/rf\\_if/doc/app\\_note/AN2731.pdf](http://freescalesemiconductorinc.com/files/rf_if/doc/app_note/AN2731.pdf). Consultado em: 29 Março 2011.

- [18] Holub, A. e Polívka, M., *Collinear Microstrip Patch Antennas*, Czech Technical University in Prague, Czech Republic.
- [19] Bancroft., R. e Bateman, B., *Design of a Planar Omnidirectional Antenna*, Centurion Wireless Technologies.
- [20] Kraus., J. D. e Marchefka, R. J., *Antennas - For All Applications*, 2ª ed, Índia: McGrade-Hill, 1997.
- [21] Jefferies Yagi-Uda antennas, *Yagi-Uda antennas*, [Online], URL: <http://info.ee.surrey.ac.uk/Personal/D.Jefferies/yagiuda.html>, Consultado em: 10 Junho 2011.
- [22] Muller, T. e Andreas, F., Security of Wireless Networks. *Security of Wireless Networks*. [Online] URL: <http://www.0x7.ch/text/yagi.pdf>, Consultado em: 15 Fevereiro 2011.
- [23] Bravo, L. L., Antenas com Reflectores. *Faculdade da Tecnologia*, [Online], URL: <http://www.ceset.unicamp.br/~leobravo/TT%20402/cap15.pdf>, Consultado em: 03 Junho 2011.
- [24] Wade, P., Parabolic dish antennas, [Online], URL: <http://www.qsl.net/n1bwt/chap4.pdf>, Consultado em: 10 Fevereiro 2011.
- [25] Besten, D. R., Helical/helix antenna cookbook recipe for 2.4 GHz wavelans and/or WiFi applications, *Helix*, [Online], URL: <http://helix.remco.tk/>, Consultado em: 26 Fevereiro 2011.
- [26] Farnell, ASTROSYN - Y129 - STEPPER MOTOR, 1.8DEG, 12V. *il.farnell.com*. [Online] URL:[http://il.farnell.com/astrosyn/129/stepper-motor-1-8deg-12v/dp/9598642?whydiditmatch=rel\\_3&matchedProduct=586389](http://il.farnell.com/astrosyn/129/stepper-motor-1-8deg-12v/dp/9598642?whydiditmatch=rel_3&matchedProduct=586389), Consultado em: 10 Janeiro 2011.
- [27] ATMEL, Datasheet Microcontroller 90USB1287, *Atmel Microcontroller*, [Online] URL: [www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/7593S.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/7593S.pdf), Consultado em: 12 Janeiro 2011.
- [28] Mendonça, J. e Aguiar, L., *MicroRato*, Projecto de Licenciatura, CCCEE, Univ. da Madeira, Funchal, 2008.
- [29] Texas Instruments, Datasheet Quadruple Half-H Drivers L239NE (Rev. B), *Makingthings*, [Online] URL: [www.makingthings.com/resources/datasheets/SN754410NE\\_slrs007b.pdf](http://www.makingthings.com/resources/datasheets/SN754410NE_slrs007b.pdf). Consultado em: 18 Janeiro 2011.
- [30] FTDI, "Datasheet TTL-232-5V-PCB", *Future Technology Devices International*, [Online] URL: <http://www.ftdichip.com/Products/Cables/USBTTLSerial.htm>, Consultado em: 20 Janeiro 2011.
- [31] ROHDE & SCHWARZ, FSH-8 Sprectrum Analyzer - Especifications, *ROHDE & SCHWARZ*, [Online], URL: [http://www.rohde-schwarz.pt/file/N198\\_Handheld-spectrum-analyzers\\_FSH4\\_FSH8\\_e.pdf](http://www.rohde-schwarz.pt/file/N198_Handheld-spectrum-analyzers_FSH4_FSH8_e.pdf), Consultado em: 20 Março 2011.
- [32] ROHDE SCHWARZ, R&S®FSH-K40 - Remote Control Operating Manual, *ROHDE - SCHWARZ*, [Online], URL: [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrum\\_analysis/FSH4\\_8-|-Manuals-|-22-|-5018-|-5025.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH4_8-|-Manuals-|-22-|-5018-|-5025.html), Consultado em: 25 Março 2011.
- [33] ROHDE SCHWARZ, R&S®FSH4 - View Software Operating Manual, *ROHDE-SCHWARZ*. [Online] URL: [http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test\\_and\\_measurement/spectrum\\_analysis/FSH4\\_8-|-Manuals-|-22-|-5018-|-5037.html](http://www2.rohde-schwarz.com/en/products/test_and_measurement/spectrum_analysis/FSH4_8-|-Manuals-|-22-|-5018-|-5037.html), Consultado em: 25 Março 2011.

- [34] Todo Robot, "Tutorial sobre Motores Paso a Paso." *www.todorobot.com.ar*. [Online] URL: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>, Consultado em: 10 Janeiro 2011.
- [35] Balanis, C. A., *Antenna Theory - Analysis and Desig*, 1ª ed, Canada: Jhon Wiley and Sons, 1997
- [36] Azevedo, J. A. R. e Santos, F.E., "An Empirical Propagation Model for Forest Environments at Tree Trunk Level", *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, Vol. 59, Nº 6, 2011.
- [37] Azevedo, J. A., *Antenas*. Apointamentos da cadeira: Radiação e Propagação, CCCEE, Univ. da Madeira, 2000.
- [38] Gouveia, J. M, "*Circuitos de alimentação para agrupamentos de antenas*", Projecto de mestrado, Universidade da Madeira, 2011.



## 8. Anexos

### Anexo A Estudo teórico e pratico do motor passo a passo

Os motores passo a passo são ideais para a construção de mecanismos onde requerem-se movimentos muito precisos. A principal característica destes motores é o facto de poder movimentá-los um passo de cada vez a cada impulso aplicado. Estes podem variar os passos em 90° ou até passos muito precisos de 1,8° [34].

#### Tipos de motores passo a passo

Existem dois tipos de motores passo a passo, os bipolares que são normalmente constituídos por quatro fios de saída (Figura A.1 (a)) e os unipolares que são constituídos por 5 ou 6 fios de saída (Figura A.1 (b)). Estes últimos apresentam a vantagem de serem mais simples de controlar o seu movimento. O motor utilizado para a construção do sistema de medição do diagrama de radiação é do tipo unipolar com 6 fios de saída.



Figura A.1 - Tipos de motores passo a passo: (a) Bipolar (b) Unipolar [34].

#### Tipos de sequências para movimentar os motores passo a passo

Para controlar os motores passo a passo do tipo unipolar, existem três sequências possíveis. Todas elas começam novamente pelo primeiro passo uma vez alcançado o passo final.

A primeira sequência possível é a do tipo normal. Esta é normalmente a mais usada e geralmente recomendada pelos fabricantes dado que o motor avança um passo de cada vez e obtêm-se um alto torque de passo e de retenção devido a estarem sempre duas bobinas activadas. A comutação entre bobinas para efectuar-se uma sequência normal encontra-se apresentada na Tabela A.1.

Tabela A.1 - Comutação de bobinas para a sequência do tipo normal [34].

Passo	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	Movimento
1	<b>On</b>	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
2	<i>Off</i>	<b>On</b>	<b>On</b>	<i>Off</i>	
3	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	<b>On</b>	
4	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	

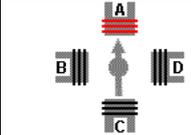
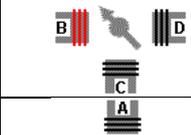
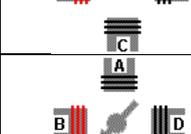
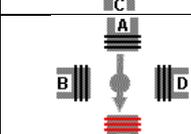
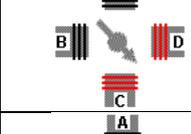
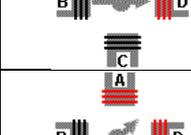
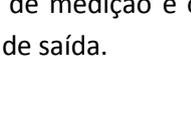
A segunda sequência possível a é do tipo *Wave Drive*, na qual apenas é activada uma bobina de cada vez. Esta apresenta a vantagem de ter um funcionamento mais suave, mas apresenta um torque de passo e retenção menor. A comutação de bobinas para este tipo de sequência apresenta-se na Tabela A.2.

Tabela A.2- Comutação de bobinas para a sequência do tipo *Wave Drive* [34].

Passo	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	Movimento
1	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
2	<i>Off</i>	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
3	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	<i>Off</i>	
4	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	

A última sequência possível é a do tipo passo médio. Esta apresenta a vantagem de obter um movimento igual a metade do passo real. Para tal, é necessário activar de forma intercalada uma e duas bobinas sucessivamente. Este foi o tipo de sequência utilizada no sistema de medição, obtendo-se assim um passo de 0,9° (metade do passo real – 1,8°). A comutação entre bobinas necessária para obter-se este tipo de passo encontra-se apresentada na Tabela A.3.

Tabela A.3 - Comutação de bobinas para a sequência do tipo passo médio [34].

Passo	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	Movimento
1	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
2	<b>On</b>	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
3	<i>Off</i>	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	
4	<i>Off</i>	<b>On</b>	<b>On</b>	<i>Off</i>	
5	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	<i>Off</i>	
6	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	<b>On</b>	
7	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	
8	<b>On</b>	<i>Off</i>	<i>Off</i>	<b>On</b>	

### Identificação das bobinas do motor ASTROSYN Y-129

Como já foi referido anteriormente, o motor utilizado para o sistema de medição é o motor ASTROSYN modelo Y-129 (Figura A.2) que é do tipo Unipolar com 6 fios de saída.

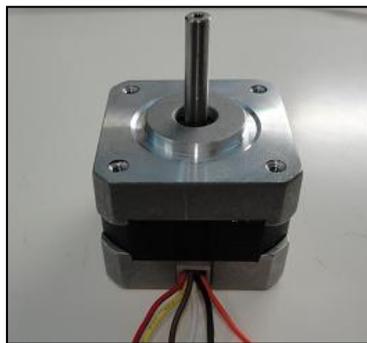


Figura A.2 - Motor passo a passo ASTROSYN Y-129.

Como pode-se observar na Figura A.1 (b), os motores unipolares com 6 fios de saída, apresentam dois fios comuns. Sendo assim, de modo a identificar-se as bobinas do motor, foi necessário inicialmente identificar os fios comuns. Para tal, mediu-se a resistência que existe entre cada par de fios, sendo que, os fios comuns deverão ter uma resistência igual a metade dos outros fios, isto porque apenas existe uma bobina entre um fio comum e qualquer outro fio. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela A.4.

Tabela A.4 - Resistência entre os pares de fios do motor ASTROSYN

Par de fios	Resistência ( $\Omega$ )	Par de fios	Resistência ( $\Omega$ )
Branco – Castanho	75	Preto – Amarelo	75
Branco – Vermelho	75	Preto – Laranja	75
Castanho – Vermelho	150	Amarelo – Laranja	150

Analisando-se a Tabela A.4 identificou-se que os fios comuns são os fios de cor Branca e Preta. Por último, de modo a identificar as bobinas A, B, C e D do motor, ligaram-se os fios comuns a 5V e os outros à massa. Escolheu-se um dos quatros fios ao acaso e ligou-se este a 5V, tal como apresentado na Figura A.3, sendo este considerado a bobina A.

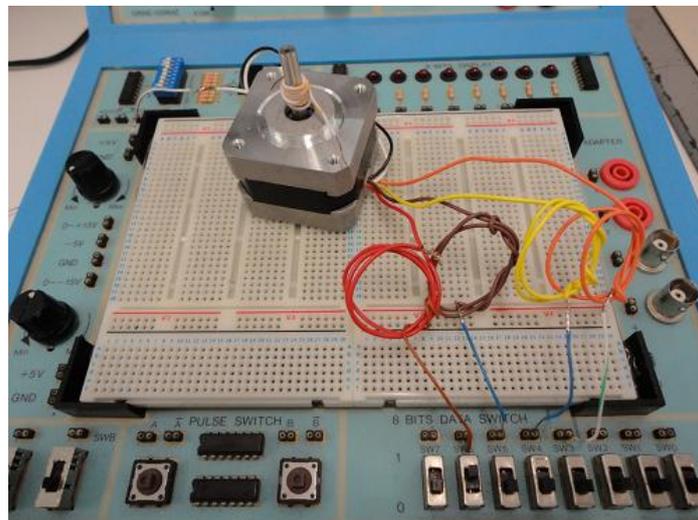


Figura A.3- Sistema Utilizado para identificar as bobinas do motor ASTROSYN Y-129.

Mantendo-se o fio da bobina A ligado a 5V, verificou-se qual dos outros fios ao ser ligado a 5V produzia um movimento no sentido contrário ao do ponteiro dos relógios, sendo este considerado a bobina B, e qual o que produzia um movimento no sentido do ponteiro dos relógios, sendo este considerado a bobina D. O fio que não produziu nenhum movimento, é então considerado como sendo a Bobina C. O resultado obtido foi o seguinte:

- Bobina A – Vermelho
- Bobina B – Laranja
- Bobina C – Castanho
- Bobina D - Amarelo

## Anexo B Código implementado no microcontrolador para controlar o motor passo a passo

```
#define F_CPU 8000000UL
/***** LIVRARIAS *****/
#include <stdlib.h>
#include <stdbool.h>
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/sfr_defs.h>
#include <avr/power.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <util/delay.h>
/***** NOMENCLATURA E CONSTANTES *****/
#define ADCVH 0
#define ADCCH 1
#define LED PE0
#define LEDDDR DDRE
#define PORTLED PORTE
#define IN1 PB1
#define INDDR DDRB
#define PORTIN PORTB
#define IN2 PB2
#define IN3 PB3
#define IN4 PB4
/***** FUNÇÕES AUXILIARES *****/
#define HI(x) (x>>8) // Utilizado para obter o MSB de número de 16 bit
#define LO(x) (x&0xff) //
#define BSET(p,b) ((p) |= (1<<b)) // Set bit
#define BCLR(p,b) ((p) &= ~(1<<b)) // Clear bit
/***** VARIÁVEIS GLOBAIS *****/
volatile int segundos = 0; // Variável de tempo
volatile int vhidro=0,chidro=0;
volatile int i=0;
volatile int estado=0; // variável de controlo
/***** APONTADORES DAS FUNÇÕES *****/
void USART_Init( unsigned int baud );
void USART_Transmit( unsigned char data );
unsigned char USART_Receive( void );
volatile char letraaux=0x00;
void configRTC(void);
void startSystem(void);
void roda2(void);
void roda3(void);
void roda4(void);
void roda5(void);
void roda6(void);
void ledON(void);
void in1ON(void);
void in2ON(void);
```

```

void in3ON(void);
void in4ON(void);
void ledOFF(void);
void in1OFF(void);
void in2OFF(void);
void in3OFF(void);
void in4OFF(void);
void startSystem(void){
BSET(LEDDDR,LED); // Coloca o pino LED como output
BSET(INDDR,IN1); // Coloca o pino IN1 como output
BSET(INDDR,IN2); // Coloca o pino IN2 como output
BSET(INDDR,IN3); // Coloca o pino IN3 como output
BSET(INDDR,IN4); // Coloca o pino IN4 como output
// Estado inicial
ledON(); // LED ligado
in1OFF(); // IN1 Desligado
in2OFF(); // IN2 Desligado
in3OFF(); // IN3 Desligado
in4ON(); // IN4 ligado
clock_prescale_set(0); // Define prescaler do relógio a 1 => uC a 8MHz
ADMUX = 0xE0; // Configura conversor ADC
ADCSRA = 0x86; //
DIDR0 = 0xFF; // Poupança de energia
USART_Init(51); // 9600 8bit + 1 stopbit XBEE
configRTC(); // Configura RTC
_delay_ms(1000); // Espera que cristal estabilize
sei(); // Activa interrupções
ledOFF(); // LED desligado
}
/***** PROGRAMA PRINCIPAL *****/
int main(){
startSystem();
for(;;)
{
if(segundos > 10){
segundos = 0;
ledON();
_delay_ms(100);
ledOFF();
}
}
// função para fazer rodar o motor 0,2 graus
void roda2(){
if (estado==0){
in1ON();
_delay_ms(5);
in4OFF();
estado=1;
}else{
if (estado==1){
in3ON();
_delay_ms(5);
in1OFF();
estado=2;
}else{
if (estado==2){
in2ON();
_delay_ms(5);
in3OFF();
}
}
}
}
}

```

```

estado=3;
}
else{
if (estado==3){
in4ON();
_delay_ms(5);
in2OFF();
estado=0;
}
}
}
}
// função para fazer rodar o motor 0,9 graus
void roda3(){
if (estado==0){
in1ON();
_delay_ms(5);
in4OFF();
_delay_ms(5);
in3ON();
_delay_ms(5);
in1OFF();
estado=1;
}
else{
in2ON();
_delay_ms(5);
in3OFF();
_delay_ms(5);
in4ON();
_delay_ms(5);
in2OFF();
estado=0;
}
}
// função para fazer rodar o motor 1,8 graus
void roda4(){
in1ON();
_delay_ms(5);
in4OFF();
_delay_ms(5);
in3ON();
_delay_ms(5);
in1OFF();
_delay_ms(5);
in2ON();
_delay_ms(5);
in3OFF();
_delay_ms(5);
in4ON();
_delay_ms(5);
in2OFF();
}
// função para fazer rodar o motor 3,6 graus
void roda5(){
for(i=0;i<2;i++){
in1ON();
_delay_ms(5);
in4OFF();
_delay_ms(5);

```

```

in3ON();
_delay_ms(5);
in1OFF();
_delay_ms(5);
in2ON();
_delay_ms(5);
in3OFF();
_delay_ms(5);
in4ON();
_delay_ms(5);
in2OFF();
}
}
// função para fazer rodar o motor 4,8 graus
void roda6() {
for(i=0;i<3;i++){
in1ON();
_delay_ms(5);
in4OFF();
_delay_ms(5);
in3ON();
_delay_ms(5);
in1OFF();
_delay_ms(5);
in2ON();
_delay_ms(5);
in3OFF();
_delay_ms(5);
in4ON();
_delay_ms(5);
in2OFF();
}
}
/***** INTERRUPTOS
*****/
// Interrupção do RTC
ISR(TIMER2_OVF_vect) {
//ledON();
//_delay_ms(3000);
segundos++;
//ledOFF();
}
// Interrupção do USART
ISR(USART1_RX_vect)
{
letraaux = USART_Receive();
// conectar-se com o matlab atraves da porta serie
if(letraaux=='a') {
USART_Transmit(letraaux);
ledON();
_delay_ms(3000);
ledOFF();
}
if(letraaux=='c') {
ledON();
roda2();
ledOFF();
}
if(letraaux=='d') {
ledON();
roda3();
}
}

```

```

ledOFF();
}
if(letraaux=='e'){
ledON();
roda4();
ledOFF();
}
if(letraaux=='f'){
ledON();
roda5();
ledOFF();
}
if(letraaux=='g'){
ledON();
roda6();
ledOFF();
}
}
}
/***** Comunicação USART
*****/
void USART_Init( unsigned int baud )
{
/* Set baud rate */
UBRR1H = (unsigned char) (baud>>8);
UBRR1L = (unsigned char)baud;
/* Enable receiver and transmitter */
UCSR1B = (1<<RXCIE1)|(1<<RXEN1)|(1<<TXEN1); //
/* Set frame format: 8data, 2stop bit */
UCSR1C = (0<<USBS1)|(3<<UCSZ10);
}
void USART_Transmit( unsigned char data )
{
/* Wait for empty transmit buffer */
while ( !( UCSR1A & (1<<UDRE1)) )
;
/* Put data into buffer, sends the data */
UDR1 = data;
}
unsigned char USART_Receive( void )
{
/* Wait for data to be received */
while ( !(UCSR1A & (1<<RXIF1)) )
;
/* Get and return received data from buffer */
return UDR1;
}
/***** FIM Comunicação USART
*****/
* configRTC - Configura o timer 2 de 8 bit para contar segundo um
crystal externo
* Configura interrupção de overflow (1/32768 * 256 * 256 = 2)*/
void configRTC(void){
ASSR =0x20; // Activa modo assíncrono (recebe impulsos externos)
TIMSK2=0x00; // Desactiva todas a interrupções para alteração correcta
dos registos
OCR2A =0x00; // Inicializa registo de comparacao
OCR2B =0x00; // Inicializa registo de comparacao
TCCR2A=0x00; // Configura modo normal
TCCR2B=0x05; // Inicia o timer com prescaler 05 => 128 crystal 32768
Overflow 128 => T =
1s

```

```

TIMSK2=0x01; // Activa interrupção de overflow
}
/***** Funções auxiliares controle de reles e mosfet
*****/
void ledOFF(void){
BCLR(PORTLED,LED); // Desliga LED
}
void in1OFF(void){
BCLR(PORTIN,IN1); // Desliga IN1
}
void in2OFF(void){
BCLR(PORTIN,IN2); // Desliga IN2
}
void in3OFF(void){
BCLR(PORTIN,IN3); // Desliga IN3
}
void in4OFF(void){
BCLR(PORTIN,IN4); // Desliga IN4
}
void ledON(void){
BSET(PORTLED,LED); // Liga LED
}
void in1ON(void){
BSET(PORTIN,IN1); // Liga LED
}
void in2ON(void){
BSET(PORTIN,IN2); // Liga LED
}
void in3ON(void){
BSET(PORTIN,IN3); // Liga LED
}
void in4ON(void){
BSET(PORTIN,IN4); // Liga LED
}
/***** FIM DE PROGRAMA
*****/

```

## Anexo C Código do programa desenvolvido em ambiente Matlab para a medição do diagrama de radiação

```
function varargout = medira(varargin)
warning('off','MATLAB:dispatcher:InexactMatch')
% MEDIRA Application M-file for MeDiRa.fig
% FIG = MEDIRA launch MeDiRa GUI.
% MEDIRA('callback_name', ...) invoke the named callback.
% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Feb-2011 11:27:46
if nargin == 0 % LAUNCH GUI
fig = openfig(mfilename,'reuse');
% Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
handles = guihandles(fig);
guidata(fig, handles);
handles.precision='c';
handles.amostras=915;
set(handles.Guarda_menu,'Enable','off');
set(handles.pushbutton1,'Enable','off');
set(handles.Open_Menu,'Enable','on');
if nargin > 0
varargout{1} = fig;
end
elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK
try
if (nargout)
[varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
else
feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
end
catch
disp(lasterr);
end
end
% -----
function varargout = pushbutton1_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
porta=handles.porta;
nome=handles.nome;
f=handles.f
pt=handles.pt
d=handles.d
ae=handles.ae
ar=handles.ar
Amostras=handles.amostras;
precision= handles.precision;
nome=handles.nome
nome1 = strcat('c:\Medira\',nome)
t=exist(nome1,'dir')
while(t==7)
set(handles.text8,'string','Este nome ja existe');
pause(2);
nome=handles.nome
nome1 = strcat('c:\Medira\',nome)
t=exist(nome1,'dir')
end
set(handles.text8,'string','');
pause(1);
set(handles.text3,'Enable','off')
set(handles.edit1,'Enable','off')
set(handles.pushbutton1,'Enable','off')
```

```

set(handles.pushbutton2,'Enable','off')
set(handles.popupmenu1,'Enable','off')
set(handles.text3,'string','Em Processo...')
pause(1);
dados=fazdiagrama(nome,Amostras,porta,precision);
handles.dad=dados;
c=handles.dad;
if (c==100000)
set(handles.text3,'string','Erro! Sistema desligado.')
end
if (c~=100000)
Power=handles.dad;
Nome=handles.nome;
nome2 = strcat('c:\Medira\',nome,'\ ',nome);
save(nome2,'Power','Nome','f','pt','d','ae','ar');
set(handles.text3,'string','Finalizado')
drawPolarN(c,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.Guarda_menu,'Enable','on') ;
set(handles.text3,'Enable','on')
set(handles.edit1,'Enable','on')
set(handles.pushbutton2,'Enable','on')
set(handles.pushbutton1,'Enable','on')
set(handles.popupmenu1,'Enable','on')
guidata(h,handles);
end
% -----
function varargout = Ficheiro_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
function varargout = Guarda_menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
Power=handles.dad;
Nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
[filename, pathname] = uiputfile( ...
{'*.mat';'*.*'}, ...
'Save as');
if isequal([filename,pathname],[0,0])
return
else
File = fullfile(pathname,filename);
save(File,'pt','f','d','ae','ar','Power','Nome');
handles.LastFile = File;
drawPolarN(Power,Nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',Nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles)
end
% -----
function pass = Check_And_Load(file,handles)
pass = 0;
if exist(file) == 2
data = load(file);

```

```

end
flds = fieldnames(data);
if ((length(flds) == 7) )
pass = 1;
end
if pass
P=data.Power;
Nome=data.Nome;
f=data.f;
pt=data.pt;
d=data.d;
ae=data.ae;
ar=data.ar;
set(handles.Guarda_menu,'Enable','on') ;
else
errordlg('Ficheiro invalido')
end
% -----
function varargout = Open_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
[filename, pathname] = uigetfile( ...
{'*.mat', 'All MAT-Files (*.mat)'; ...
'*..*', 'All Files (*.*)'}, ...
'Seleccione um ficheiro valido');
if isequal([filename,pathname],[0,0])
return
else
File = fullfile(pathname,filename);
if Check_And_Load(File,handles)
data = load(File);
P=data.Power;
Nome=data.Nome;
f=data.f;
pt=data.pt;
d=data.d;
ae=data.ae;
ar=data.ar;
handles.dad=P;
handles.nome=Nome;
handles.f=f;
handles.pt=pt;
handles.d=d;
handles.ae=ae;
handles.ar=ar;
drawPolarN(P,Nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles)
set(handles.edit1,'string',Nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
end
end
% -----
function varargout = figure1_CloseRequestFcn(h, eventdata, handles,
varargin)
Fechar_Menu_Callback(h,eventdata,handles)
% -----
function varargout = Fechar_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)

```

```

pos_size = get(handles.figure1,'Position');
user_response = fechar([pos_size(1)+pos_size(3)/5
pos_size(2)+pos_size(4)/5]);
switch user_response
case {'Nao','cancelar'}
case 'Sim'
delete(handles.figure1)
end
% -----
function varargout = Editar_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
function varargout = Untitled_5_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
function varargout = edit1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
nome = get(h,'string');
handles.nome=nome;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = popupmenu1_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
val = get(h,'Value');
switch val
case 2
handles.precision='c';
handles.amostras=915;
case 3
handles.precision='d';
handles.amostras=458;
case 4
handles.precision='e';
handles.amostras=229;
case 5
handles.precision='f';
handles.amostras=115;
case 6
handles.precision='g';
handles.amostras=77;
end
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = pushbutton2_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
set(handles.text3,'string','A procurar porta...');
pause(1);
porta=portas();
handles.porta=porta;
P=handles.porta;
combinedStr = strcat('Ligado a Porta_ ', P);
if(P=='a')
set(handles.text3,'string','Porta nao encontrada');
end
if (P~='a')
set(handles.text3,'string',combinedStr);
set(handles.pushbutton1,'Enable','on')
end
% Atualiza a estrutura de handles
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = About_Callback(h, eventdata, handles, varargin)

```

```

msgbox('Sistema Automatico para a medição de diagramas de radiação
Versao 1.0 UMa 2011,
Feito por: Tony Sousa, tony_pereira_30@hotmail.com')
function varargout = edit2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
f = str2num(get(h,'string'));
handles.f=f;
guidata(h,handles);
function varargout = edit3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
pt = str2num(get(h,'string'));
handles.pt=pt;
guidata(h,handles);
function varargout = edit4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
d = str2num(get(h,'string'));
handles.d=d;
guidata(h,handles);
function varargout = edit5_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
ae = str2num(get(h,'string'));
handles.ae=ae;
guidata(h,handles);
function varargout = edit6_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
ar = str2num(get(h,'string'));
handles.ar=ar;
guidata(h,handles);
% -----
% Esta função copia para a area de transferencia o diagrama escolhido
% Utiliza o artifício de abrir o grafico numa nova janela e então copia
function Copy_Menu1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarN(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles);
% Comando de copia
print -dbitmap
% -----
function Copy_Menu2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarD(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles);
% Comando de copia
print -dbitmap
% -----
function Ver_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
% hObject handle to Ver (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% -----
function Ver_polar1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
Y=handles.dad;

```

```

nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarN(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);
% -----
function Ver_polar2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarD(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = Other_function_Callback(h, eventdata, handles,
varargout)
[filename, pathname] = uigetfile( ...
{'*.mat', 'All MAT-Files (*.mat)'; ...
'*..*', 'All Files (*.*)'}, ...
'Select valide file');
% -----
function Ver_cartesiano_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
% hObject handle to Ver_cartesiano (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawCartesiano(Y)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);
% -----
function Copy_menu3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
% hObject handle to Copy_menu3 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawCartesiano(Y)
guidata(h,handles);
print -dbitmap

function porta=portas();
porta='a';
infoportas=instrhwininfo('serial')
portas=infoportas.AvailableSerialPorts;
p_disponiveis =length(portas);
a.InputBufferSize = 2048;
i=1;
while(i<=p_disponiveis)
seleciona = char(portas(i))
a = serial(seleciona)
fopen(a);
fprintf(a,'a');
D=0; t = 0; j=0;
while (t <1)
t = a.BytesAvailable;
j=j+1;
if (j>1000) % Ao fim de algum tempo se nao houver resposta cancela
D=100000;
fclose(a);
break
end
end
if (D~=100000)
resultado=fread(a,1)
resultado=char(resultado)
if(resultado=='a')
porta=seleciona;
fclose(a);
i=p_disponiveis;
break
end
end
fclose(a);
i=i+1;
end

function M=fazdiagrama(nome,Amostras,porta,precision)
M=0;z=0;x=0;
s = serial(porta);
s.InputBufferSize = 2048;
nome1 = strcat('c:\Medira\',nome);
mkdir(nome1);
nome2 = strcat(nome1,'\*.csv');
ficheiros = dir(nome2);
if mod(Amostras,2) == 1;
v1=(Amostras-1)/2;

```

```

else
Amostras=Amostras+1;
v1=(Amostras-1)/2;
end
Angulos= 0:pi/v1: 2*pi;
for K = 1:Amostras
para=1*K;
numerodeficheiros = length(ficheiros);
while(numerodeficheiros<para)
ficheiros = dir(nome2);
numerodeficheiros = length(ficheiros);
end
fopen(s);
fprintf(s,precision);
fclose(s);
a=0;
nome3 = strcat(nome1,'\ ',ficheiros(K).name);
ficheiro = xlsread(nome3, 1, 'B352:B362');
comprimentodoficheiro = length(ficheiro);
for x=1:comprimentodoficheiro;
a=a+ficheiro(x);
end
M(K)=(a/comprimentodoficheiro);
Ang_dad(K,1)=(Angulos(K)*180)/pi;
Ang_dad(K,2)=M(K);
end
fopen(s)
fprintf(s,'b');
fclose(s);
nome3 = strcat(nome1,'\ ',nome,'.xls');
xlswrite(nome3,Ang_dad)
end

function drawPolarN(M,Nome,f,pt,d,ae,ar)
z=length(M);
nome1 = strcat('Diagrama de radiação da antena : ', Nome);
if mod(z,2) == 1;
%'O numero de pontos é Impar';
x=(length(M)-1)/2;
menor=10000;
for i=1:z;
if M(i)< menor
menor=M(i);
end
end
for i=1:z;
M(i)=M(i)-menor;
end
Angulos= 0:pi/x: 2*pi;
polar(Angulos,M,'r');
title(nome1);
else
M(z+1)=M(1);
x=(length(M)-1)/2;
for i=1:z;
menor=M(i);
if M(i)<menor
menor=M(i);
end
end
end

```

```

for i=1:z;
M(i)=M(i)-menor;
end
Angulos= 0:pi/x: 2*pi;
M=M';
polar(Angulos,M,'r');
title(nome1);
end
end

```

```

function drawCartesiano(Y)
Amostras = length(Y);
ymin=0;
ymax=-200;
for i=1:Amostras
if(Y(i)<ymin)
ymin=Y(i);
end
if(Y(i)>ymax)
ymax=Y(i);
end
end
if(ymin==ymax)
ymax=ymin+5;
ymin=ymin-5;
end
G = [360/Amostras:360/Amostras:360];
plot(G,Y)
axis([0 360 ymin ymax]);
end

```

```

function answer = fechar(varargin)
error(nargchk(0,4,nargin))
if nargin == 0 | isnumeric(varargin{1}) % LAUNCH GUI
fig = openfig(mfilename,'reuse');
set(fig,'Color',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
handles = guihandles(fig);
guidata(fig, handles);
if nargin == 1
pos_size = get(fig,'Position');
pos = varargin{1};
if length(pos) ~= 2
error('Input argument must be a 2-element vector')
end
new_pos = [pos(1) pos(2) pos_size(3) pos_size(4)];
set(fig,'Position',new_pos,'Visible','on')
figure(fig)
end
uiwait(fig);
if ~ishandle(fig)
answer = 'cancelar';
else
handles = guidata(fig);
answer = handles.answer;
delete(fig);
end
elseif ischar(varargin{1})
try
if (nargout)

```

```
[varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:});  
else  
feval(varargin{:});  
end  
catch  
disp(lasterr);  
end  
function varargout = noButton_Callback(h, eventdata, handles,  
varargin)  
handles.answer = 'Nao';  
guidata(h, handles);  
uiresume(handles.figure1);  
function varargout = yesButton_Callback(h, eventdata, handles,  
varargin)  
handles.answer = 'Sim';  
guidata(h,handles);  
uiresume(handles.figure1);
```

## Anexo D Código do programa desenvolvido em ambiente Matlab para a medição da atenuação em função da distância

```
function varargout = medisenha(varargin)
if nargin == 0 % LAUNCH GUI
fig = openfig(mfilename,'reuse');
% Generate a structure of handles to pass to callbacks, and store it.
handles = guihandles(fig);
guidata(fig, handles);
set(handles.Guarda_menu,'Enable','off');
set(handles.pushbutton,'Enable','on')
set(handles.Open_Menu,'Enable','on');
if nargin > 0
varargout{1} = fig;
end
elseif ischar(varargin{1}) % INVOKE NAMED SUBFUNCTION OR CALLBACK
try
if (nargout)
[varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
else
feval(varargin{:}); % FEVAL switchyard
end
catch
disp(lasterr);
end
end
% -----
function varargout = pushbutton_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
nome=handles.nome;
f=handles.f
pt=handles.pt
gt=handles.gt
gr=handles.gr
ae=handles.ae
ar=handles.ar
d=handles.d
i=handles.i
nome1 = strcat('c:\Medisenha\',nome)
t=exist(nome1,'dir')
while(t==7)
set(handles.text3,'string','Este nome ja existe');
pause(2);
nome=handles.nome
nome1 = strcat('c:\Medisenha\',nome)
t=exist(nome1,'dir')
end
set(handles.text3,'string','');
pause(1);
set(handles.edit,'Enable','off')
set(handles.edit1,'Enable','off')
set(handles.edit2,'Enable','off')
set(handles.edit3,'Enable','off')
set(handles.edit4,'Enable','off')
set(handles.edit5,'Enable','off')
set(handles.edit6,'Enable','off')
set(handles.edit7,'Enable','off')
set(handles.edit8,'Enable','off')
set(handles.pushbutton,'Enable','off')
set(handles.text1,'string','Em Processo...')
```

```

pause(1);
dados=mededisenha(nome,d,i);
handles.dad=dados;
c=handles.dad;
% Verificação de que a execução do Sistema foi concluída com sucesso
if (c==100000)
set(handles.text1,'string','Erro! Sistema desligado.')
end
if (c~=100000)
Power=handles.dad;
nome2 = strcat('c:\Medisenha\',nome,'\ ',nome);
save(nome2,'Power','nome','f','pt','gt','gr','ae','ar','d','i');
set(handles.text1,'string','Finalizado')
set(handles.edit,'Enable','on')
set(handles.edit1,'Enable','on')
set(handles.edit2,'Enable','on')
set(handles.edit3,'Enable','on')
set(handles.edit4,'Enable','on')
set(handles.edit5,'Enable','on')
set(handles.edit6,'Enable','on')
set(handles.edit7,'Enable','on')
set(handles.edit8,'Enable','on')
set(handles.pushbutton,'Enable','on')
set(handles.Guarda_menu,'Enable','on') ;
guidata(h,handles);
end
% -----
function varargout = Ficheiro_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
% Permite guardar os dados num ficheiro com
% extensao .mat, incluindo a posicao (d) e potencia (Power)
function varargout = Guarda_menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
Power=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f
pt=handles.pt
gt=handles.gt
gr=handles.gr
ae=handles.ae
ar=handles.ar
d=handles.d
i=handles.i
% Allow the user to select the file name to save
[filename, pathname] = uiputfile( ...
{'*.mat';'*.*'}, ...
'Save as');
% If 'Cancel' was selected then return
if isequal([filename,pathname],[0,0])
return
else
% Construct the full path and save
File = fullfile(pathname,filename);
save(File,'Power','nome','f','pt','gt','gr','ae','ar','d','i');
handles.LastFile = File;
guidata(h,handles)
end
% -----
function pass = Check_And_Load(file,handles)
pass = 0;

```

```

if exist(file) == 2
data = load(file);
end
flds = fieldnames(data);
if ((length(flds) == 10) )
pass = 1;
end
if pass
P=data.Power;
nome=data.nome;
f=data.f;
pt=data.pt;
d=data.d;
ae=data.ae;
ar=data.ar;
i=data.i;
gt=data.gt;
gr=data.gr;
set(handles.Guarda_menu,'Enable','on') ;
else
errordlg('Ficheiro invalido')
end
% -----
function varargout = Open_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
[filename, pathname] = uigetfile( ...
{'*.mat', 'All MAT-Files (*.mat)'; ...
'*. *', 'All Files (*.*)'}, ...
'Seleccione um ficheiro valido');
% If "Cancel" is selected then return
if isequal([filename,pathname],[0,0])
return
% Otherwise construct the fullfilename and Check and load the file.
else
File = fullfile(pathname,filename);
% if the MAT-file is not valid
if Check_And_Load(File,handles)
data = load(File);
P=data.Power;
nome=data.nome;
f=data.f;
pt=data.pt;
d=data.d;
ae=data.ae;
ar=data.ar;
i=data.i;
gt=data.gt;
gr=data.gr;
handles.dad=P;
handles.nome=nome;
handles.f=f;
handles.pt=pt;
handles.d=d;
handles.ae=ae;
handles.ar=ar;
handles.i=i;
handles.gr=gr;
handles.gt=gt;
guidata(h,handles)
disenha(P,d,i);
set(handles.edit,'string',nome);

```

```

set(handles.edit1,'string',f);
set(handles.edit2,'string',pt);
set(handles.edit3,'string',gt);
set(handles.edit4,'string',gr);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
set(handles.edit7,'string',d);
set(handles.edit8,'string',i);
end
end
% -----
function varargout = figure1_CloseRequestFcn(h, eventdata, handles,
varargin)
Fechar_Menu_Callback(h,eventdata,handles)
% -----
function varargout = Fechar_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
pos_size = get(handles.figure1,'Position');
user_response = fechar([pos_size(1)+pos_size(3)/5
pos_size(2)+pos_size(4)/5]);
switch user_response
case {'Nao','cancelar'}
% take no action
case 'Sim'
% Prepare to close GUI application window
delete(handles.figure1)
end
% -----
function varargout = Editar_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
function varargout = Untitled_5_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
% -----
function varargout = edit_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
nome = get(h,'string');
handles.nome=nome;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = About_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
msgbox('Sistema Automatico para a medição da atenuação do sinal em
função da distancia
Versao 1.0 UMA 2011, Feito por: Tony Sousa,
tony_pereira_30@hotmail.com')
function varargout = edit1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
f = str2num(get(h,'string'));
handles.f=f;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
pt = str2num(get(h,'string'));
handles.pt=pt;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit3_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
gt = str2num(get(h,'string'));
handles.gt=gt;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit4_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
gr = str2num(get(h,'string'));

```

```

handles.gr=gr;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit5_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
ae = str2num(get(h,'string'));
handles.ae=ae;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit6_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
ar = str2num(get(h,'string'));
handles.ar=ar;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit7_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
d = str2num(get(h,'string'));
handles.d=d;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = edit8_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
i = str2num(get(h,'string'));
handles.i=i;
guidata(h,handles);
% -----
function varargout = Copy_Menu_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolar(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles);
% Comando de copia
print -dbitmap
% -----
function Copy_Menu1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarN(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles);
% Comando de copia
print -dbitmap
% -----
function Copy_Menu2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
figure
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;

```

```

drawPolarD(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
guidata(h,handles);
% Comando de copia
print -dbitmap
% -----
function Ver_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
% hObject handle to Ver (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% -----
function Ver_polar_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolar(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);
% -----
function Ver_polar1_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarN(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);
% -----
function Ver_polar2_Callback(h, eventdata, handles, varargin)
Y=handles.dad;
nome=handles.nome;
f=handles.f;
pt=handles.pt;
d=handles.d;
ae=handles.ae;
ar=handles.ar;
drawPolarD(Y,nome,f,pt,d,ae,ar)
set(handles.edit1,'string',nome);
set(handles.edit2,'string',f);
set(handles.edit3,'string',pt);
set(handles.edit4,'string',d);
set(handles.edit5,'string',ae);
set(handles.edit6,'string',ar);
guidata(h,handles);

```

```

function valor=mededisenha(nome,d,i)
pontos = d/i;
distancia=i;
z=0;x=0;
ultimo=1;
ultimol=ultimo+4;
nome1 = strcat('c:\Medisenha\',nome);
mkdir(nome1);
for K=1:pontos
M=0;
menor=100;
maior=-200;
para=5;
max=i*K;
nome2 = strcat(nome1,'\*.csv');
ficheiros = dir(nome2);
numerodeficheiros = length(ficheiros);
while(numerodeficheiros<para)
ficheiros = dir(nome2);
numerodeficheiros = length(ficheiros);
pause(2);
end
for Inicio = ultimo:ultimol;
a=0;
nome3 = strcat(nome1,'\',ficheiros(ultimo).name)
ficheiro = xlsread(nome3, 1, 'B352:B362');
comprimentodoficheiro = length(ficheiro);
for x=1:comprimentodoficheiro;
a=a+ficheiro(x);
end
z=(a/comprimentodoficheiro);
M =z+M;
if(z<menor)
menor=z;
end
if(z>maior)
maior=z;
end
destination = strcat(nome1,'\dados');
t=exist(destination,'dir')
if(t==7)
else
mkdir(destination);
end
copyfile(nome3,destination,'f')
delete(nome3)
ultimo=ultimo+1;
end
valor(K,2)=menor;
valor(K,3)=M/5;
valor(K,4)=maior;
valor(K,1)=distancia;
distancia=distancia +i;
ultimo=1;
D=i:i:max;
plot(D,valor(:,3),'xk',D,valor(:,2),'*r',D,valor(:,4),'+b',D,valor(:,3)
),'-k',D,valor(:,2),
'-r',D,valor(:,4),'-b');
xlabel('Distancia (m)');
ylabel('Nivel de sinal (dBm)');
title('Potencia recebida em funcao da distancia');

```

```

pause(1);
end
nome4 = strcat(nome1,'\ ',nome, '.xls');
xlswrite(nome4,valor)

function disenha(valor,d,i)
D=i:i:d;
plot(D,valor(:,3),'xg',D,valor(:,2),'*r',D,valor(:,4),'+b',D,valor(:,3)
),'-g',D,valor(:,2),
'-r',D,valor(:,4),'-b')
xlabel('Distancia (m)');
ylabel('Nivel de sinal (dBm)');
title('Potencia recebida em funcao da distancia');
end

function answer = fechar(varargin)
error(nargchk(0,4,nargin))
if nargin == 0 | isnumeric(varargin{1}) % LAUNCH GUI
fig = openfig(mfilename,'reuse');
set(fig,'Color',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
handles = guihandles(fig);
guidata(fig, handles);
if nargin == 1
pos_size = get(fig,'Position');
pos = varargin{1};
if length(pos) ~= 2
error('Input argument must be a 2-element vector')
end
new_pos = [pos(1) pos(2) pos_size(3) pos_size(4)];
set(fig,'Position',new_pos,'Visible','on')
figure(fig)
end
uiwait(fig);
if ~ishandle(fig)
answer = 'cancelar';
else
handles = guidata(fig);
answer = handles.answer;
delete(fig);
end
elseif ischar(varargin{1})
try
if (nargout)
[varargout{1:nargout}] = feval(varargin{:});
else
feval(varargin{:});
end
catch
disp(lasterr);
end
end
function varargout = noButton_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
handles.answer = 'Nao';
guidata(h, handles);
uiresume(handles.figure1);
function varargout = yesButton_Callback(h, eventdata, handles,
varargin)
handles.answer = 'Sim';
guidata(h,handles);
uiresume(handles.figure1);

```

## Anexo E Construção das antenas helicoidais

Uma vez que se pretendia construir uma antena com polarização circular, foi efectuado o dimensionamento da antena, tendo em consideração os parâmetros apresentados na secção 2.3.7 para o modo axial.

Para a situação ideal, o modo axial é obtido pela relação  $C/\lambda = 1$ , ou seja,  $C=\lambda$  e o espaçamento entre espiras é de aproximadamente  $\lambda/4$ . Deste modo, calculou-se o comprimento de onda para os 2,414 GHz, através de (2.16), obtendo-se um comprimento de 0,124 m e um espaçamento entre espiras de 0,031 m. Depois, através de (2.20), calculou-se o diâmetro das espiras, obtendo-se um valor de aproximadamente 0,04 m e por ultimo, através de (2.21), calculou-se o ângulo de inclinação das voltas, obtendo-se um valor de  $14^\circ$ .

O número de voltas foi encontrado através de (2.23), tendo-se em consideração que se pretendia obter uma antena com um ganho de aproximadamente 10 dBi, obtendo-se um total de 19 voltas ( $N=19$ ).

Para o plano de massa, é definido que este deve ter um diâmetro mínimo de aproximadamente  $3\lambda/4$ , tendo-se utilizado um quadrado com 14 cm de lado.

Com todos os parâmetros necessários para a construção da antena, procedeu-se à implementação da mesma. Para tal foram utilizados os seguintes materiais:

- Fio de cobre com 2,5 mm de diâmetro, para o condutor interno.
- Chapa de alumínio com 14X14 cm, para o plano de massa.
- Conector N, para a alimentação.
- Acrílico, para o suporte da antena.
- Tubo de PVC com 0,04 cm de diâmetro

Começou-se por enrolar o fio de cobre em torno do tubo de PVC, de modo a que a separação entre cada volta fosse de aproximadamente 3,1 cm, tal como apresentado na Figura E.1.

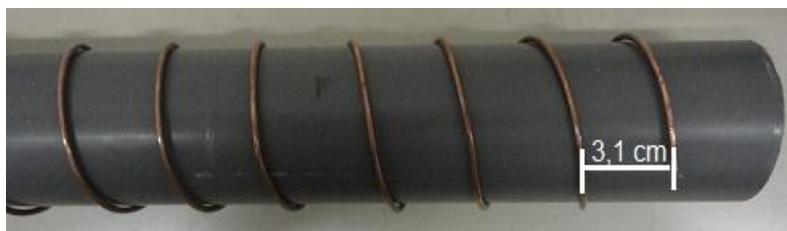


Figura E.1 - Enrolamento do fio de cobre em torno do tubo de PVC.

Furou-se o acrílico, onde será colocado o fio de cobre, de modo a que ficasse com um diâmetro de 4 cm e espaçamento entre voltas de 3,1 cm, tal como apresentado na Figura E.2.

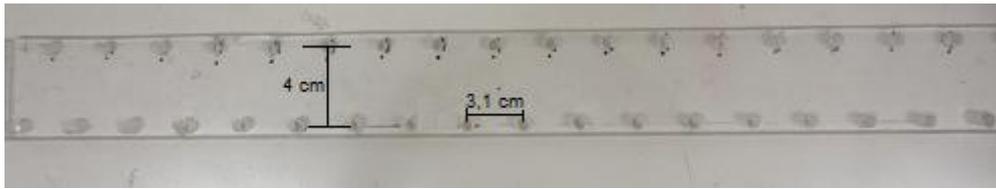
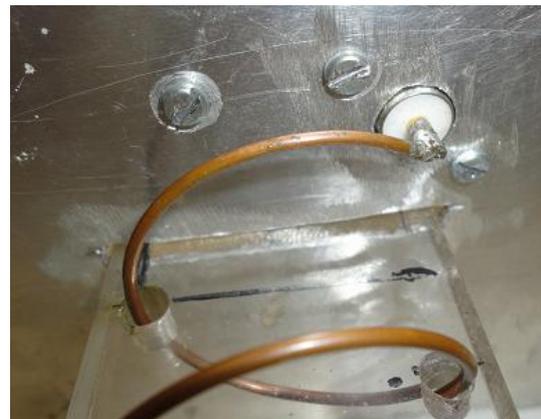


Figura E.2 - Placa de acrílico furada.

Furou-se a placa de alumínio de modo a colocar o acrílico no centro desta, para que as espiras ficassem centradas. Dado que o acrílico tem uma espessura de 1 cm, furou-se a placa de alumínio de modo a que o conector ficasse a 1,5 cm do acrílico, para se poder ligar o fio de cobre ao condutor interno do conector N sem deformar as espiras. Na Figura E.3 encontra-se o resultado do processo referido.



(a)



(b)

Figura E.3 - (a) Montagem do conector e acrílico à placa de alumínio; (b) Ligação das espiras ao conector.

Com as espiras ligadas ao conector, passou-se à medição da impedância da antena. Para tal, esta foi ligada através de um cabo coaxial ao medidor de impedâncias, obtendo-se o resultado da Figura E.4.

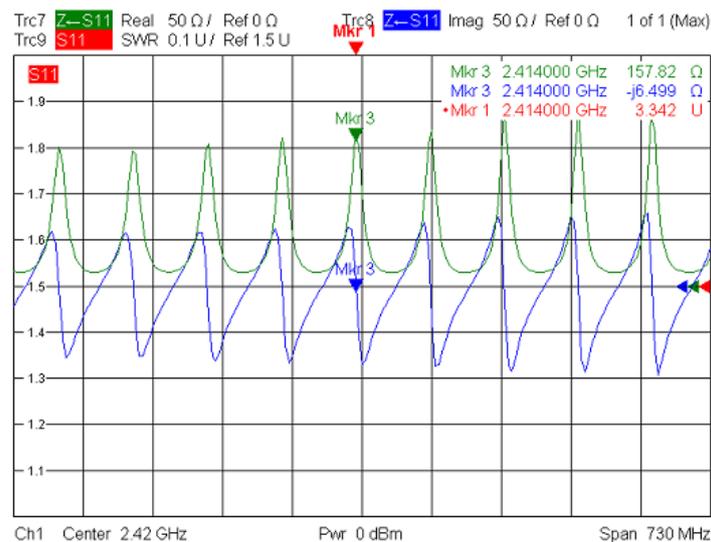


Figura E.4 - Resultado da impedância da antena.

Através de (2.23) era esperado obter uma impedância puramente resistiva de 145 Ω, Embora o resultado prático não coincida com o que era esperado, verifica-se que se encontra

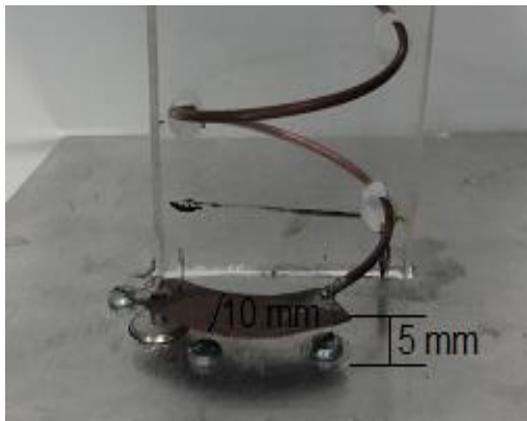
muito próximo deste. Sendo assim, uma vez que todos os equipamentos e cabos coaxiais utilizados têm uma impedância característica de  $50\Omega$ , foi necessário adaptar-se a antena para este valor. Para isso, foi utilizado um transformador de um quarto do comprimento de onda com uma impedância de  $88,8\Omega$  e largura de  $10\text{ mm}$ , ligado em série entre as espiras e o conector, tal como apresentado na Figura E.5 (a). Para se obter a impedância e largura do transformador foi considerada as expressões seguintes:

$$Z_c = \sqrt{Z_2 \times Z_s} \quad (8.1)$$

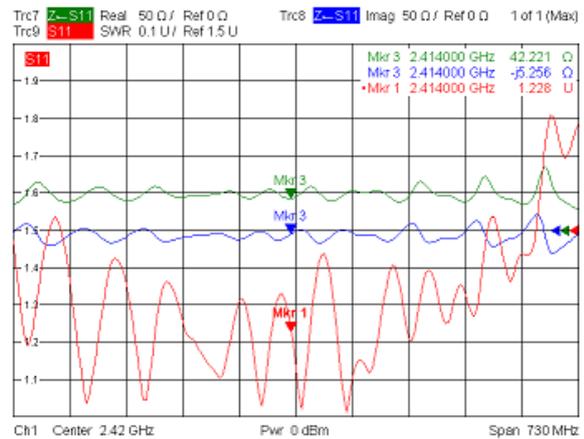
onde,  $Z_2$  é a impedância da carga ( $157,8\Omega$ ) e  $Z_s$  é a impedância característica ( $50\Omega$ ).

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[ \frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right], & \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{reff}} \left[ \frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left( \frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]}, & \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases} \quad (8.2)$$

onde,  $\epsilon_{reff}$  é a constante dielétrica efectiva ( $\epsilon_{reff} = 1$  uma vez que o meio dielétrico é o vazio) e  $h$  é a altura que fica o transformador do plano de massa ( $h=5\text{mm}$ ). A Figura E.5 (b) mostra a impedância obtida após a adaptação da antena.



(a)



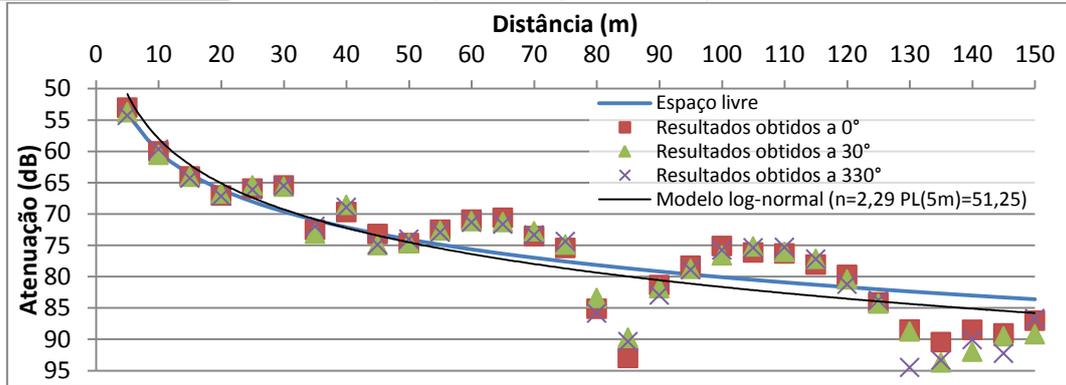
(b)

Figura E.5 - (a) Adaptação com transformador de um quarto do comprimento de onda; (b) Resultado da impedância após a adaptação.

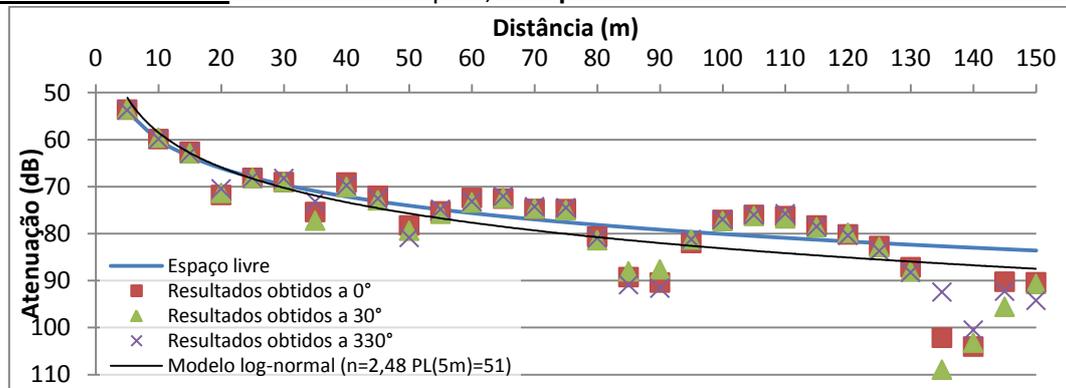
Ao analisar-se o resultado obtido na Figura E.5 (b), verifica-se que, com a colocação do transformador de um quarto do comprimento de onda, adaptou a antena para uma grande gama de frequências que vai desde os  $2,1\text{ GHz}$  aos  $2,65\text{ GHz}$  (considerando um SWR inferior a  $1,5$ ), obtendo-se uma largura de banda de cerca de  $550\text{ MHz}$ .

## Anexo F Medições efectuadas

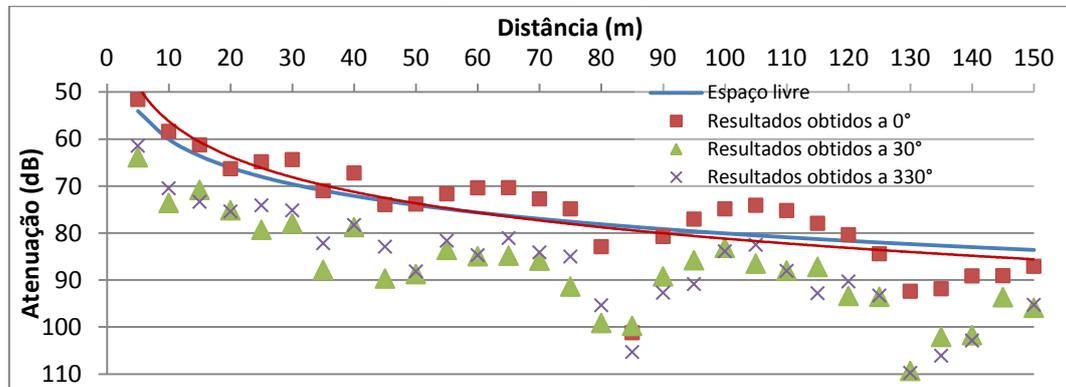
**Meio sem obstáculos: Emissor - monopolo; Receptor - monopolo:**



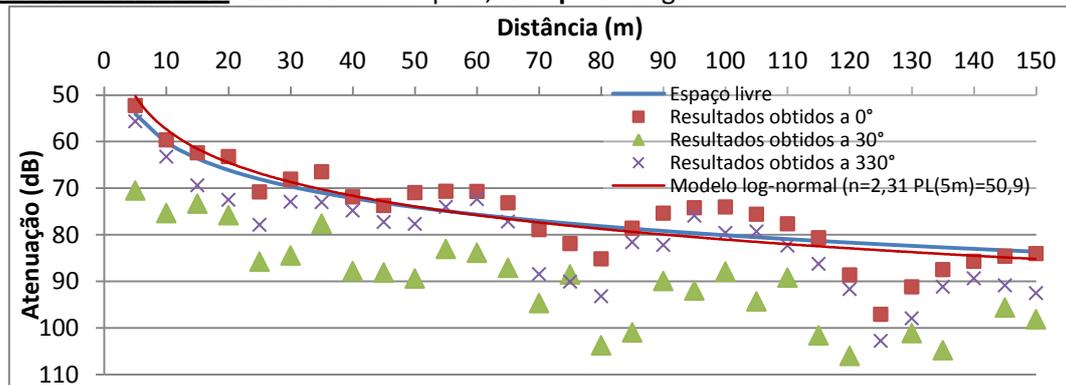
**Meio sem obstáculos: Emissor - monopolo; Receptor - colinear:**



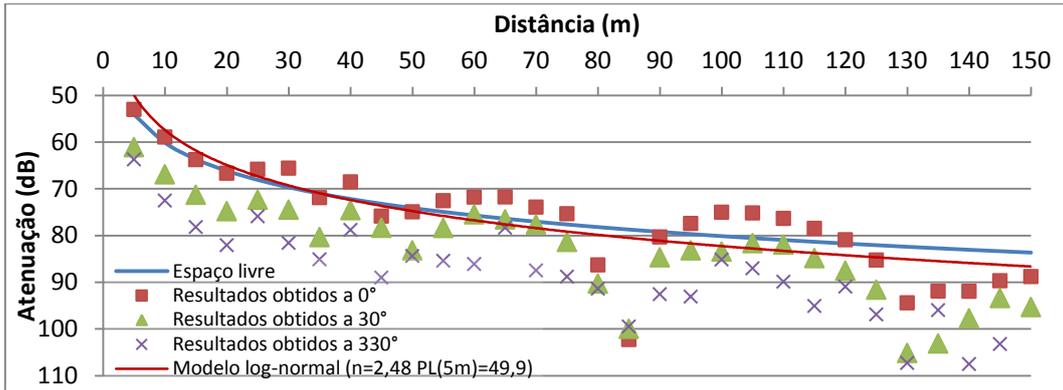
**Meio sem obstáculos: Emissor - monopolo; Receptor - grelha:**



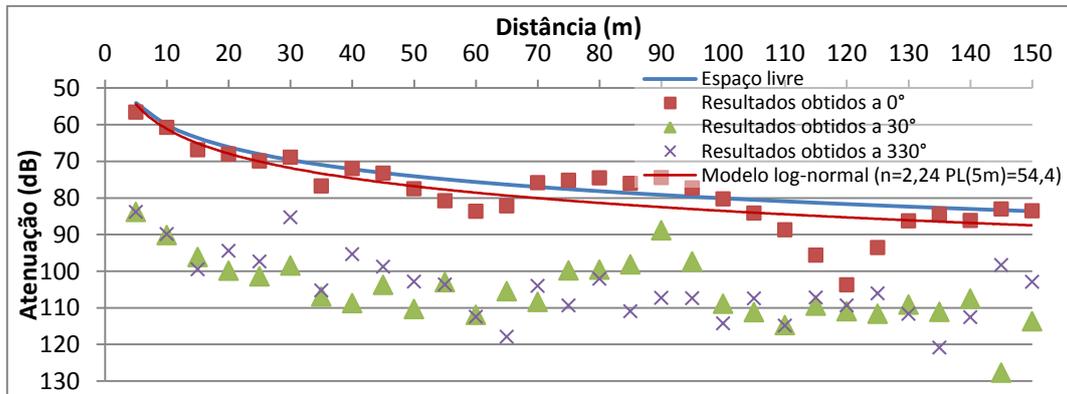
**Meio sem obstáculos: Emissor - monopolo; Receptor - Yagi:**



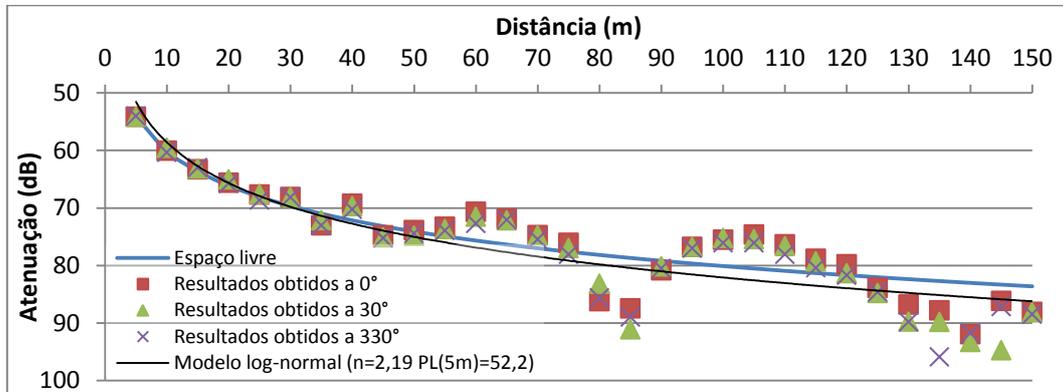
**Meio sem obstáculos: Emissor – monopolo; Receptor - painel:**



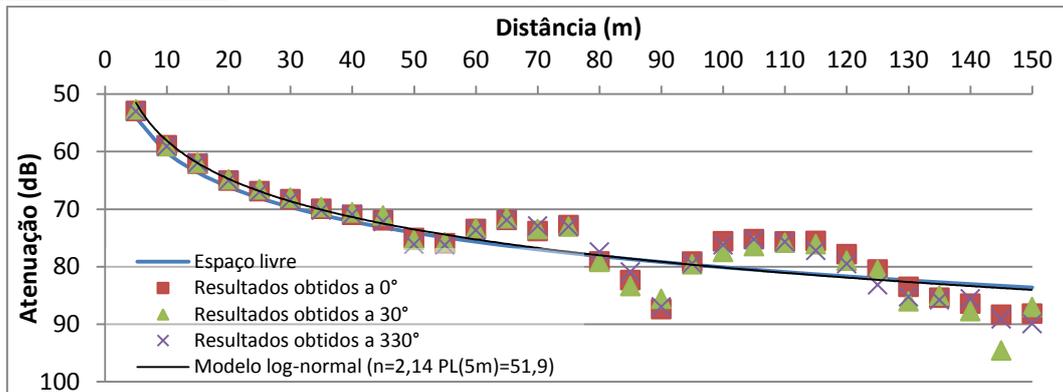
**Meio sem obstáculos: Emissor – monopolo; Receptor - parabólica:**



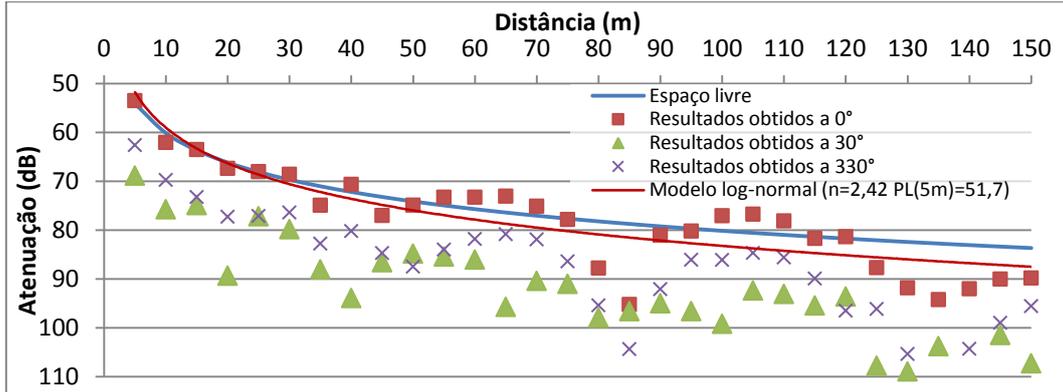
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - monopolo:**



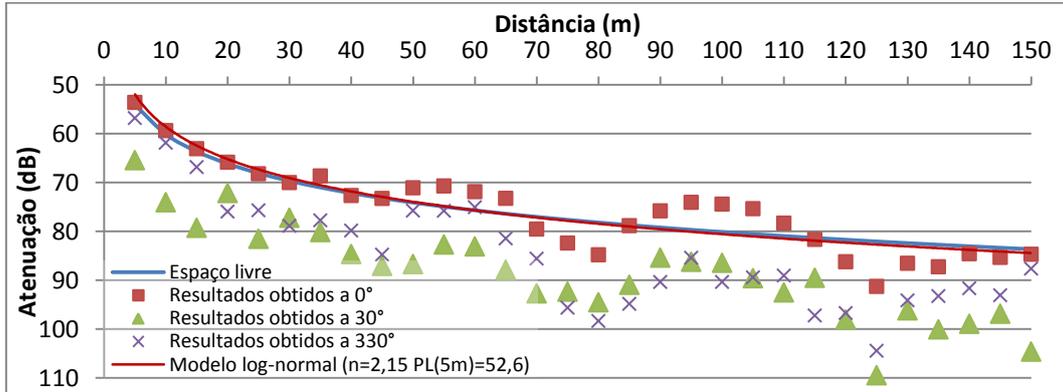
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - colinear:**



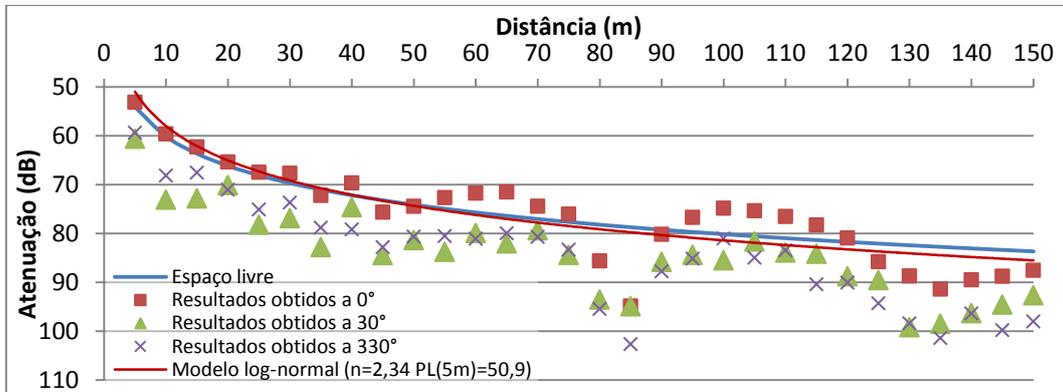
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - grelha:**



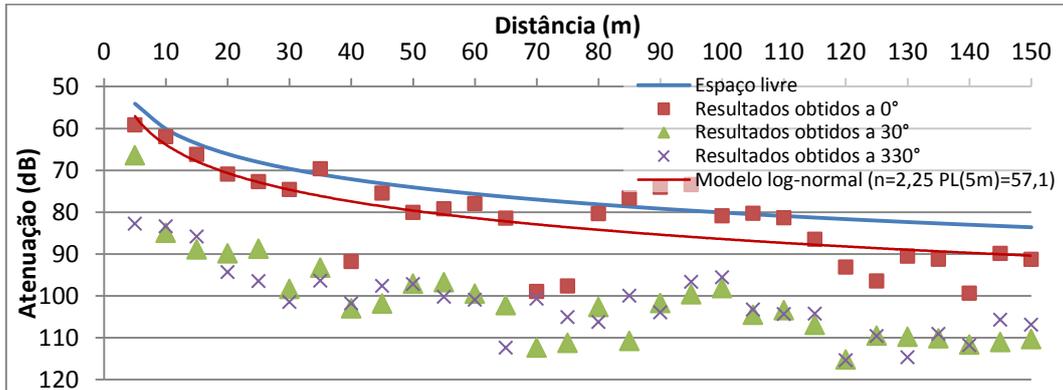
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - Yagi:**



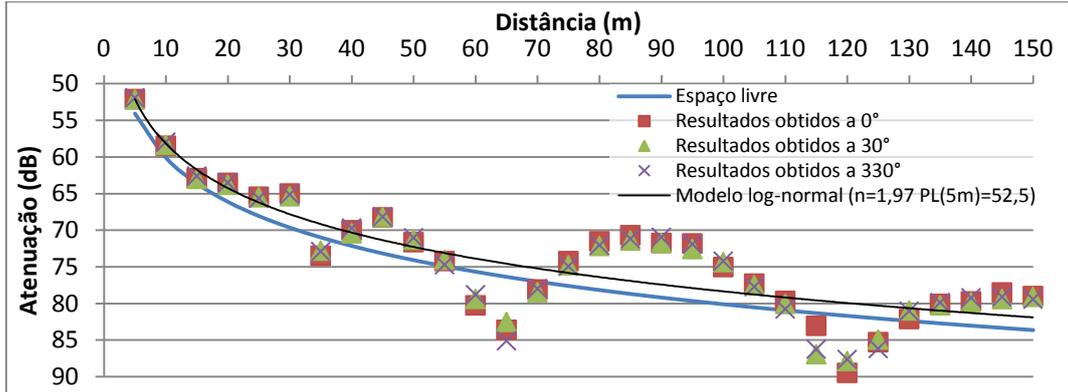
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - painel:**



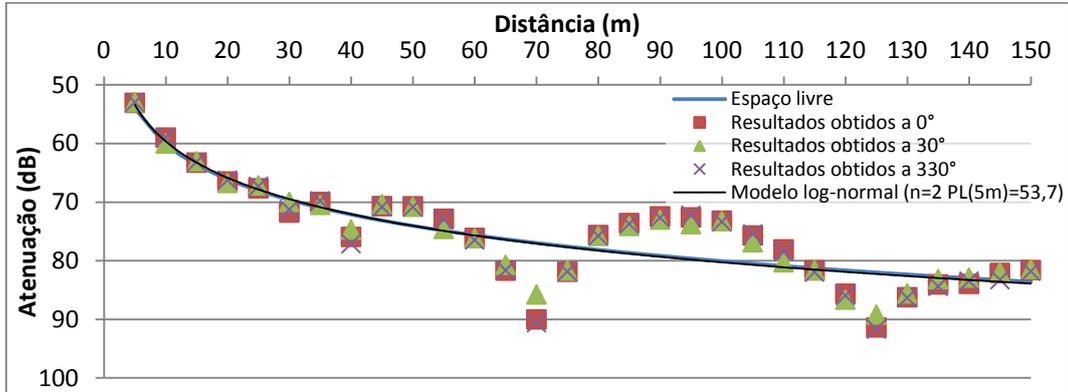
**Meio sem obstáculos: Emissor - colinear; Receptor - parabólica:**



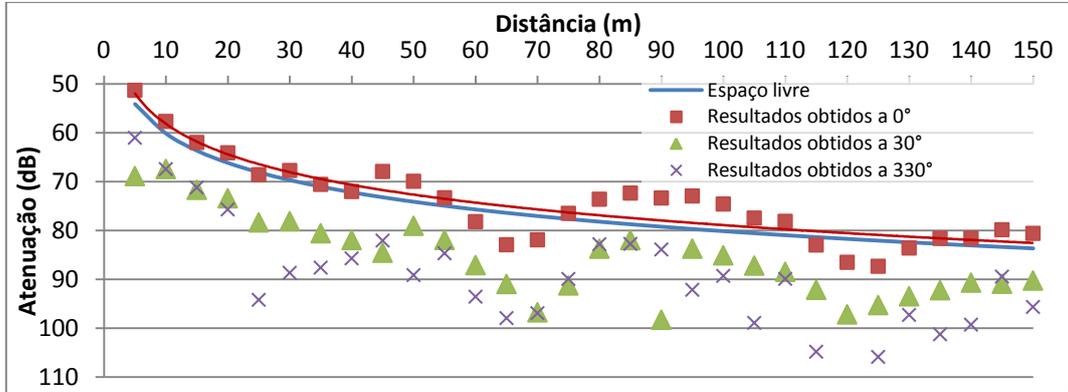
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - monopolo:**



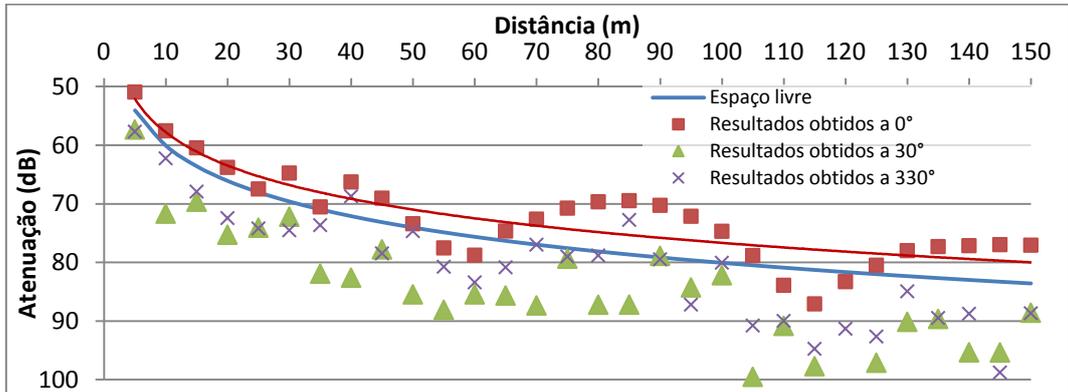
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - colinear:**



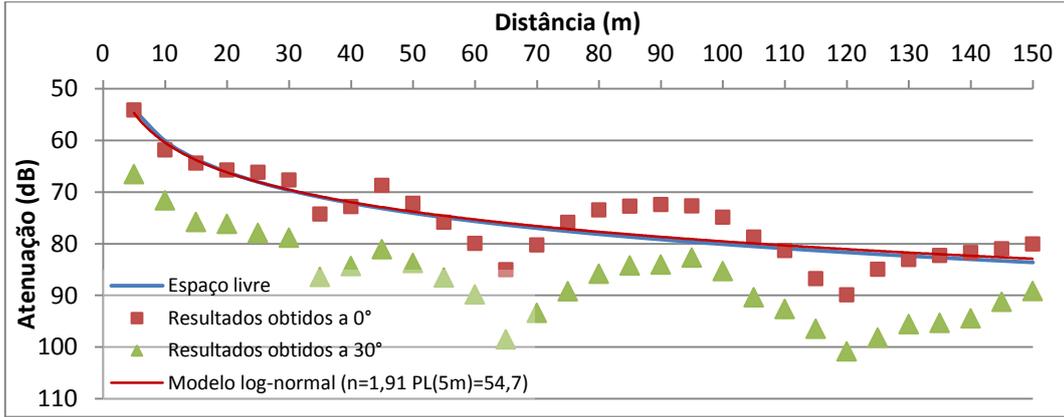
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - grelha:**



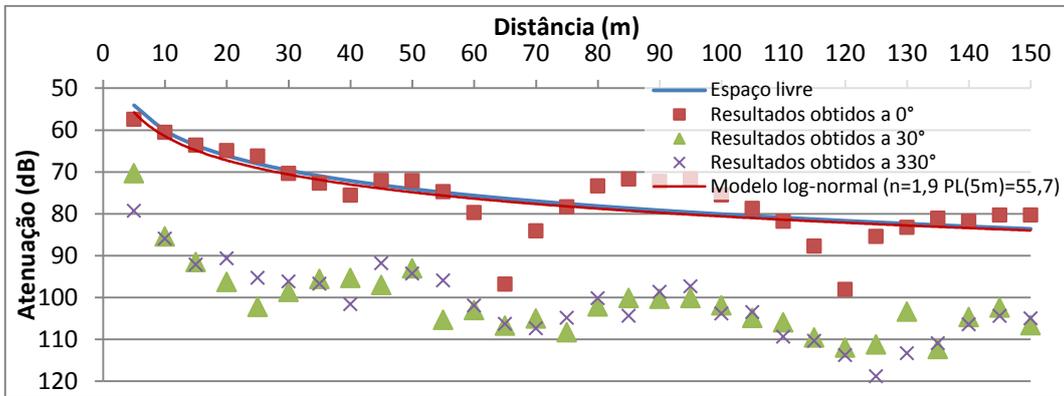
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - Yagi:**



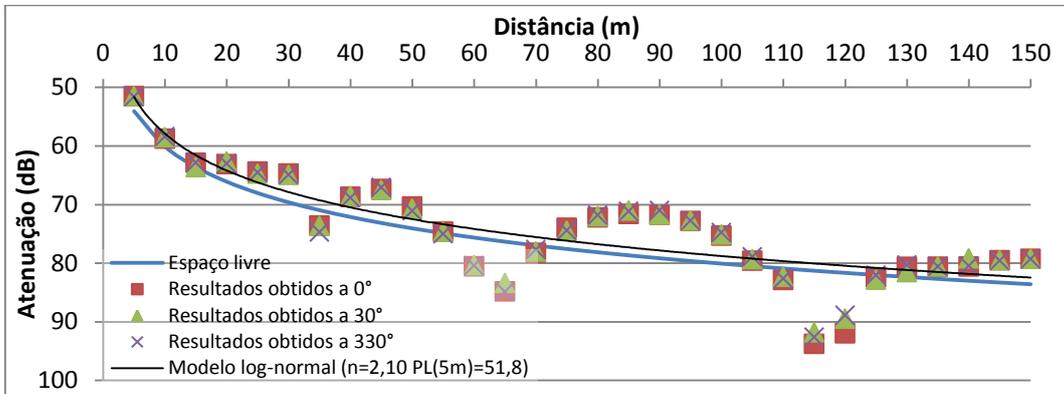
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - painel:**



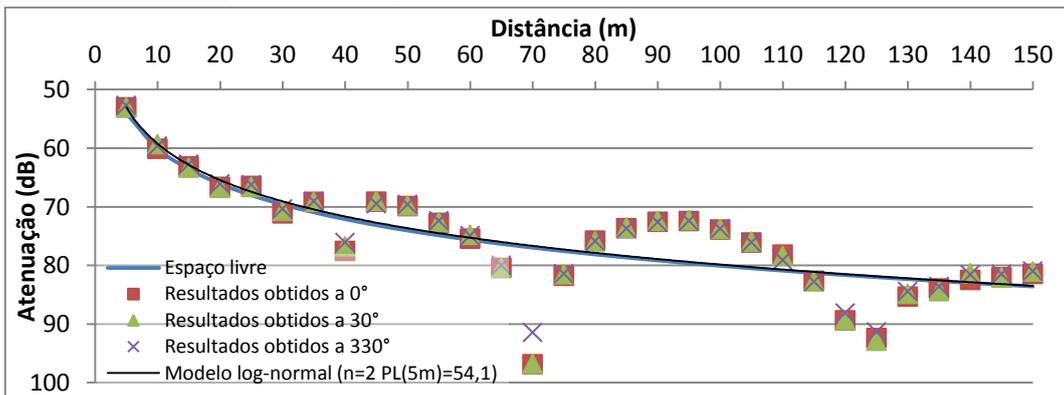
**Meio sem obstáculos: Emissor - grelha; Receptor - parabólica:**



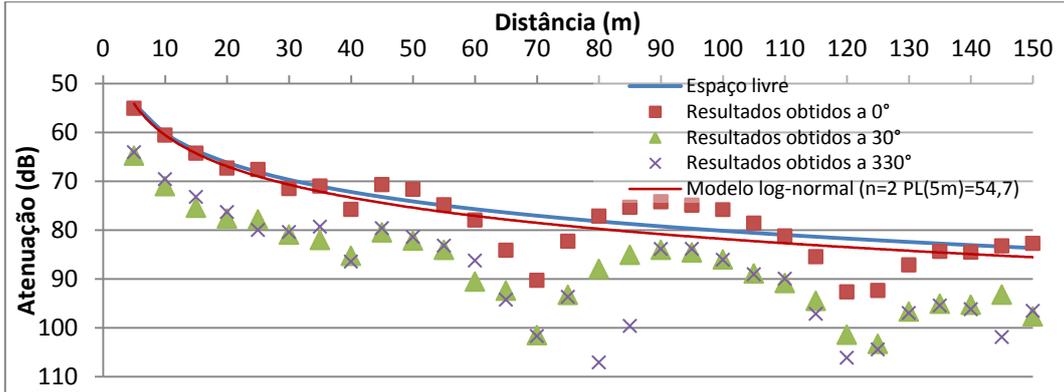
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - monopolo:**



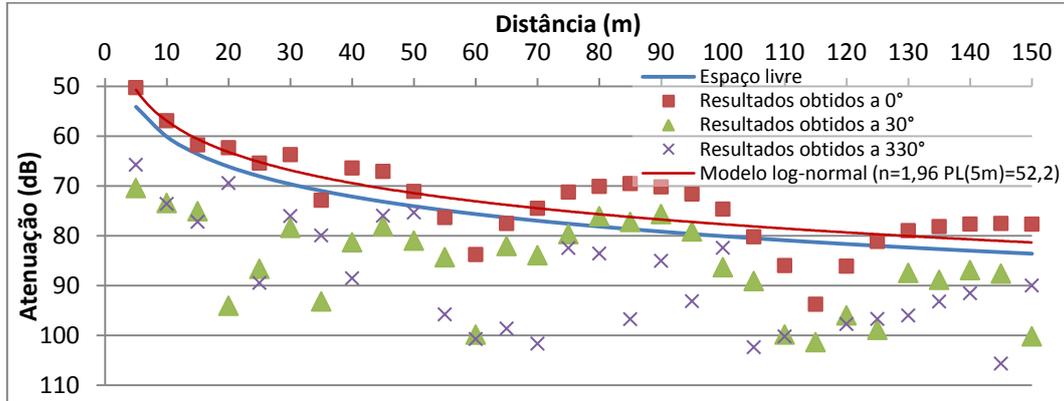
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - colinear:**



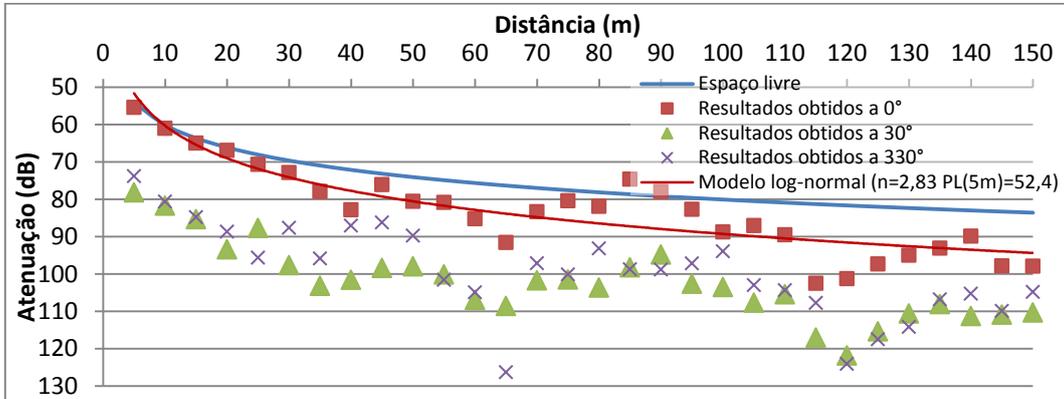
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - grelha:**



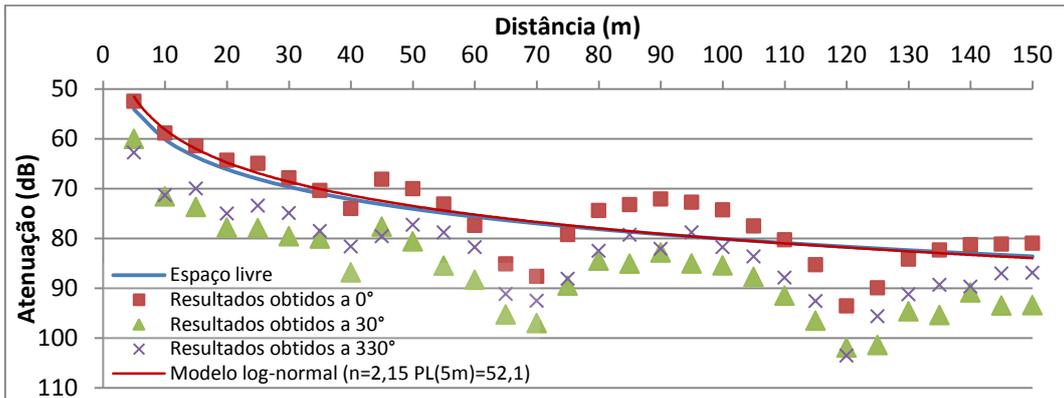
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - Yagi:**



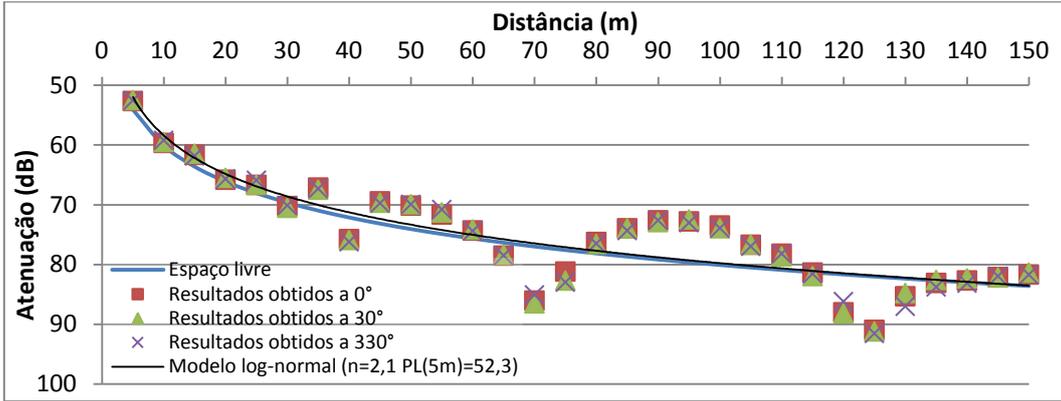
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - painel:**



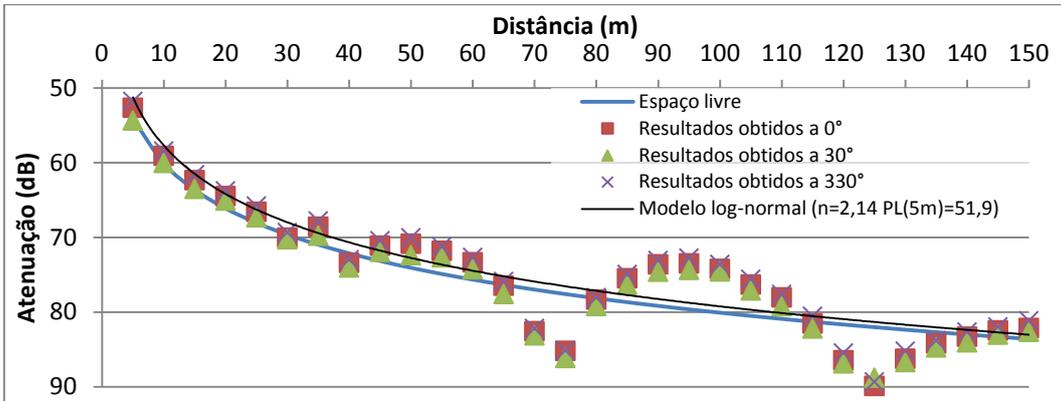
**Meio sem obstáculos: Emissor - Yagi; Receptor - parabólica:**



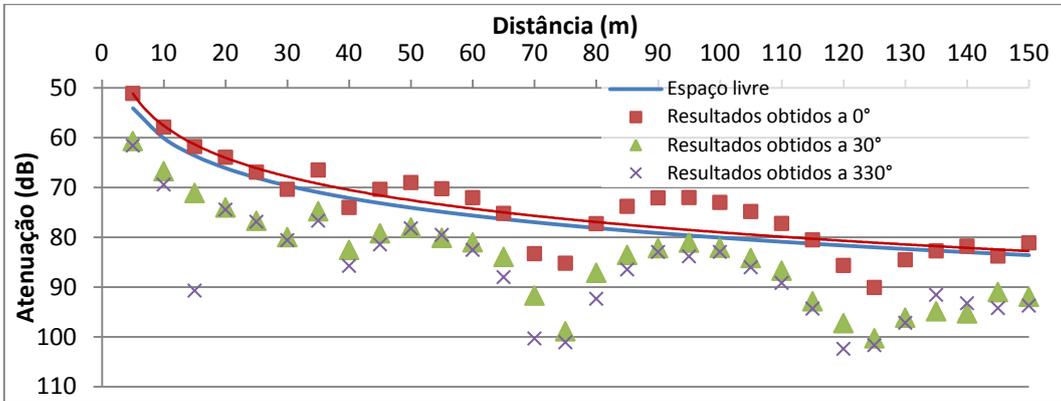
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - monopolo:**



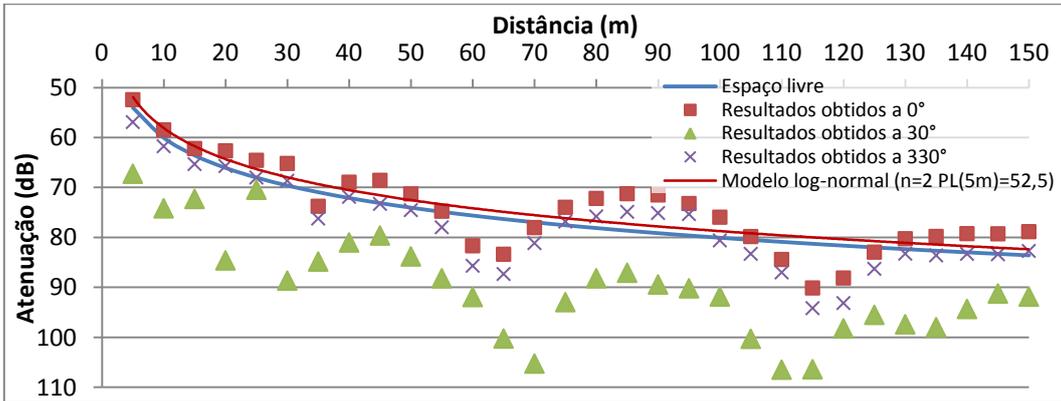
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - colinear:**



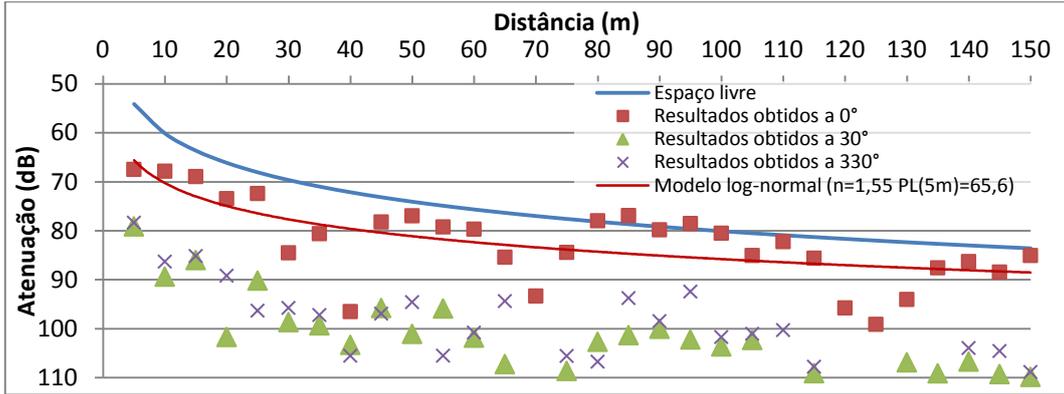
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - grelha:**



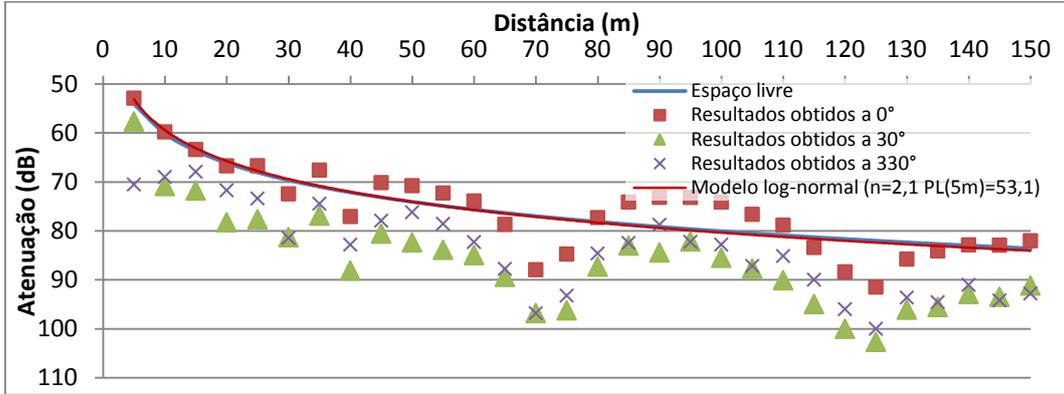
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - Yagi:**



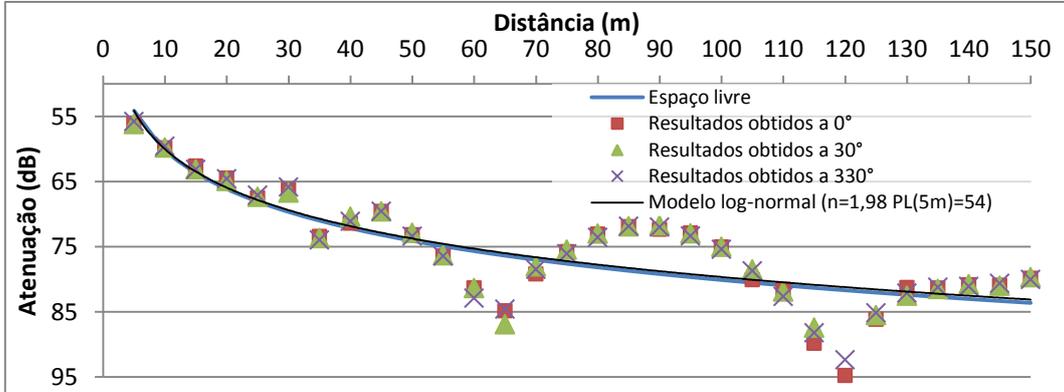
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - painel:**



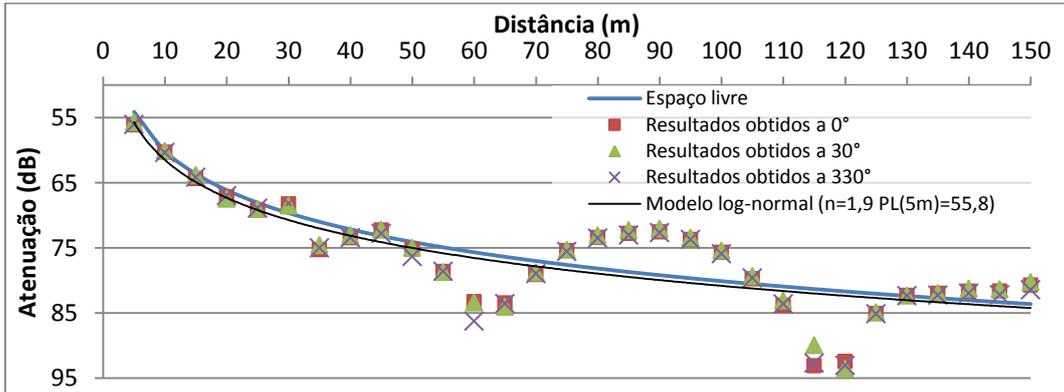
**Meio sem obstáculos: Emissor - painel; Receptor - parabólica:**



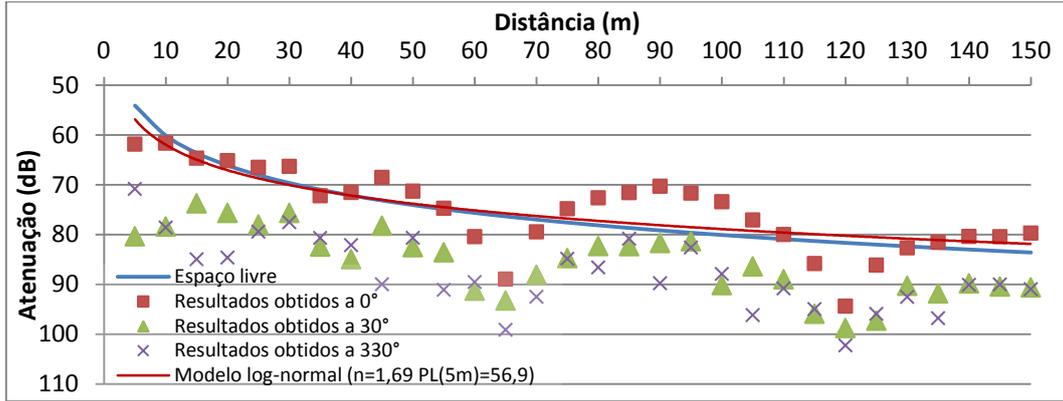
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - monopolo:**



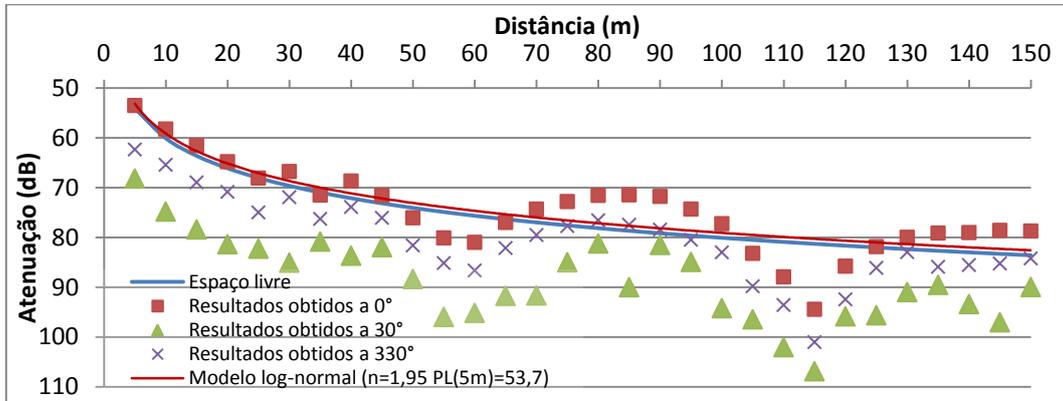
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - colinear:**



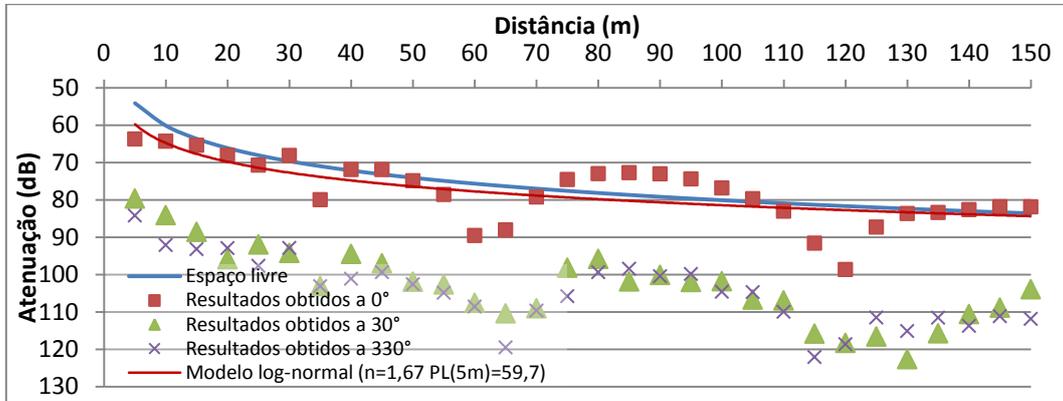
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - grelha:**



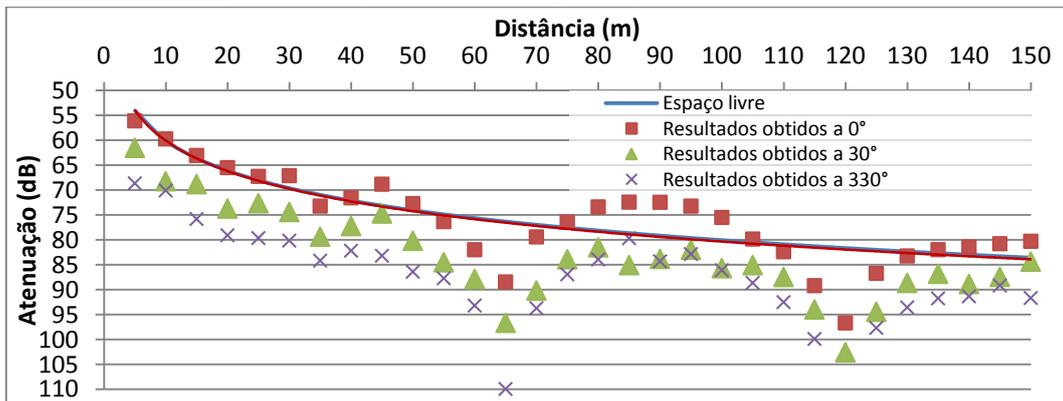
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - Yagi:**



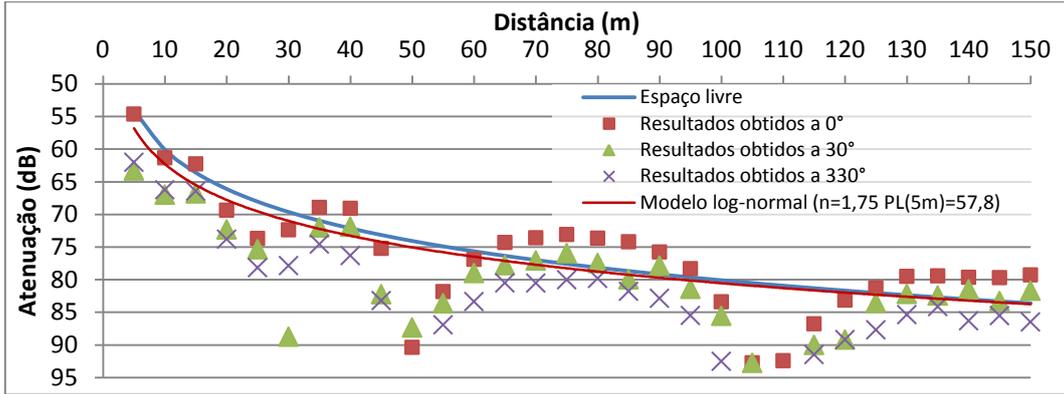
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - painel:**



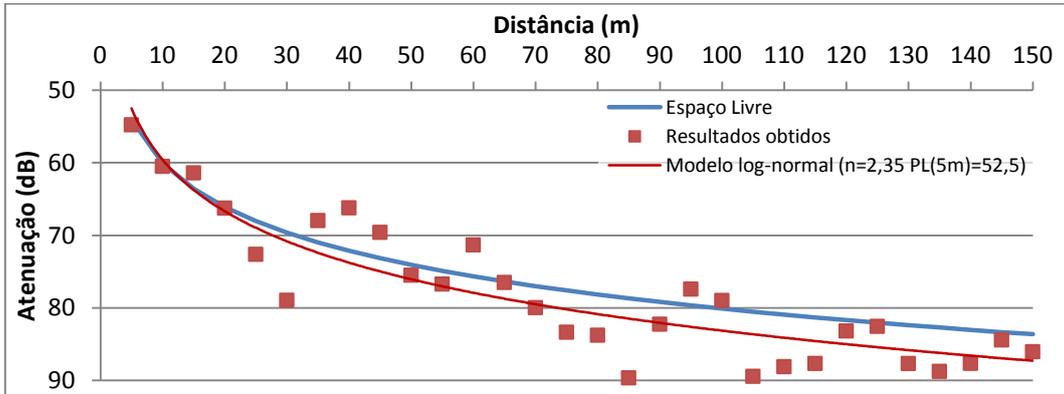
**Meio sem obstáculos: Emissor - parabólica; Receptor - parabólica:**



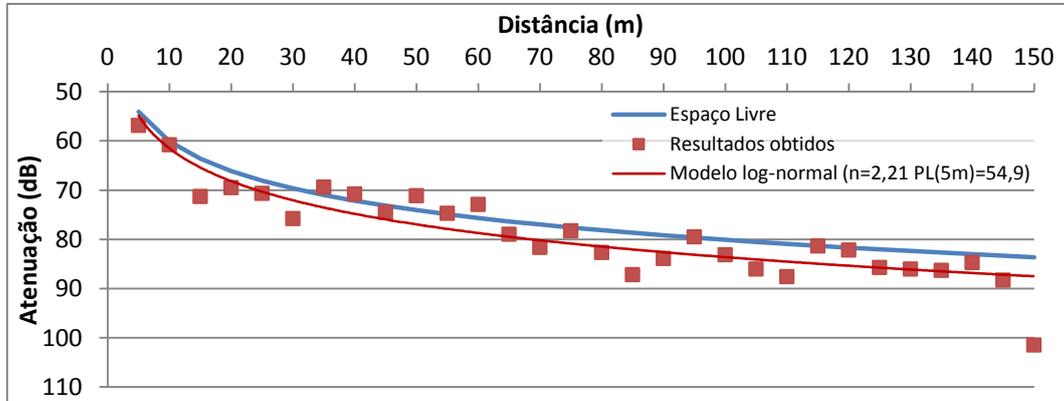
**Meio sem obstáculos: Emissor - helicoidal; Receptor - helicoidal:**



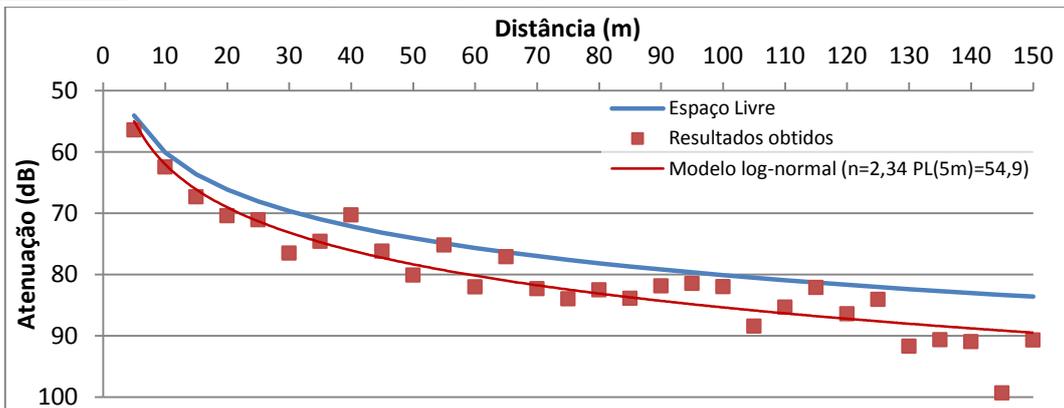
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - monopolo:**



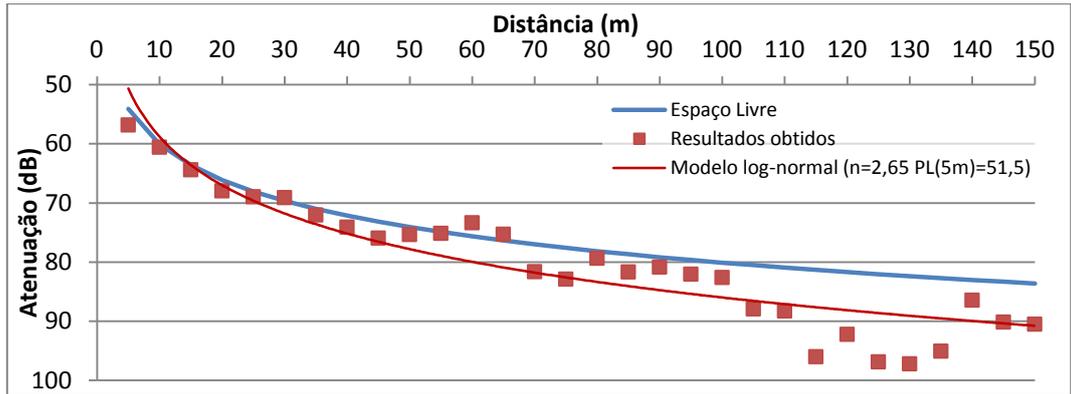
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - colinear:**



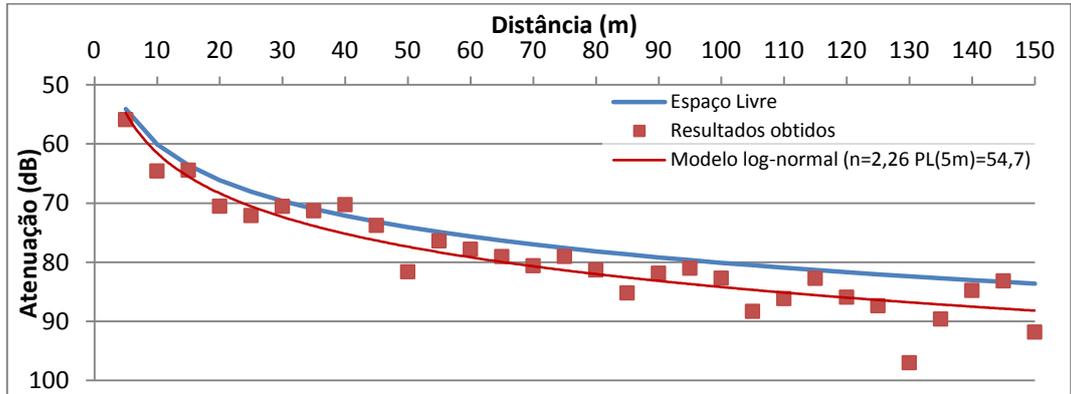
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - grelha:**



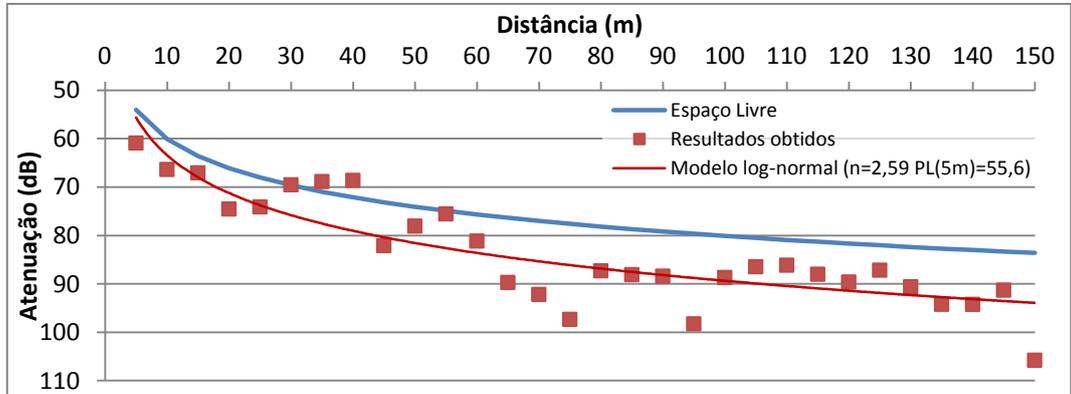
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - Yagi:**



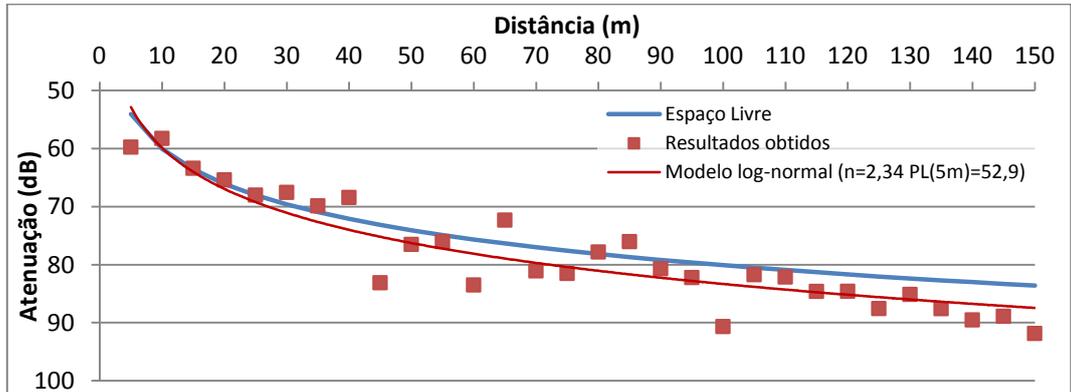
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - painel:**



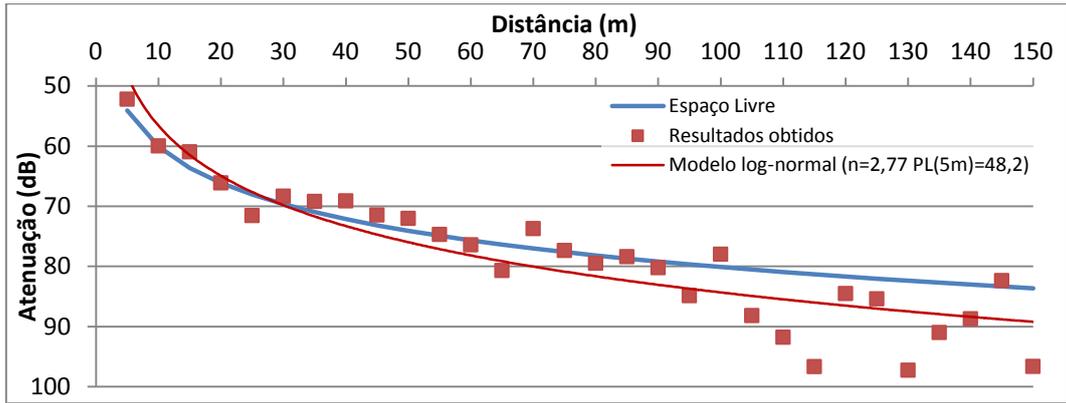
**Meio urbano: Emissor - monopolo; Receptor - parabólica:**



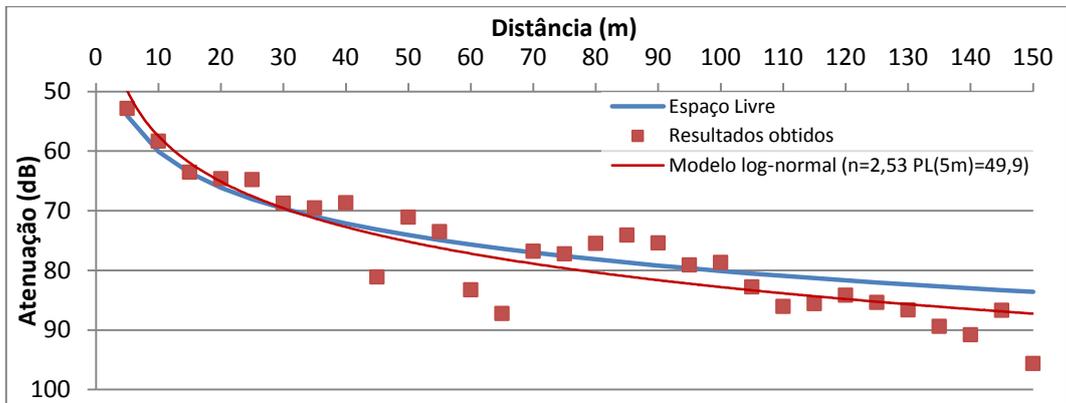
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - monopolo:**



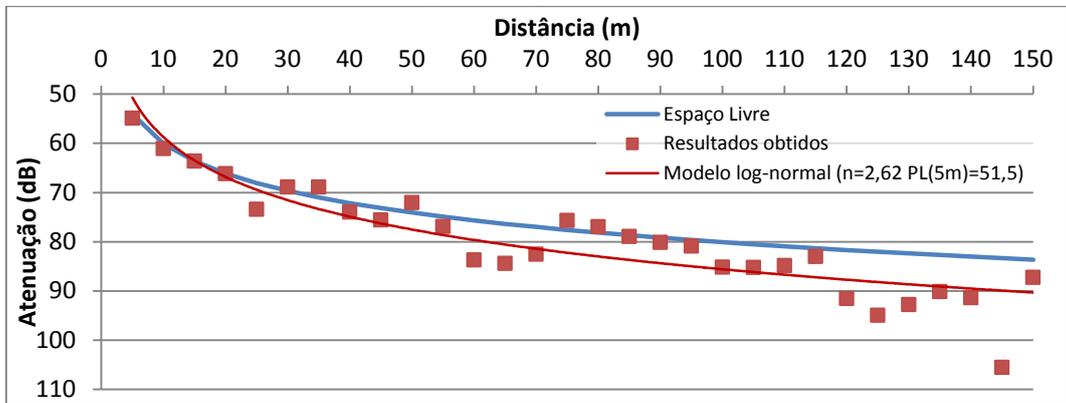
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - colinear:**



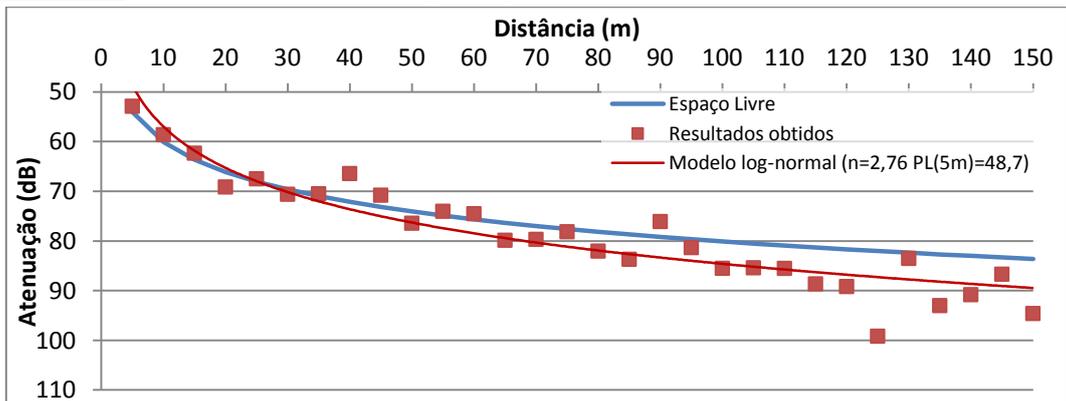
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - grelha:**



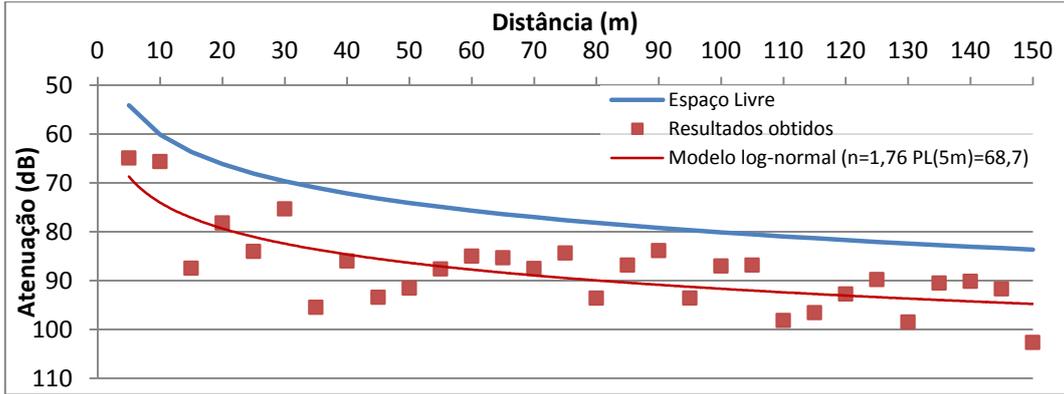
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - Yagi:**



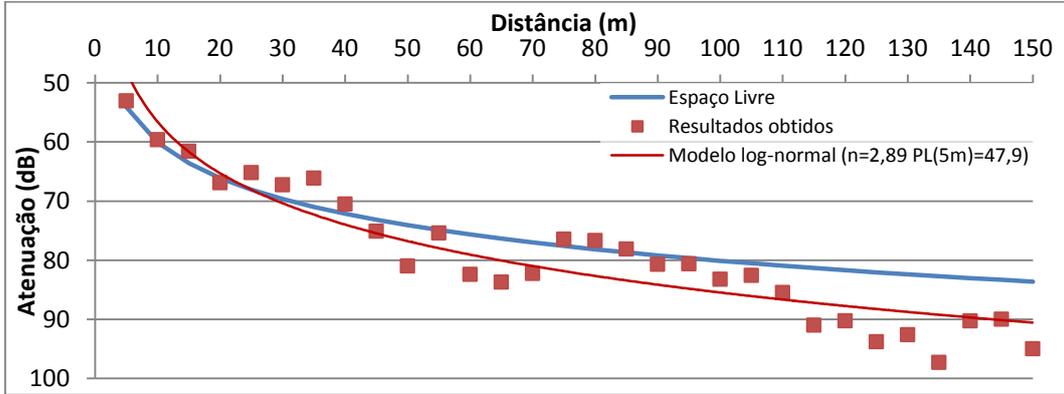
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - painel:**



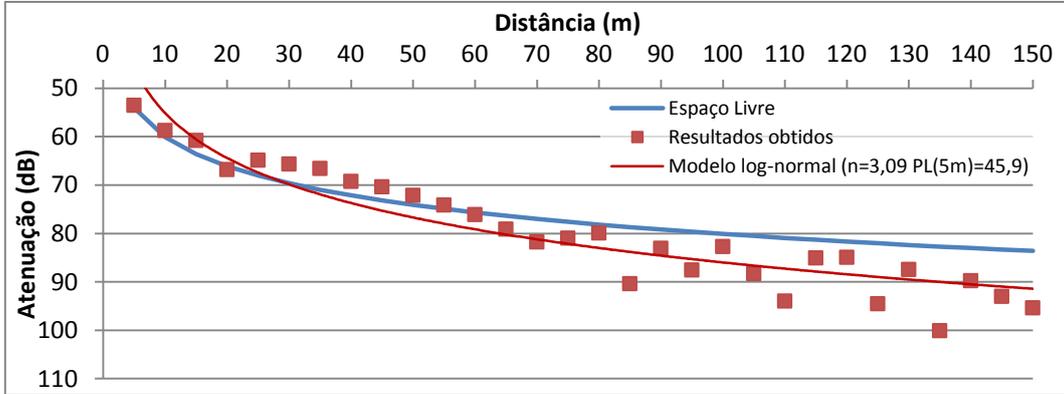
**Meio urbano: Emissor - colinear; Receptor - parabólica:**



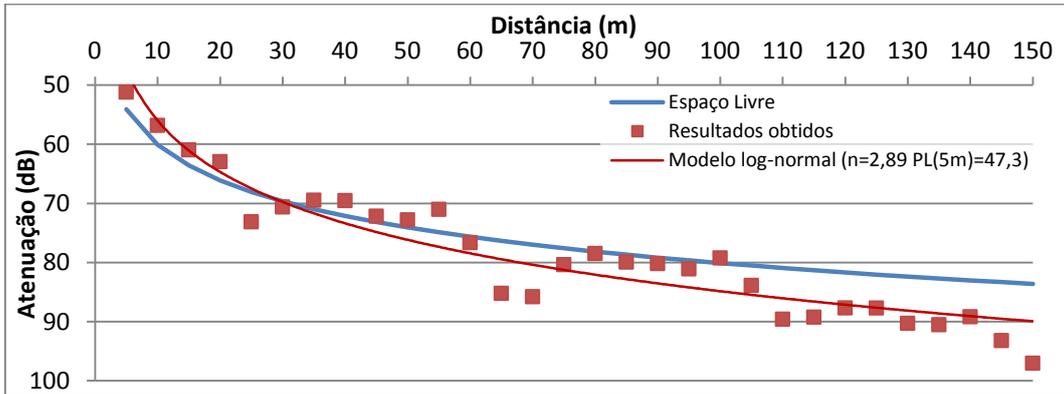
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - monopolo:**



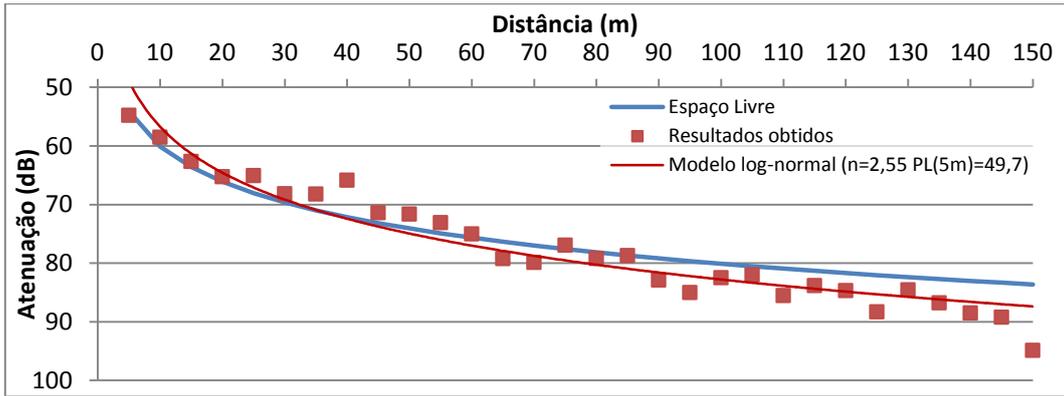
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - colinear:**



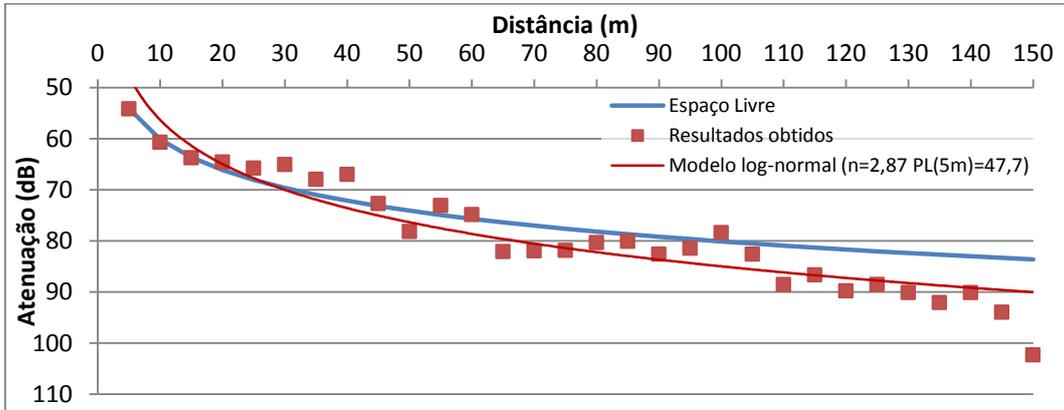
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - grelha:**



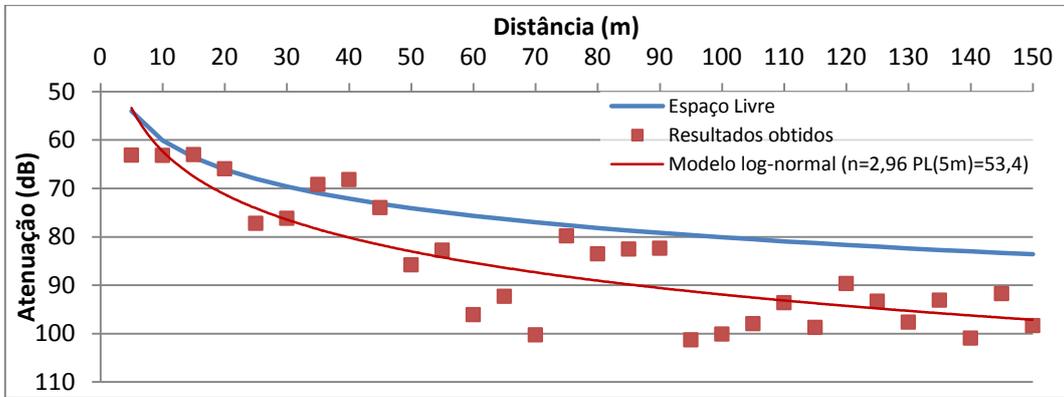
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - Yagi:**



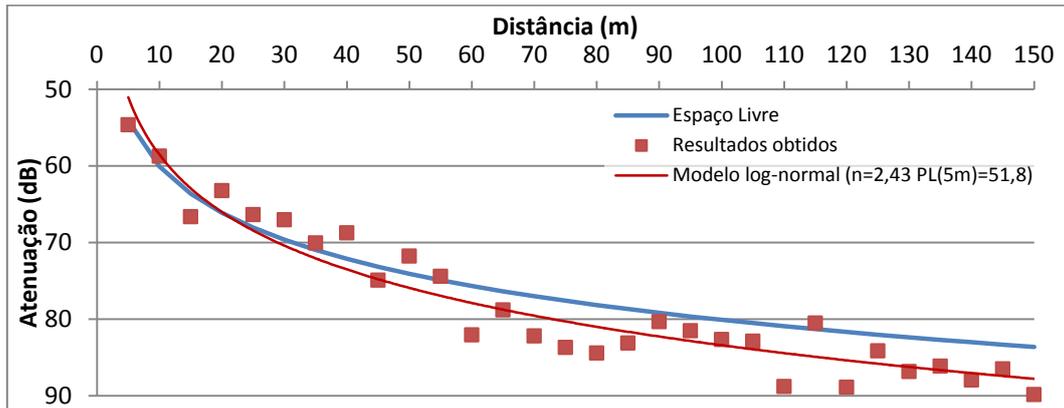
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - painel:**



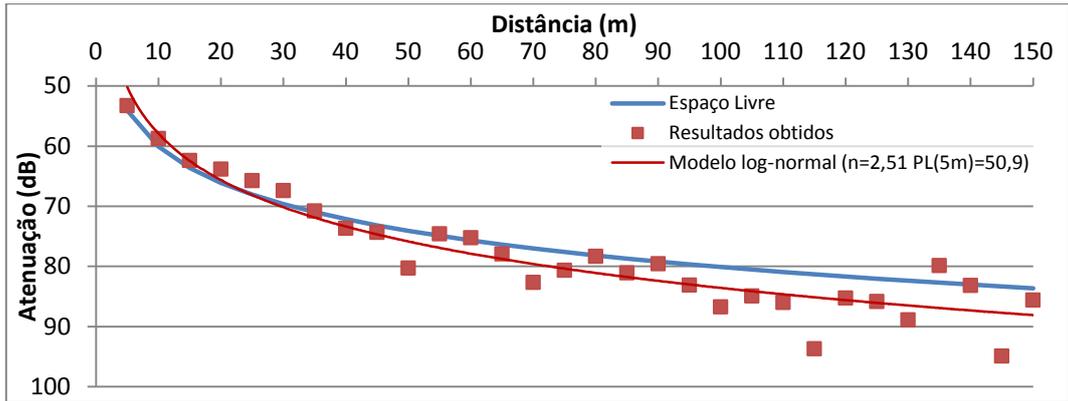
**Meio urbano: Emissor - grelha; Receptor - parabólica:**



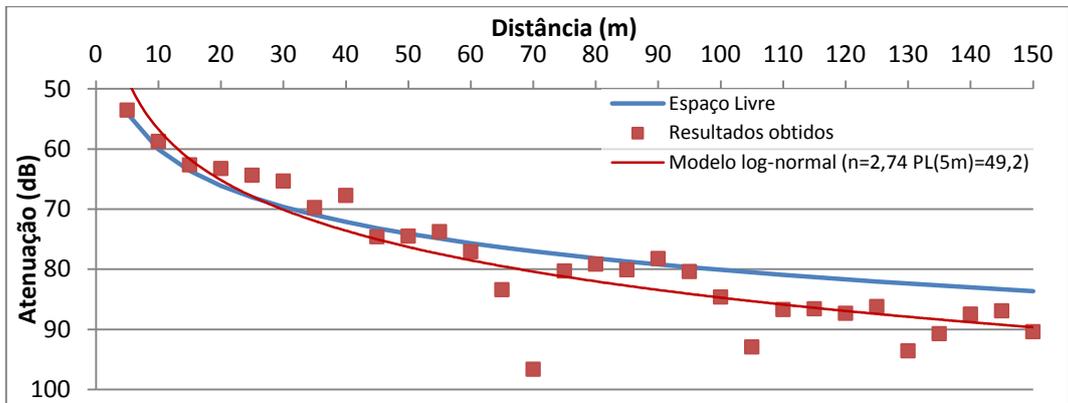
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor - monopolo:**



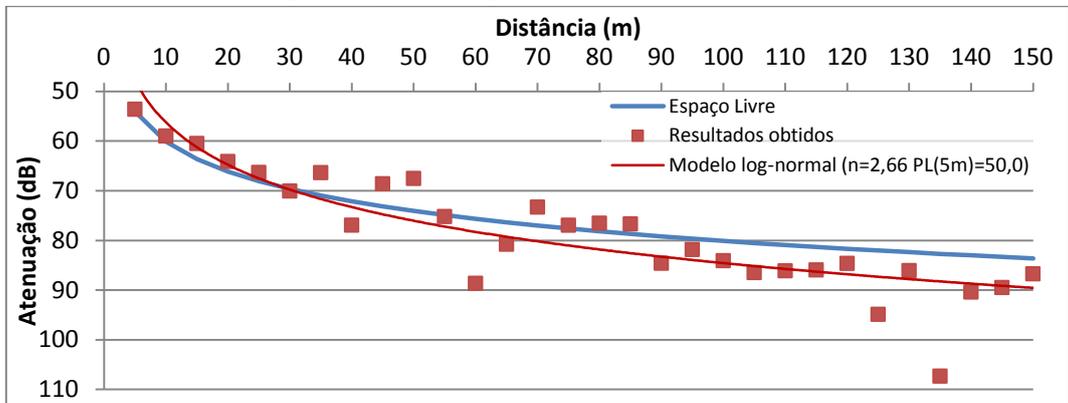
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor - colinear:**



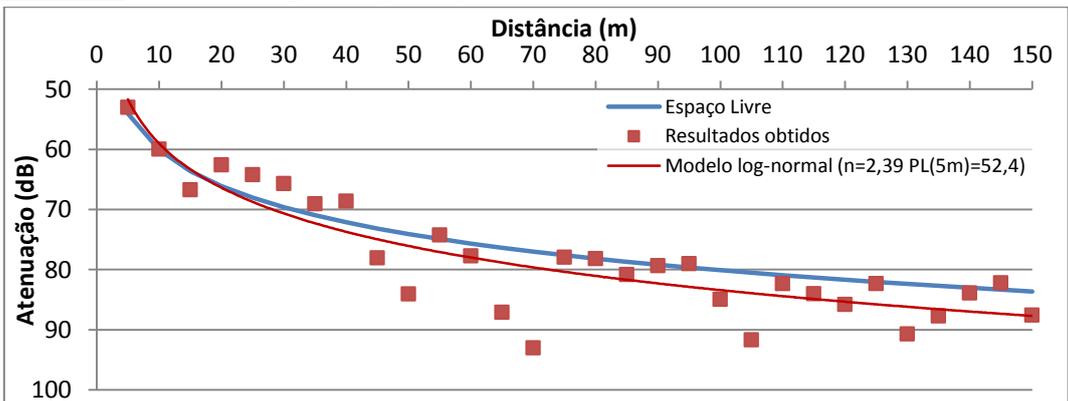
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor - grelha:**



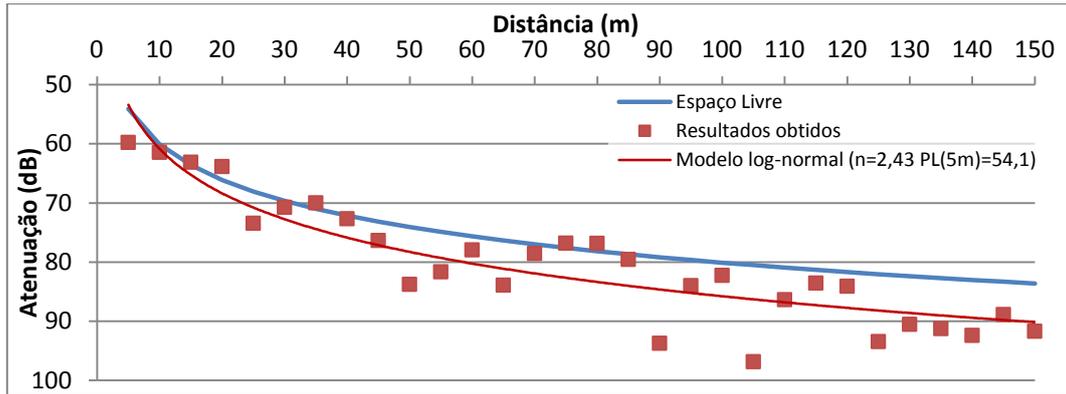
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor - Yagi:**



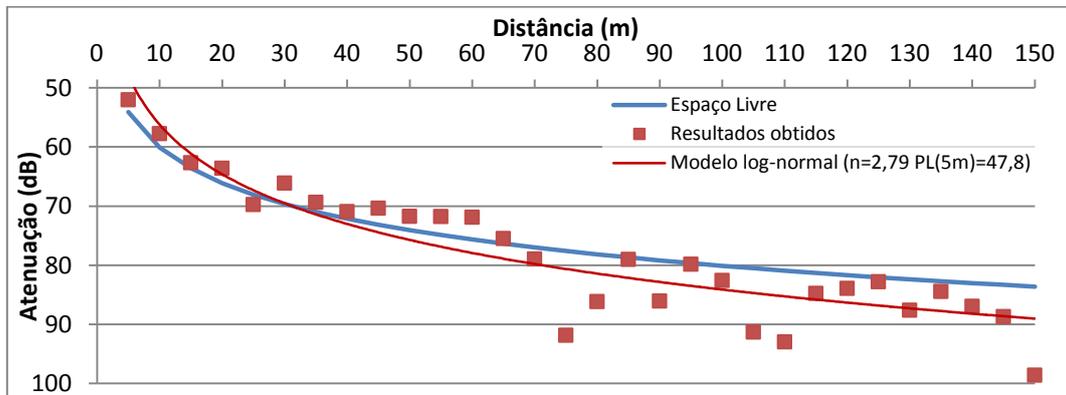
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor - painel:**



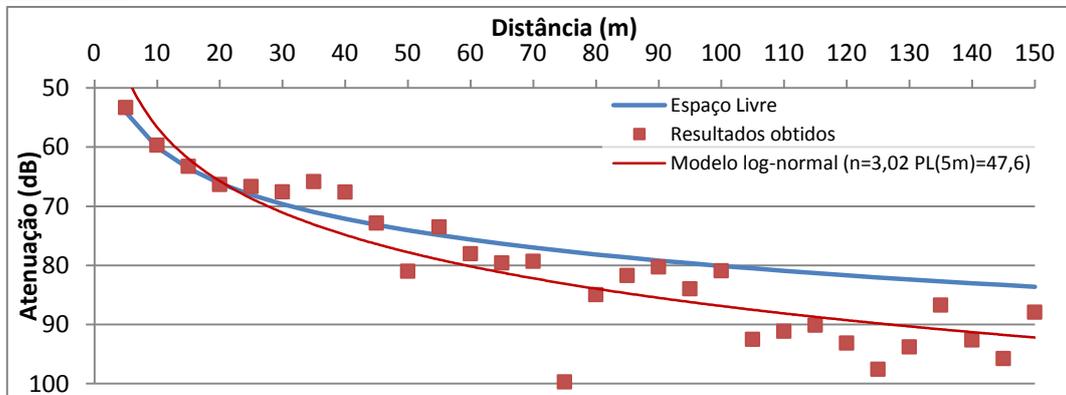
**Meio urbano: Emissor - Yagi; Receptor – parabólica:**



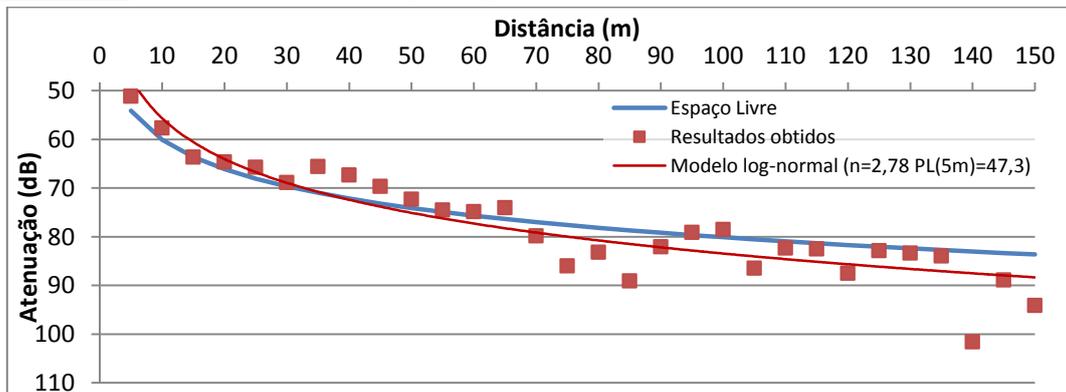
**Meio urbano: Emissor - painel; Receptor - monopolo:**



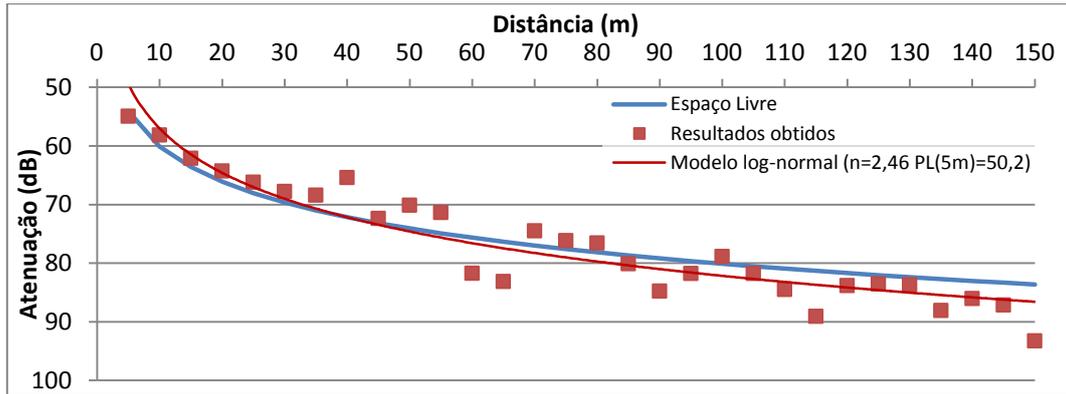
**Meio urbano: Emissor - Painel; Receptor - colinear:**



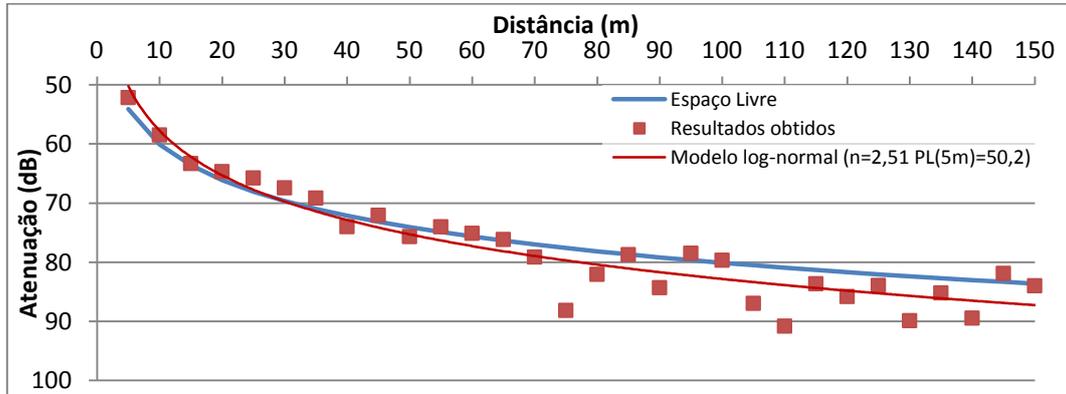
**Meio urbano: Emissor - Painel; Receptor - grelha:**



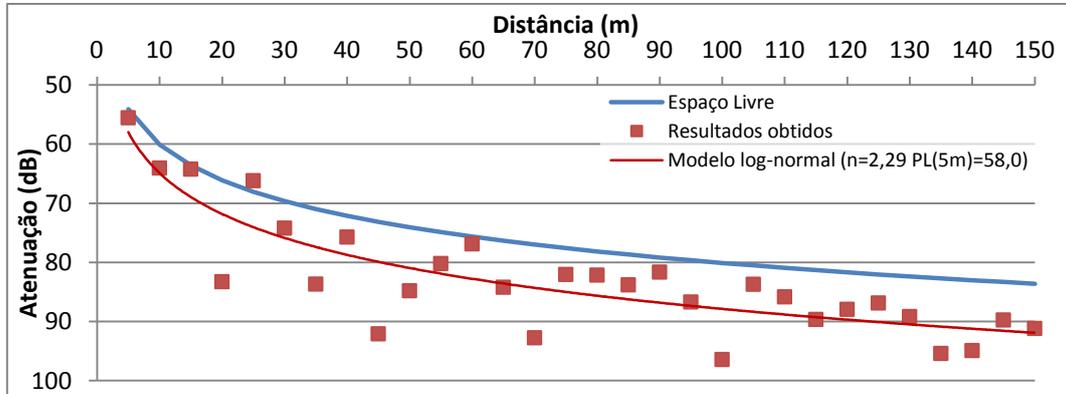
**Meio urbano: Emissor - Painel; Receptor - Yagi:**



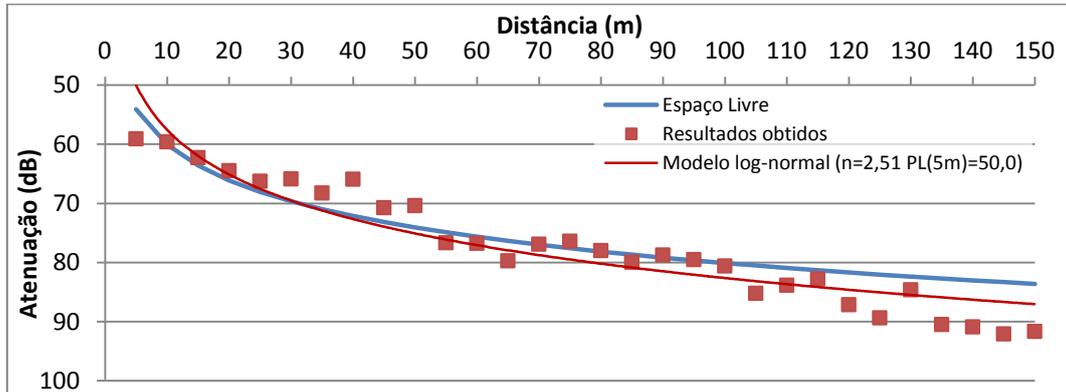
**Meio urbano: Emissor - Painel; Receptor - painel:**



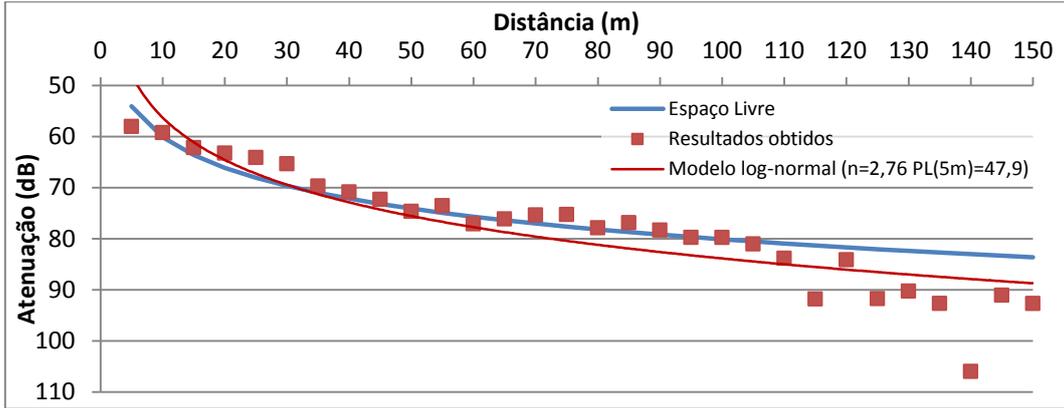
**Meio urbano: Emissor - Painel; Receptor - parabólica:**



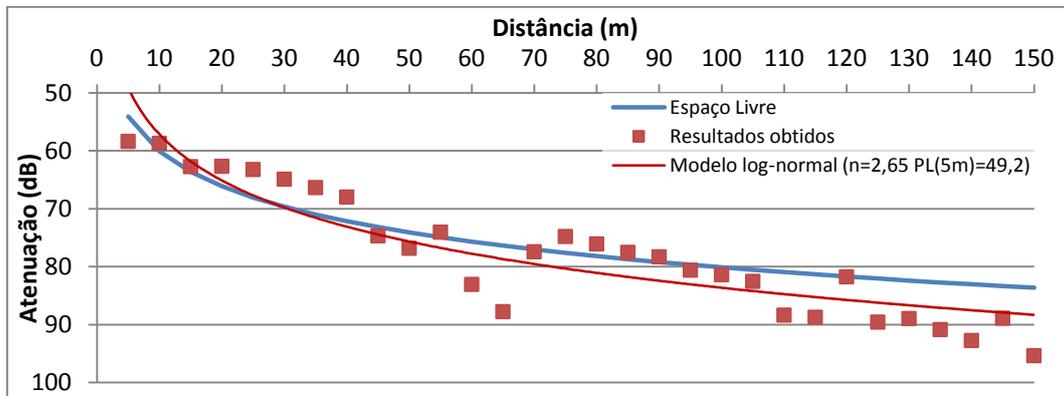
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - monopolo:**



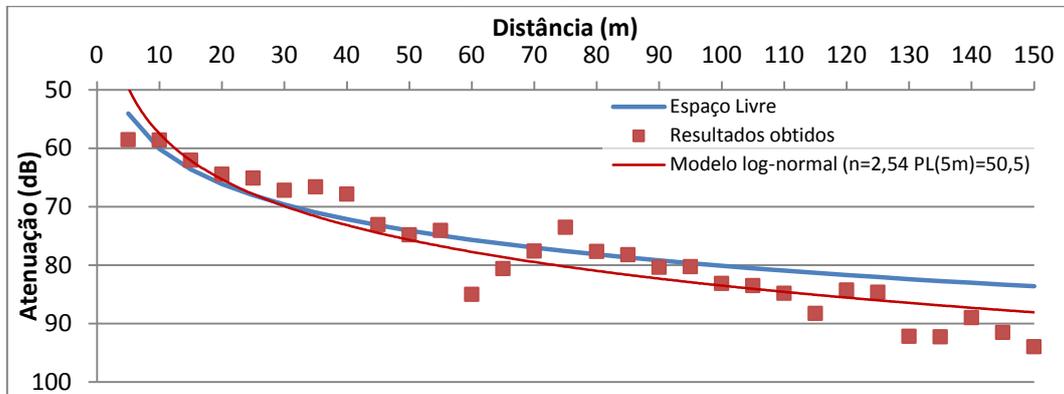
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - colinear:**



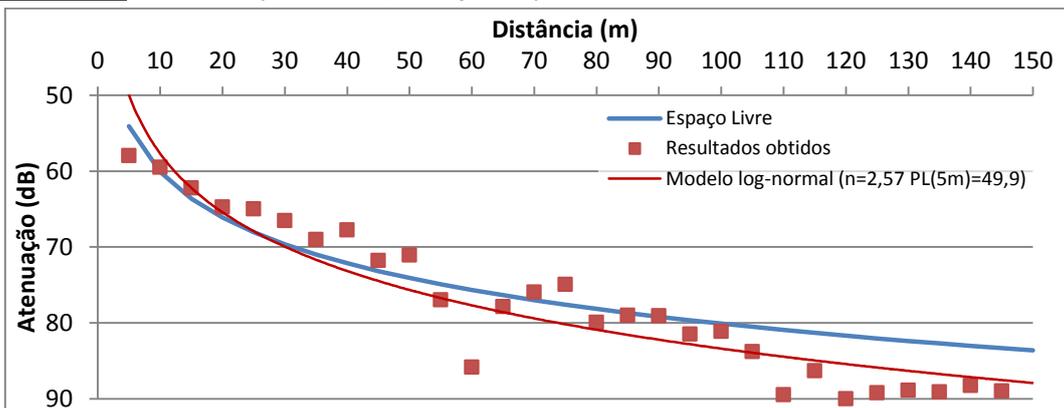
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - grelha:**



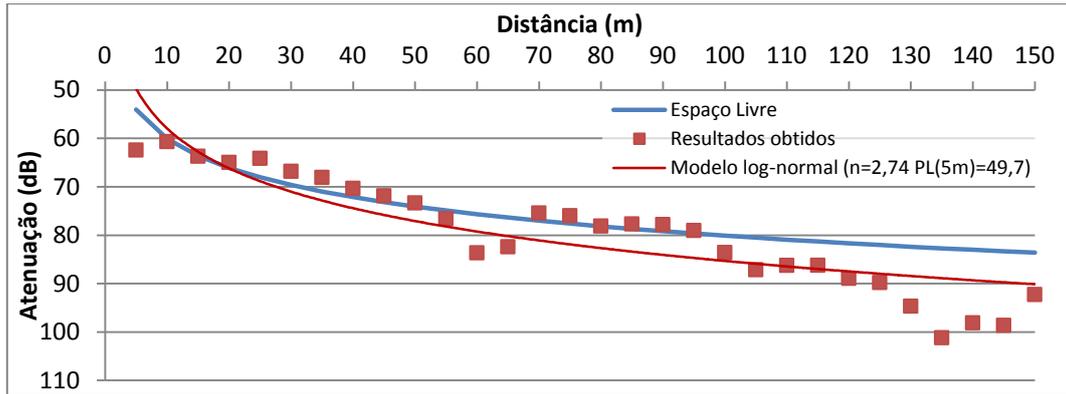
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - Yagi:**



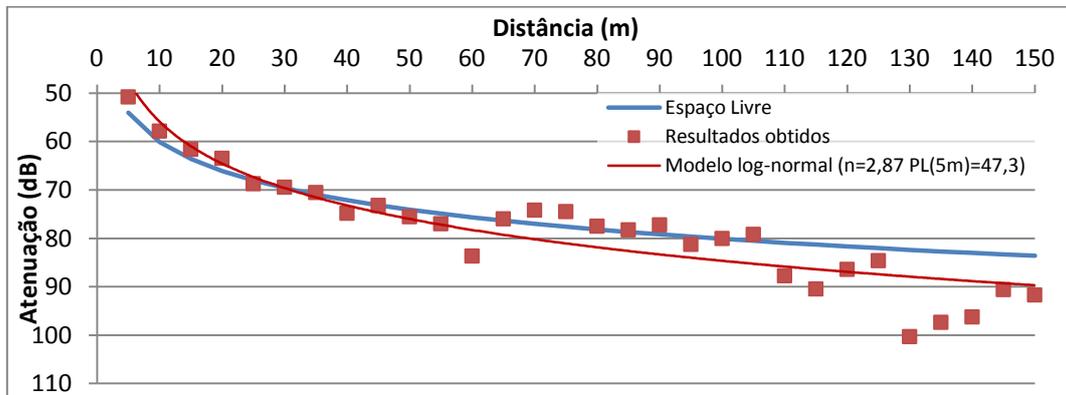
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - painel:**



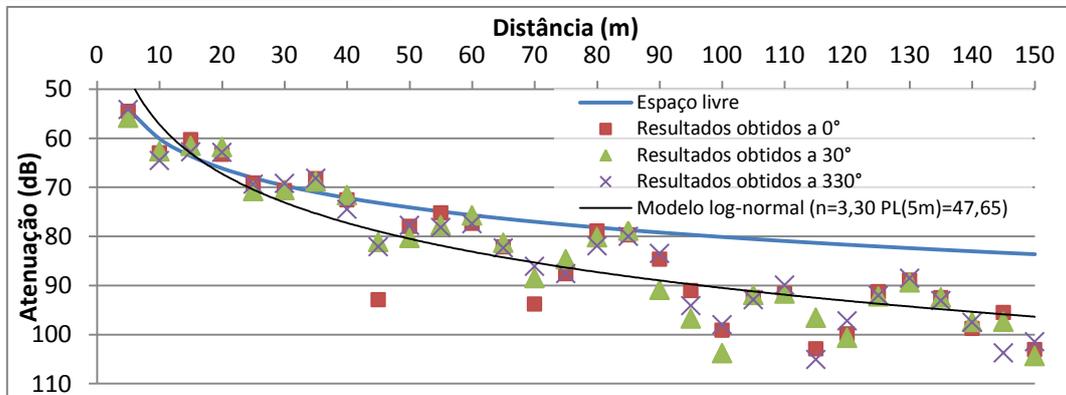
**Meio urbano: Emissor - parabólica; Receptor - parabólica:**



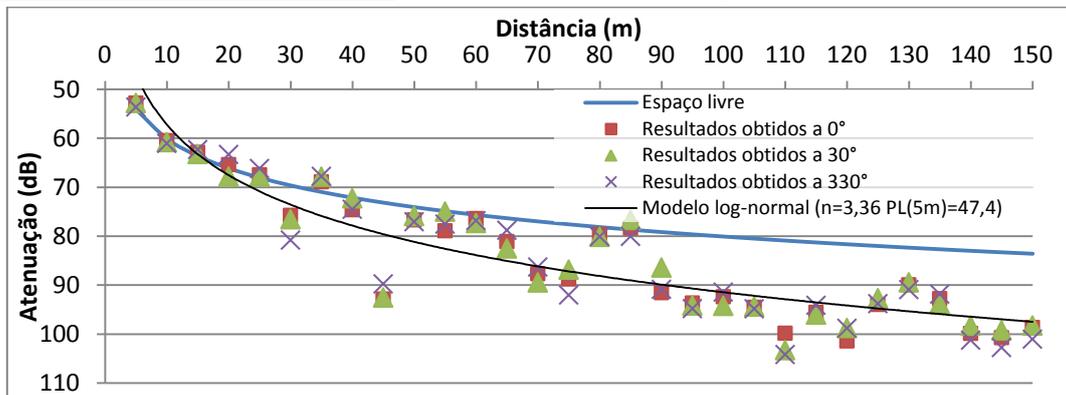
**Meio urbano: Emissor - helicoidal; Receptor - helicoidal:**



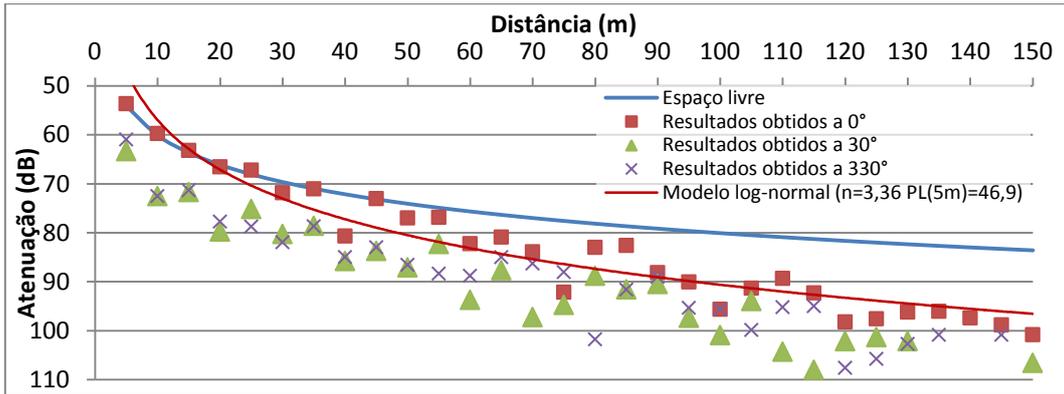
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - monopolo:**



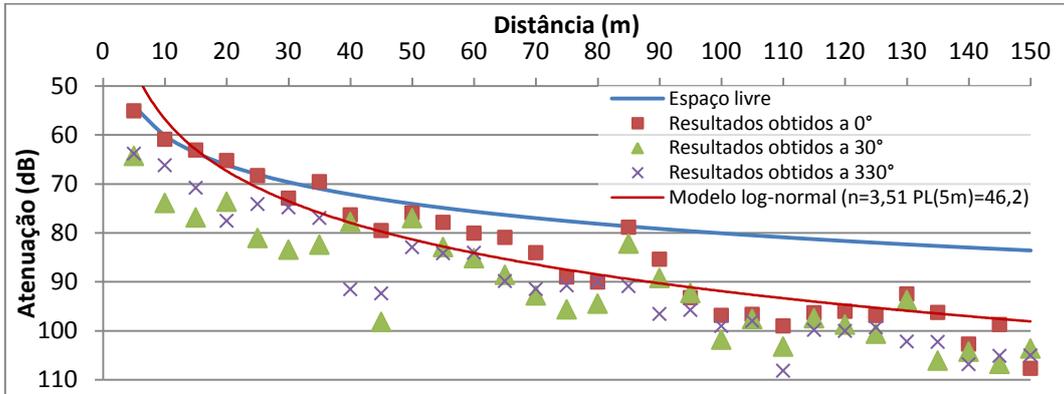
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - colinear:**



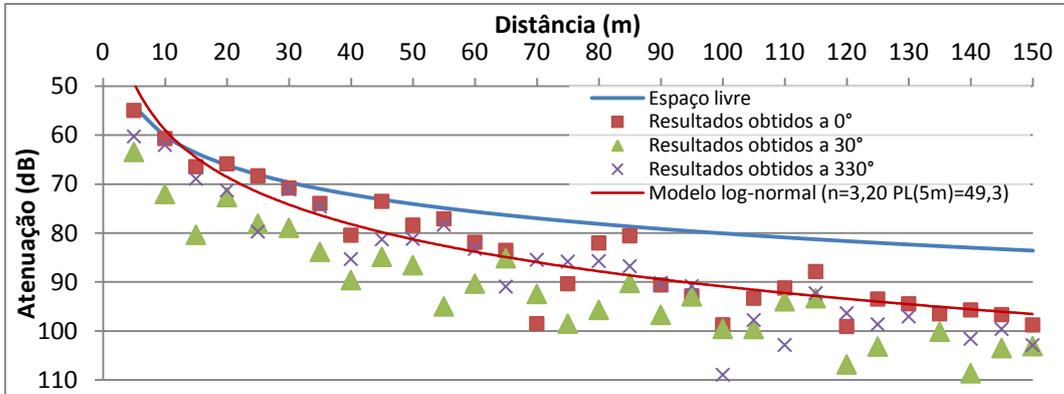
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - grelha:**



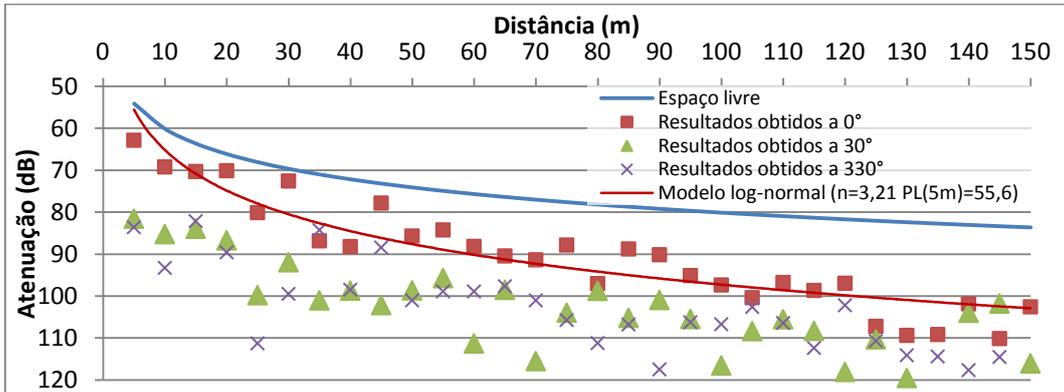
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - Yagi:**



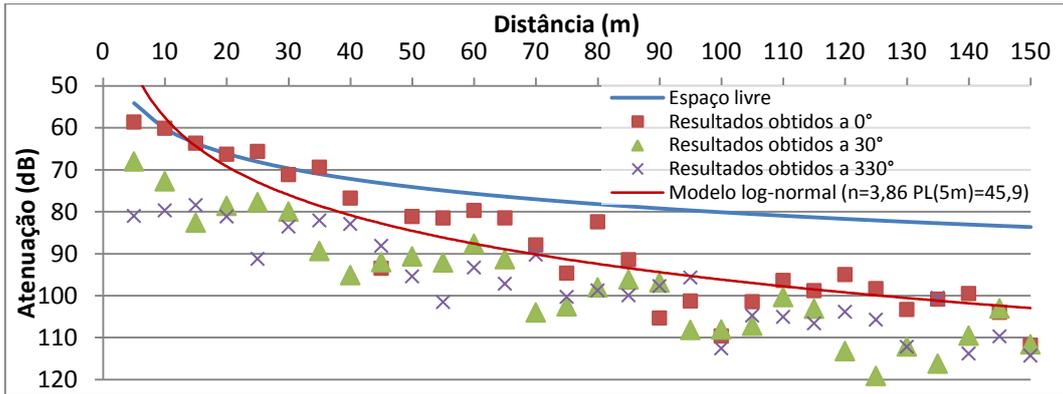
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - painel:**



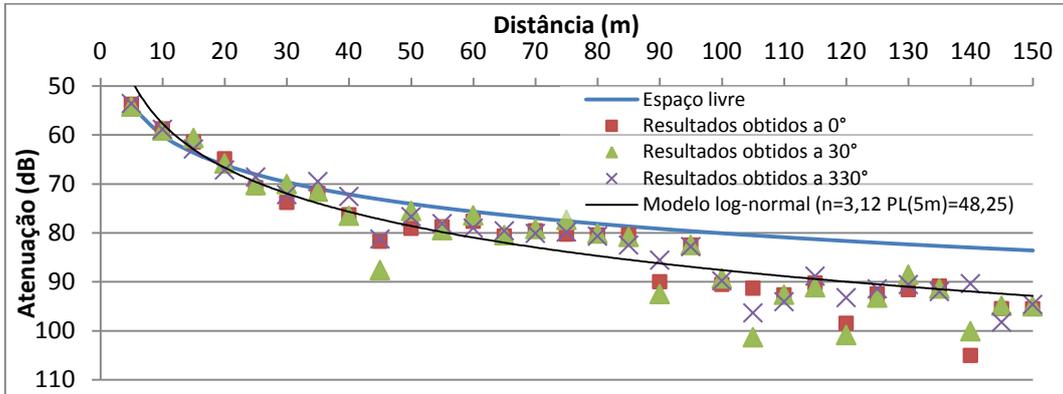
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - parabólica:**



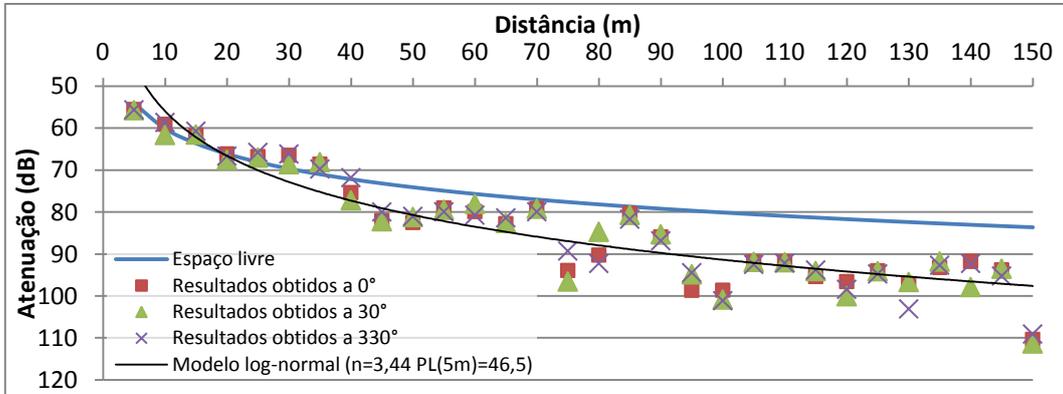
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - monopolo; Receptor - agrupamento:**



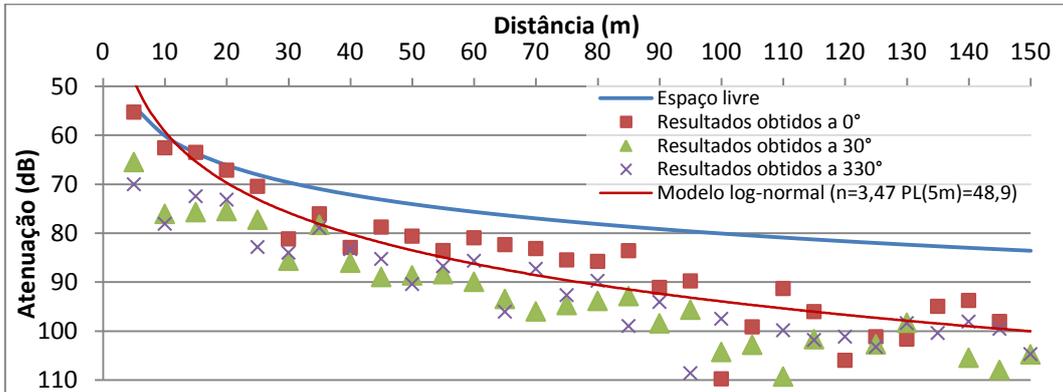
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - monopolo:**



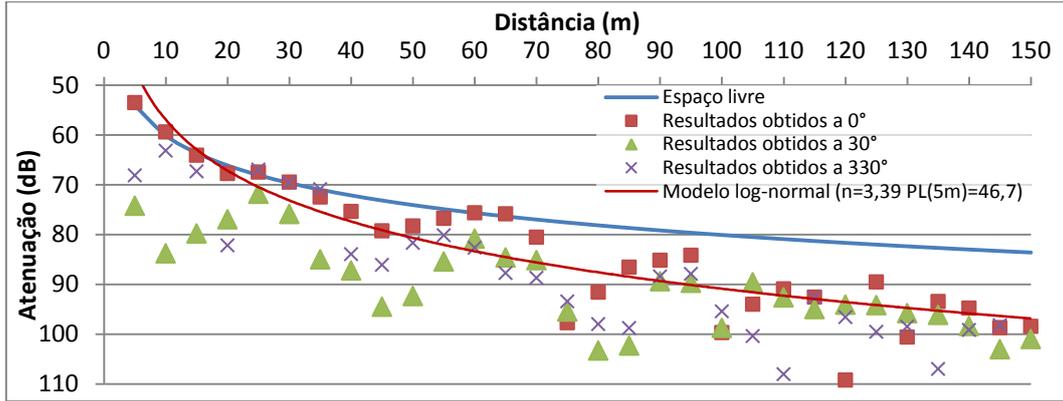
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - colinear:**



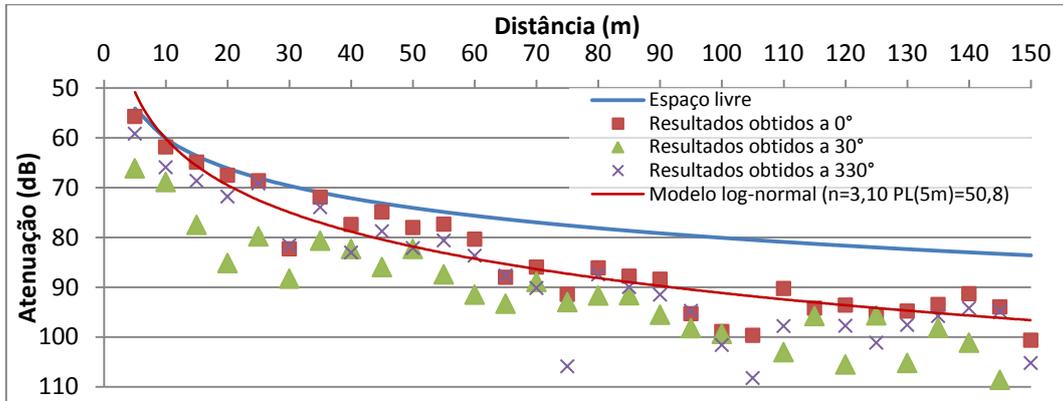
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - grelha:**



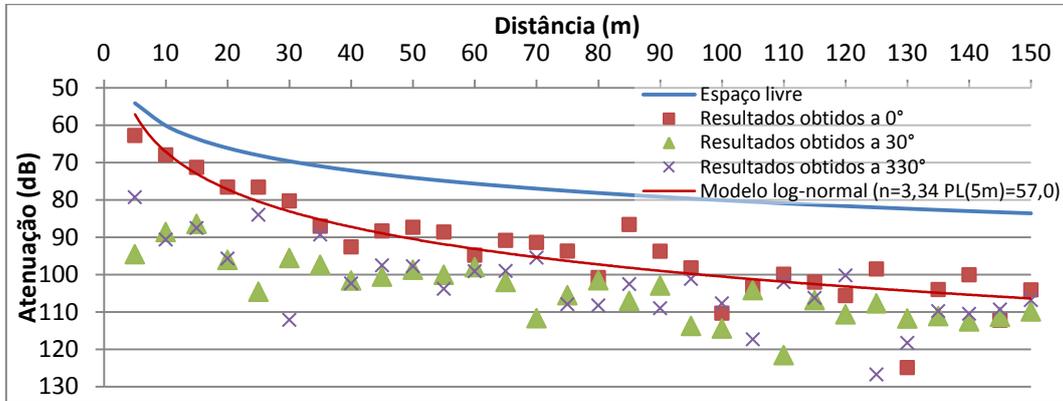
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - Yagi:**



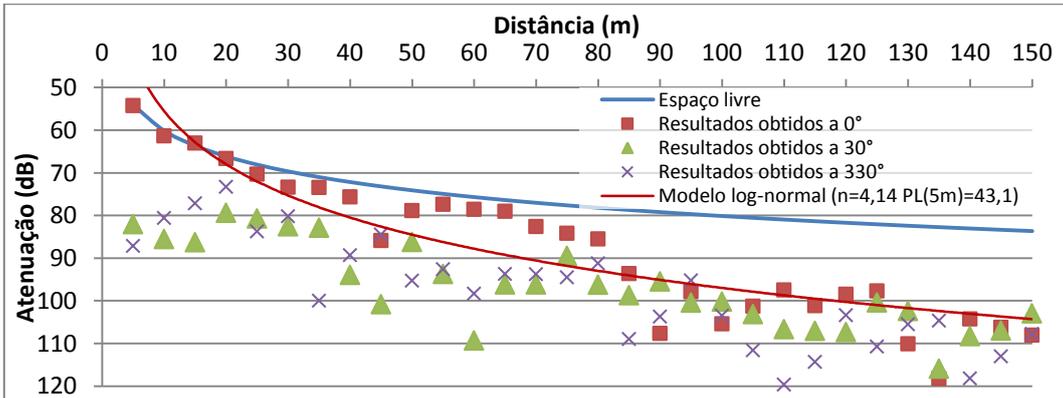
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - painel:**



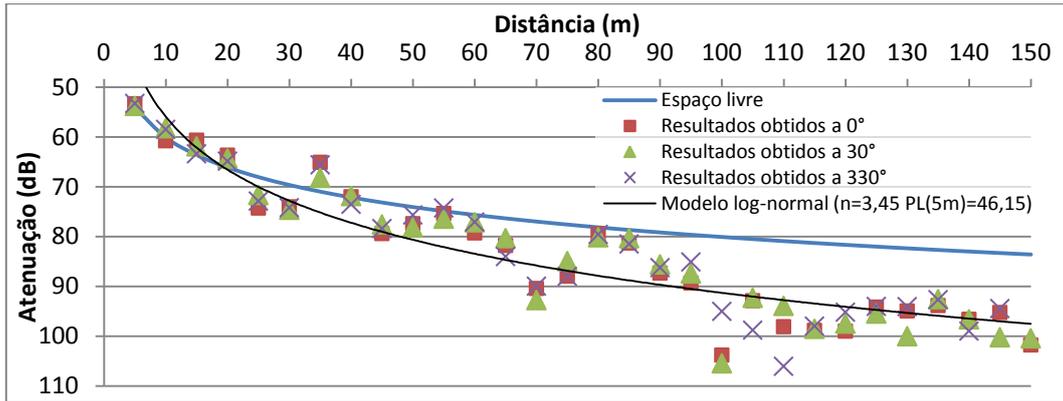
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - parabólica:**



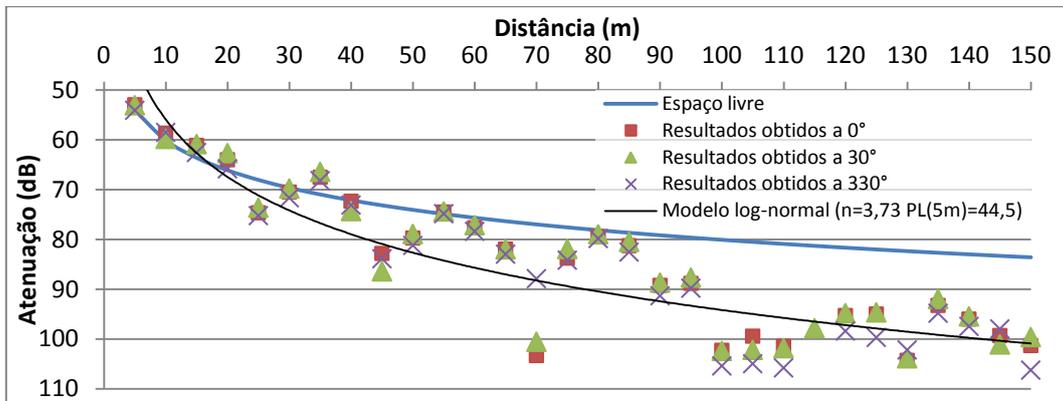
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - colinear; Receptor - agrupamento:**



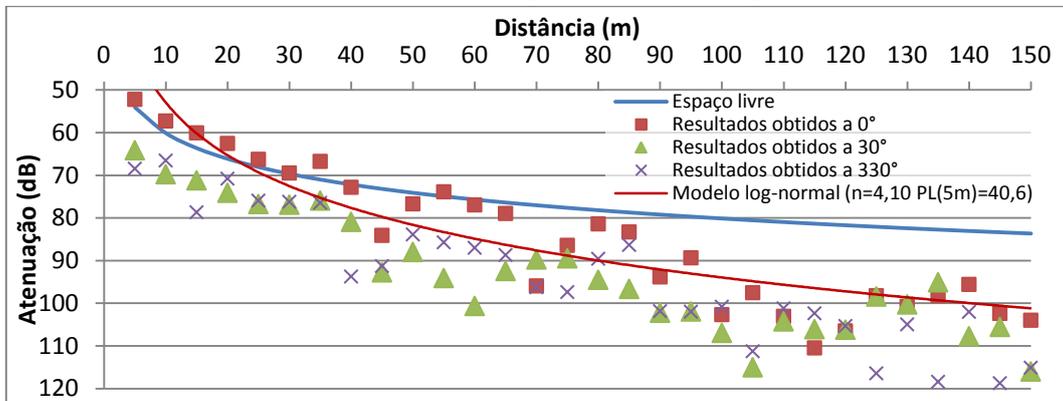
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - monopolo:**



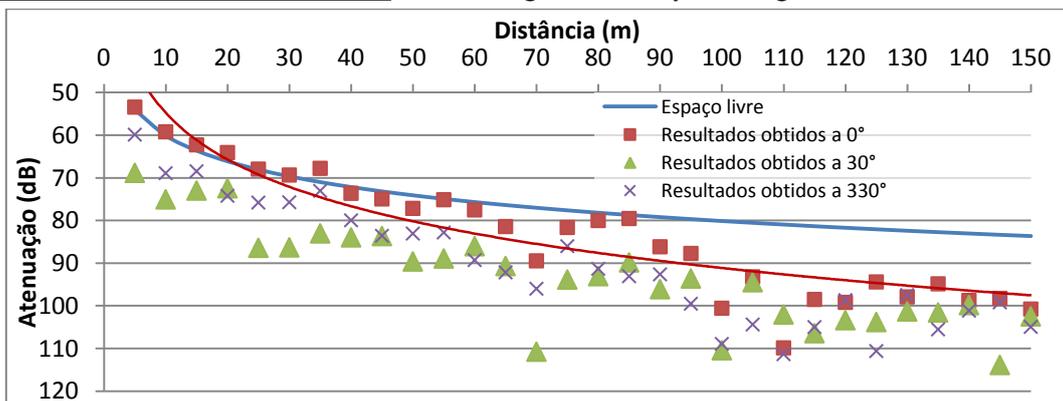
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - colinear:**



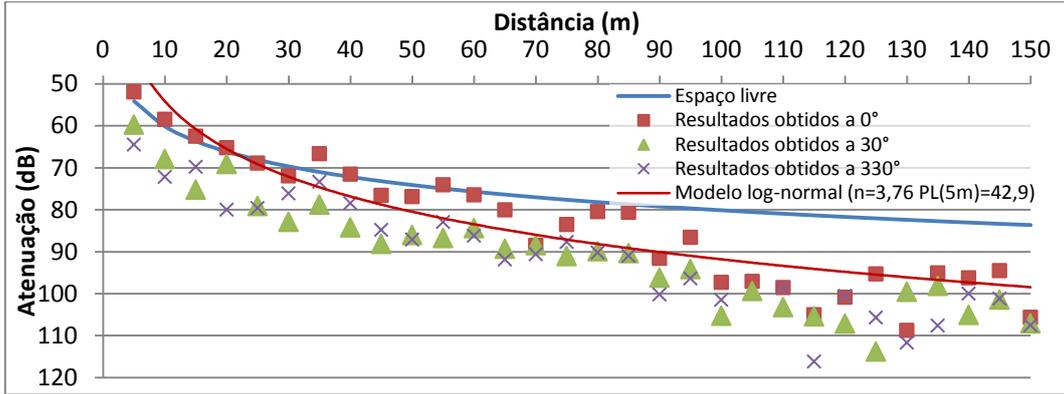
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - grelha:**



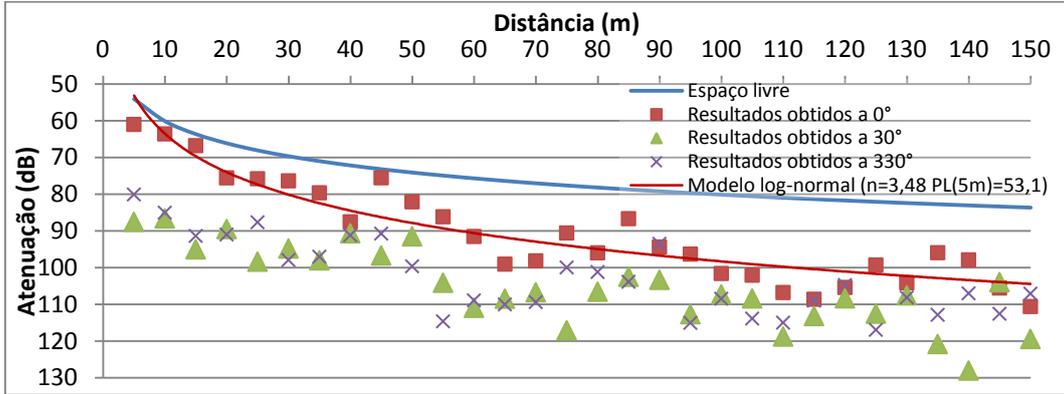
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - Yagi:**



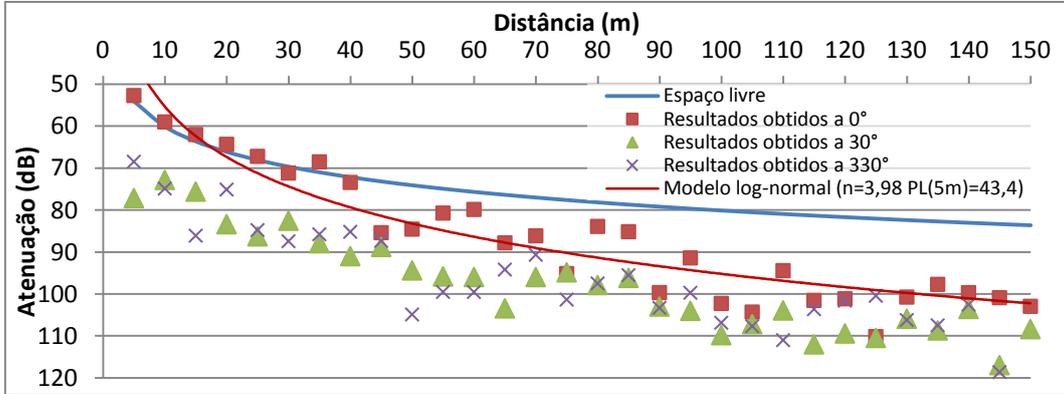
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - painel:**



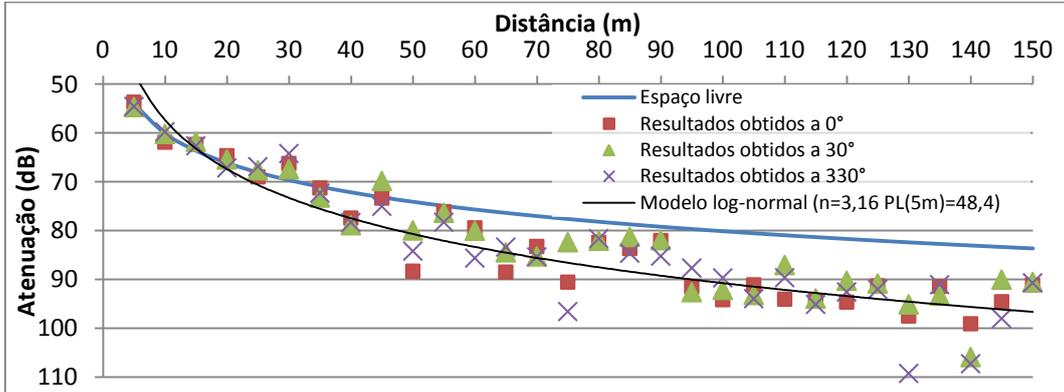
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - parabólica:**



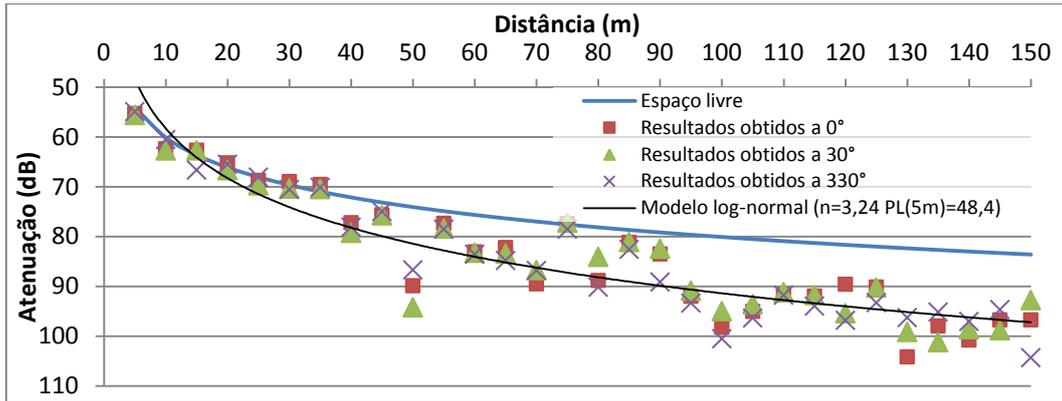
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - grelha; Receptor - agrupamento:**



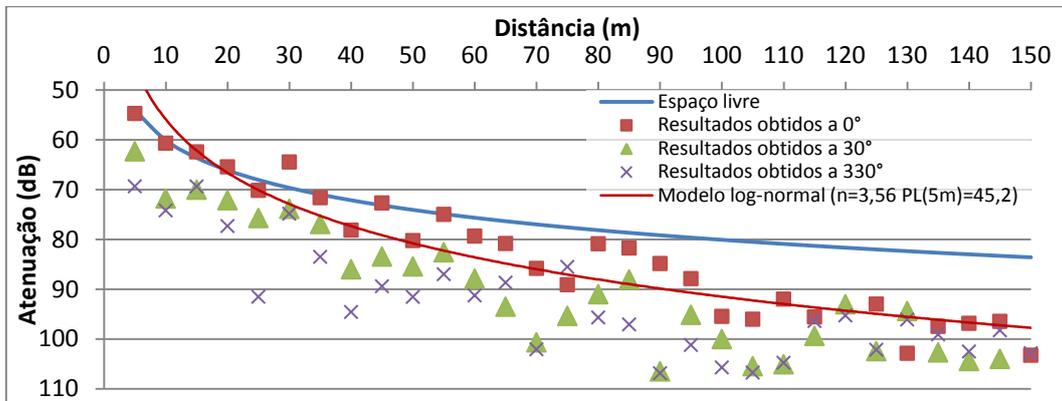
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - monopolo:**



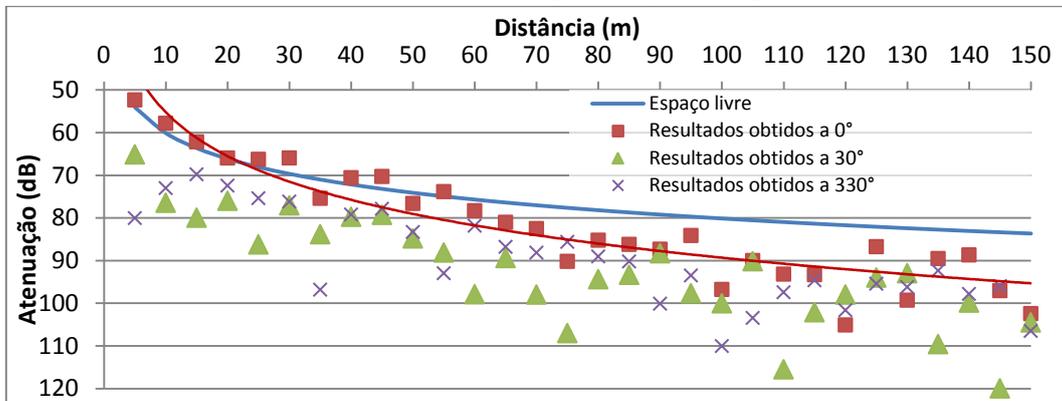
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - colinear:**



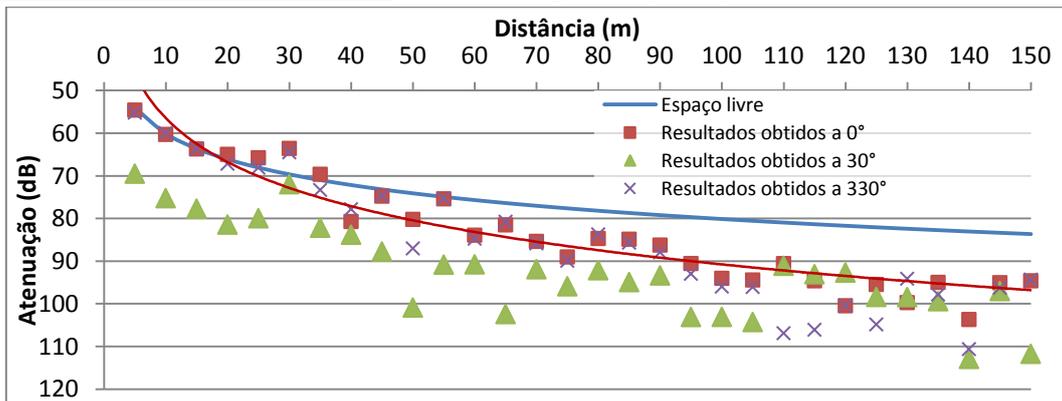
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - grelha:**



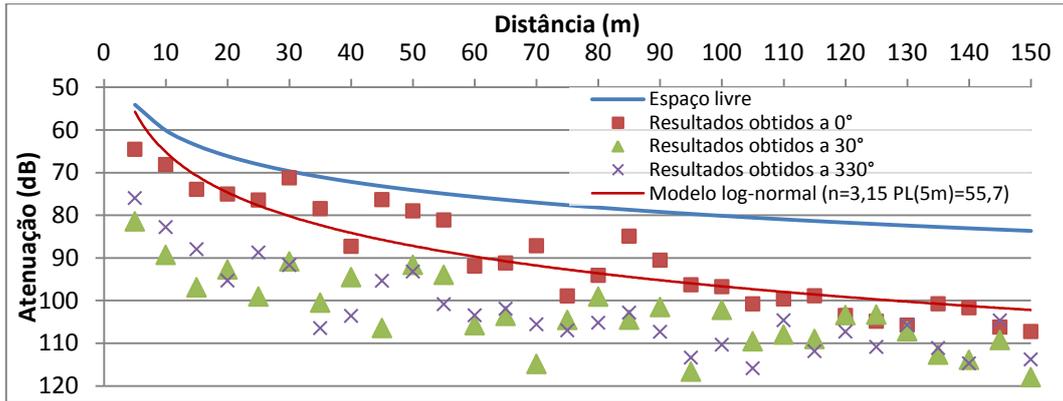
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - Yagi:**



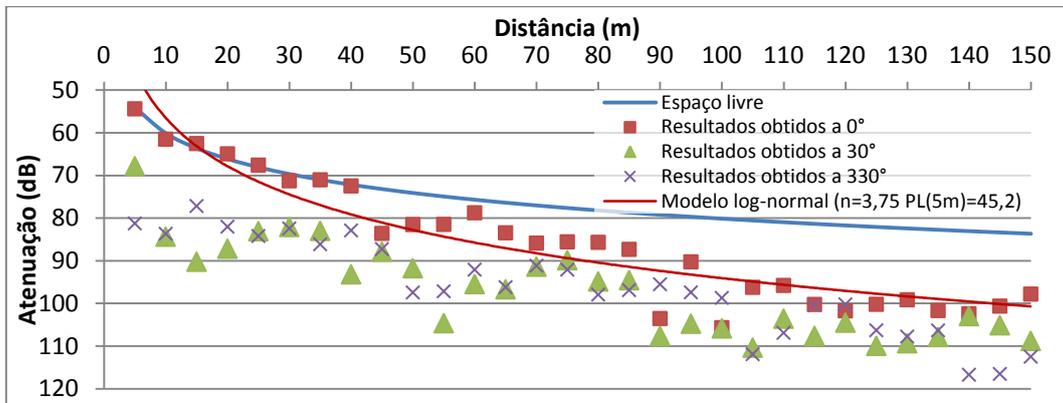
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - painel:**



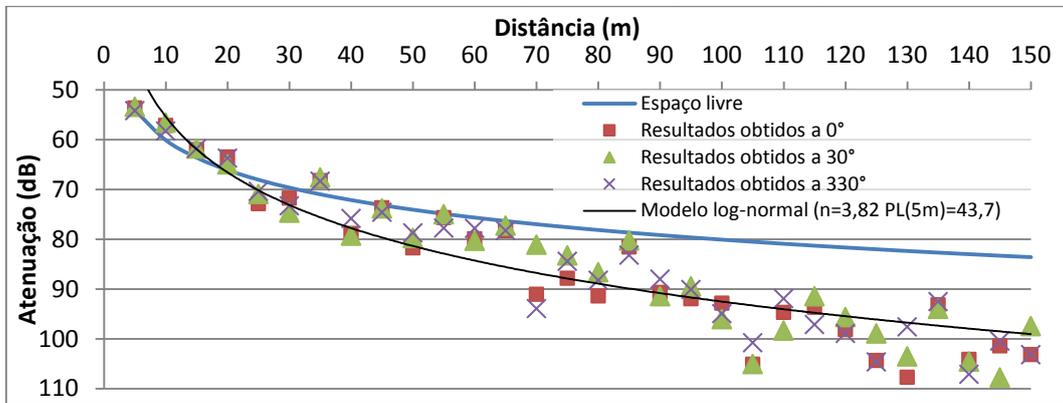
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - parabólica:**



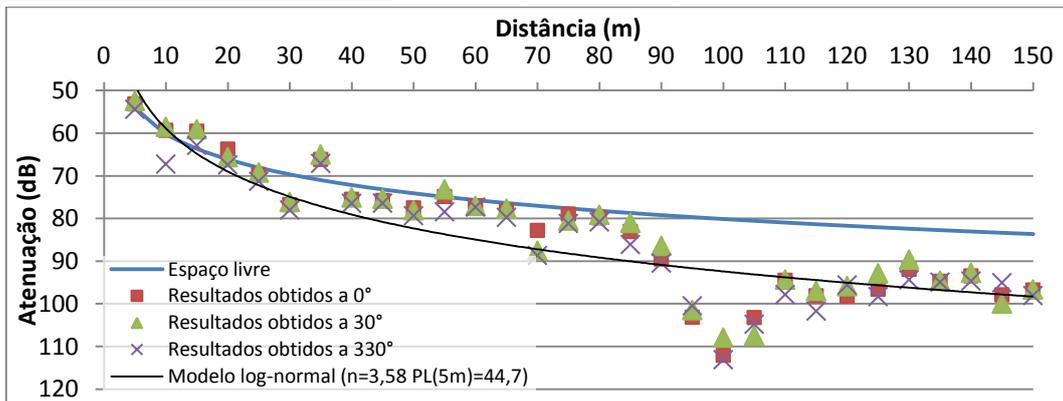
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - Yagi; Receptor - agrupamento:**



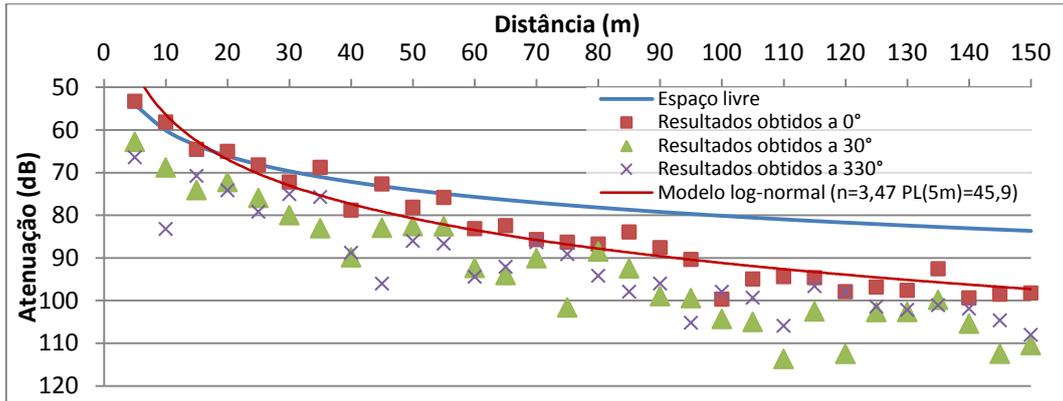
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - monopolo:**



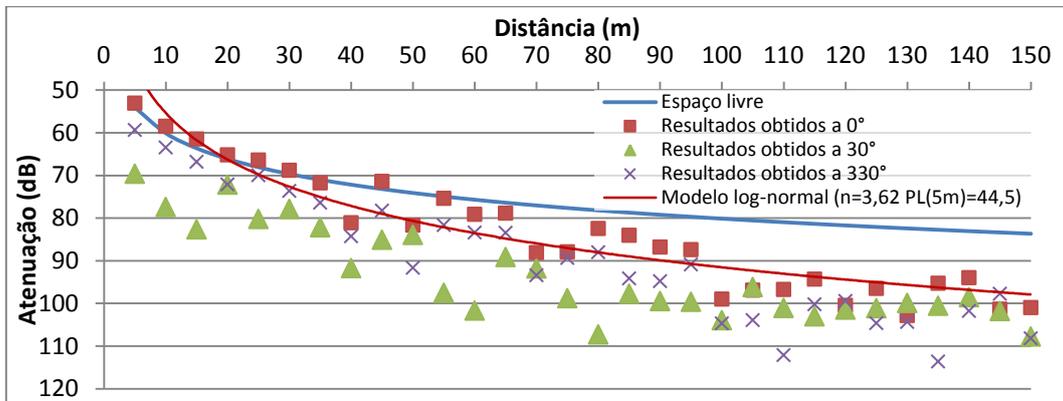
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - colinear:**



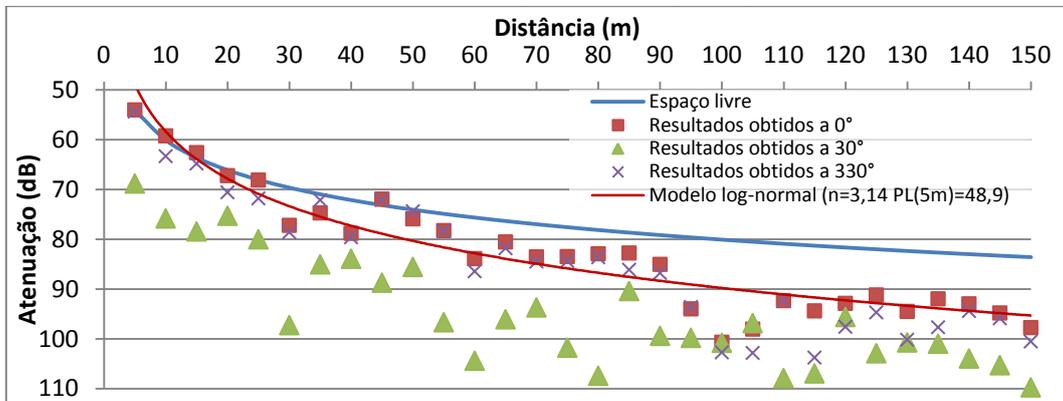
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - grelha:**



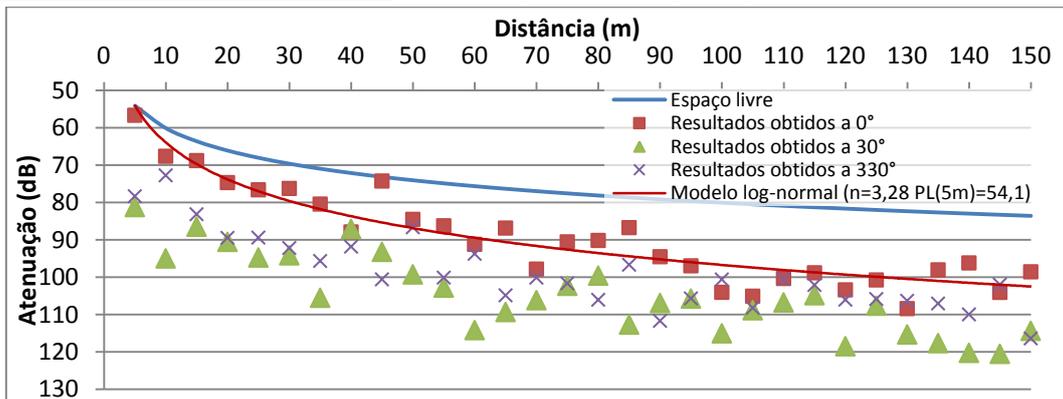
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - Yagi:**



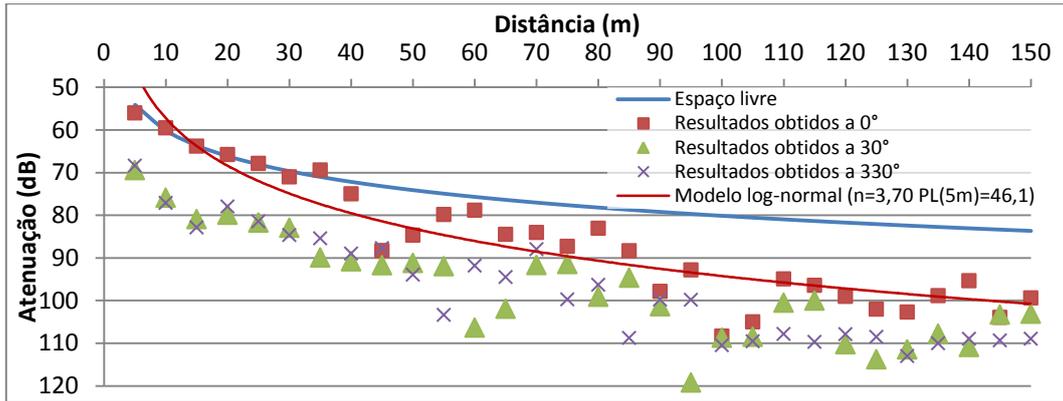
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - painel:**



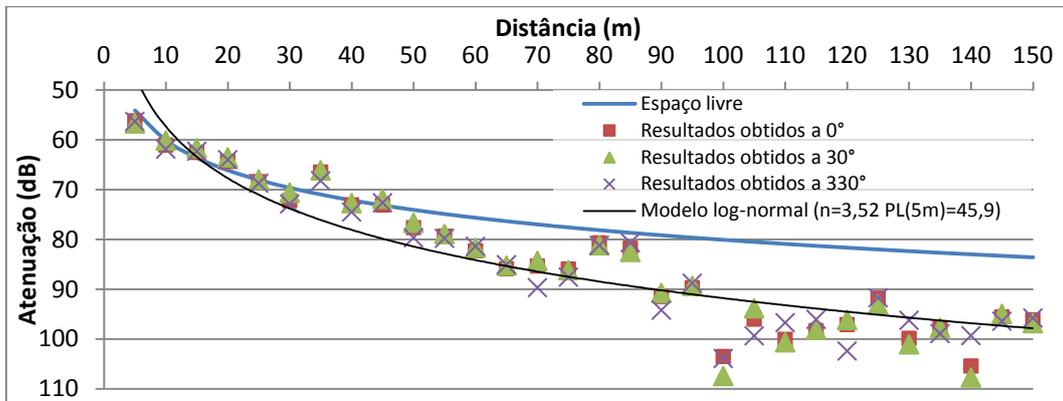
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - parabólica:**



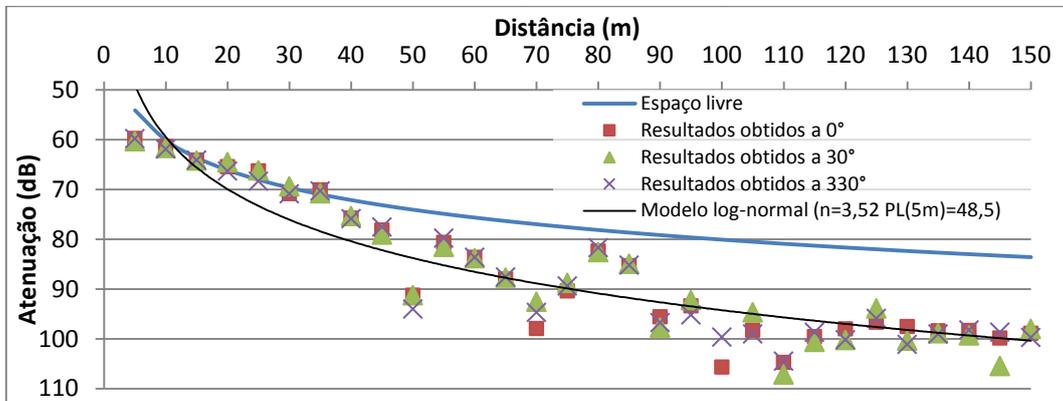
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - painel; Receptor - agrupamento:**



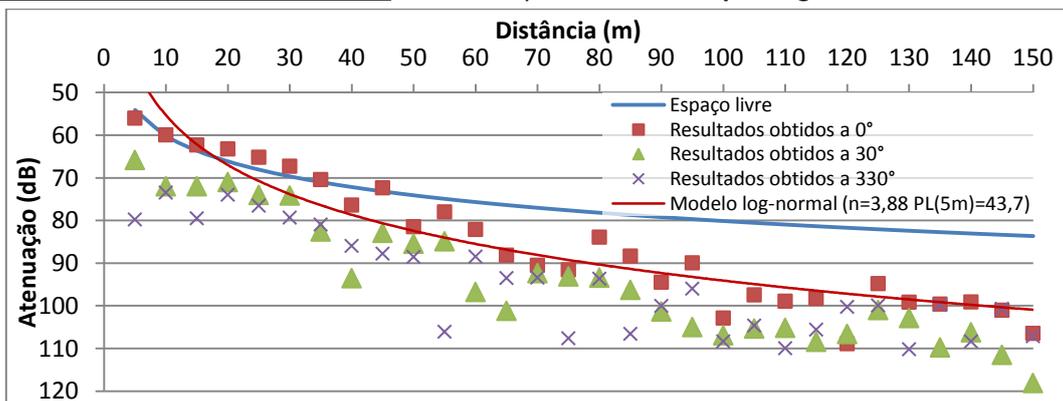
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - monopolo:**



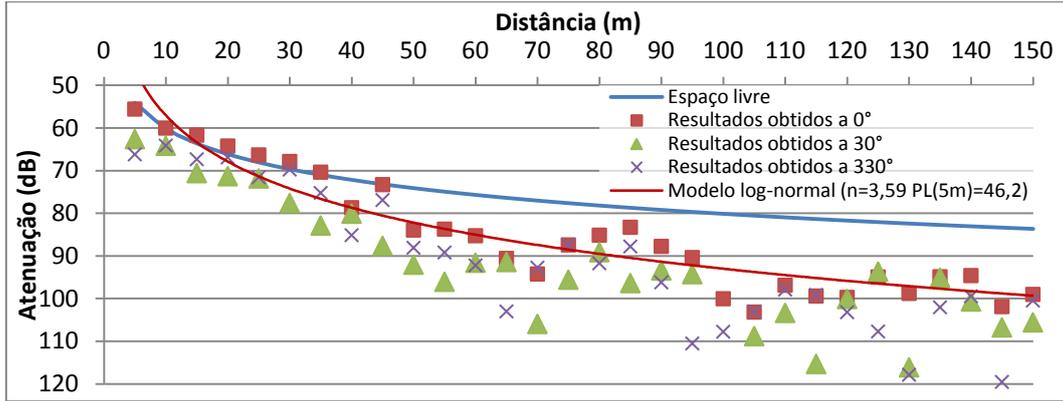
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - colinear:**



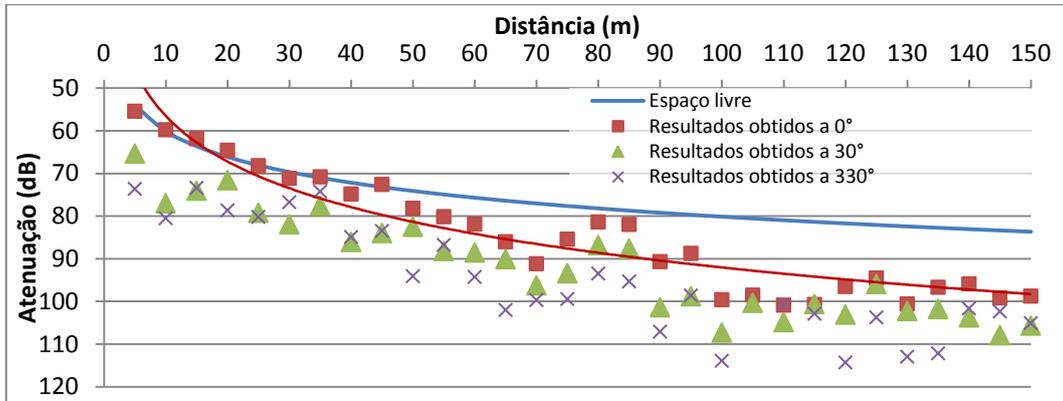
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - grelha:**



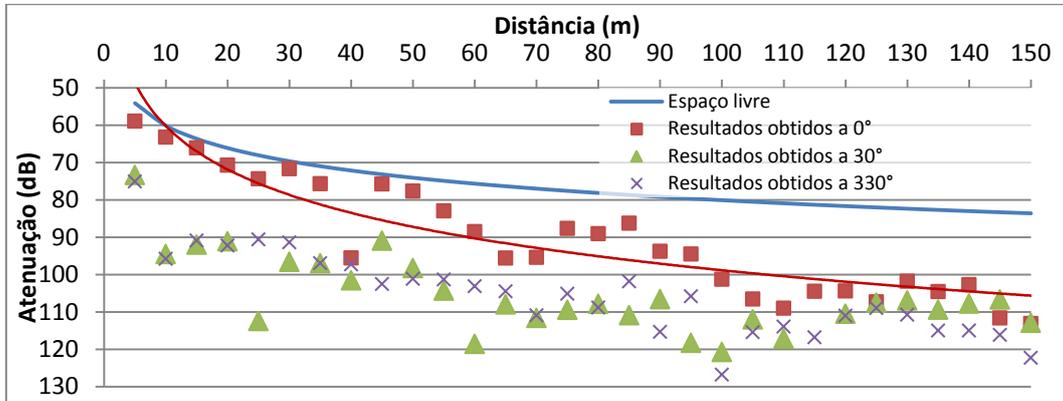
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - Yagi:**



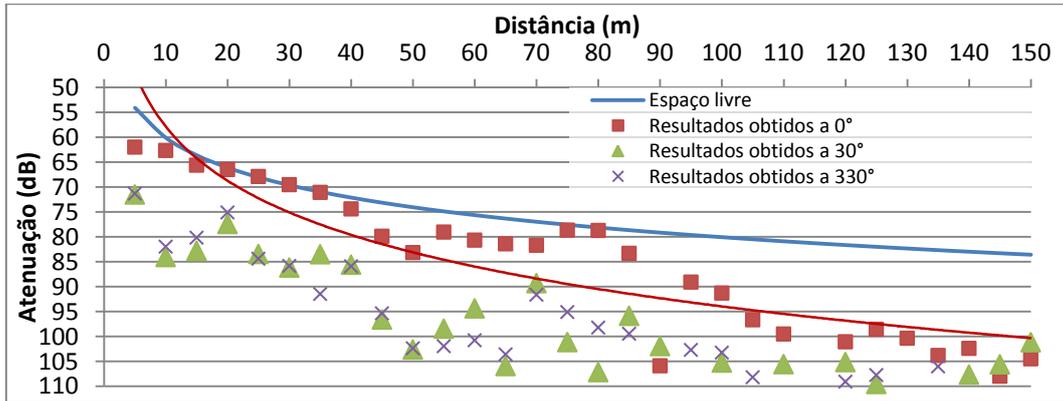
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - painel:**



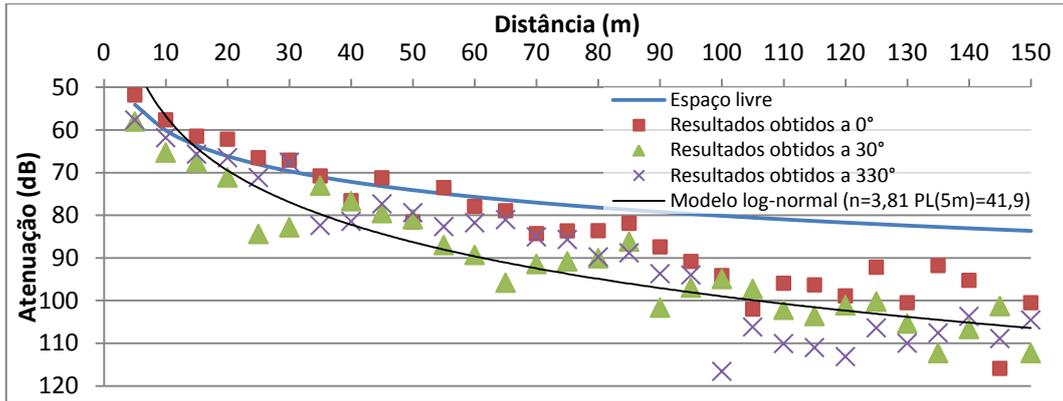
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - parabólica:**



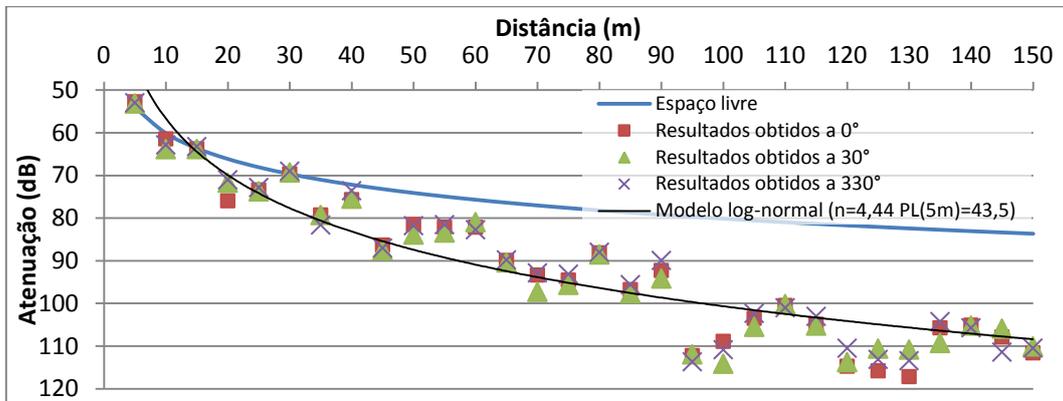
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - parabólica; Receptor - agrupamento:**



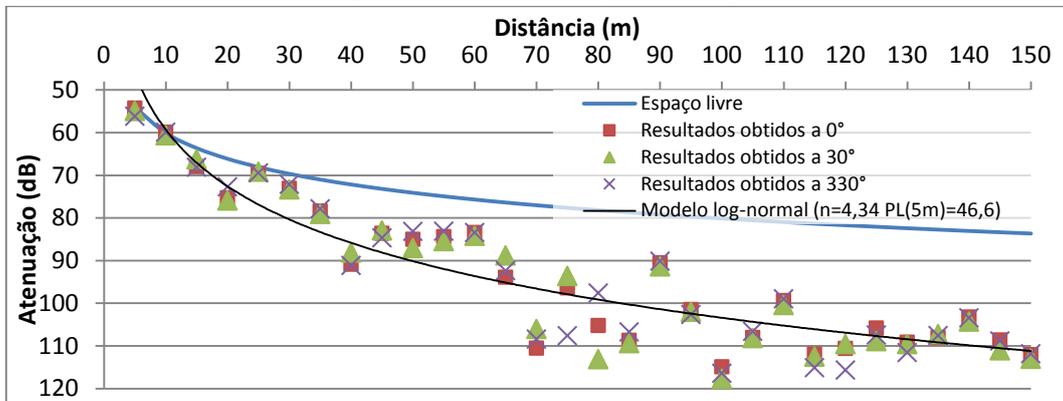
**Meio florestal ao nível dos troncos: Emissor - helicoidal; Receptor - helicoidal:**



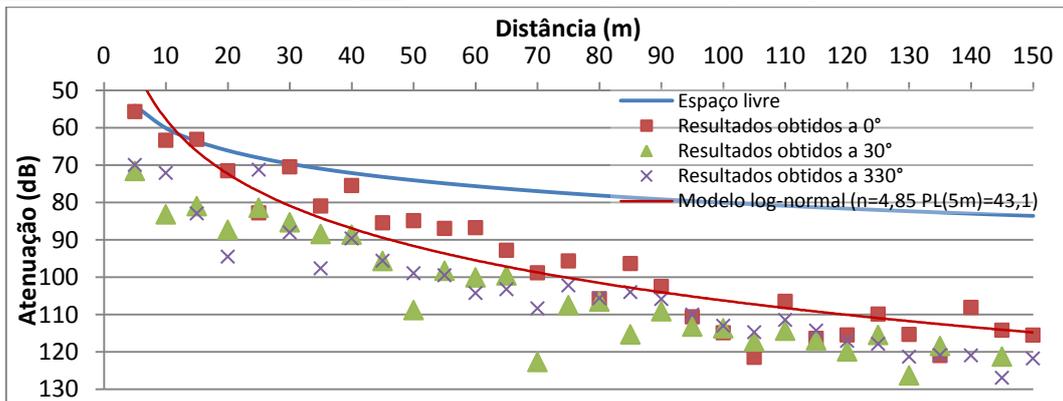
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - monopolo:**



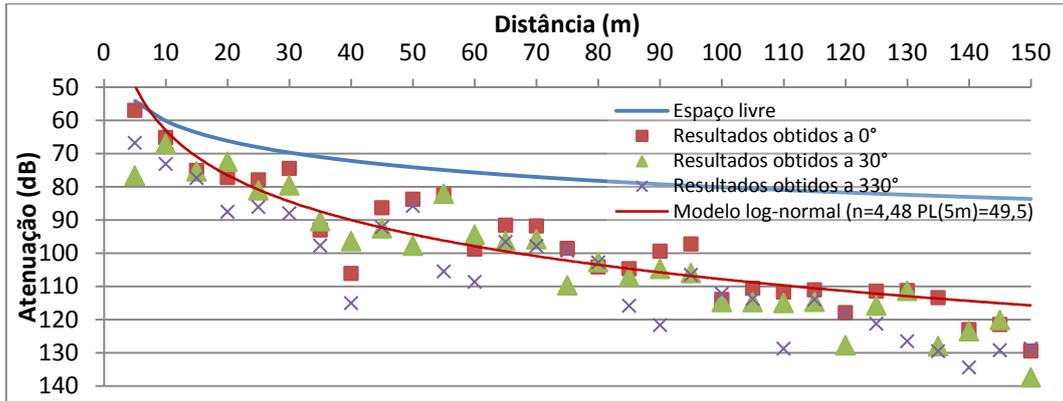
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - colinear:**



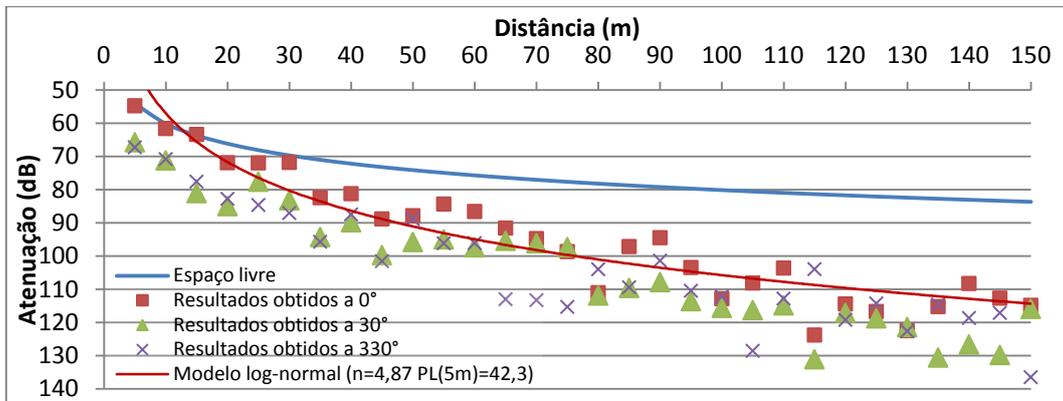
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - grelha:**



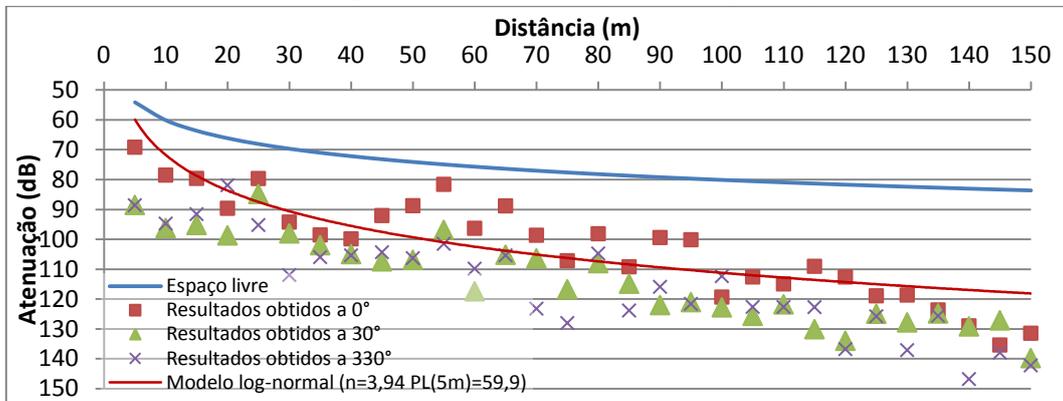
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - Yagi:**



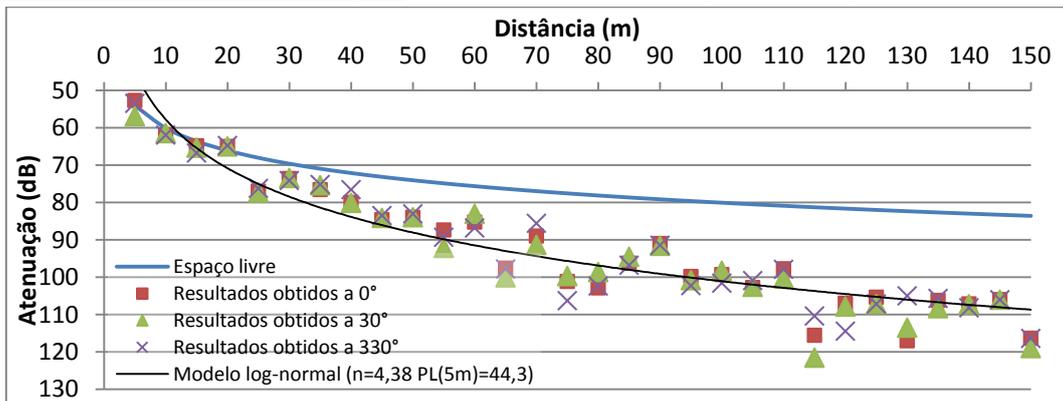
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - painel:**



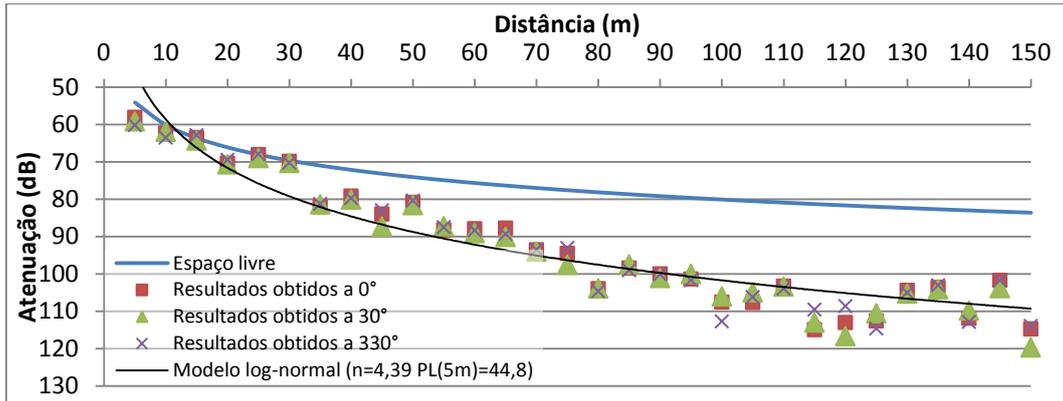
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - monopolo; Receptor - parabólica:**



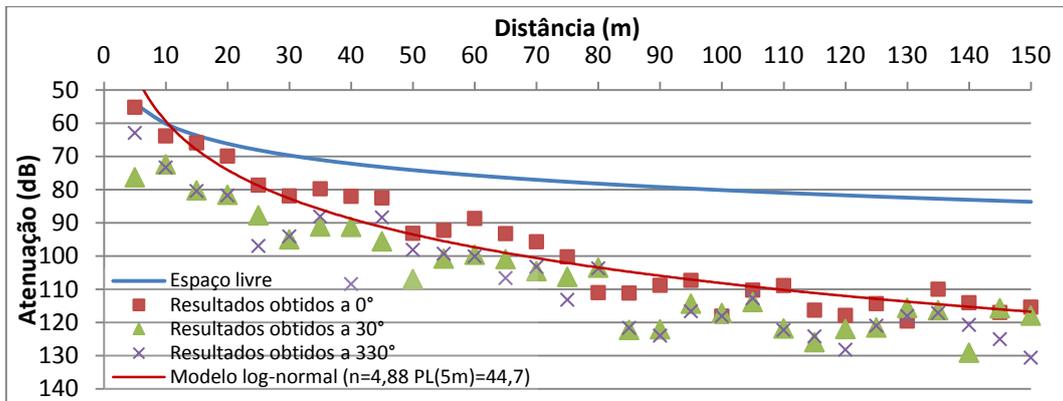
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - monopolo:**



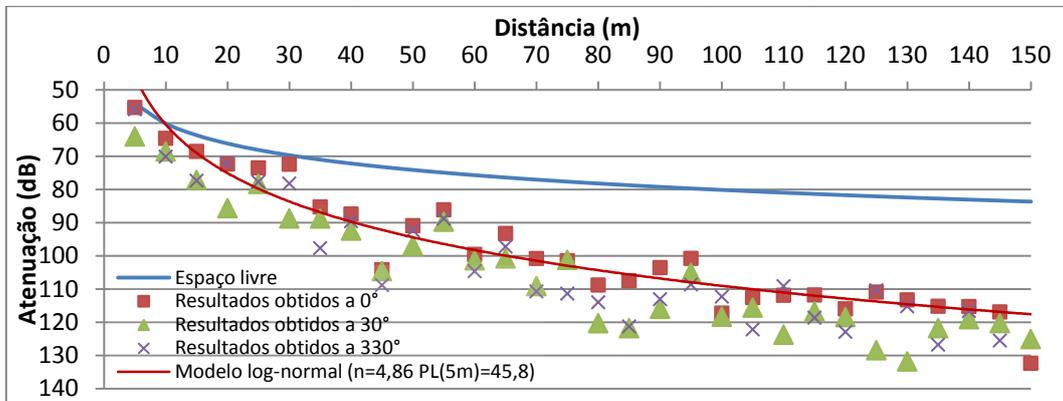
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - colinear:**



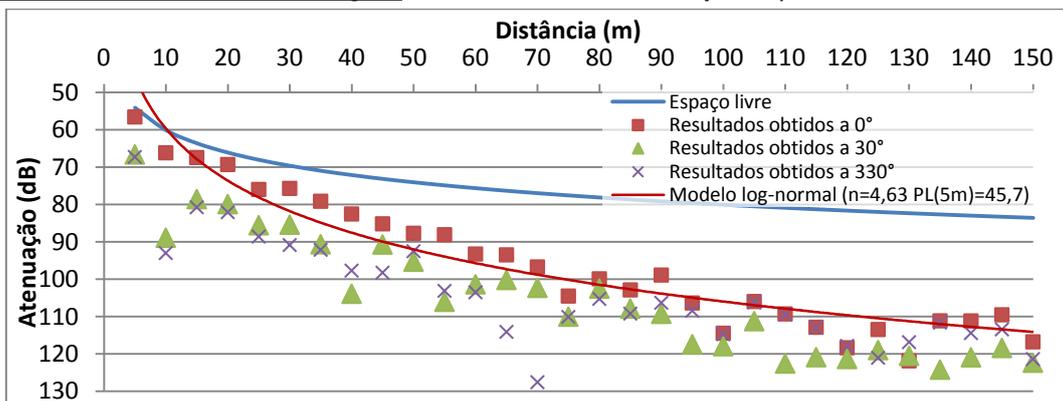
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - grelha:**



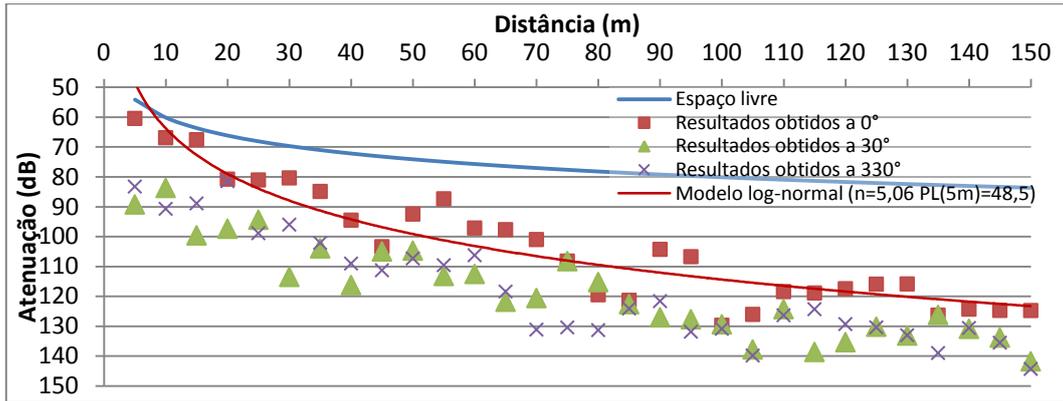
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - Yagi:**



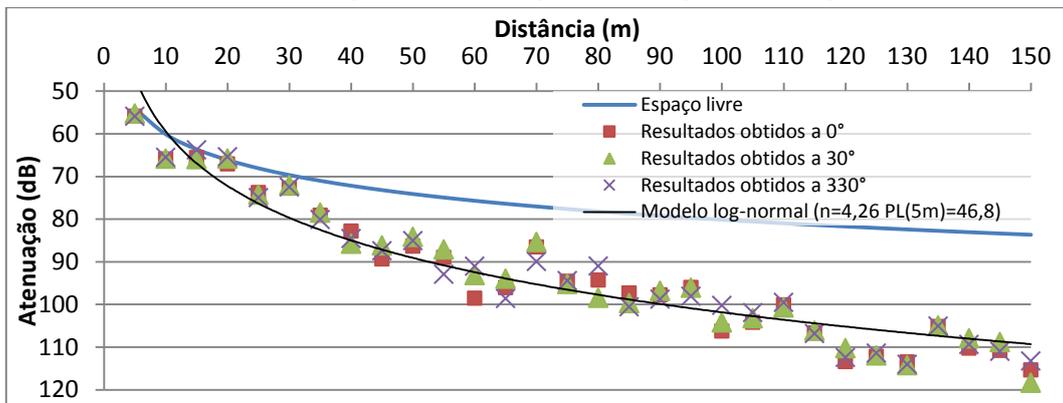
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - painel:**



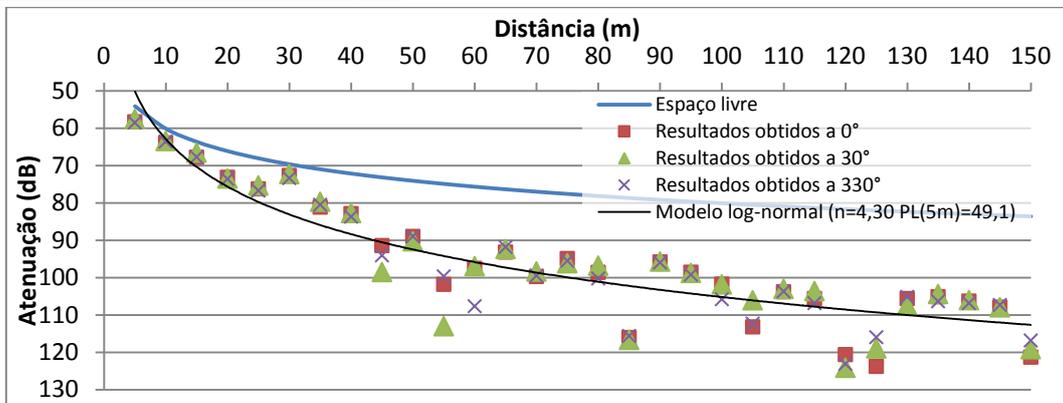
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - colinear; Receptor - parabólica:**



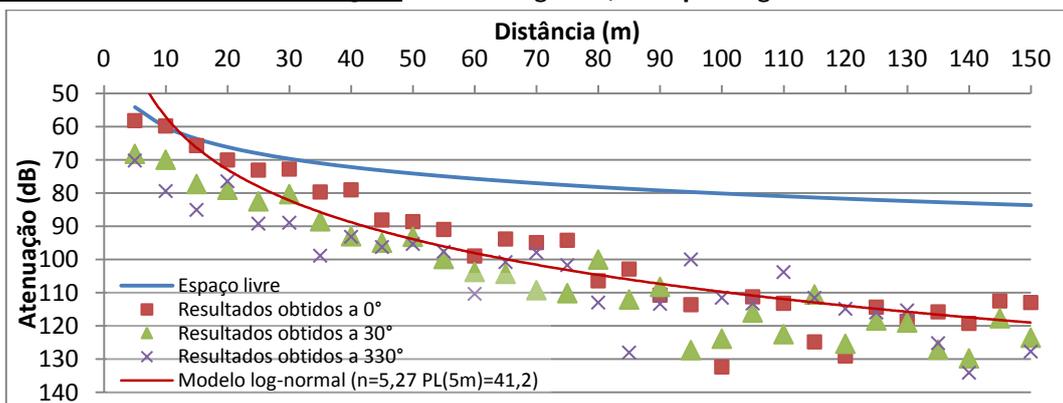
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - monopolo:**



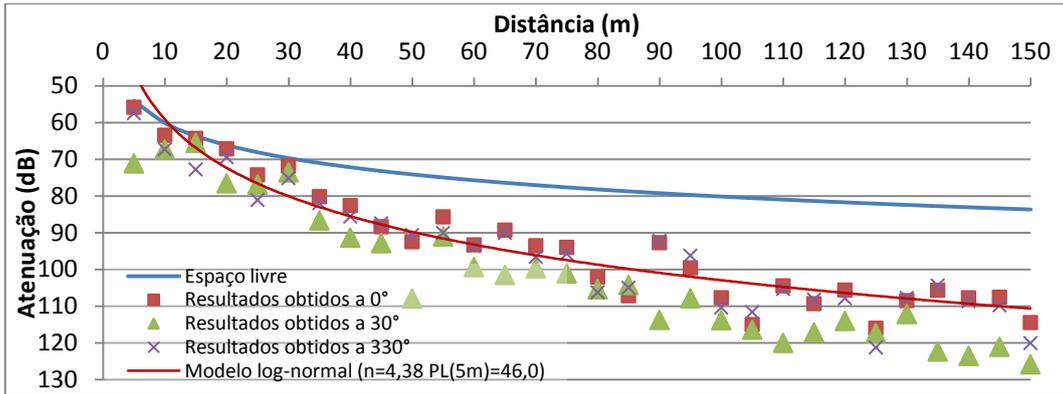
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - colinear:**



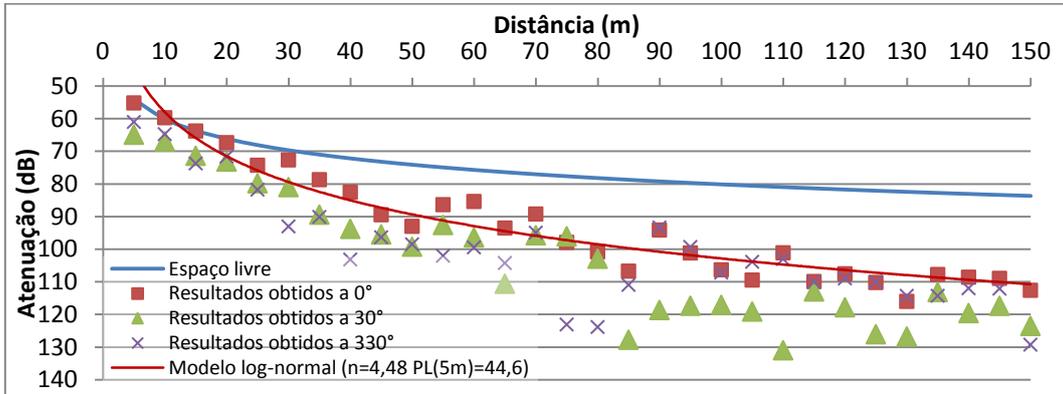
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - grelha:**



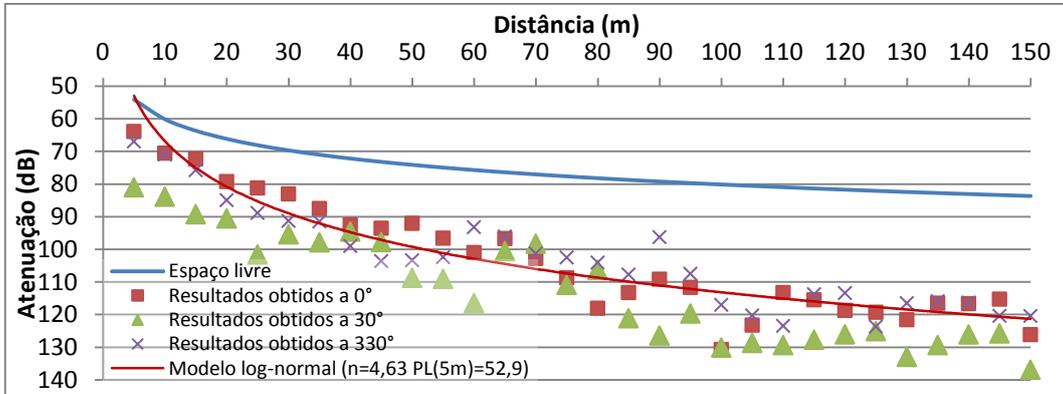
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - Yagi:**



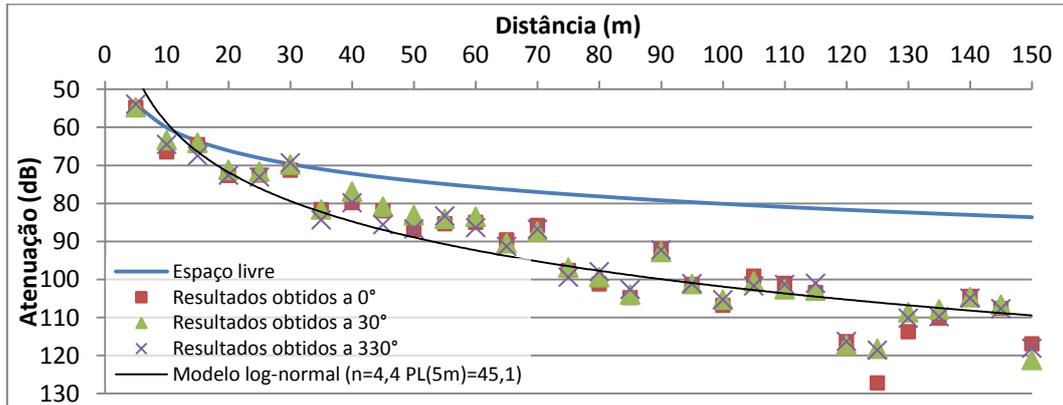
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - painel:**



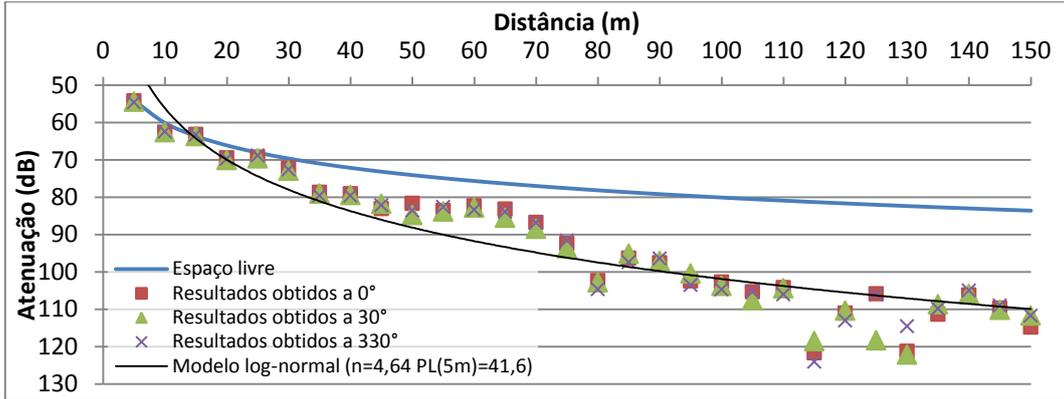
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - grelha; Receptor - parabólica:**



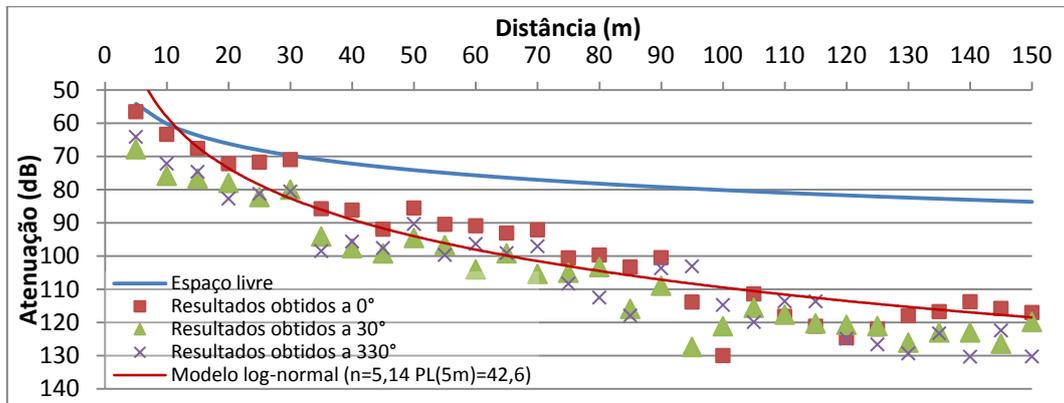
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - monopolo:**



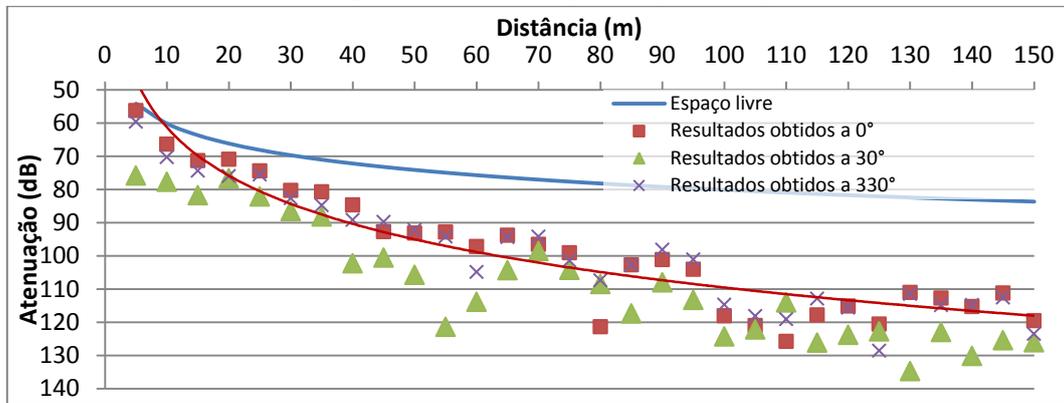
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - colinear:**



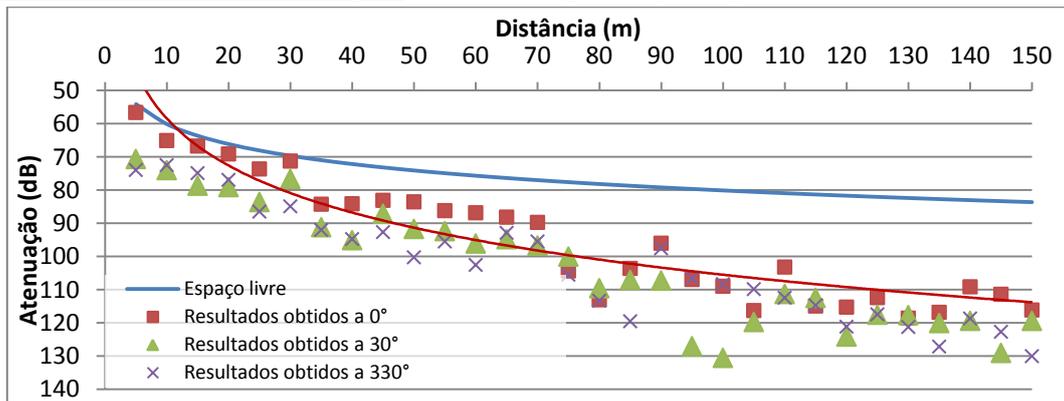
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - grelha:**



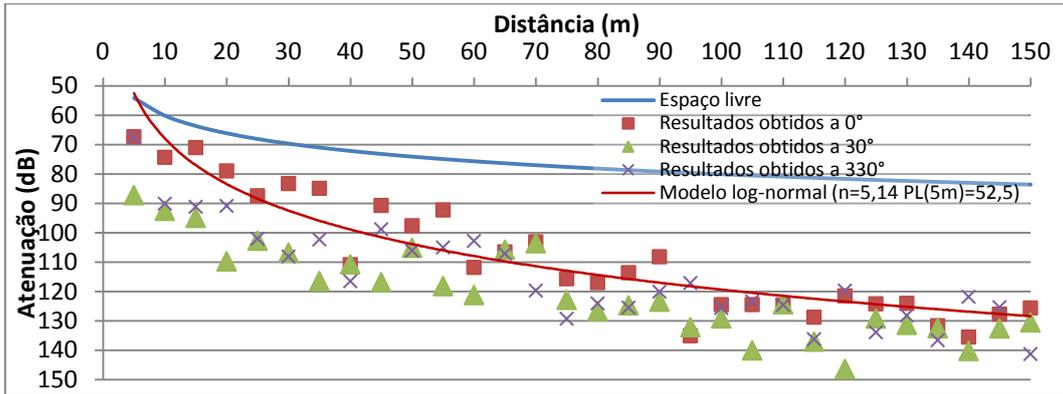
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - Yagi:**



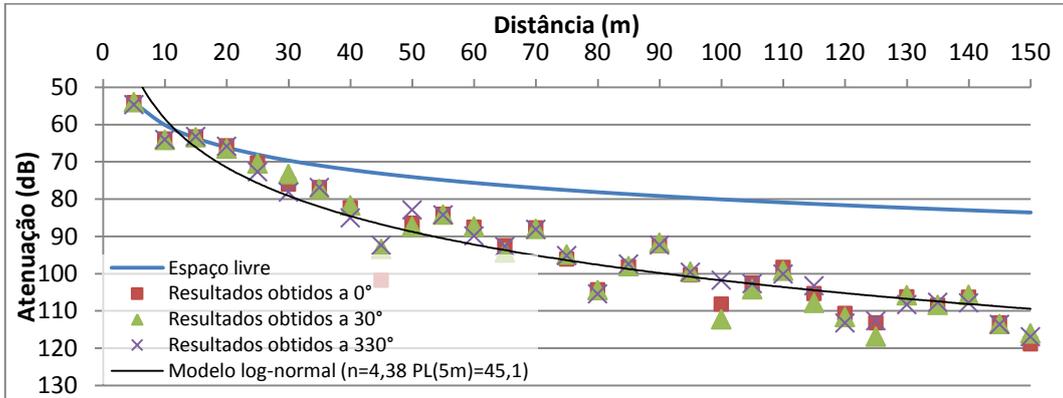
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - painel:**



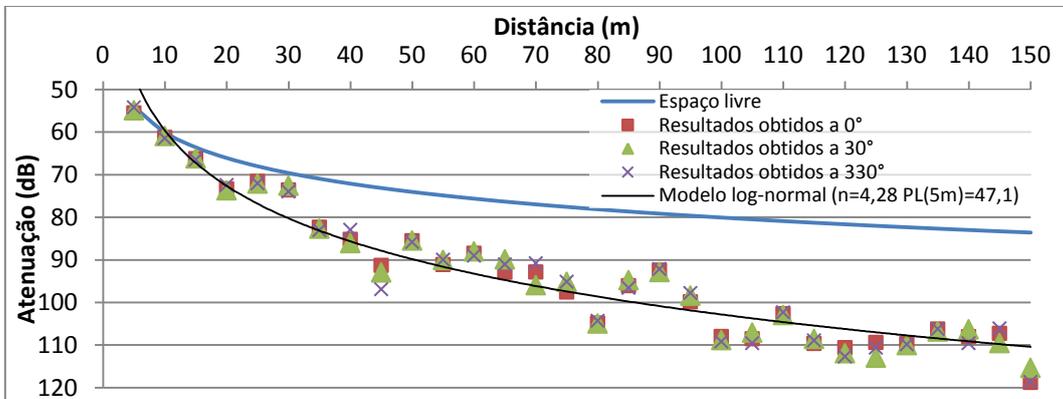
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - Yagi; Receptor - parabólica:**



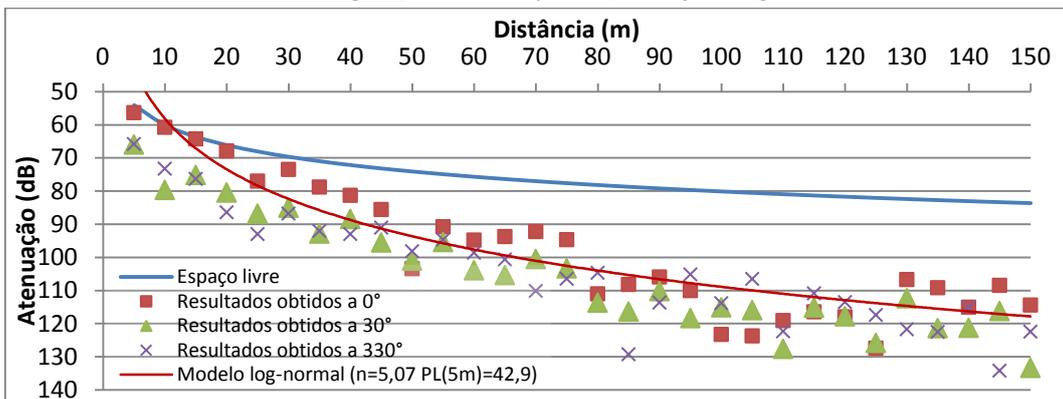
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - monopolo:**



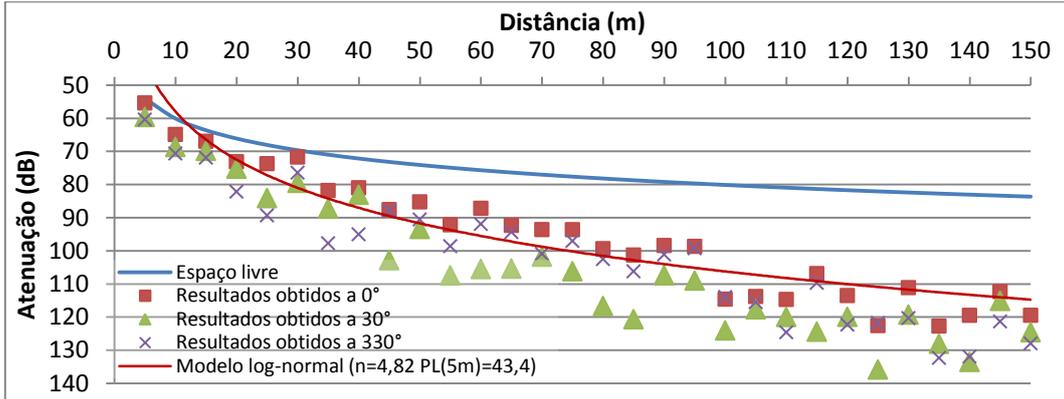
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - colinear:**



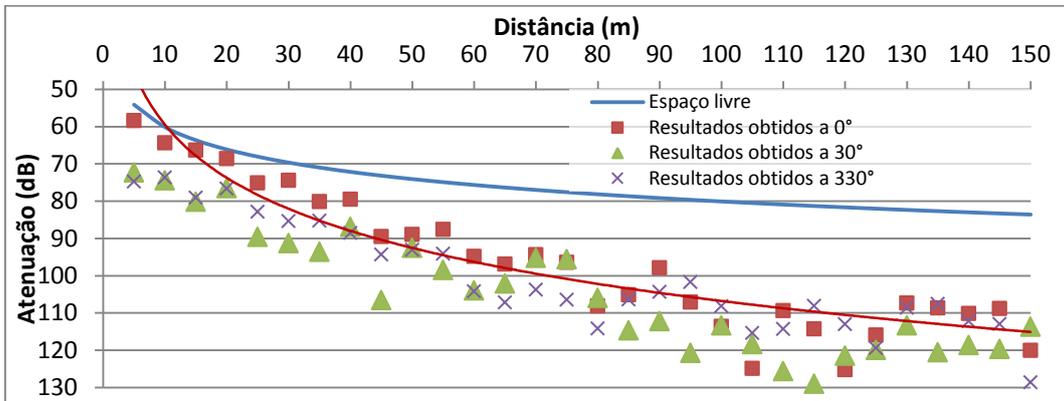
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - grelha:**



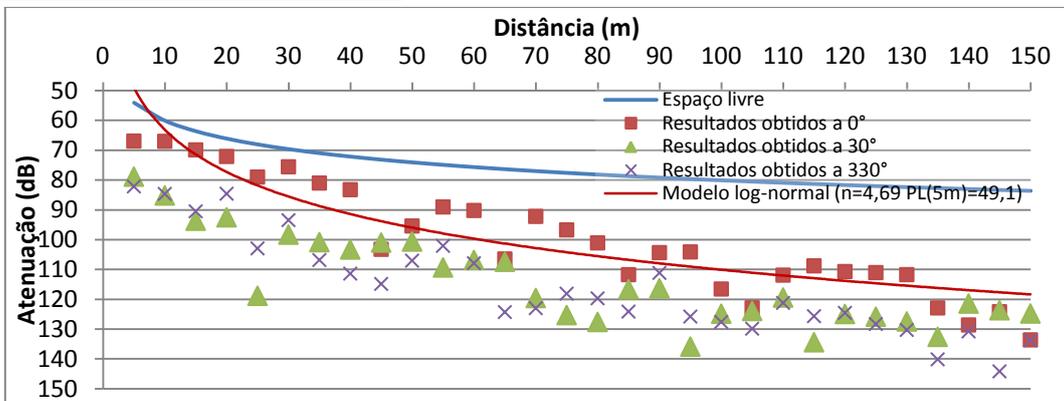
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - Yagi:**



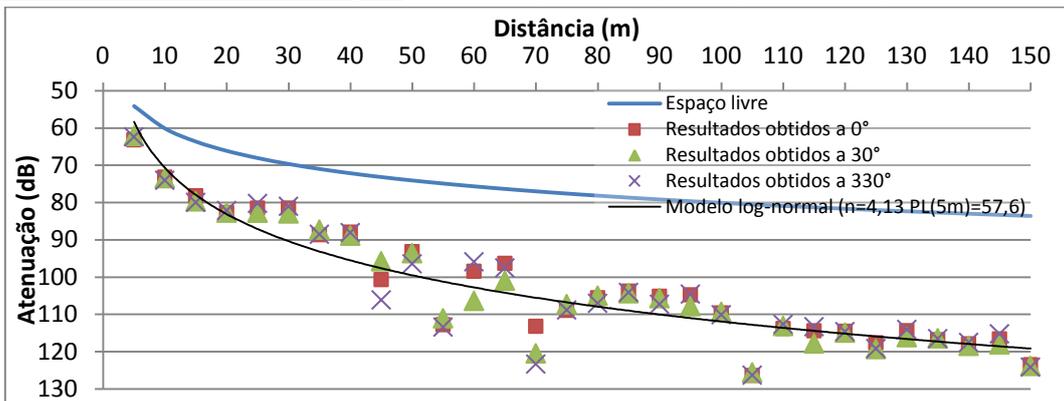
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - painel:**



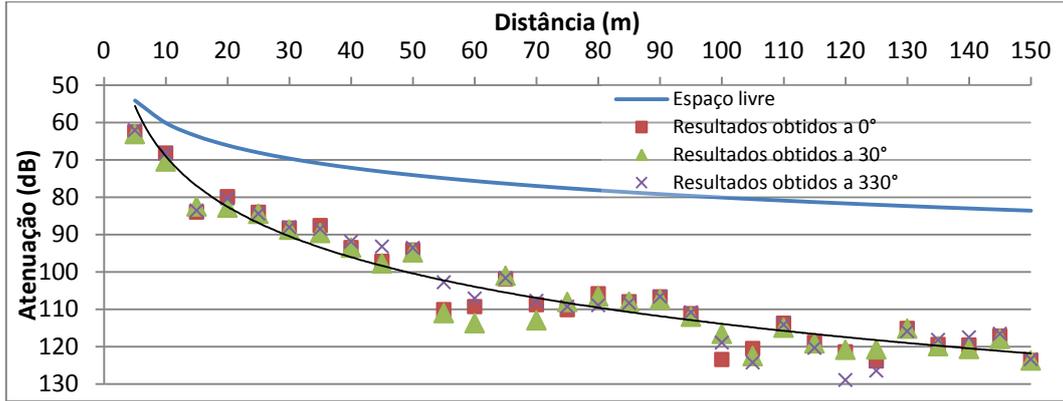
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - painel; Receptor - parabólica:**



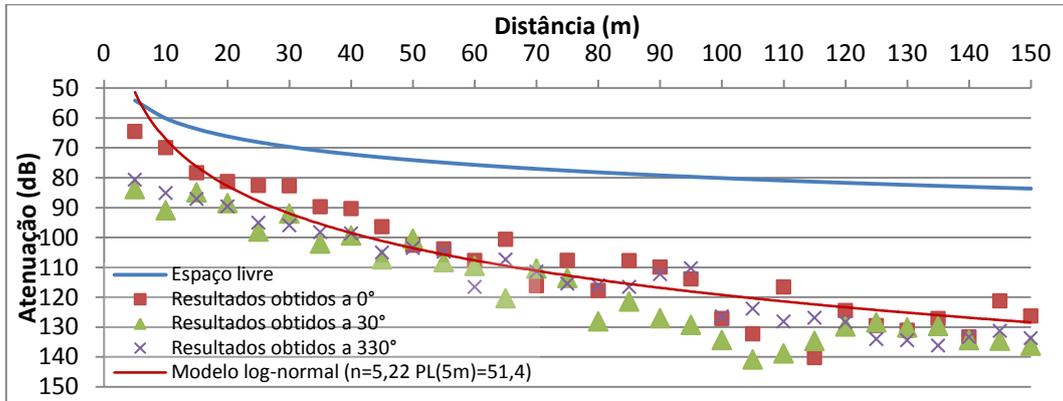
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - monopolo:**



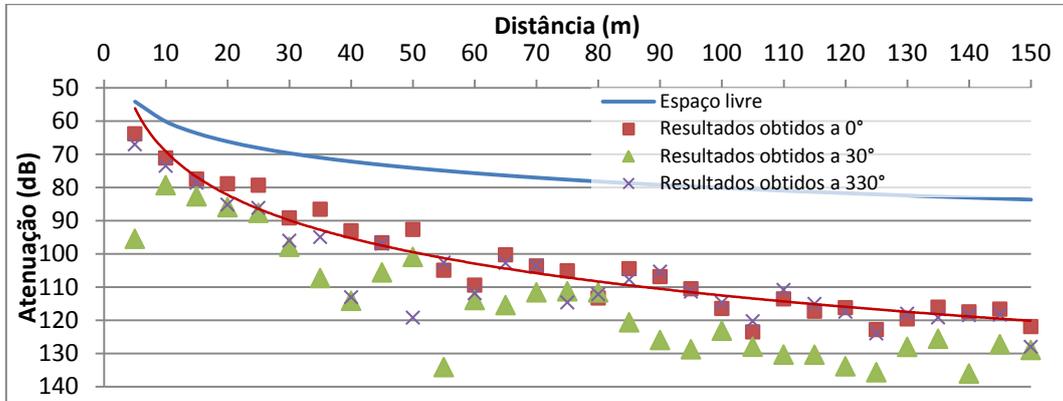
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - colinear:**



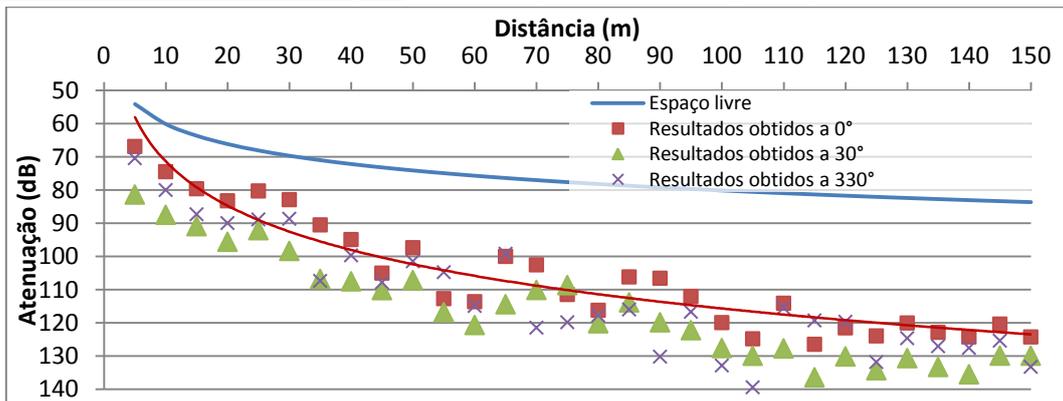
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - grelha:**



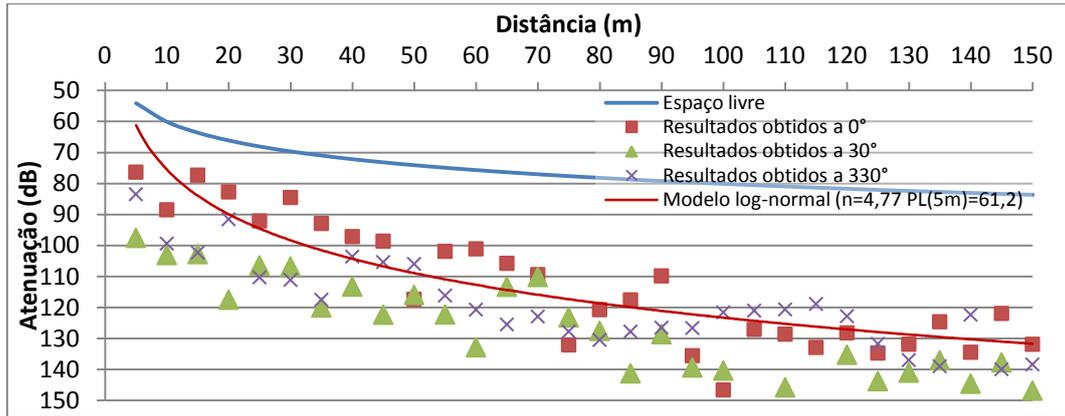
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - Yagi:**



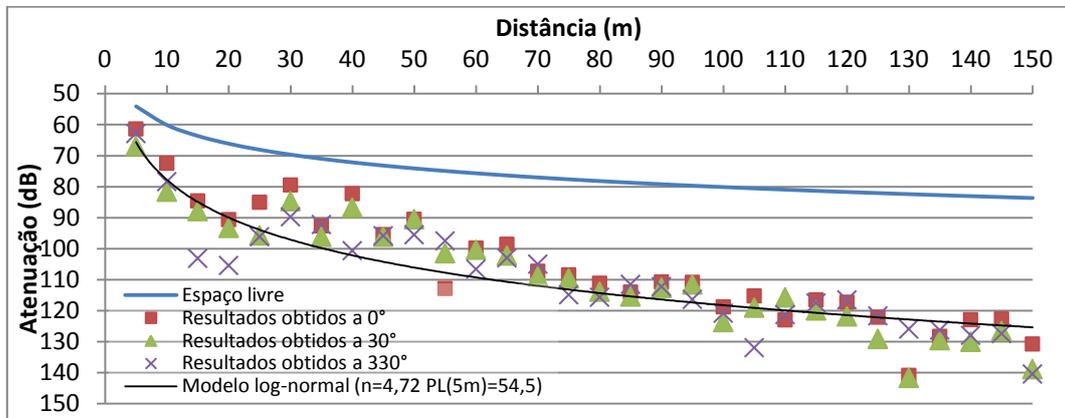
**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - painel:**



**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - parabólica; Receptor - parabólica:**

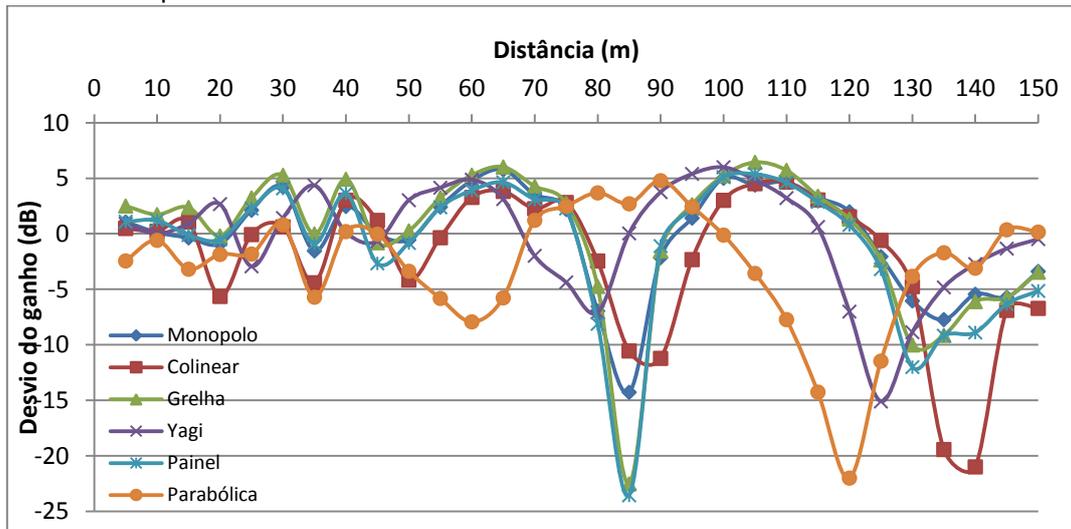


**Meio florestal ao nível da folhagem: Emissor - helicoidal; Receptor - helicoidal:**

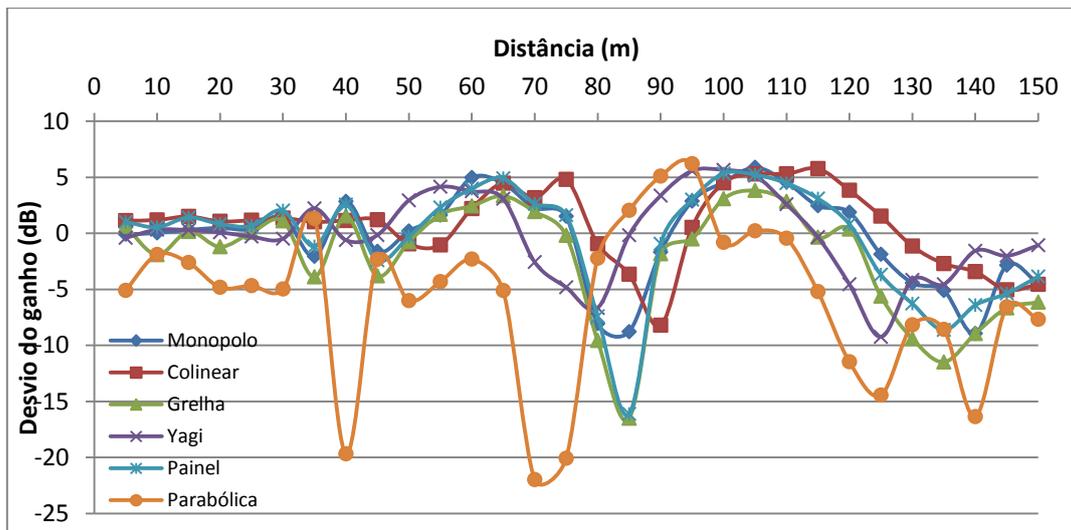


## Anexo G Desvio do ganho no meio sem obstáculos

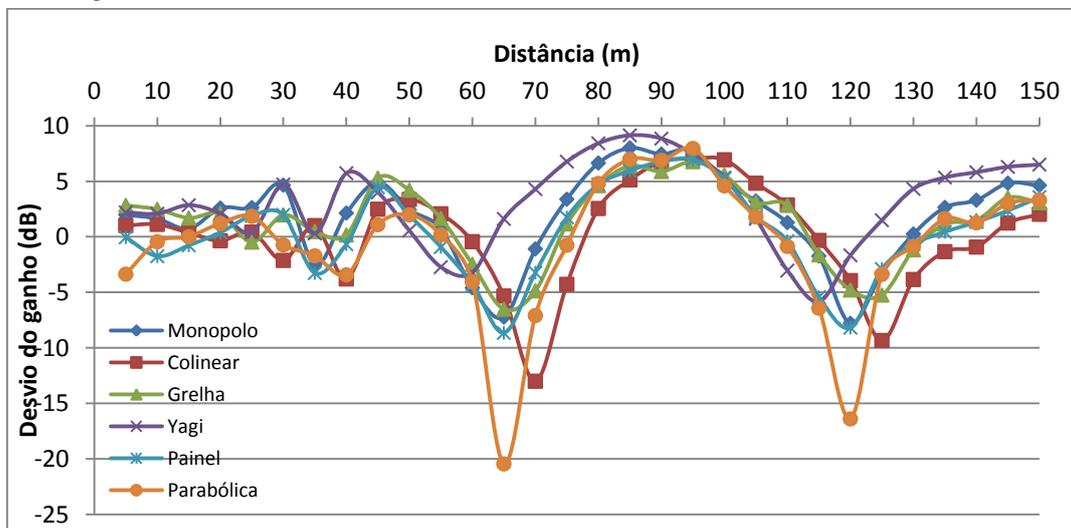
Emissor - monopolo:



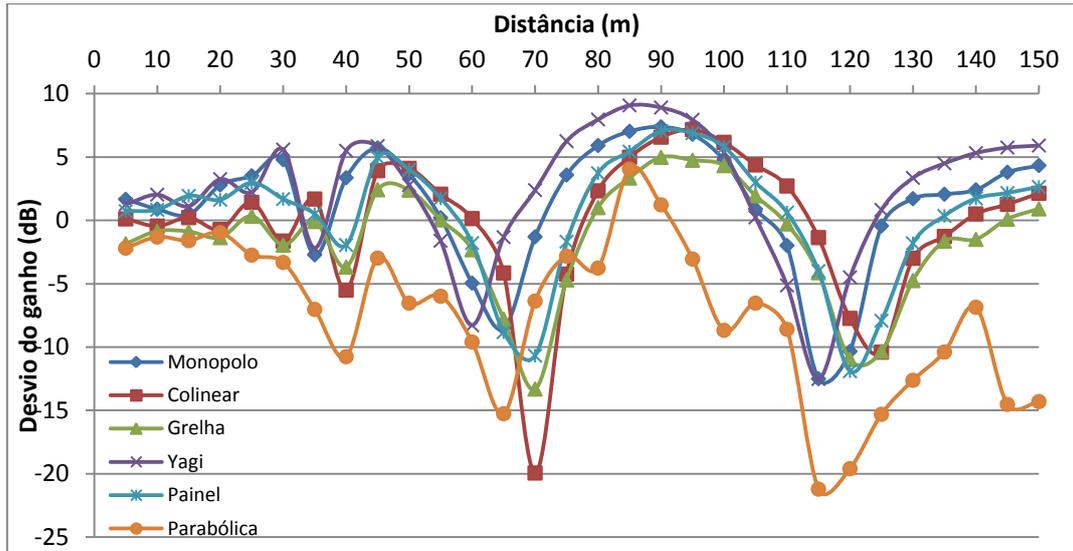
Emissor - colinear:



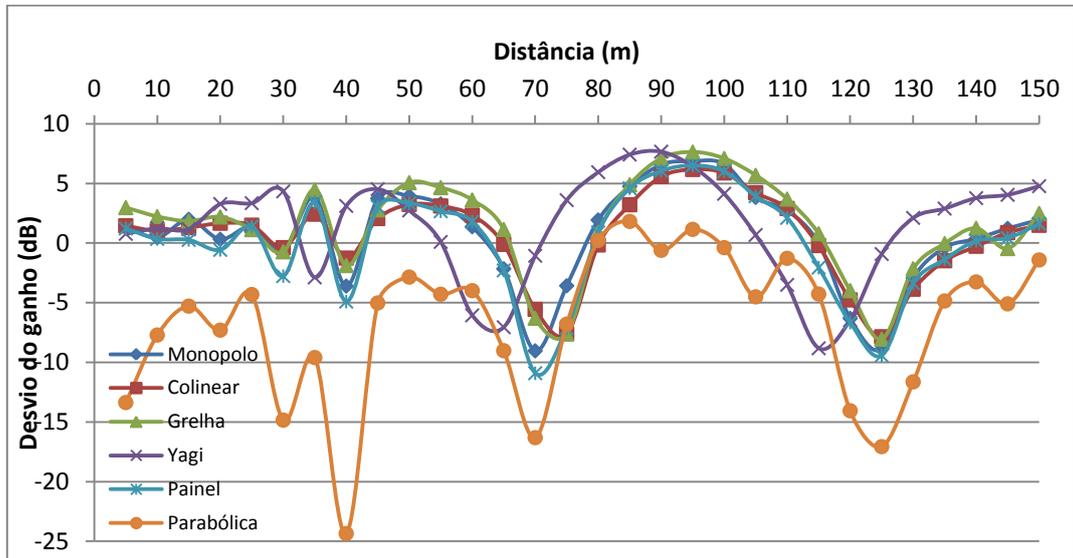
Emissor - grelha:



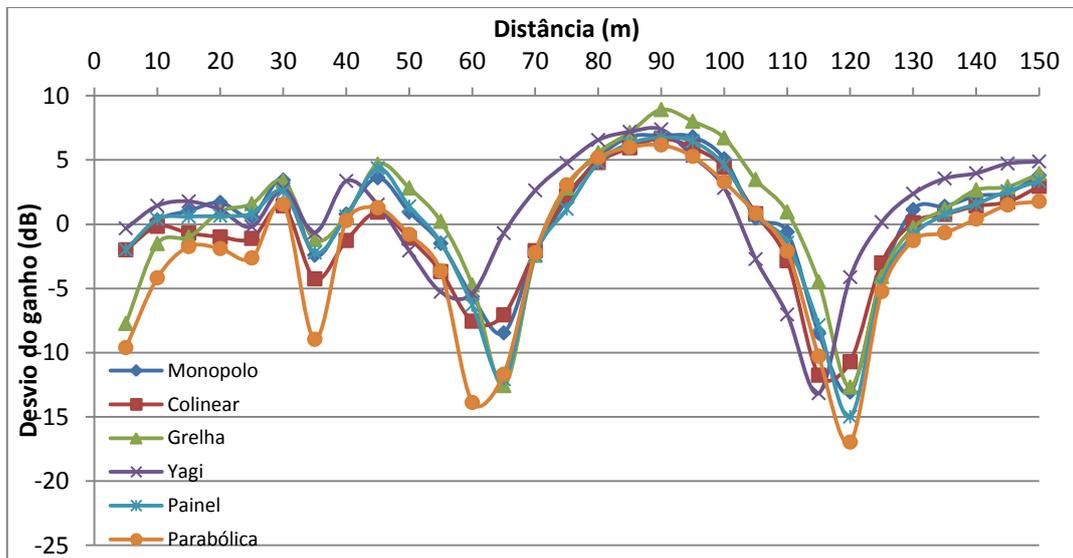
Emissor - Yagi:



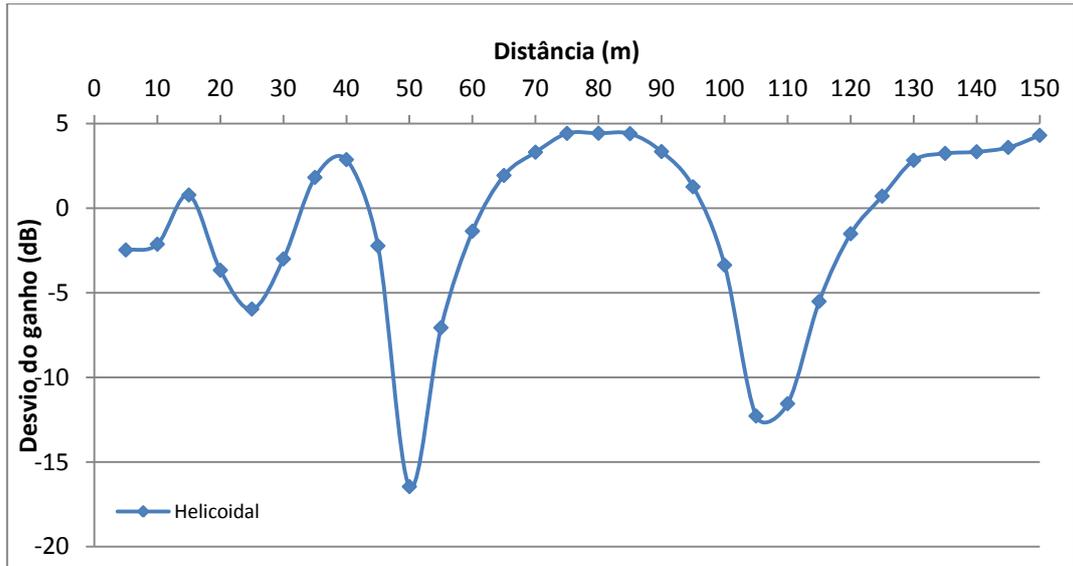
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

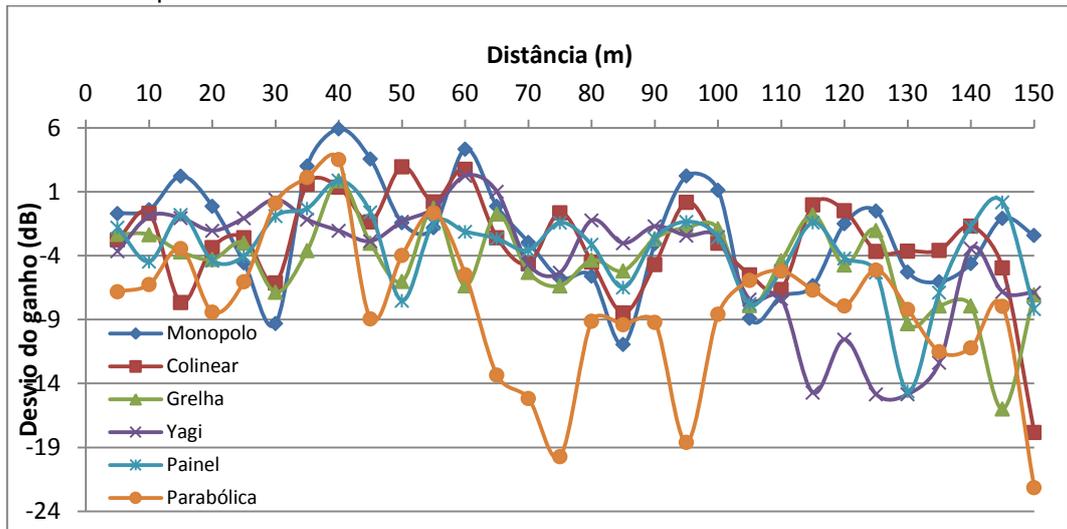


Emissor - helicoidal:

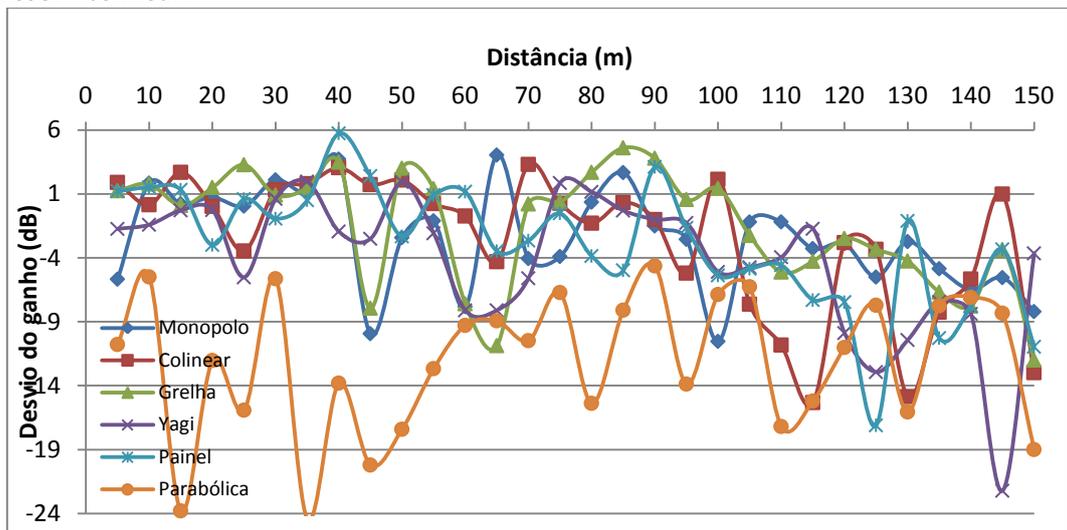


## Anexo H Desvio do ganho no meio urbano

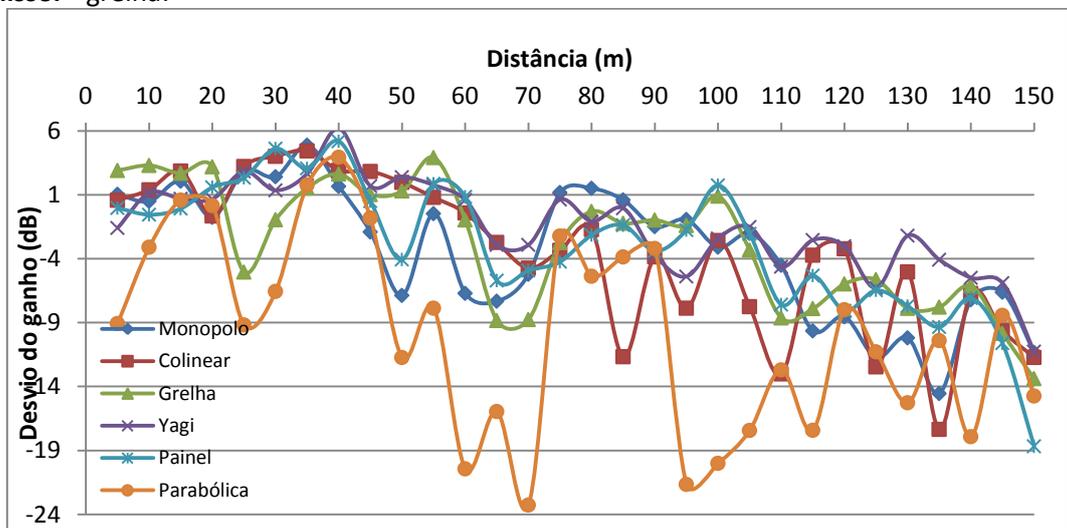
Emissor - monopolo:



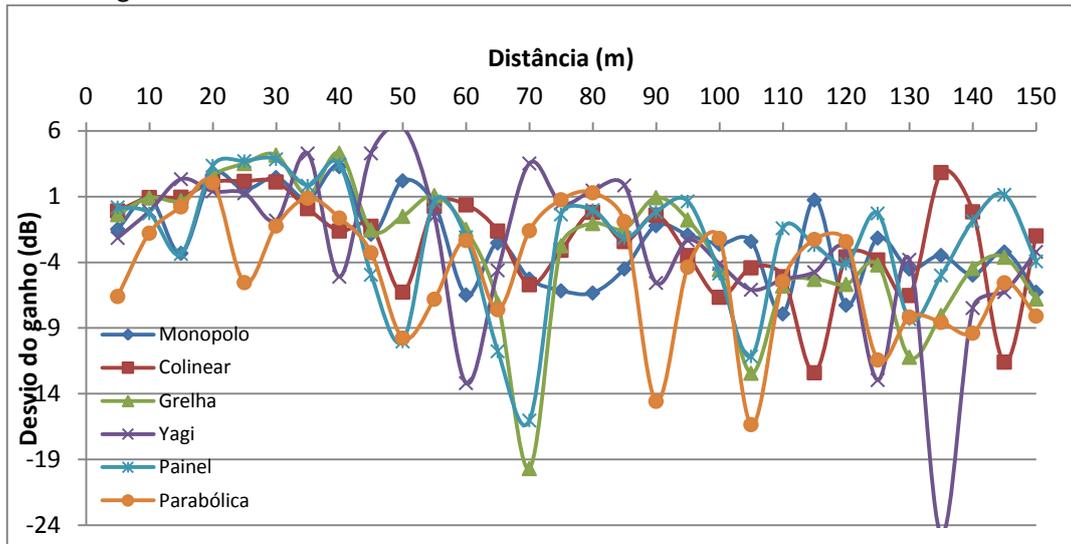
Emissor - colinear:



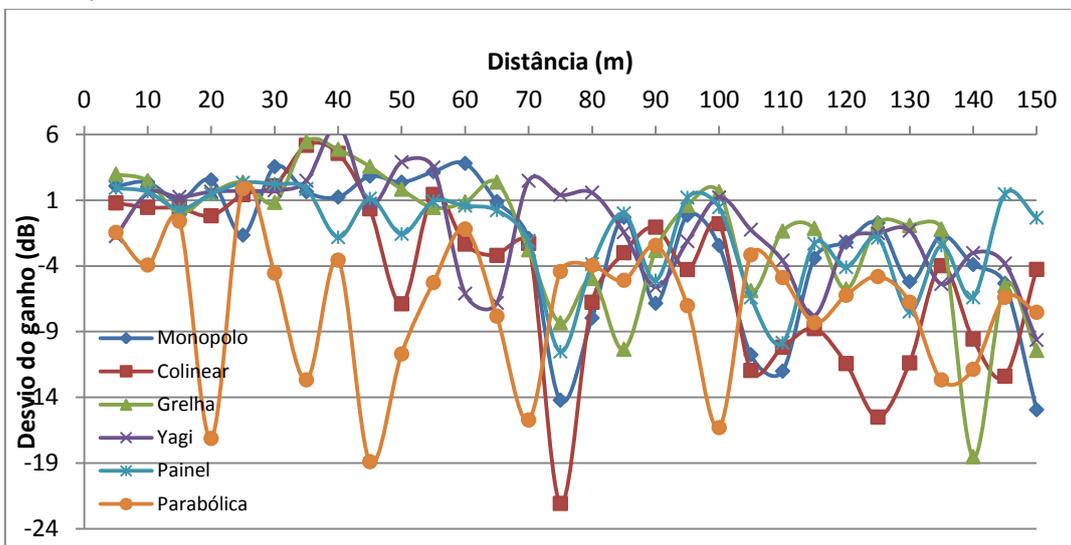
Emissor - grelha:



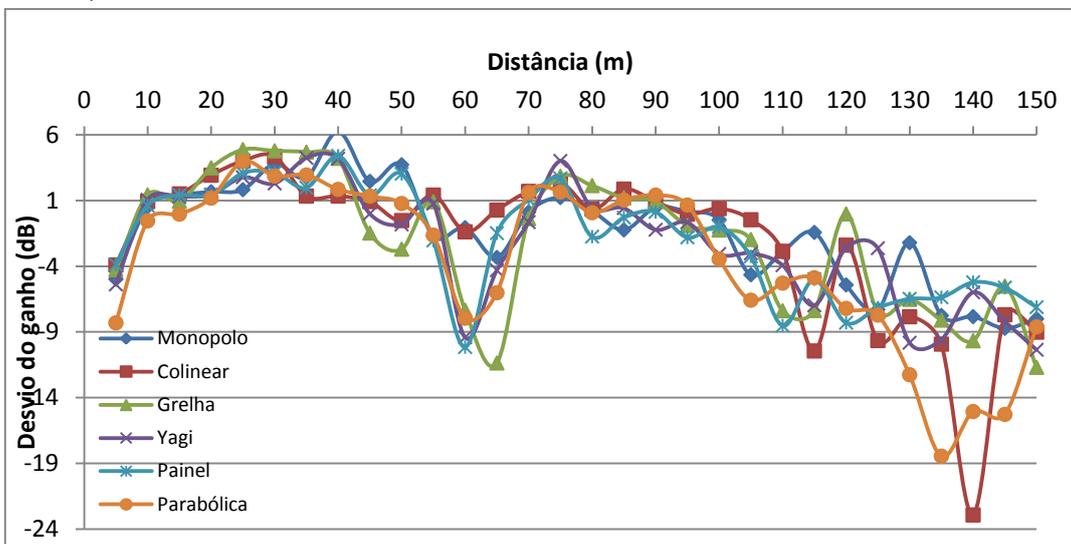
Emissor - Yagi:



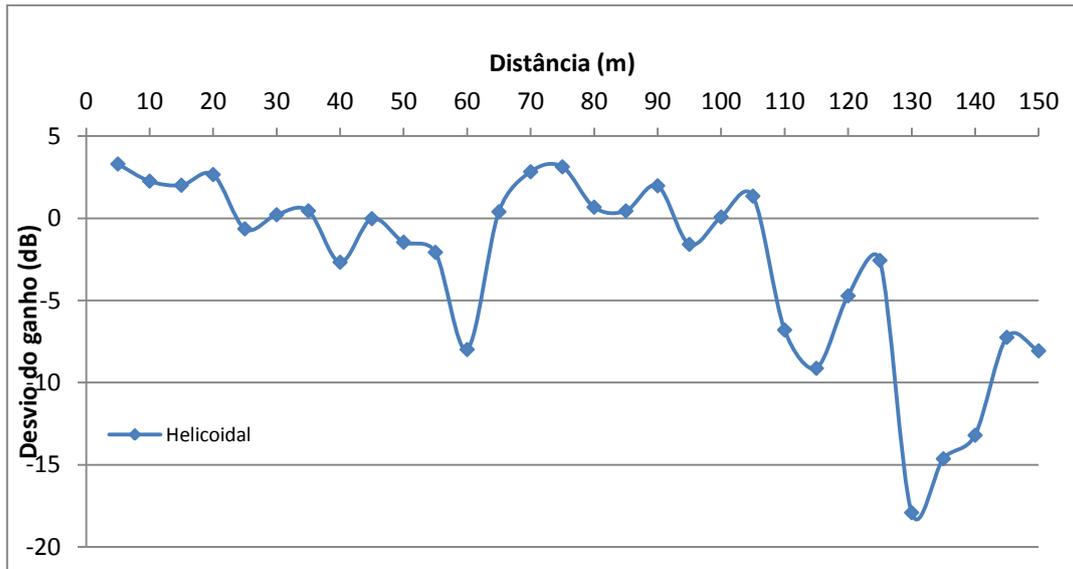
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

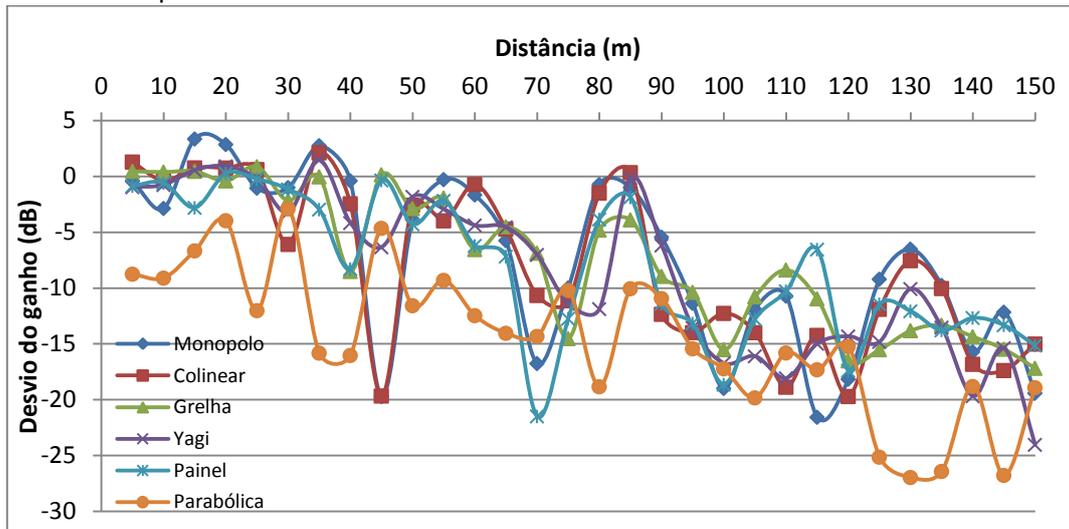


Emissor - helicoidal:

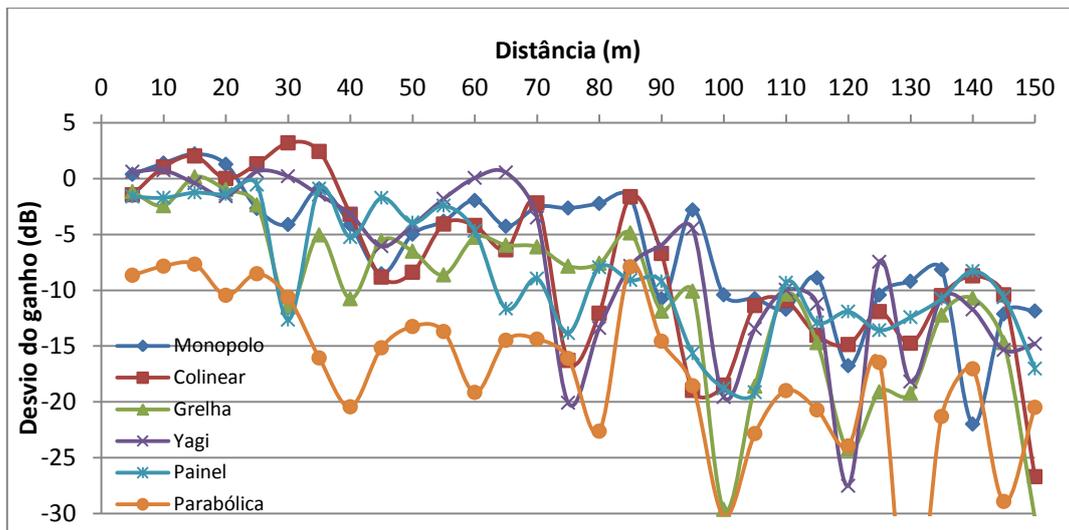


## Anexo I Desvio do ganho no meio florestal ao nível dos troncos

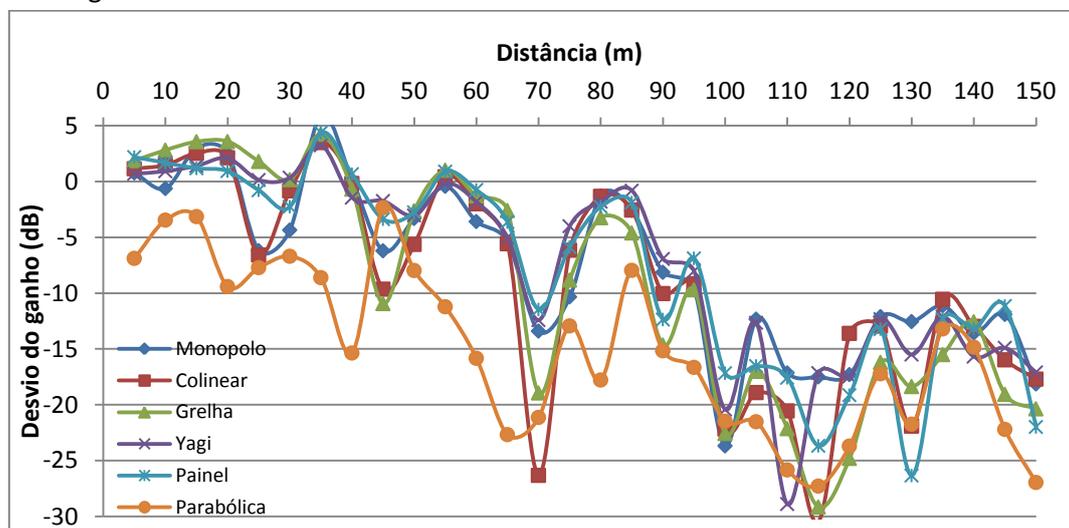
Emissor - monopolo:



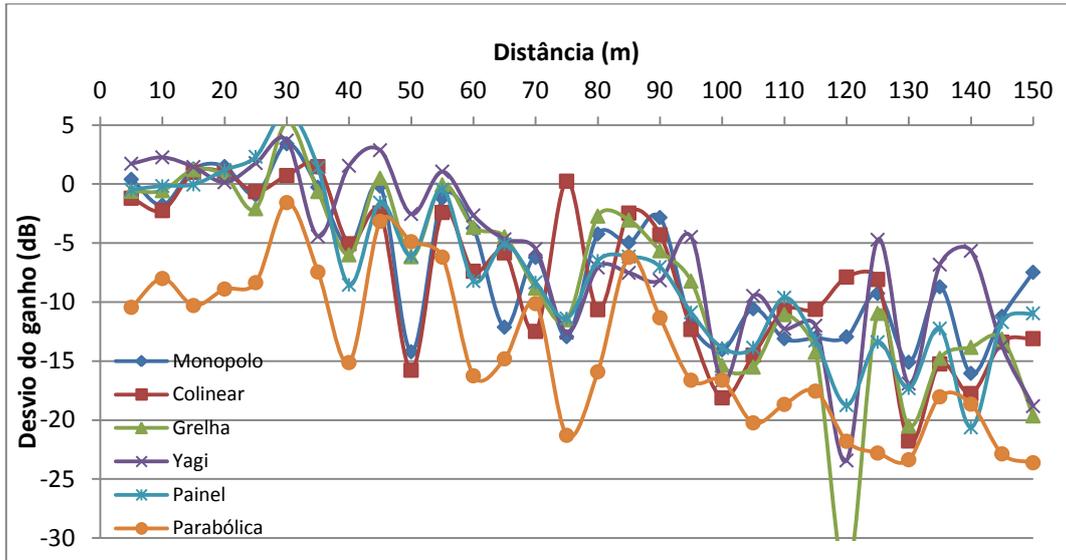
Emissor - colinear:



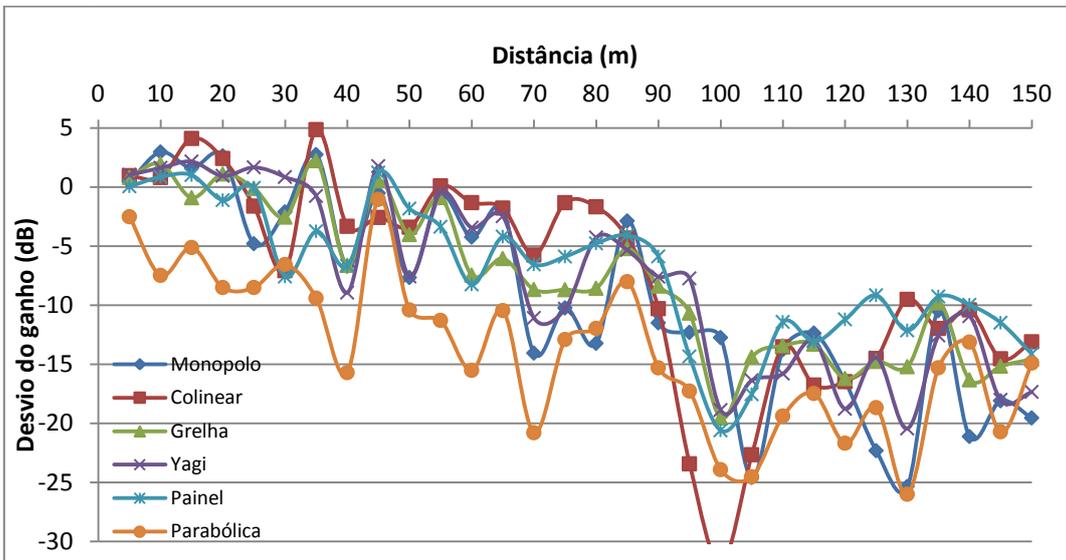
Emissor - grelha:



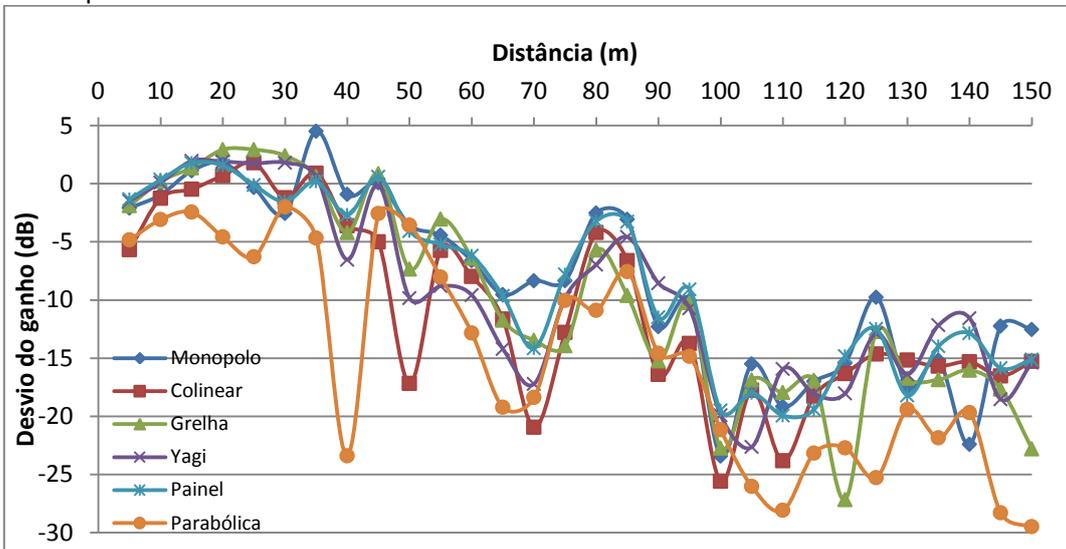
Emissor - Yagi:



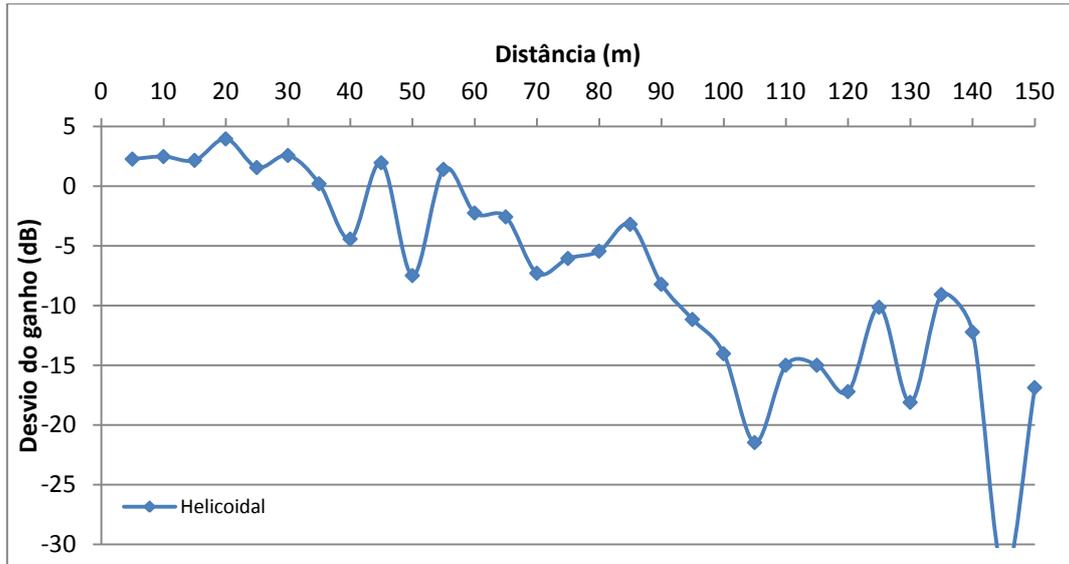
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

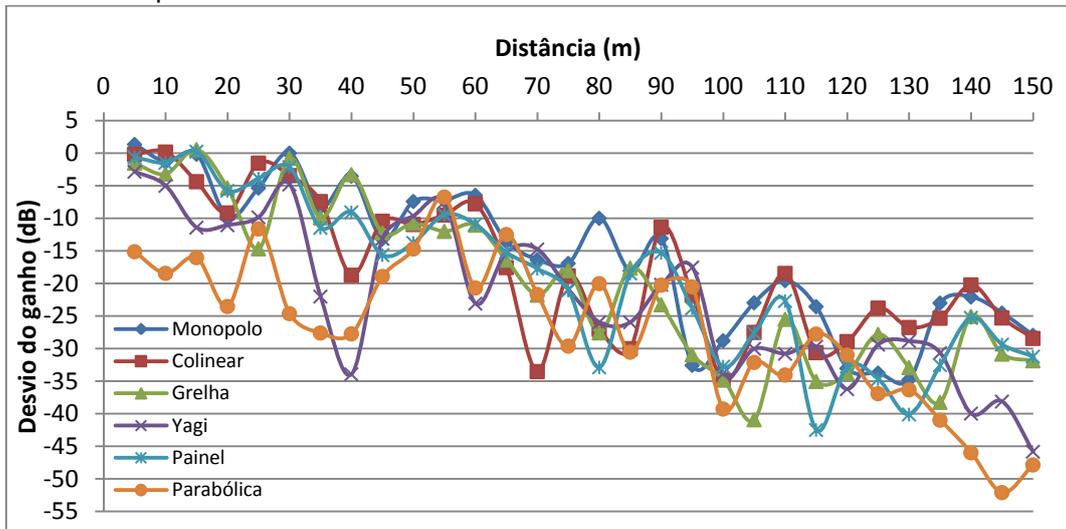


Emissor - helicoidal:

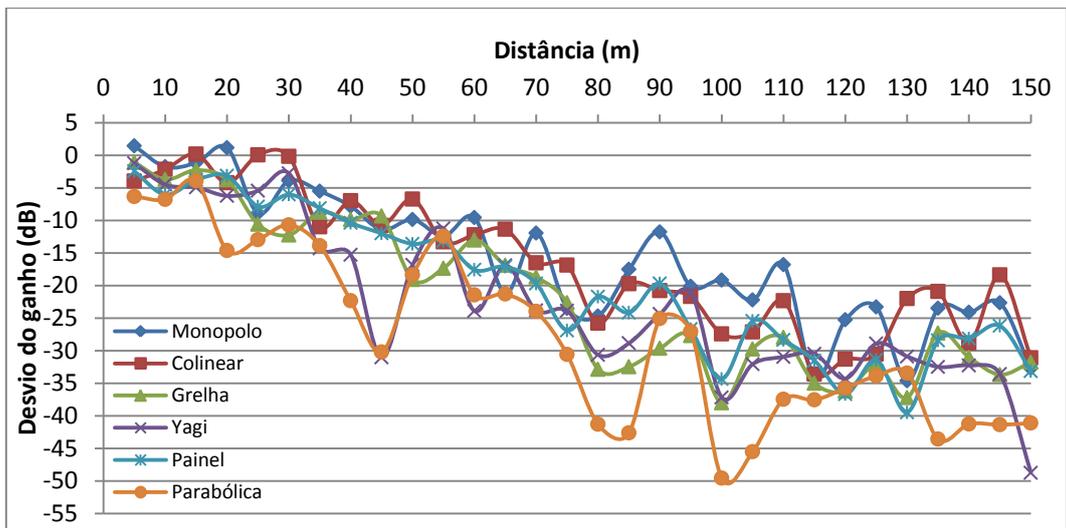


## Anexo J Desvio do ganho no meio florestal ao nível da folhagem

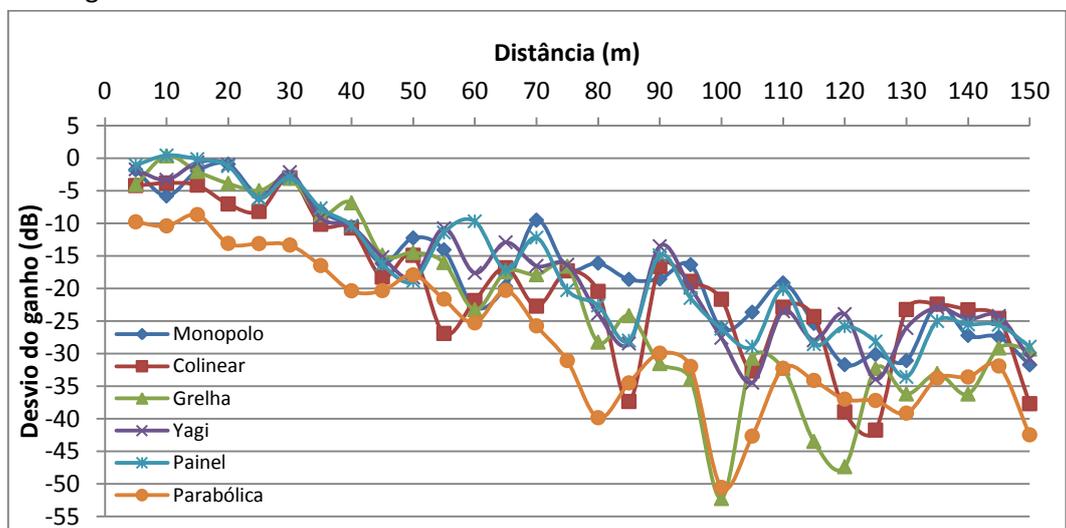
Emissor - monopolo:



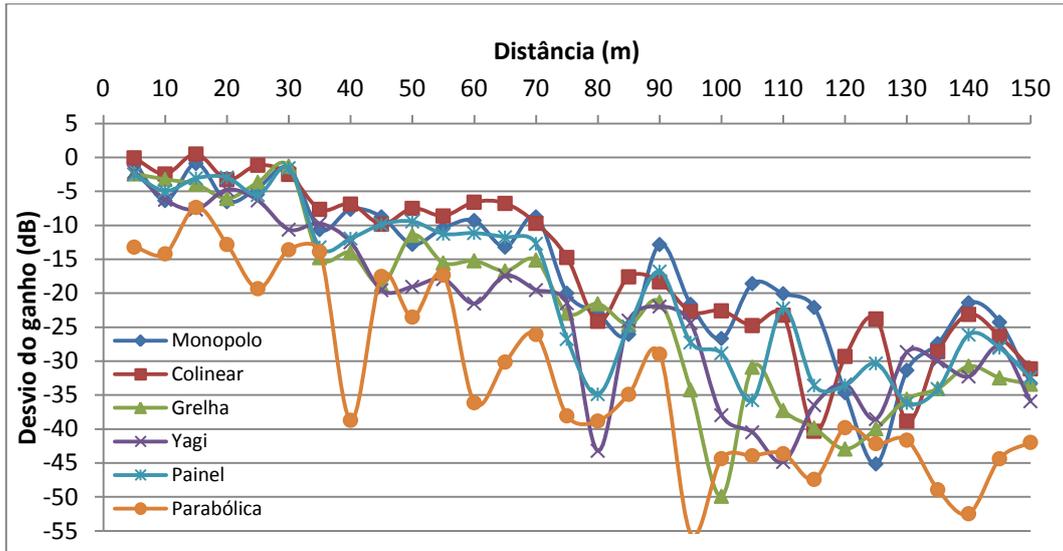
Emissor - colinear:



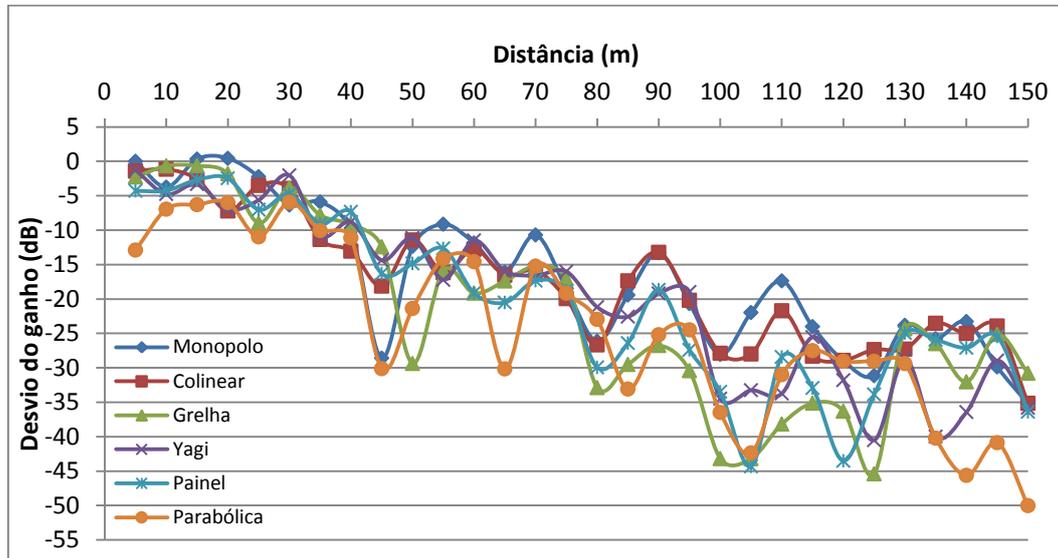
Emissor - grelha:



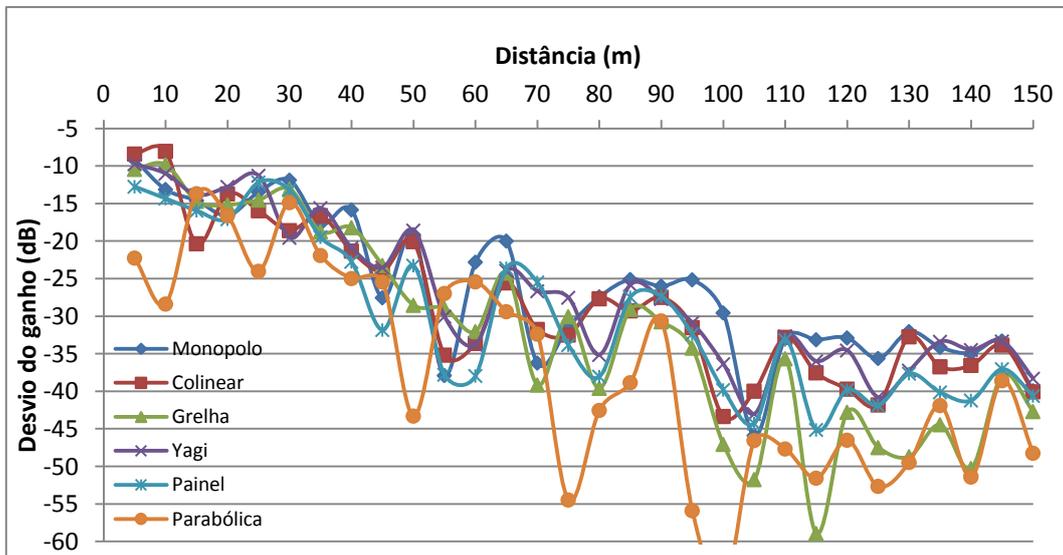
Emissor - Yagi:



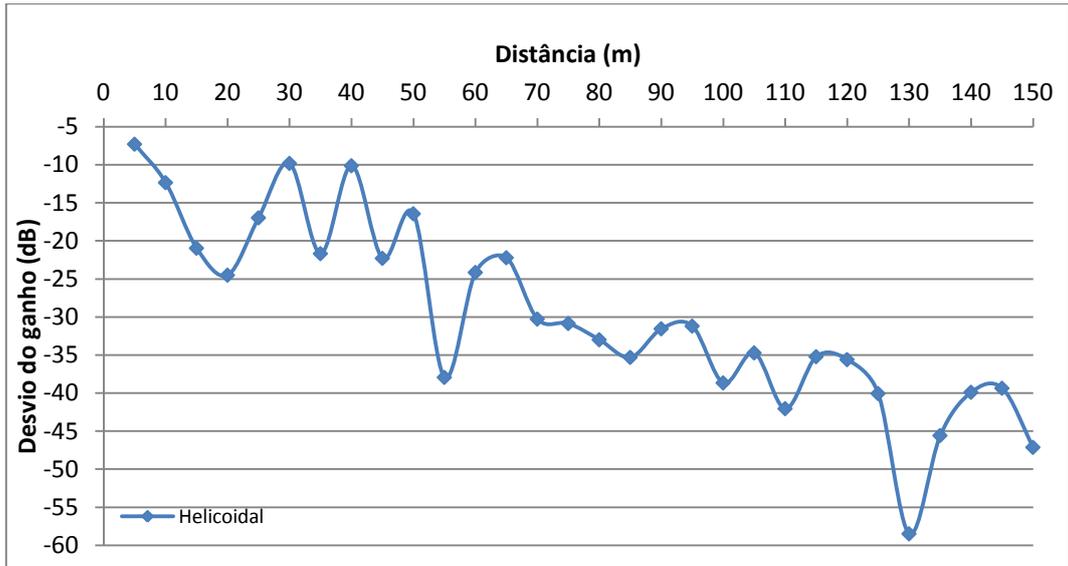
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

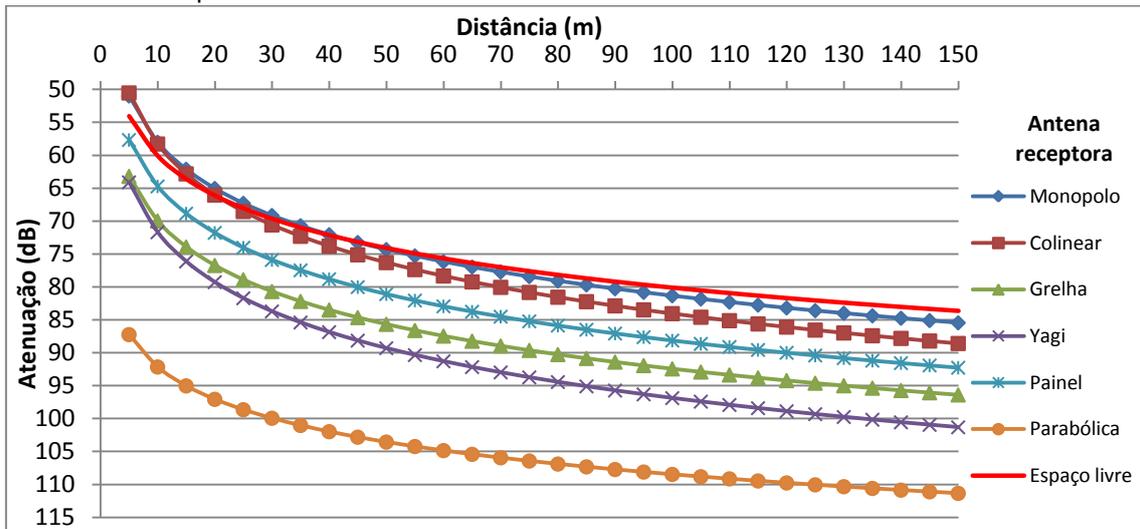


Emissor – helicoidal:

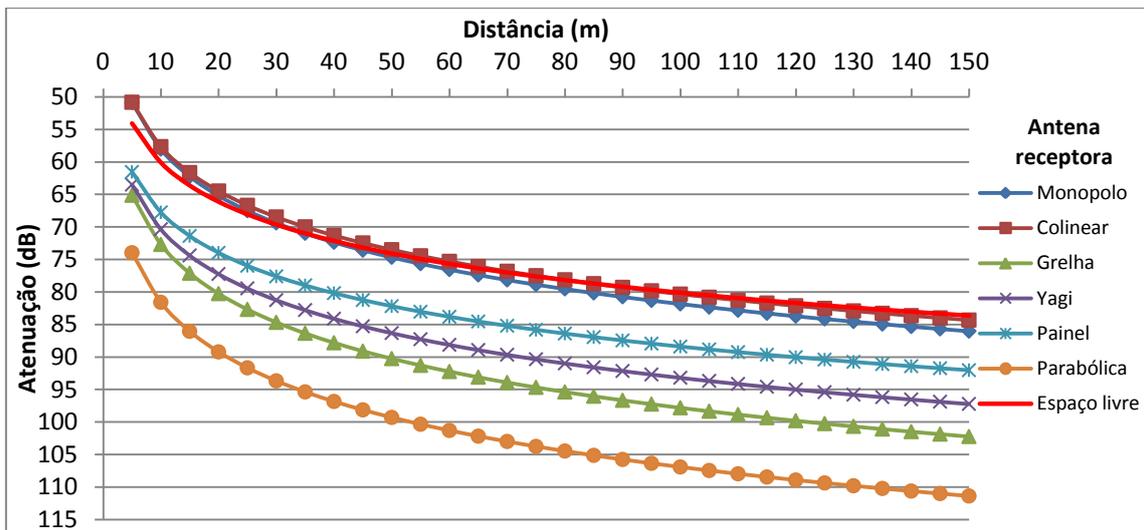


## Anexo K Atenuação 30° meio sem obstáculos

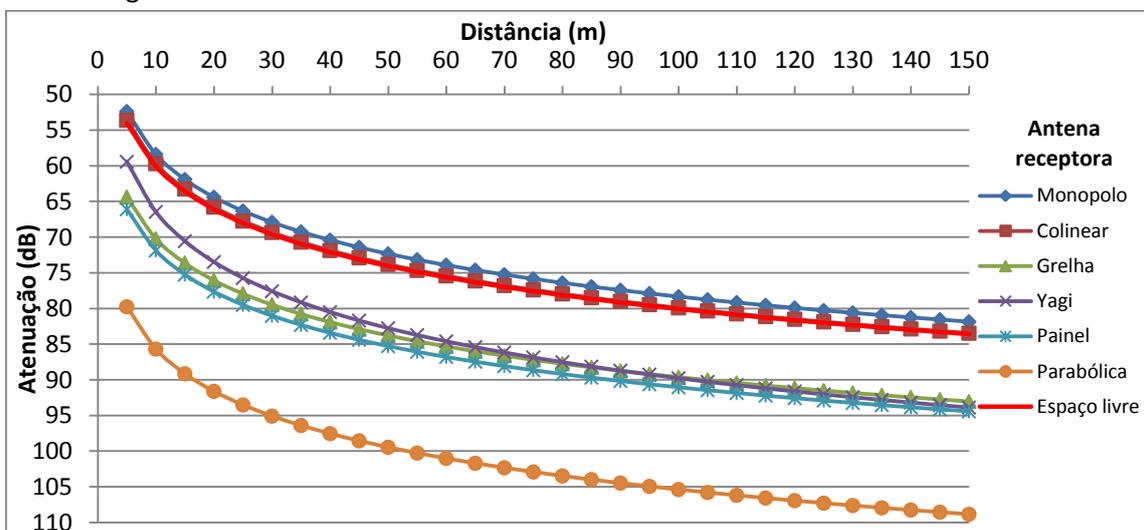
Emissor – monopolo:



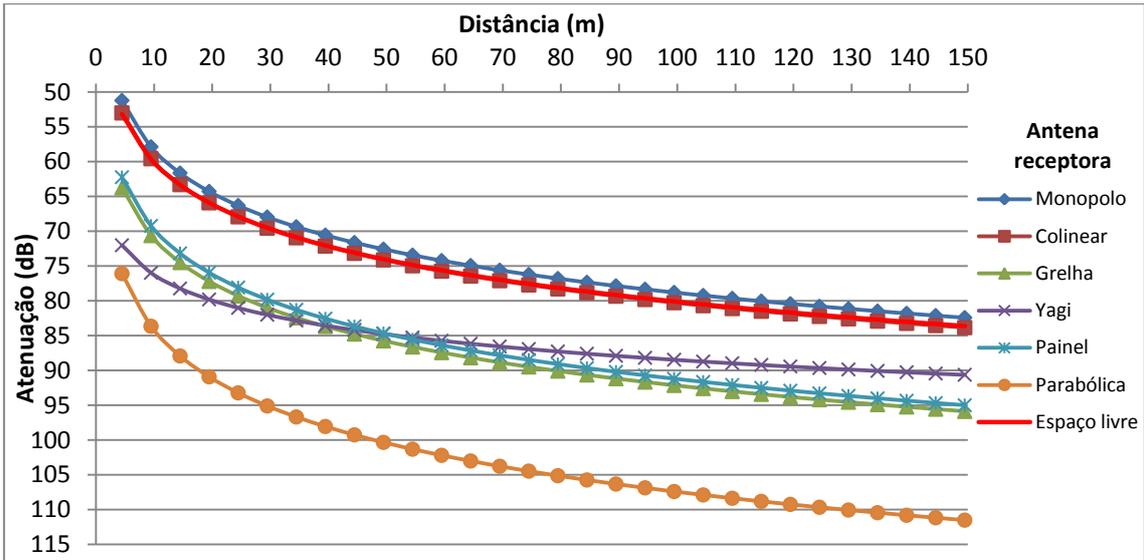
Emissor – colinear:



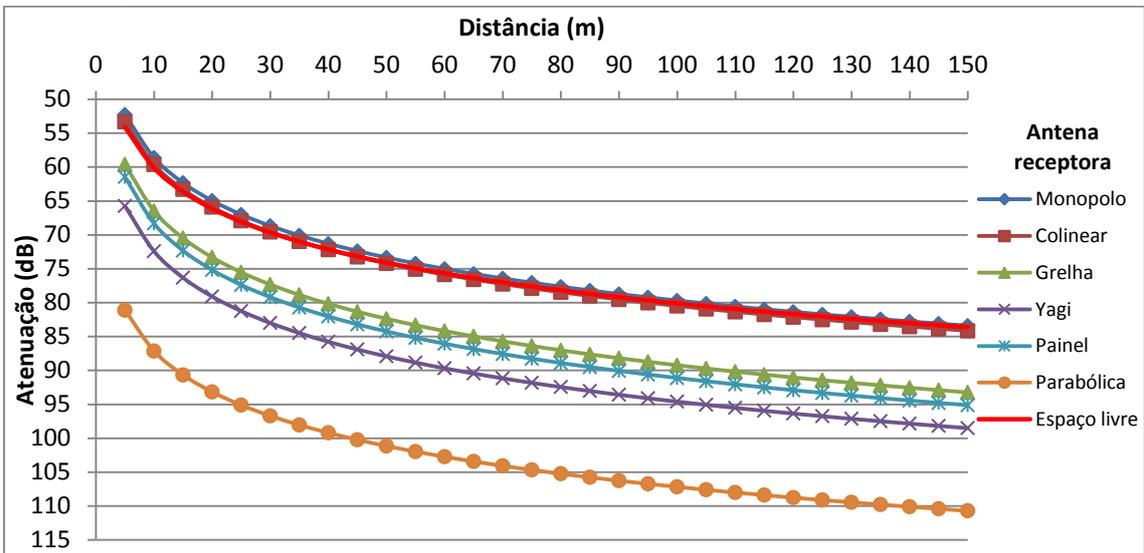
Emissor – grelha:



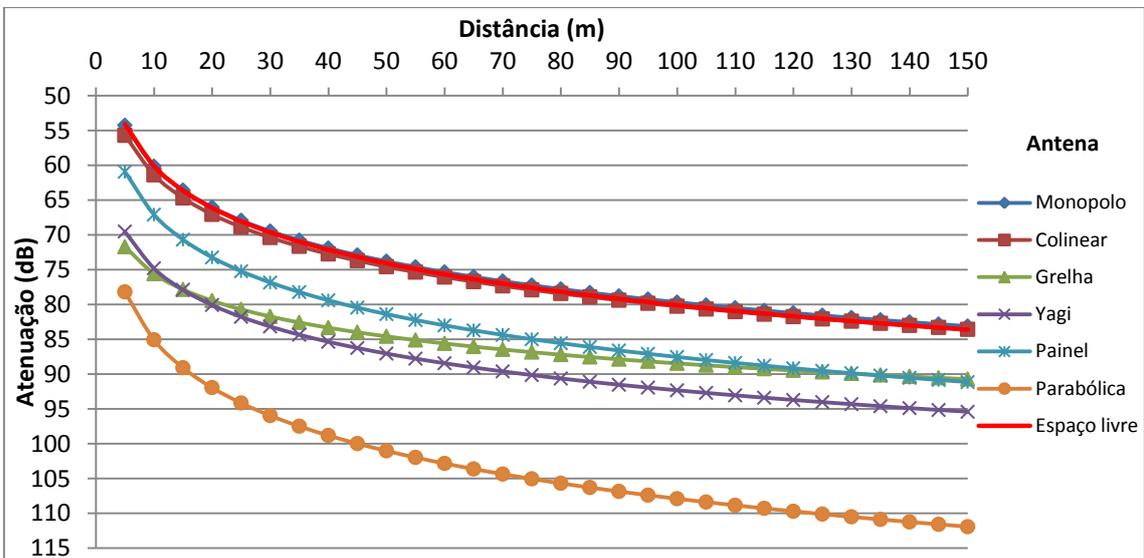
**Emissor – Yagi:**



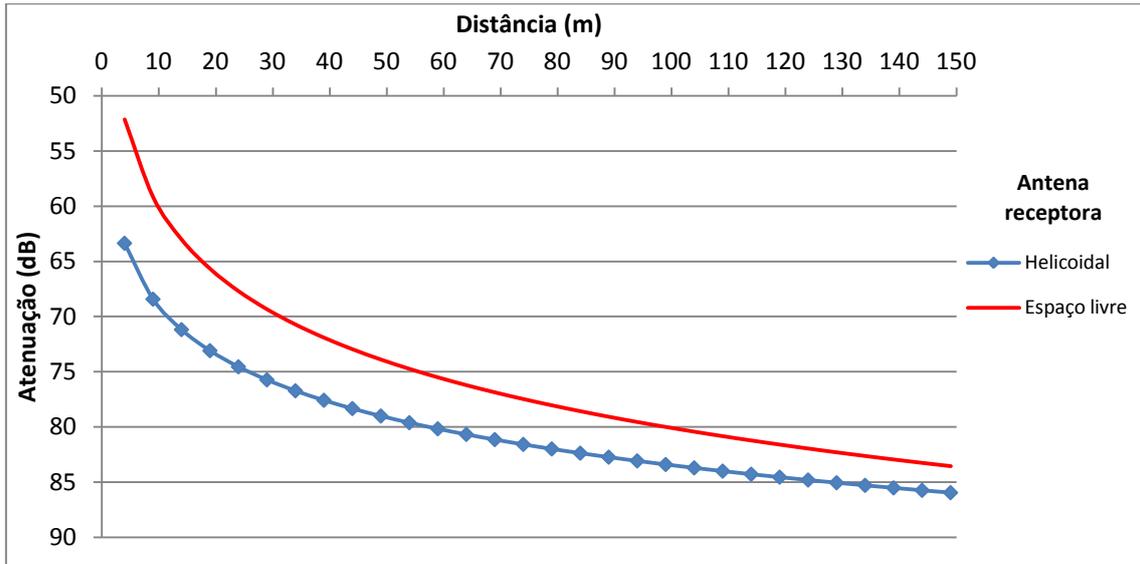
**Emissor – painel:**



**Emissor – parabólica:**



**Emissor – helicoidal:**

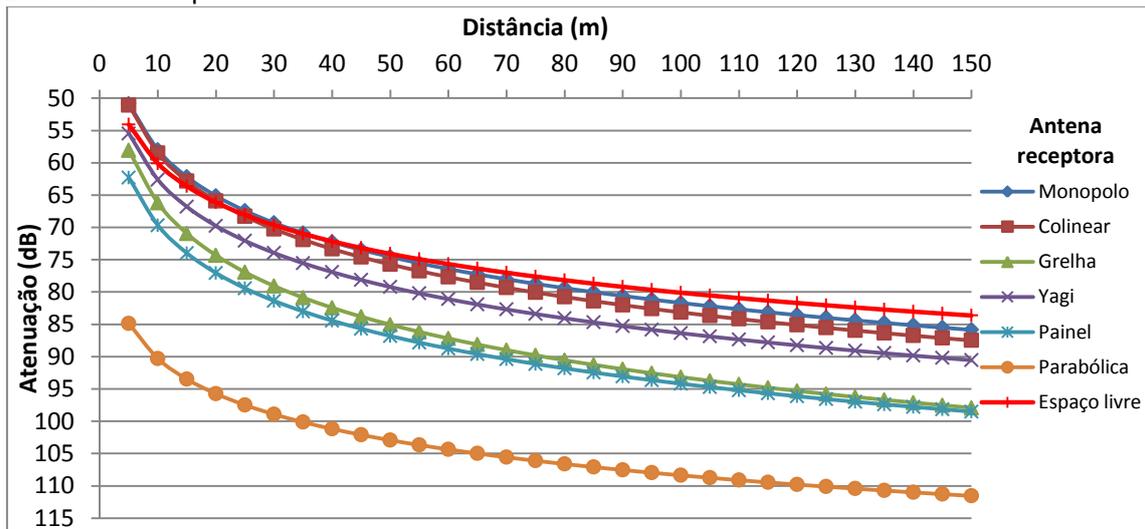


## Anexo L Atenuação 330° meio sem obstáculos

Parâmetros do modelo log-normal:

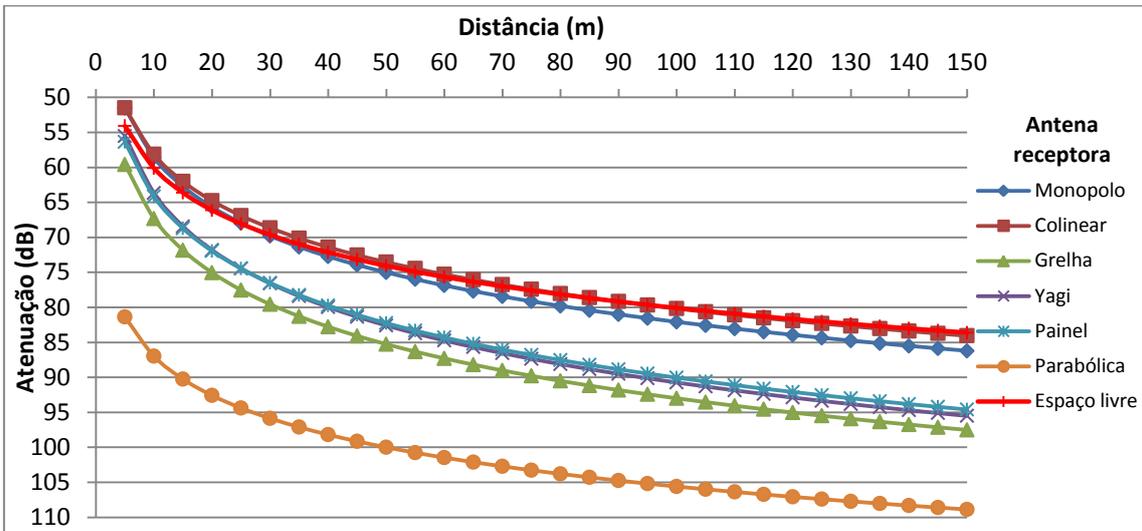
		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	2,37	2,35	2,02	2,04	2,14	1,96		
		50,87	51,53	52,13	52,21	51,98	54,10		
		5,05	4,23	4,10	4,68	4,05	4,37		
	Colinear	2,46	2,20	2,06	2,02	2,15	1,93		
		51,07	51,48	53,44	53,61	51,22	55,68		
		5,63	3,30	4,62	4,68	3,59	4,63		
	Grelha	2,70	2,57	2,45	2,46	2,03	1,41		
		58,08	59,58	63,23	62,32	64,76	72,53		
		6,48	6,25	6,96	6,03	6,32	4,91		
	Yagi	2,37	2,71	2,33	2,31	2,08	1,86		
		55,47	55,52	55,29	64,62	55,29	60,38		
		5,60	5,08	4,51	8,63	4,46	4,74		
	Painel	2,45	2,59	2,13	1,87	2,00	1,84		
		62,30	56,35	53,38	62,87	62,31	67,60		
		5,68	5,06	3,91	4,87	5,10	6,65		
	Parabólica	1,81	1,86	2,03	2,43	2,01	1,96		
		84,86	81,36	79,45	73,12	79,07	83,53		
		5,92	4,45	4,40	7,91	5,96	5,40		
	Helicoidal								1,82
									63,47
									6,01

Emissor - monopolo:

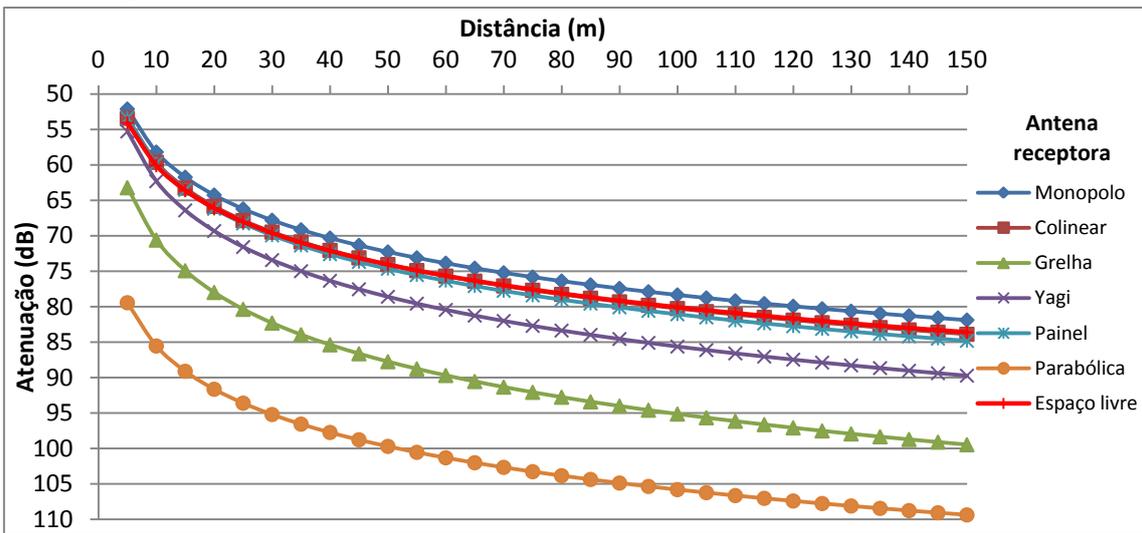


(a)

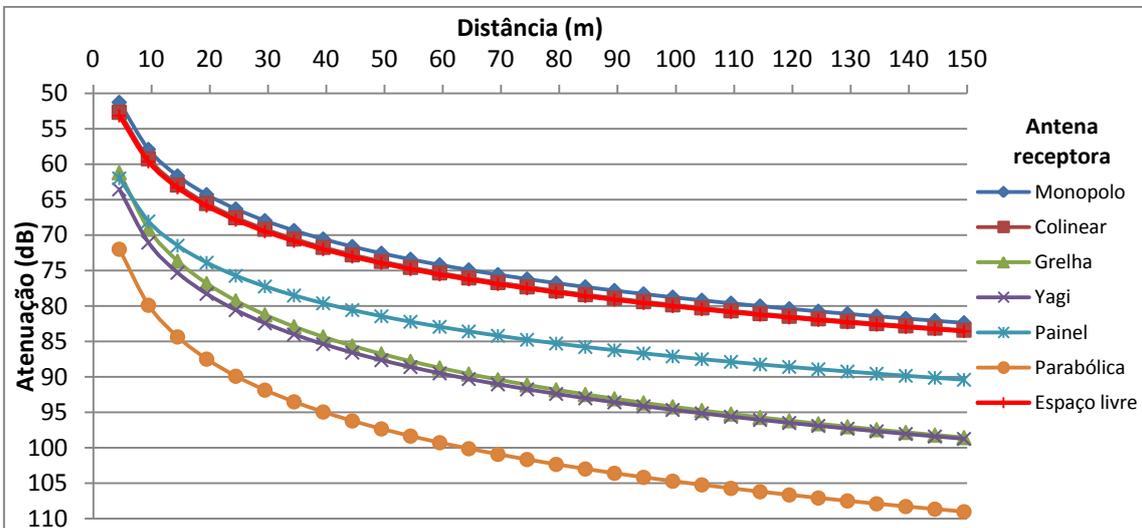
**Emissor - colinear:**



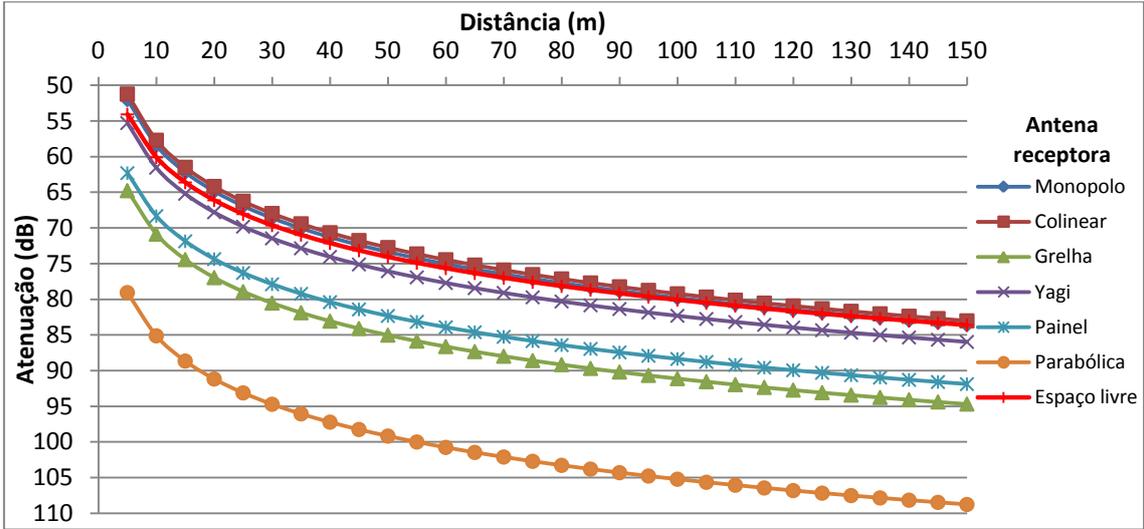
**Emissor - grelha:**



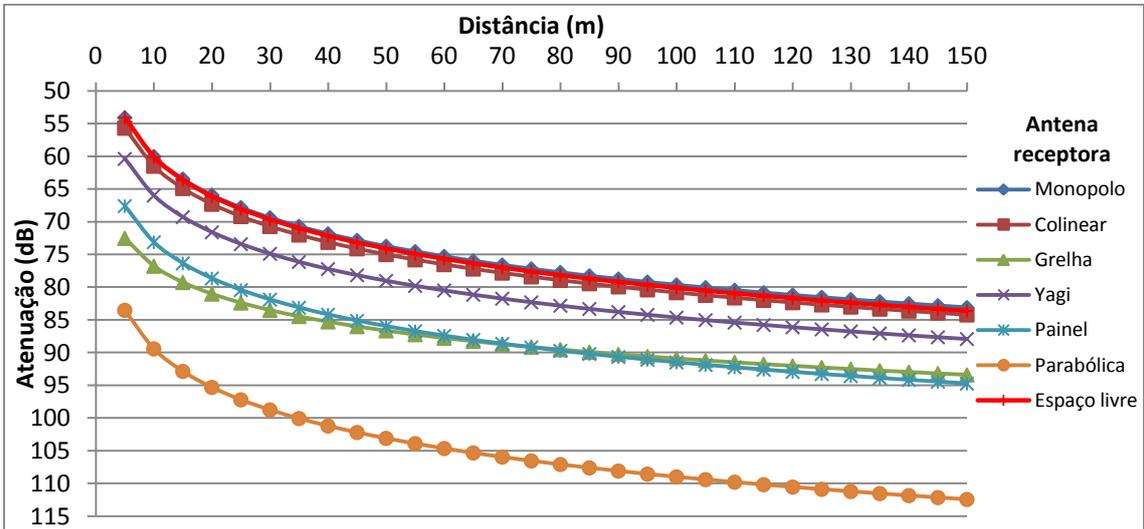
**Emissor - Yagi:**



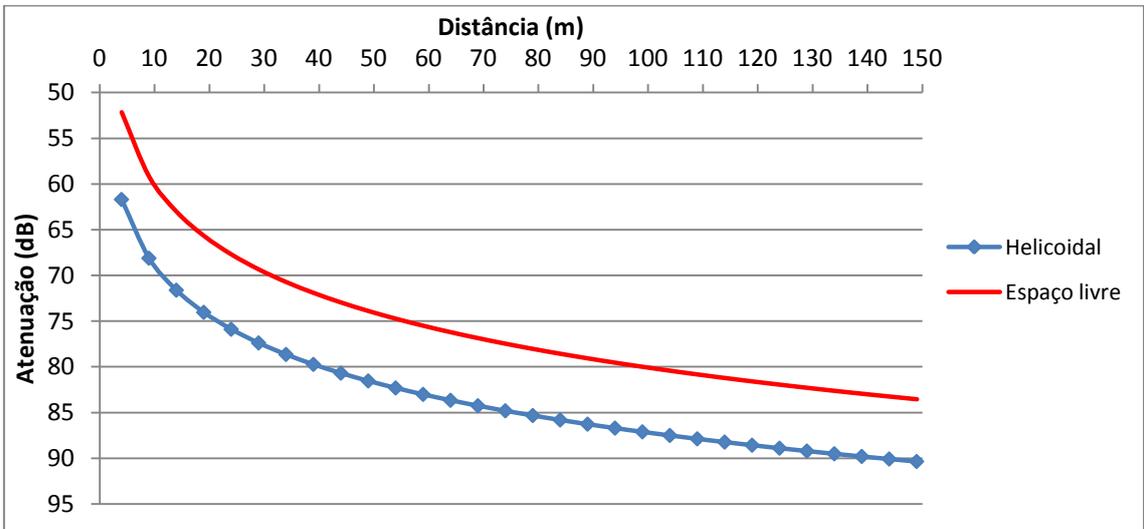
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

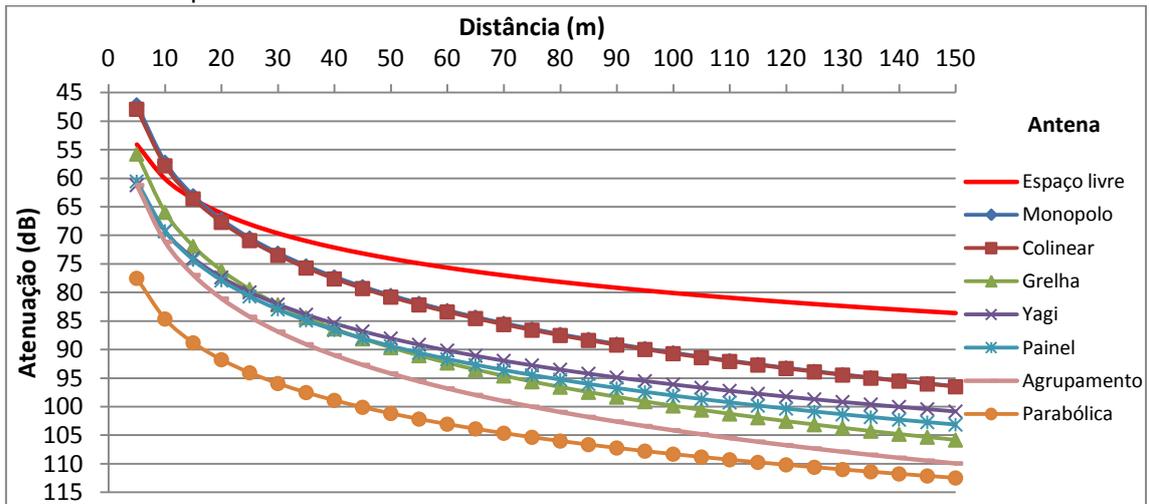


Emissor - helicoidal:

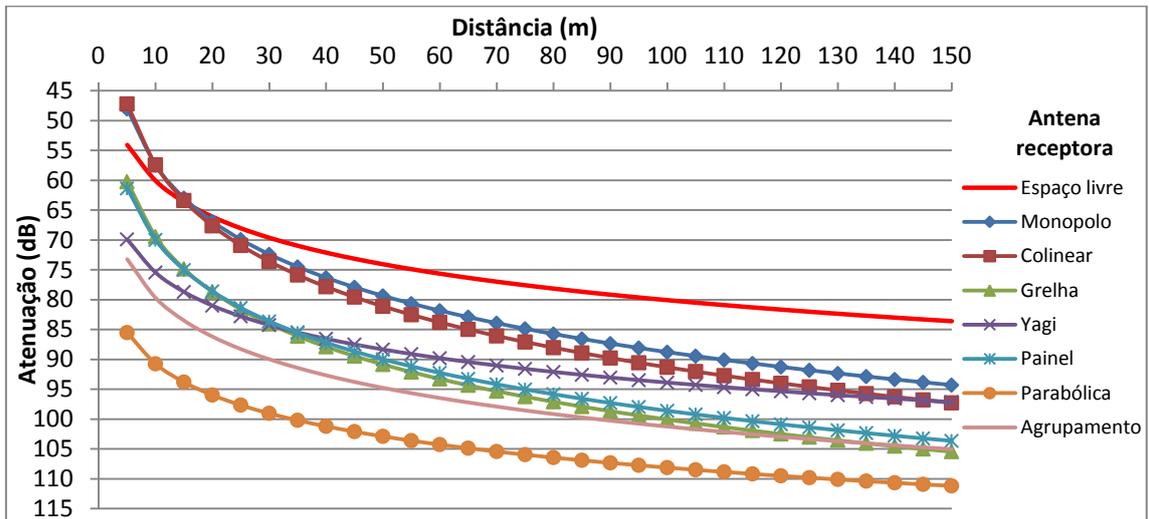


## Anexo M Atenuação 30° meio florestal ao nível dos troncos

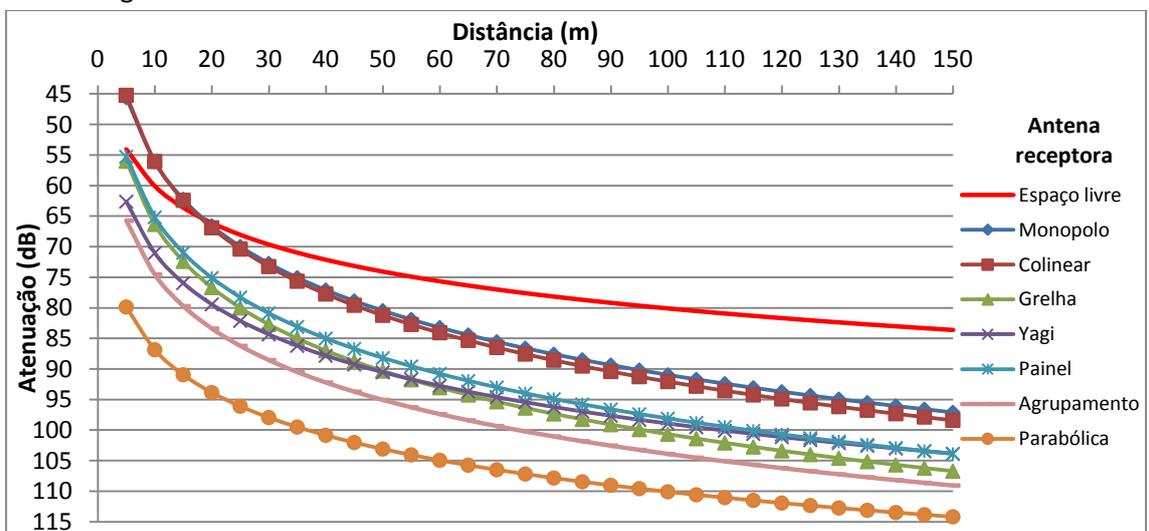
Emissor - monopolo:



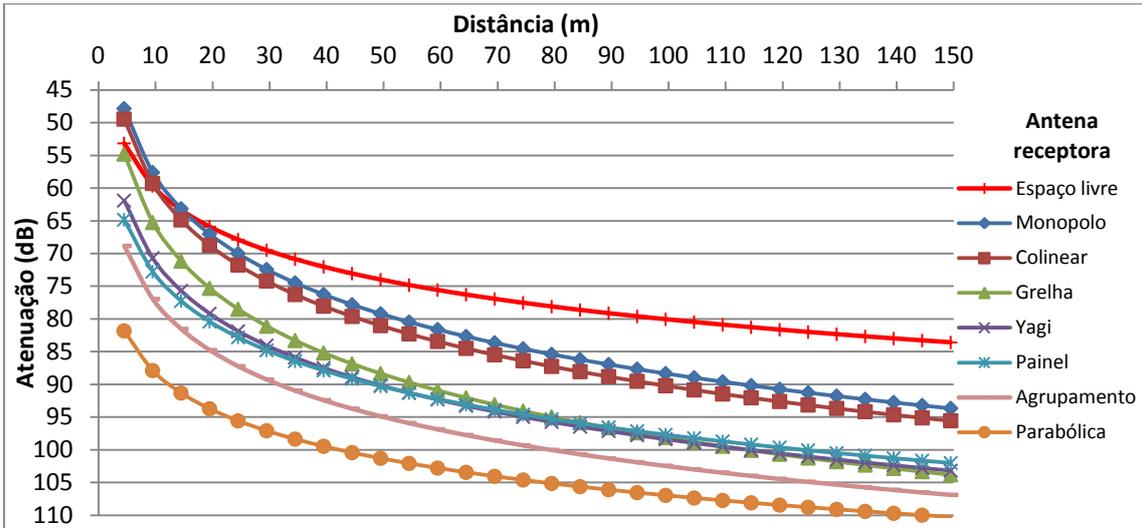
Emissor - colinear:



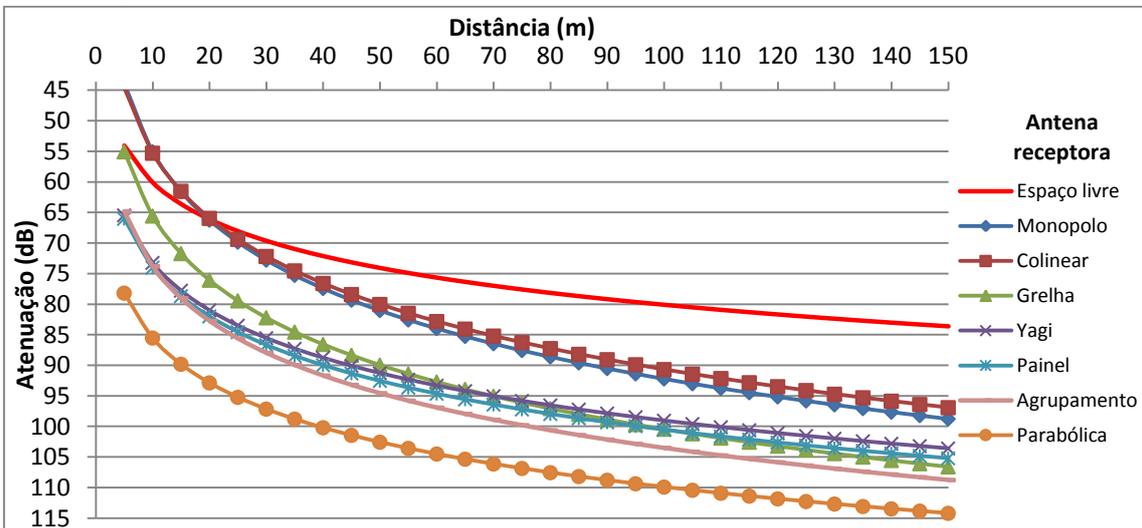
Emissor - grelha:



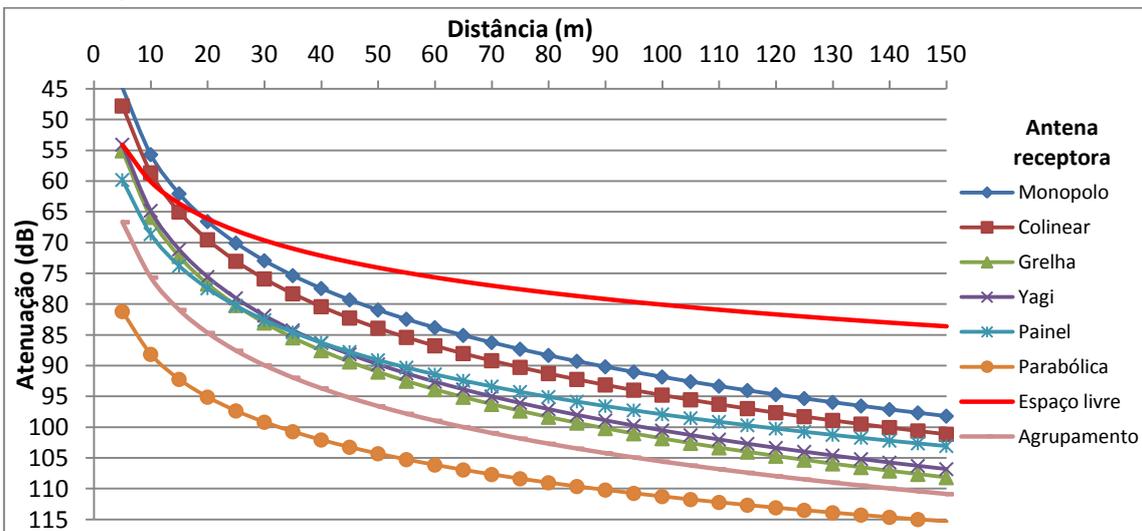
**Emissor - Yagi:**



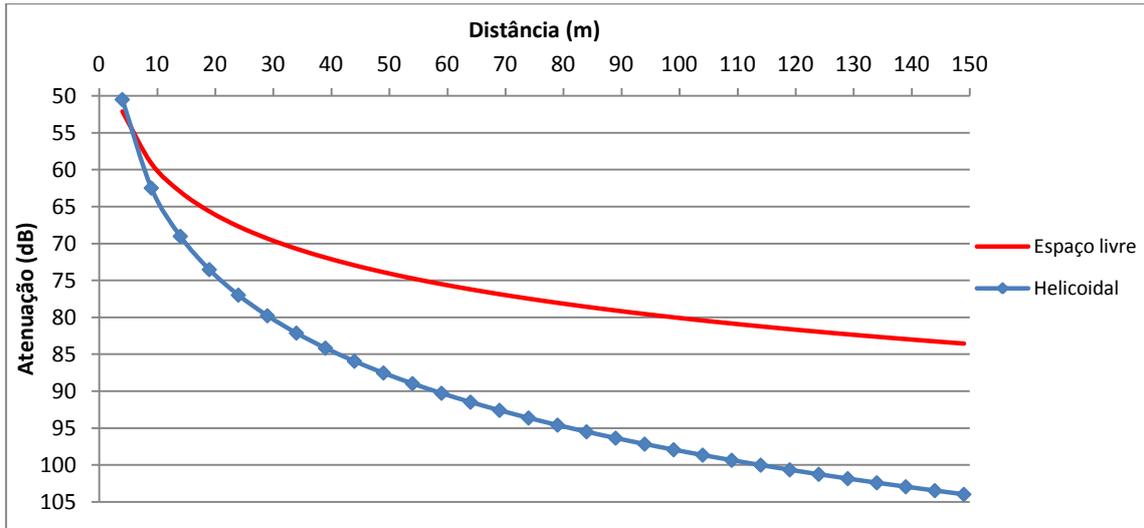
**Emissor - painel:**



**Emissor - parabólica:**



**Emissor - helicoidal:**

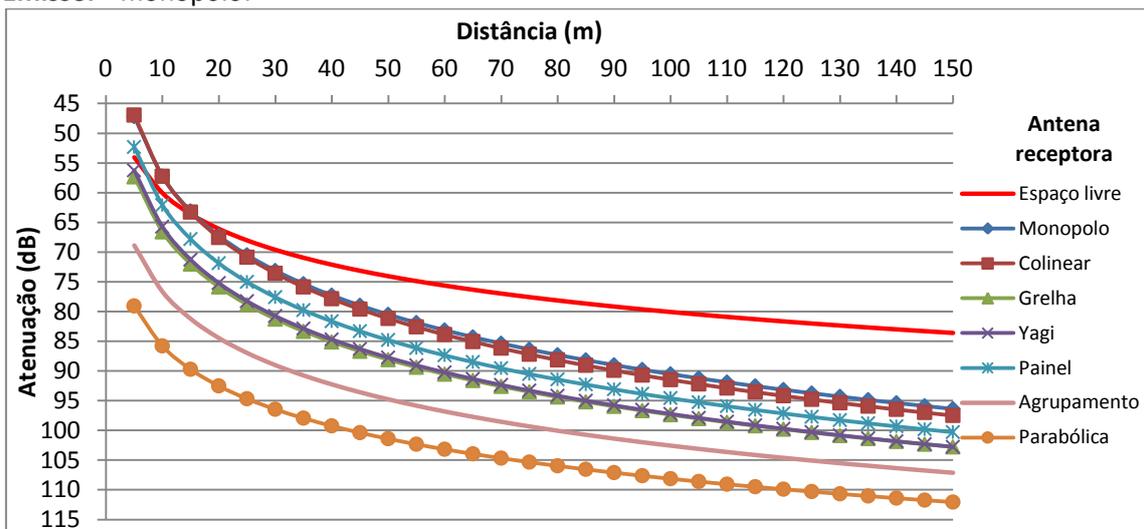


## Anexo N Atenuação 330° meio florestal ao nível dos troncos

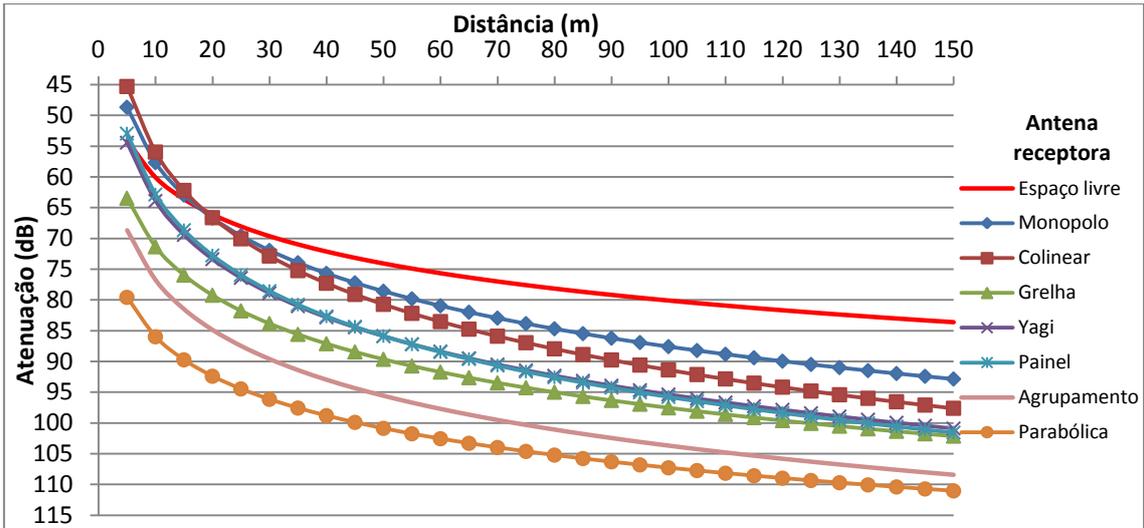
Parâmetros do modelo log-normal:

		Antena Emissora						Helicoidal	
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica		
Antena Receptora	Monopolo	3,33	2,99	3,54	3,27	3,71	3,44		
		47,22	48,66	57,36	48,31	44,21	46,98		
		5,18	3,25	5,92	5,36	5,02	5,05		
	Colinear	3,42	3,54	3,82	3,24	3,35	3,48		
		46,96	45,30	44,41	49,31	48,83	49,00		
		5,61	5,04	6,80	4,20	6,59	5,17		
	Grelha	3,08	2,62	3,60	2,52	2,74	2,73		
		57,36	63,47	54,93	65,59	62,16	65,30		
		4,78	4,92	7,01	5,48	5,05	6,30		
	Yagi	3,15	3,15	3,48	2,20	3,70	3,77		
		56,26	54,43	52,73	65,86	49,47	50,61		
		4,16	6,38	5,36	6,78	5,60	7,31		
	Painel	3,25	3,29	3,38	3,62	3,29	3,09		
		52,33	52,95	55,39	46,50	49,42	62,11		
		5,45	6,28	7,18	5,96	4,91	7,19		
	Parabólica	2,23	2,13	2,28	2,36	2,42	2,69		
		79,07	79,57	78,09	77,20	72,70	76,34		
		6,51	6,66	5,71	4,09	4,50	4,95		
	Agrupamento	2,59	2,69	2,99	2,47	3,15	3,24		
		68,89	68,69	64,57	69,60	63,11	64,70		
		5,54	7,53	5,49	5,94	4,54	5,89		
	Helicoidal								4,02
									46,76
									7,54

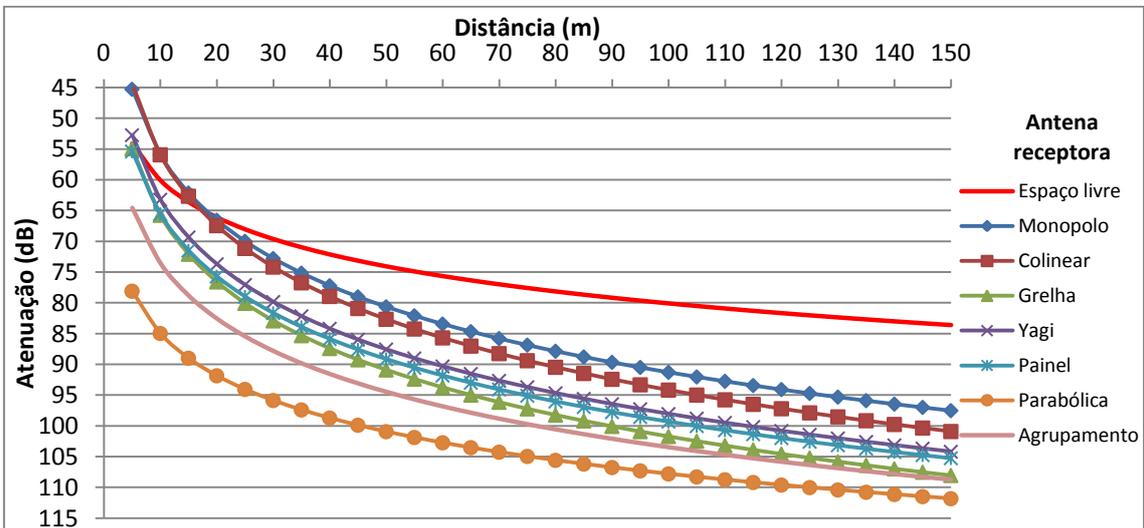
Emissor - monopolo:



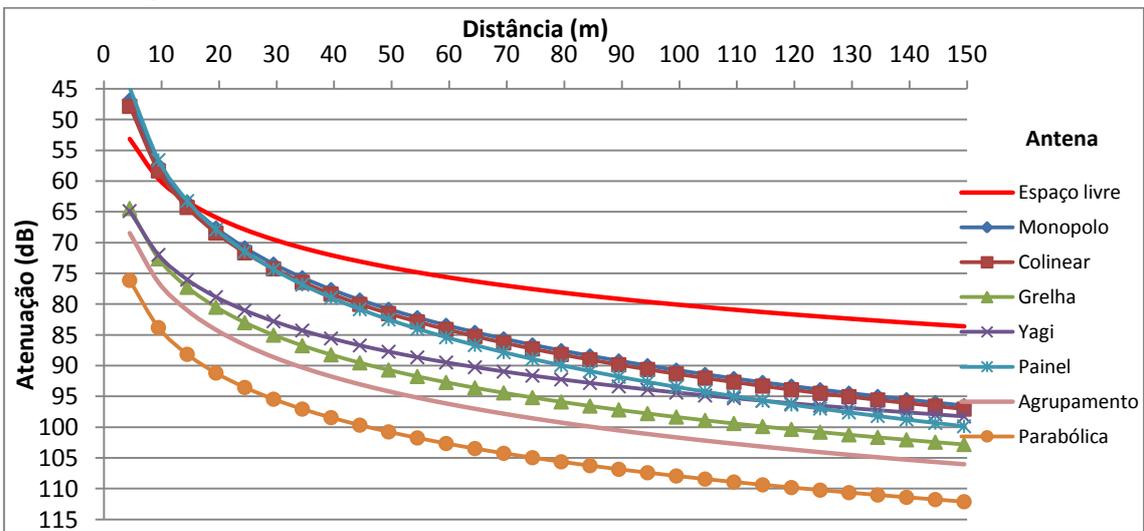
Emissor - colinear:



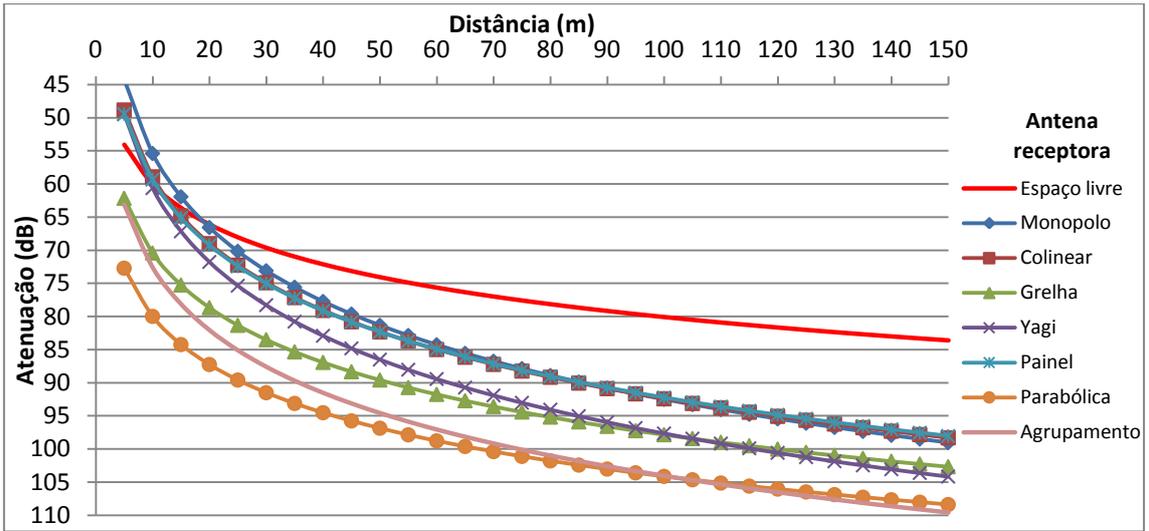
Emissor - grelha:



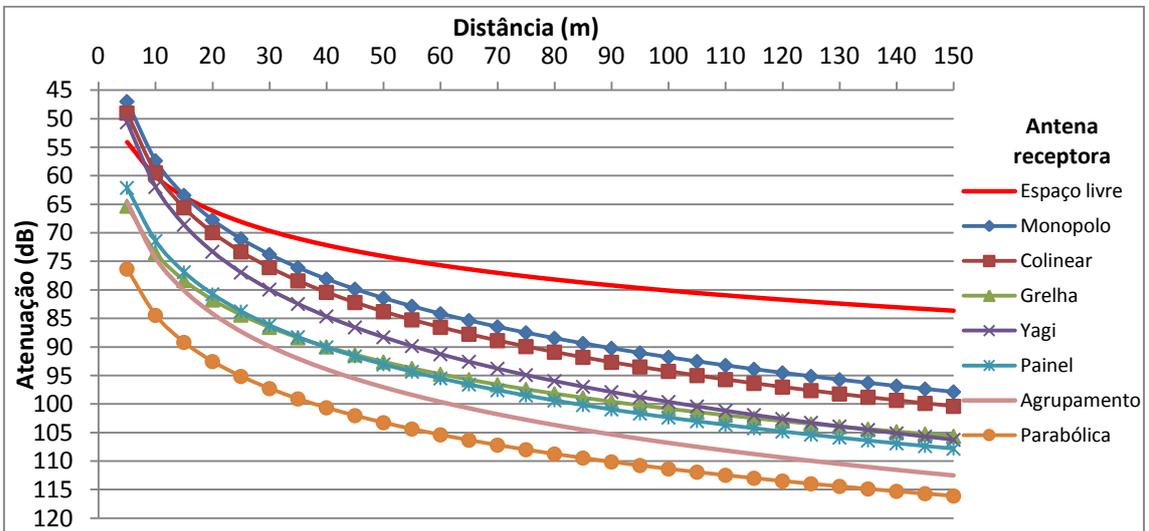
Emissor - Yagi:



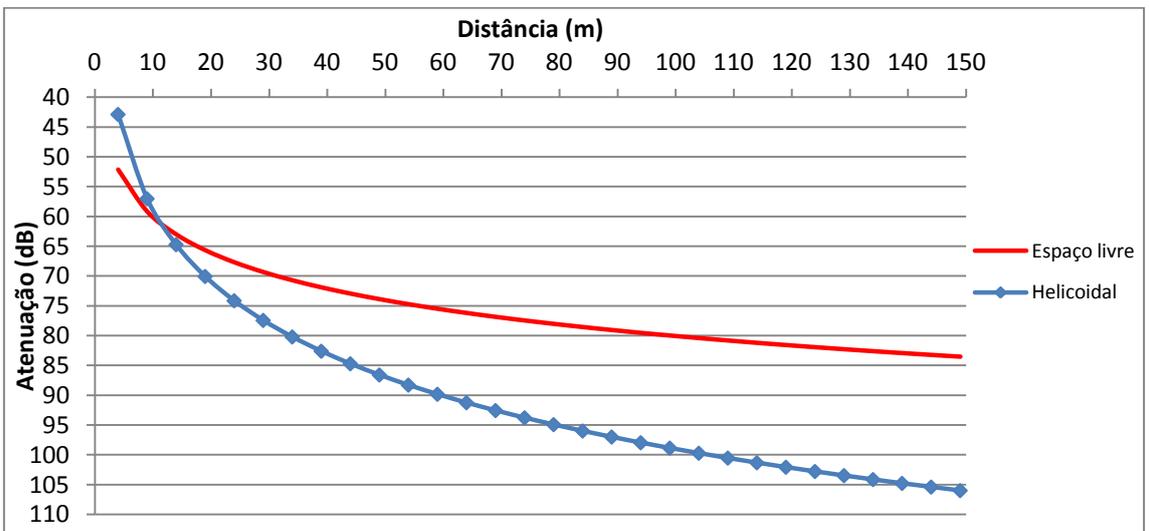
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:

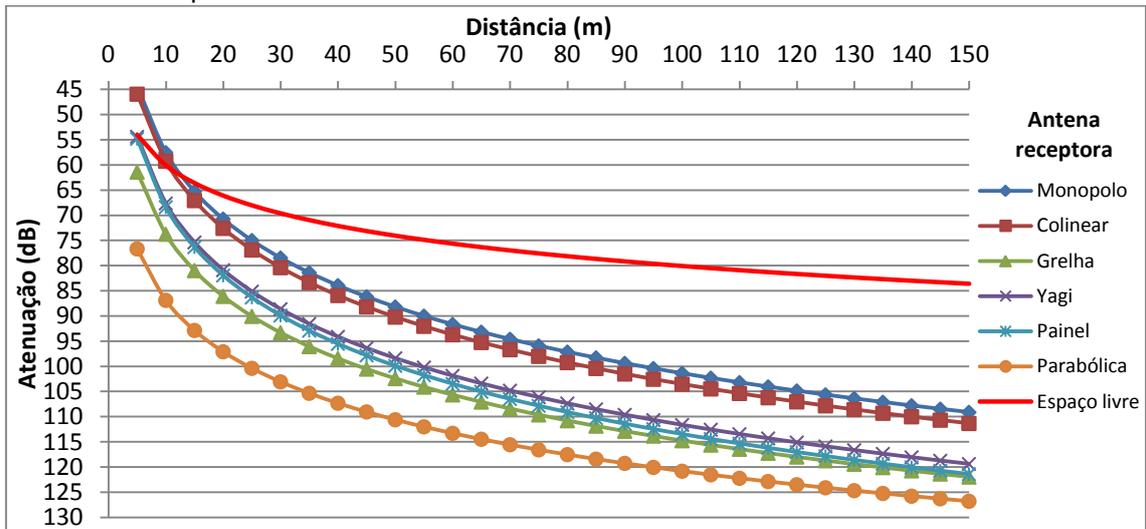


Emissor - helicoidal:

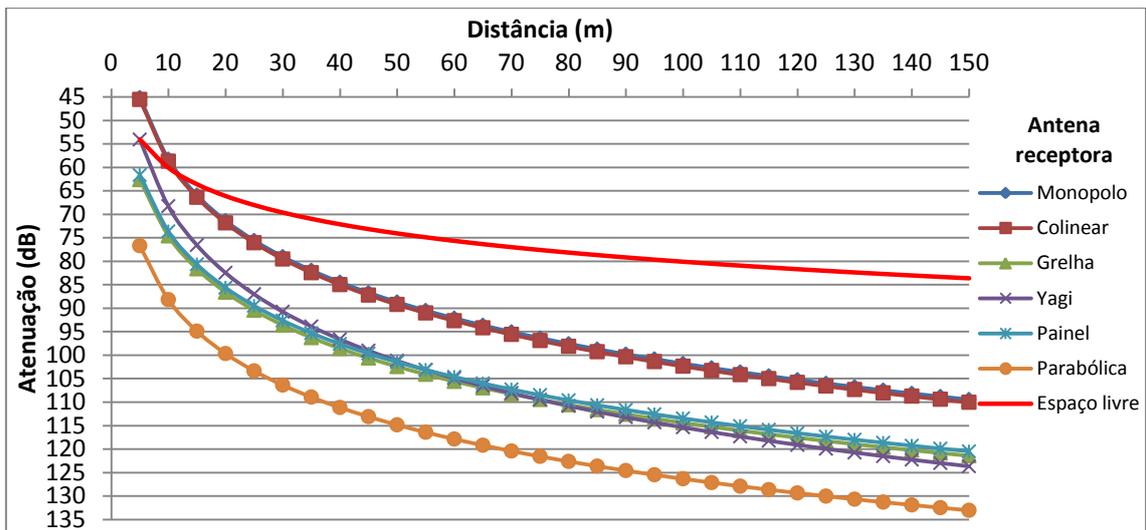


## Anexo O Atenuação 30° meio florestal ao nível da folhagem

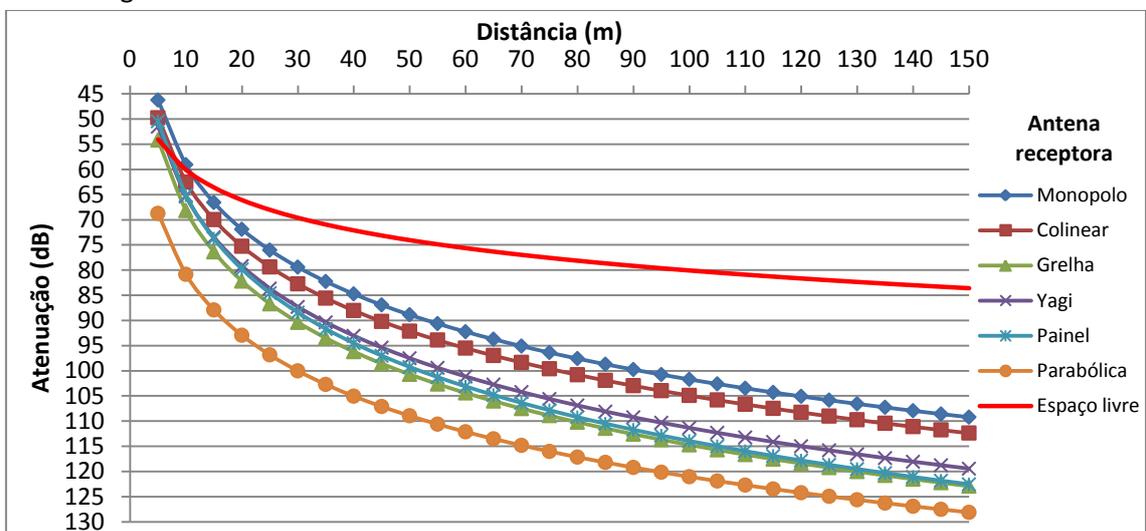
Emissor - monopolo:



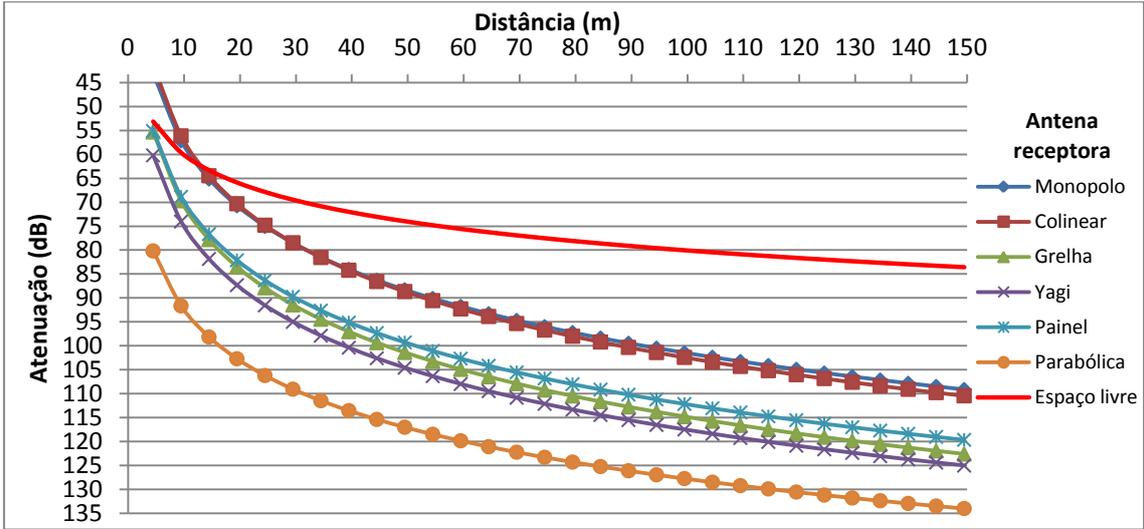
Emissor - colinear:



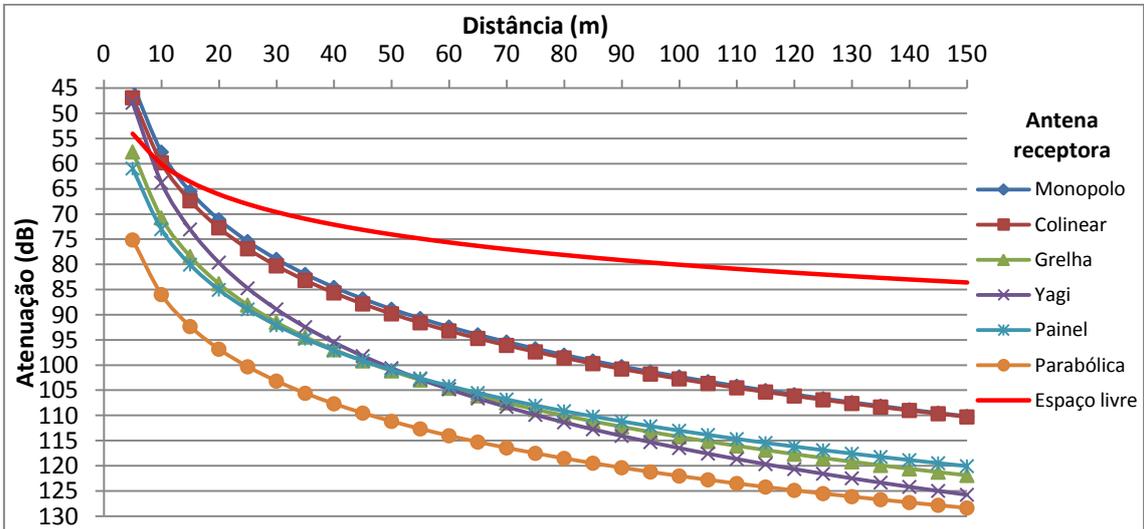
Emissor - grelha:



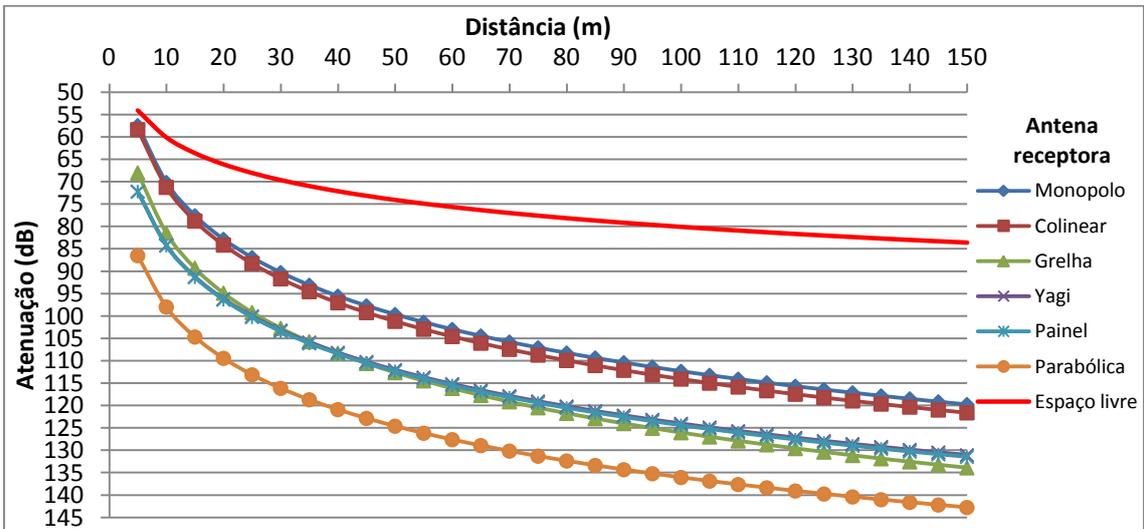
Emissor - Yagi:



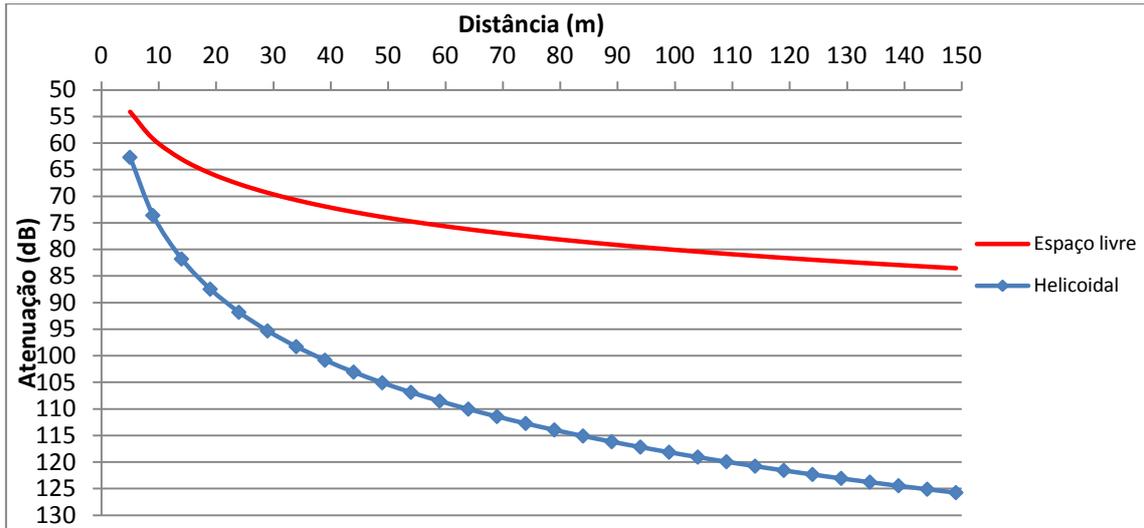
Emissor - painel:



Emissor - parabólica:



Emissor - helicoidal:

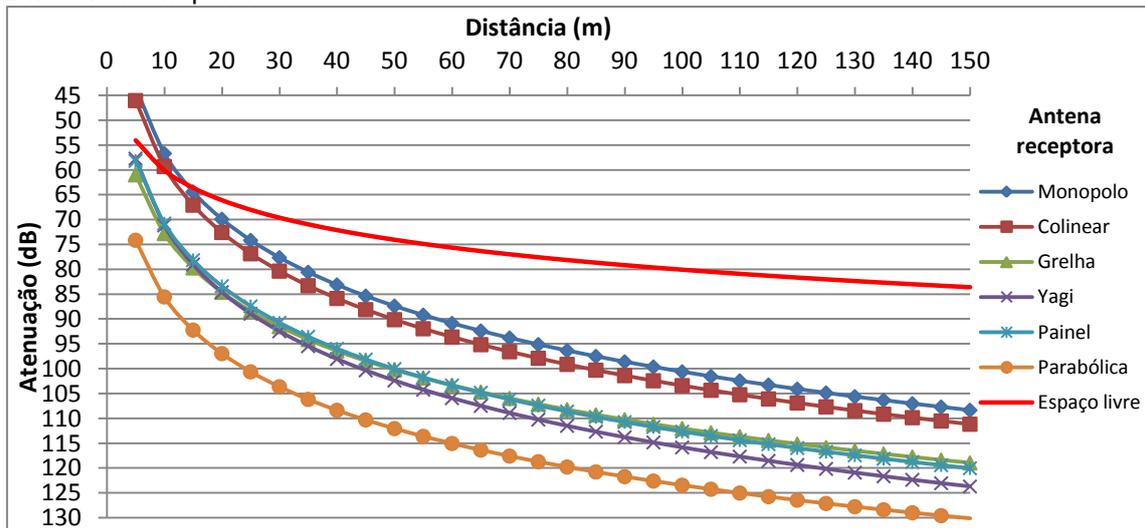


## Anexo P Atenuação 330° meio florestal ao nível da folhagem

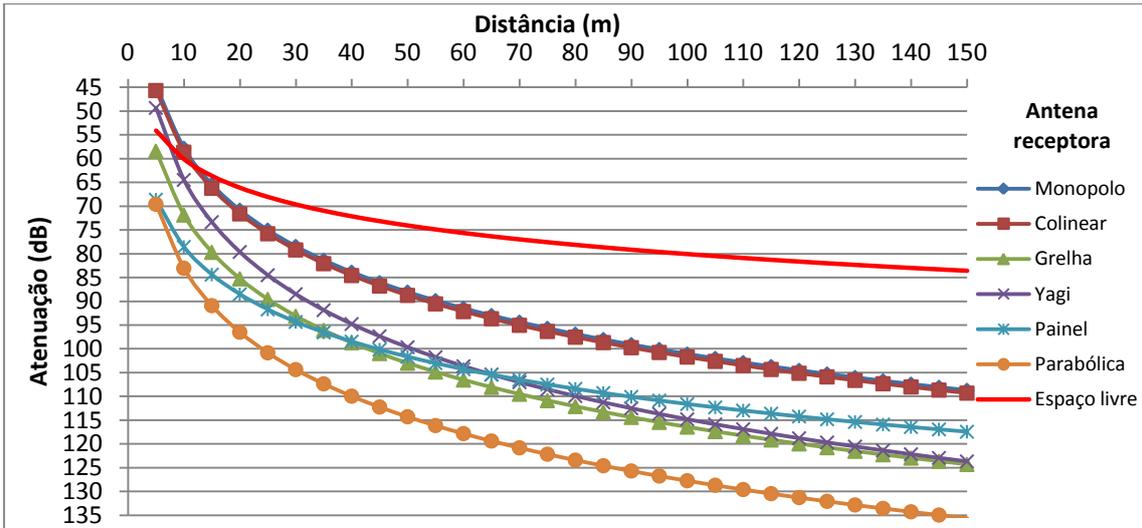
Parâmetros do modelo log-normal:

		Antena Emissora						
		Monopolo	Colinear	Grelha	Yagi	Painel	Parabólica	Helicoidal
Antena Receptora	Monopolo	4,39	4,33	4,24	4,21	4,33	4,12	
		43,47	44,78	46,73	47,20	45,44	58,30	
		6,21	5,40	4,41	5,68	4,84	6,44	
	Colinear	4,41	4,31	4,23	4,46	4,32	4,49	
		46,04	45,68	50,15	43,83	46,68	55,52	
		6,87	5,79	6,30	6,56	4,80	4,77	
	Grelha	3,93	4,46	4,03	4,61	4,18	4,21	
		60,98	58,43	61,43	54,60	58,83	67,39	
		5,27	5,89	8,17	6,56	6,30	5,72	
	Yagi	4,47	5,03	4,10	4,34	4,69	3,88	
		57,72	49,33	50,65	52,67	51,06	64,26	
		7,92	7,45	5,32	5,92	7,50	5,49	
	Painel	4,19	3,30	3,99	4,01	3,60	4,40	
		58,17	68,63	57,11	59,60	61,86	64,35	
		6,90	6,21	7,59	6,67	5,62	6,74	
	Parabólica	3,79	4,47	3,90	4,06	4,15	3,34	
		74,14	69,59	60,76	71,02	70,85	82,86	
		8,83	6,93	5,25	6,67	6,37	6,47	
	Helicoidal							3,87 68,00 7,54

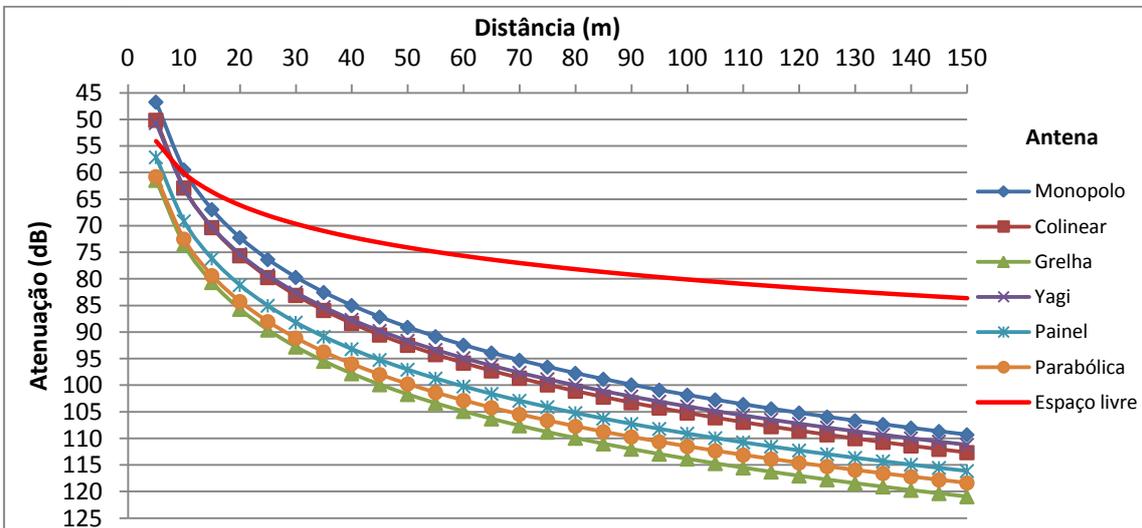
Emissor - monopolo:



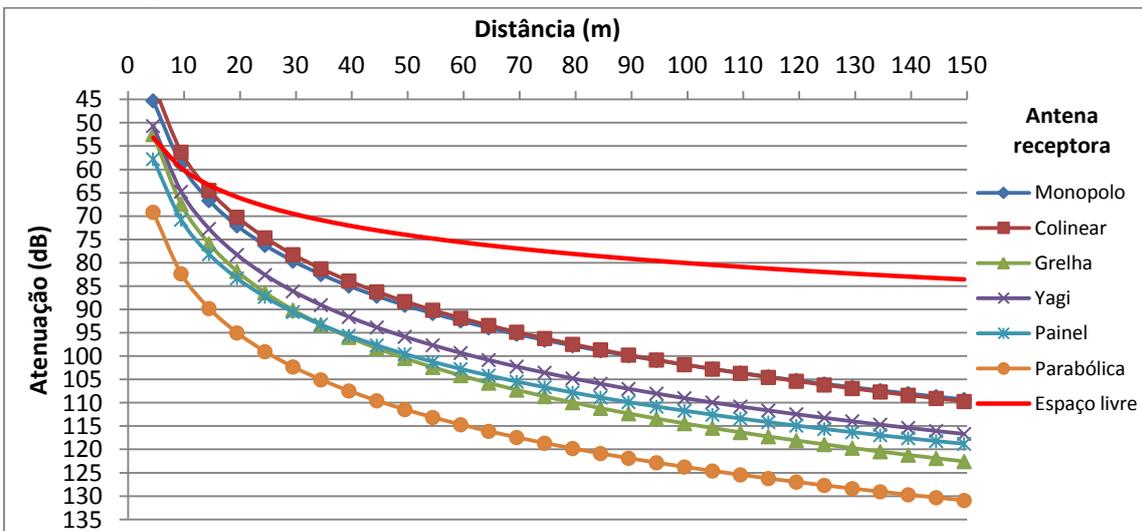
Emissor - colinear:



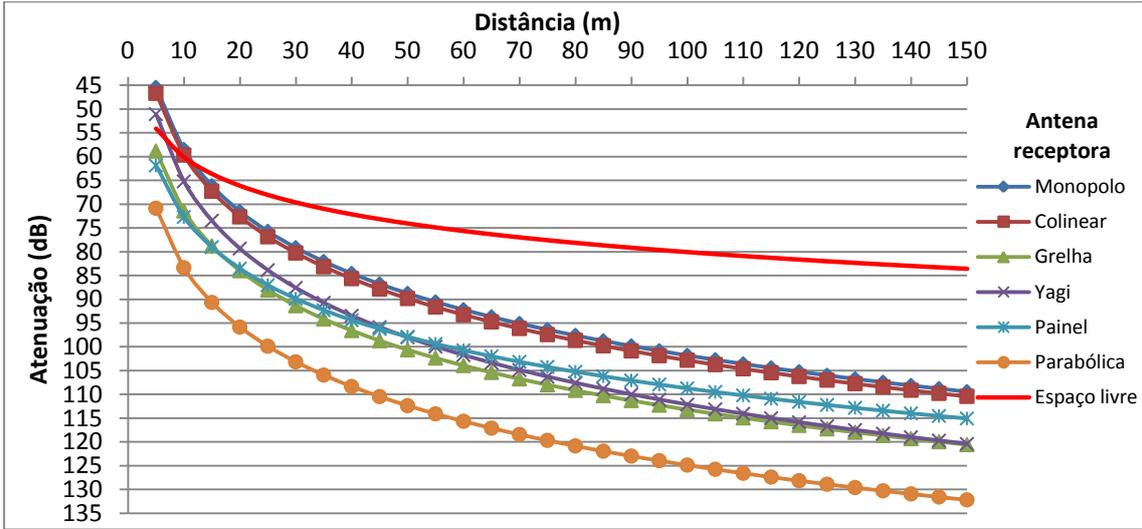
Emissor - grelha:



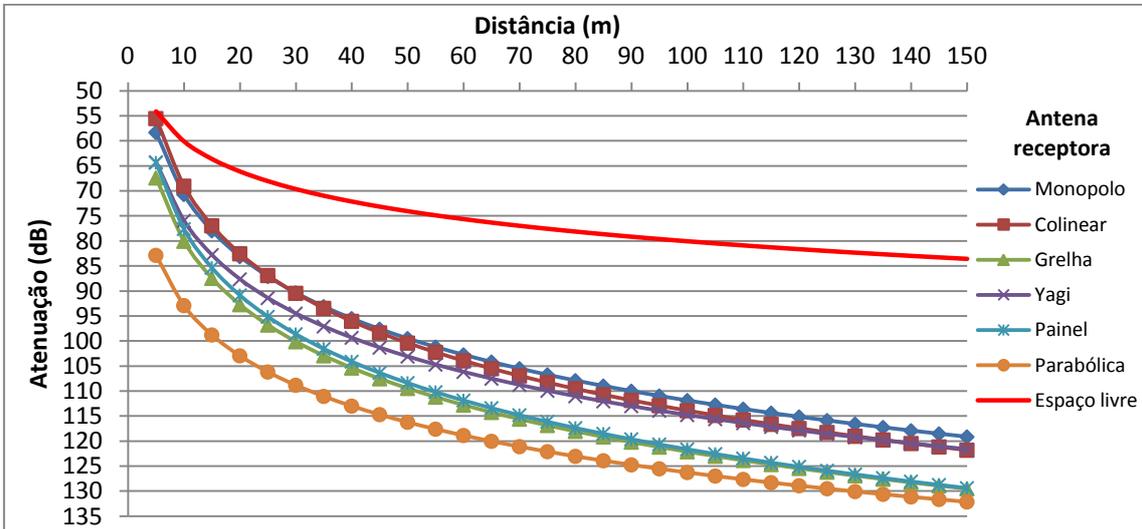
Emissor - Yagi:



Emissor - painel:



Emissor - parabólica:



Emissor - helicoidal:

