

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



**FEUP**

# **Desempenho de um Sistema Localizador de Sinais num Ambiente com Ruído**

**Luís Filipe de Almeida Silva**

Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Orientador: Joaquim Costa (Dr.)

Co-orientador: Artur Moura (Dr.)

29 de Outubro de 2012



# Resumo

A localização de fontes de radiofrequência é um tema muito abordado e cada vez mais presente nos dias correntes, tendo vindo a ser investigado em diversas áreas e aplicações, como radares e comunicações móveis. Com o crescimento da utilização de dispositivos móveis eletrónicos como o telemóvel e GPS, existe por vezes, a necessidade de saber a localização destes dispositivos principalmente em ambientes interiores (*indoor*).

Este documento dá continuidade a um trabalho desenvolvido em 2011 por Esequiel Pereira na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que consiste num sistema composto por quatro antenas planares com o objetivo de localizar uma fonte rádio frequência através da intensidade do sinal recebido.

São apresentados os resultados de vários testes com o sistema de antenas em ambientes sem ruído e com ruído, ou seja, no interior e exterior da câmara anecoica, respetivamente. Para além disso, são apresentados alguns testes sobre o impacto que as reflexões do sinal provocam na leitura de potência em cada uma das antenas recetoras pertencentes ao sistema de localização.



# Abstract

The location of radio frequency sources is a topic much discussed and increasingly present nowadays, having been investigated in various areas and applications such as radar and mobile communications. With the growing use of mobile electronic devices such as mobile phone and GPS, there is sometimes a need to know the location of these devices especially in indoor environments.

This document continues the work developed in 2011 by Esequiel Pereira at *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, consisting of a system with four antennas in order to locate a RF source through the received signal strength.

We present the results of several tests with the system of antennas in environments without noise and with noise, i.e., inside and outside the anechoic chamber, respectively. In addition, some tests are presented about how the impact that signal reflection has on the reading power for each receiving antenna belonging to the location system.



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Dr. Joaquim Costa pela disponibilidade demonstrada sempre que precisei e também pela orientação dada. Agradeço ao Professor Dr. Artur Moura pela sua disponibilidade.

Um grande muito obrigado à minha família, especialmente aos meus pais, por todo o apoio e suporte que me prestaram em todos os momentos deste trabalho e de todo o meu percurso académico.

Agradeço a todas as pessoas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que de alguma forma me ajudaram durante este trabalho.

Luís Filipe de Almeida Silva



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Problema . . . . .	1
1.2	Objetivos . . . . .	2
1.3	Estrutura da Dissertação . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>5</b>
2.1	Introdução . . . . .	5
2.2	Medição com a técnica <i>Angle of Arrival</i> (AOA) . . . . .	5
2.3	Técnicas de medição relacionadas com a distância . . . . .	7
2.4	Técnica de medição num único sentido . . . . .	7
2.5	Técnica de medição nos dois sentidos (RTT) . . . . .	7
2.6	Técnica de medição através da diferença de tempo de chegada (TDOA) . . . . .	8
2.7	Técnica de medição através da intensidade do sinal recebido (RSS) . . . . .	9
2.8	Técnica de localização <i>fingerprint</i> . . . . .	9
2.9	Algoritmos de localização . . . . .	10
2.10	Trabalhos existentes . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Composição do sistema de antenas</b>	<b>13</b>
3.1	Antenas planares . . . . .	13
3.1.1	Métodos de alimentação . . . . .	14
3.1.2	Antenas utilizadas . . . . .	16
3.2	Placa de medição de potência . . . . .	18
3.3	Controlador de interface programável Arduino . . . . .	20
3.4	Sistema final . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Revisão dos métodos utilizados</b>	<b>23</b>
4.1	Potência do sinal recebido . . . . .	23
4.2	Métodos utilizados para determinação do ângulo . . . . .	24
4.2.1	Método da tangente . . . . .	24
4.2.2	Método das parábolas . . . . .	25
4.2.3	Método das tabelas . . . . .	26
4.3	Materiais utilizados . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Experiências realizadas</b>	<b>29</b>
5.1	Construção de proteções para as antenas . . . . .	29
5.1.1	Resultados obtidos com e sem proteções na câmara anecoica . . . . .	30
5.1.2	Resultados obtidos com proteções maiores na câmara anecoica . . . . .	32
5.1.3	Resultados obtidos no exterior da câmara anecoica . . . . .	32

5.2	Ângulo real e estimado . . . . .	35
5.3	Simulação da reflexão do sinal . . . . .	36
5.4	Simulação de 2 elementos de antenas . . . . .	40
5.4.1	Resultados obtidos com a antena <i>patch</i> com a “parede” metálica . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>47</b>
6.1	Trabalho Futuro . . . . .	48
<b>A</b>	<b>Simulações em Matlab</b>	<b>49</b>
A.1	Reflexões parede e porta . . . . .	49
	<b>Referências</b>	<b>51</b>

# Lista de Figuras

1.1	As quatro antenas montadas num suporte circular. Fonte: [1] . . . . .	2
2.1	Diagrama de radiação horizontal de uma antena anisotrópica típica. Fonte: [2] . .	6
2.2	Agrupamento de antenas com N elementos. Fonte: [2] . . . . .	7
2.3	Localização através da técnica TDOA. Fonte: [2] . . . . .	8
2.4	Intensidade do sinal recebido (RSS) em função da distância. Fonte: [3] . . . . .	9
2.5	Sistemas de localização sem fios em diversos ambientes. Fonte: [6] . . . . .	11
3.1	Esquema da antena <i>microstrip</i> e sistema de coordenadas. Fonte: [9] . . . . .	14
3.2	Métodos de alimentação: (a) linha <i>microstrip</i> , (b) cabo coaxial, (c) acoplamento através de abertura e (d) acoplamento por proximidade. Fonte: [9] . . . . .	15
3.3	Esquema da antena <i>microstrip</i> com as medidas $W$ e $L$ e altura do substrato $h$ . Fonte: [9] . . . . .	16
3.4	Antena <i>patch</i> com as características e dimensões projetadas . . . . .	18
3.5	Simulação do parâmetro S11 da antena <i>patch</i> . Fonte: [1] . . . . .	18
3.6	Desenho do esquema global da placa. Fonte: [1] . . . . .	19
3.7	Placa Arduino. Fonte: [10] . . . . .	20
3.8	Diagrama de blocos do sistema global . . . . .	21
4.1	Diagrama de radiação das antenas <i>patch</i> . . . . .	25
4.2	Interface gráfica utilizada para estimar o ângulo de chegada. Fonte: [1] . . . . .	26
4.3	Antena emissora utilizada: <i>Log-Periodic Dipole Antenna HL040</i> . . . . .	27
4.4	Diagramas de radiação da antena <i>Log-Periodic Dipole Antenna HL040</i> . . . . .	27
4.5	Gerador de sinais utilizado: <i>Rohde &amp; Schwarz SMIQ03B Signal Generator</i> . . . .	28
5.1	Modelo de uma proteção coberta interiormente com papel metálico . . . . .	29
5.2	Sistema de antenas no interior da câmara anecoica com as proteções colocadas .	30
5.3	Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) sem o uso de proteções . . . . .	30
5.4	Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) com o uso de proteções . . . . .	31
5.5	Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) com o uso de proteções maiores . . . . .	32
5.6	Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) fora da câmara anecoica e sem o uso de proteções . . . . .	33
5.7	Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) fora da câmara anecoica e com o uso de proteções maiores . . . . .	33
5.8	Comparação entre o ângulo real e estimado no interior da câmara anecoica com e sem proteções . . . . .	35

5.9	Comparação entre o ângulo real e estimado no exterior da câmara anecoica com e sem proteções . . . . .	35
5.10	Representação da contribuição do sinal direto mais o sinal refletido na parede . . .	37
5.11	Representação da contribuição do sinal direto mais o sinal refletido na porta . . .	37
5.12	Contribuição do sinal direto mais a reflexão principal na parede. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal . . . . .	38
5.13	Contribuição do sinal direto mais a reflexão principal na porta. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal . . . . .	38
5.14	Contribuição do sinal direto, da reflexão principal na porta mais a reflexão principal na parede. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal . . . . .	39
5.15	Dois elementos de antenas separados por $\lambda$ . . . . .	40
5.16	Diagrama de radiação horizontal do conjunto dos dois elementos de antenas . . .	41
5.17	Diagrama de radiação em 3D do conjunto dos dois elementos de antenas . . . . .	41
5.18	Sistema constituído por uma antena <i>patch</i> mais a “parede” metálica no interior da câmara anecoica . . . . .	42
5.19	Diagrama de radiação de uma das antenas <i>patch</i> . . . . .	43
5.20	Diagrama de radiação de uma das antenas <i>patch</i> com a "parede" metálica . . . . .	43
5.21	Esquema da antena <i>patch</i> com a “parede” metálica no interior da câmara anecoica	44
5.22	Diagrama de radiação de uma antena <i>patch</i> com a “parede” metálica (obtido experimentalmente) . . . . .	46

# Lista de Tabelas

3.1	Resumo dos parâmetros e respectivos valores calculados . . . . .	17
4.1	Valores de $\theta$ para os diversos casos . . . . .	25
4.2	Especificações principais da antena emissora <i>Log-Periodic Dipole Antenna HL040</i> . . . . .	28
4.3	Especificações principais do gerador de sinais <i>Rohde &amp; Schwarz SMIQ03B</i> . . . . .	28
5.1	Valores de potência obtidos para uma rotação direita de 0 a 90° . . . . .	45
5.2	Valores de potência obtidos para uma rotação esquerda de 0 a 90° . . . . .	45



# Abreviaturas e Símbolos

AOA	Angle of Arrival
dBm	dB miliwatt
dBi	dB isotropic
GPS	Global Positioning System
RF	Radiofrequência
RFID	Radio Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
RTT	Round Trip Time
TOA	Time of Arrival
TDOA	Time Difference of Arrival
WSN	Wireless Sensor Network
$c$	Velocidade de propagação da luz
$f$	Frequência de operação
$\lambda$	Comprimento de onda



# Capítulo 1

## Introdução

A localização de fontes de radiofrequência é um tema muito abordado e cada vez mais presente nos dias correntes, tendo vindo a ser investigado em diversas áreas e aplicações, como radares e comunicações móveis. Com o crescimento da utilização de dispositivos móveis eletrónicos como o telemóvel e GPS, existe por vezes, a necessidade de saber a localização destes dispositivos principalmente em ambientes interiores (*indoor*).

Os sistemas de localização baseados em satélites, como o GPS, não funcionam à partida em ambientes *indoor*, devido à impossibilidade de os sinais transmitidos atravessarem obstáculos, como por exemplo, paredes, objetos e até mesmo pessoas. Os sistemas baseados em redes móveis também são pouco precisos para indicar em que parte de um edifício se encontra um utilizador.

Para colmatar estes problemas, é necessário a introdução de um sistema de localização no próprio ambiente interior. Este sistema pode ser composto por uma rede de sensores ou transmissores.

Existem diversas técnicas e algoritmos que, em conjunto, permitem estimar e determinar a localização de fontes eletromagnéticas em ambientes *indoor*. Devido às dificuldades introduzidas pela propagação do sinal nestes ambientes, como a difração e reflexão do sinal, é necessário analisar qual a melhor técnica e algoritmo para estimar a localização destas fontes. Na análise de um sistema para localização de fontes, é importante considerar outros parâmetros de avaliação para além da precisão que o sistema oferece, como por exemplo, a complexidade, robustez e custo.

### 1.1 Problema

Já existe um sistema que localiza uma fonte RF medindo a potência recebida, usando um conjunto de antenas, trabalho desenvolvido pelo ex-aluno Esequiel Pereira [1] em 2011 na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. No entanto, o sistema apenas foi testado na câmara

anecoica onde não existe praticamente qualquer tipo de ruído interferente e apresenta algumas limitações.

O sistema desenvolvido consiste essencialmente num conjunto de antenas capaz de receber sinais de radiofrequência para estimar a localização de fontes emisoras. Este sistema é composto por quatro antenas planares afastadas entre si fazendo um ângulo de  $90^\circ$  e cada antena permite fazer uma cobertura de  $180^\circ$ . As antenas estão fixas numa estrutura circular como demonstra a Figura 1.1.

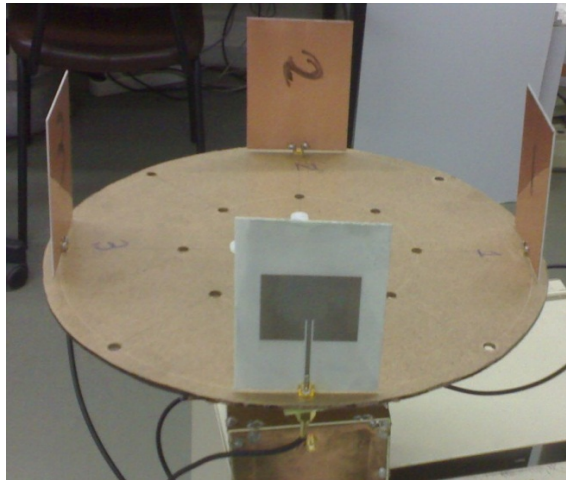


Figura 1.1: As quatro antenas montadas num suporte circular. Fonte: [1]

Foi detetada alguma interferência mútua entre as antenas em testes realizados na câmara anecoica. De três algoritmos de localização usados no trabalho de Esequiel Pereira para estimar o ângulo de chegada de uma fonte RF, apenas o método das Tabelas (Capítulo 4) se revelou o mais eficaz sem grandes desvios entre o ângulo real e o ângulo estimado.

## 1.2 Objetivos

Um dos objetivos é tentar diminuir a interferência mútua entre as antenas, ou seja, isolar as antenas individualmente com proteções de forma a reduzir este tipo de interferência e verificar qual a potência recebida em cada uma das antenas com e sem estas proteções.

Para além de verificar o comportamento do sistema de antenas na câmara anecoica (ambiente sem ruído), outro aspeto importante é estudar o sistema e verificar o seu desempenho em ambientes reais, isto é, em ambientes ruidosos, onde ocorrem reflexões dos sinais e entram em consideração fatores de propagação multipercurso.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

Este documento é composto por 6 Capítulos. O Capítulo 1 contém a introdução deste documento e os objetivos.

No Capítulo 2 é apresentado o estado da arte, isto é, revisão de trabalhos relacionados sobre a localização de fontes eletromagnéticas e algumas técnicas e algoritmos de detecção dessas fontes.

No Capítulo 3 é descrito a composição do sistema de antenas utilizado para realizar as experiências. São enunciados o tipo de antenas utilizado e os seus métodos de alimentação, as placas de medição de potência para cada antena e o controlador de interface programável Arduino. No final do Capítulo 3 é apresentado o sistema final.

No Capítulo 4 é feita uma revisão dos métodos de detecção já implementados. São também apresentados os materiais necessários para criar uma fonte emissora eletromagnética.

Todas as experiências realizadas são apresentadas no Capítulo 5.

Finalmente no Capítulo 6 é apresentada a conclusão do trabalho e trabalhos futuros.



## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

### 2.1 Introdução

Existem diversas técnicas conhecidas para determinação e localização de fontes eletromagnéticas (dispositivos tais como telemóveis) dentro de espaços fechados (*indoor*).

Estas técnicas podem ser utilizadas em conjunto para permitir obter melhores resultados e maior eficácia na deteção destas fontes.

As técnicas mais conhecidas são: *Angle of Arrival* (AOA), *Time Difference of Arrival* (TDOA), *Time of Arrival* (TOA) e *Received Signal Strength* (RSS). As técnicas TOA e TDOA estão inseridas na categoria de medidas relacionadas com a distância [2]. Geralmente a técnica RSS é mais fácil em termos de implementação, enquanto a técnica TOA pode alcançar resultados mais precisos [3].

### 2.2 Medição com a técnica *Angle of Arrival* (AOA)

A utilização desta técnica pressupõe o uso de antenas direcionais (anisotrópicas) ou o uso de técnicas de processamento de sinal avançado. Para utilizações em ambientes abertos, esta técnica é aceitável, no entanto, em ambientes fechados (*indoor*), devido aos efeitos de propagação e reflexão do sinal provocado por materiais como paredes, objetos e até mesmo pessoas, as medições podem ser afetadas introduzindo erros significativos na localização da fonte.

A técnica AOA pode ser dividida em duas subclasses: medições que fazem uso da resposta em amplitude da antena do recetor e medições que fazem uso da resposta em fase da antena recetora [2].

Como referido anteriormente, esta técnica utiliza antenas anisotrópicas. Estas antenas têm um valor máximo de radiação numa determinada direção demonstrado na Figura 2.1, denominado de lóbulo principal.

O uso de uma antena recetora anisotrópica é conhecido com o nome *beamforming* e é uma das categorias da técnica AOA. O feixe do sinal da antena recetora é rodado eletricamente ou mecanicamente e a direção correspondendo ao valor máximo do sinal é tomado como a direção do

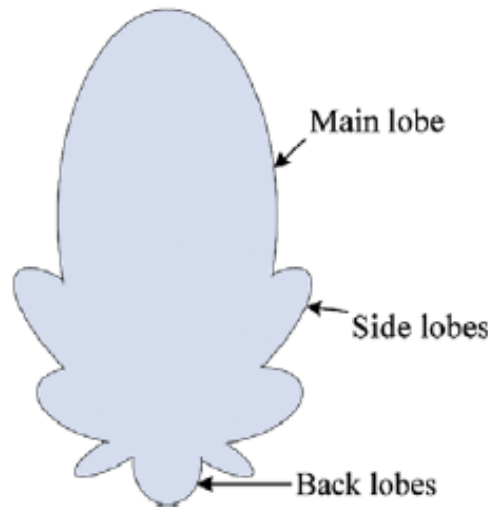


Figura 2.1: Diagrama de radiação horizontal de uma antena anisotrópica típica. Fonte: [2]

transmissor. Os parâmetros que definem a precisão da localização da fonte são a largura do feixe e a sensibilidade da antena recetora.

No entanto, existe um problema quando o sinal transmitido tem variações de amplitude de potência. O recetor não consegue diferenciar a variação de intensidade do sinal devido à variação de amplitude do sinal transmitido e da variação de intensidade do sinal causada pela anisotropia da antena recetora. É possível contornar este problema, normalizando a intensidade do sinal recebido da antena rotativa em relação à potência recebida por uma segunda antena fixa e omnidirecional no recetor. Outra forma, seria utilizar duas ou mais antenas anisotrópicas com diagramas de radiações conhecidos orientadas em direções diferentes. Quantas mais antenas usadas, menor o erro obtido na localização da fonte.

A outra categoria para medição do AOA é conhecida por fase interferometria (*phase interferometry* [2]). Esta técnica estima a direção de chegada do sinal a partir da diferença de fases do sinal medidas em duas ou mais antenas, ou seja, utilizando agrupamentos de antenas. A Figura 2.2, ilustra um esquema de um agrupamento de antenas.

A partir da Figura 2.2, verifica-se que as antenas estão separadas entre si por uma distância  $d$ . A distância entre um transmissor distante e a antena  $i$  do agrupamento de antenas é dado aproximadamente através de:

$$R_i \approx R_0 - id \cos(\theta) \quad (2.1)$$

onde  $R_0$  é a distância entre o transmissor e a antena 0 e  $\theta$  representa a direção de transmissão vista pelo agrupamento de antenas.

Os sinais transmitidos recebidos pelas antenas adjacentes têm uma diferença de fase dada por:

$$\phi = 2\pi \frac{d \cos(\theta)}{\lambda} \quad (2.2)$$

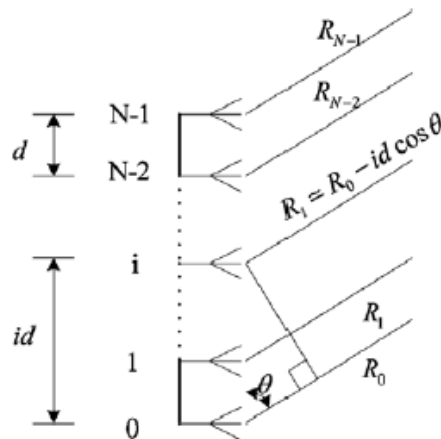


Figura 2.2: Agrupamento de antenas com N elementos. Fonte: [2]

em que  $\lambda$  é o comprimento de onda que é obtido através da divisão entre a velocidade da luz no vácuo e a frequência. Desta forma, é possível calcular a direção do transmissor medindo a diferença de fase entre os sinais individuais.

## 2.3 Técnicas de medição relacionadas com a distância

As técnicas de distância incluem técnicas baseadas no tempo de propagação, sendo estas, medidas de tempo de propagação num único sentido, medidas de tempo nos dois sentidos (RTT) e medidas da diferença do tempo de chegada (TDOA), e medidas de potência do sinal recebido. As técnicas de medições num único sentido e nos dois sentidos (RTT), são geralmente conhecidas como técnicas de medição do tempo de chegada (TOA) [2].

## 2.4 Técnica de medição num único sentido

Esta técnica mede a diferença entre o tempo do sinal transmitido pelo transmissor e o tempo do sinal recebido pelo recetor. Para isso, é necessário existir sincronização de relógio no transmissor e no recetor. Sabendo a diferença temporal entre os dois instantes é possível determinar a distância entre o transmissor e recetor. Devido à necessidade de sincronização entre as duas fontes, que aumentaria a complexidade do sistema, esta técnica torna-se menos atrativa em relação à técnica de medição nos dois sentidos (RTT), por exemplo em redes de sensores sem fios (WSN).

## 2.5 Técnica de medição nos dois sentidos (RTT)

Esta técnica mede o tempo de ida e volta levado por um sinal que viaja entre dois sistemas com a capacidade de transmitir e receber. O sinal é enviado pelo primeiro sistema e recebido pelo segundo, onde este retorna o sinal para o primeiro sistema. Nesta técnica não há o problema de

sincronização, já que é usado o mesmo relógio para processar o tempo de propagação nos dois sentidos. No entanto, existe um problema com o tempo necessário para o processamento do sinal no segundo sensor, que se pode traduzir num atraso. É possível contornar este problema sabendo o tempo deste atraso. O segundo sistema mede o atraso e envia-o para o primeiro sistema para ser subtraído.

## 2.6 Técnica de medição através da diferença de tempo de chegada (TDOA)

Nesta técnica é medida a diferença de tempo de chegada para cada par de recetores com informação da sua localização para estimar a localização do transmissor. Na Figura 2.3, é apresentado um esquema com quatro recetores ( $r_1, r_2, r_3$  e  $r_4$ ) e um transmissor ( $r_t$ ).

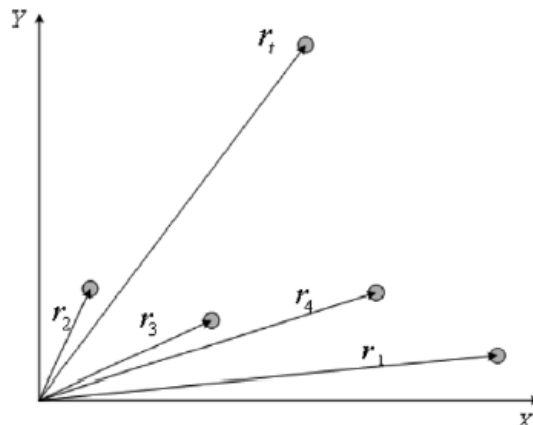


Figura 2.3: Localização através da técnica TDOA. Fonte: [2]

A diferença do tempo de chegada entre dois recetores  $i$  e  $j$  é dado por:

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = \frac{1}{c} (\|r_i - r_t\| - \|r_j - r_t\|) \quad (2.3)$$

onde  $t_i$  e  $t_j$  representam os instantes temporais quando um sinal é recebido nos recetores  $i$  e  $j$ , respetivamente, e  $c$  representa a velocidade de propagação do sinal. Através da equação 2.3, conhecendo a localização e os tempos  $t_i$  e  $t_j$  é possível determinar a localização do transmissor  $r_t$ .

A precisão da técnica TDOA é melhorada quando existe uma maior separação entre os recetores, já que múltiplos recetores distribuídos proximamente podem dar origem a múltiplos sinais recebidos que não podem ser separados. Outro fator que afeta a precisão da técnica TDOA é a sobreposição de sinais devido aos caminhos multipercurso.

## 2.7 Técnica de medição através da intensidade do sinal recebido (RSS)

Esta técnica é baseada na intensidade do sinal recebido para estimar as distâncias entre o transmissor e o recetor. A intensidade de um sinal eletromagnético em espaço livre é inversamente proporcional ao quadrado da distância (Figura 2.4) entre o emissor e recetor [4]. Desta maneira, é possível medir a intensidade do sinal e estimar a distância até ao emissor do sinal.

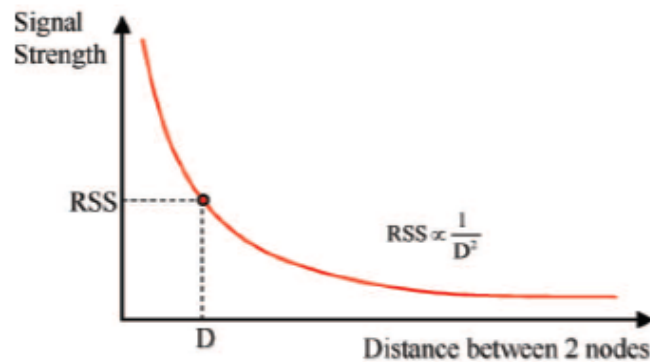


Figura 2.4: Intensidade do sinal recebido (RSS) em função da distância. Fonte: [3]

No entanto, em ambientes *indoor* o sinal não se comporta da mesma forma que em espaço livre, devido à reflexão, refração e difração provocados nestes espaços. Assim, a equação 2.4 descreve a potência do sinal recebido em função da distância, dada por:

$$P_r(d)[dBm] = P_0(d_0)[dBm] - 10n_p \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (2.4)$$

onde  $P_0(d_0)[dBm]$  corresponde a um valor de potência de referência a uma distância  $d_0$  do transmissor,  $n_p$  representa a taxa de perda em que o sinal decresce com a distância dependendo do tipo de ambiente em que se propaga,  $X_\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição Gaussiana e desvio padrão  $\sigma$  que representa o efeito causado pelas obstruções e propagação multipercurso.

A maior vantagem desta técnica é de que não precisa de *hardware* adicional. Por outro lado, esta técnica não é muito precisa principalmente em ambientes que apresentam obstáculos que provocam a redução da intensidade do sinal e originam propagação multipercurso.

## 2.8 Técnica de localização *fingerprint*

Existem duas etapas baseadas na localização por *fingerprint* [5]. A primeira etapa, denominada por etapa *offline*, consiste em fazer um mapa do local com as coordenadas e intensidade do sinal das estações próximas, obtendo-se uma coleção de medidas. A segunda etapa, conhecida como etapa *online*, consiste na medição da localização corrente da intensidade do sinal e com a informação recolhida previamente é estimada a localização. O principal problema que advém

desta técnica é devido à propagação do sinal em ambientes *indoor* que é afetado pela difração e refração [6].

## 2.9 Algoritmos de localização

Existem muitos métodos e algoritmos já conhecidos na literatura. Os algoritmos de localização podem ser classificados em quatro categorias [3].

A primeira categoria é baseada na presença (ou ausência) de nós com coordenadas pré-configuradas.

- **Algoritmos baseados em âncoras** — O sistema de localização é implementado a partir da seleção de nós de referência com coordenadas conhecidas. A limitação deste sistema é de que necessita de outro sistema de localização para determinar as posições dos nós âncora. Para além disso, é necessário um grande número de nós para minimizar os erros e obter uma localização aceitável;
- ***Anchor-free algorithms*** — São usadas medidas de distância entre os nós para determinar as suas respetivas coordenadas. Não assumem a disponibilidade dos nós com coordenadas pré-configuradas;

A segunda categoria é baseada na forma como a localização dos nós se propaga na rede.

- **Algoritmos incrementais** — Conhecendo um determinado número de nós de referência com coordenadas conhecidas, os outros nós na rede podem contactar estes nós e determinar a sua própria localização. Desta forma, quando um nó desconhecido obtém uma estimativa aceitável da sua localização pode servir de seguida como um nó de referência para outros nós desconhecidos. Este processo pode ser realizado até se obter a localização de todos os nós da rede;
- **Algoritmos concorrentes** — Nesta abordagem, vários pares de sensores comunicam e partilham medições entre si de forma a possibilitar a localização de todos os sensores. Em vez de se calcular a posição de cada sensor num instante, todas as localizações dos sensores são estimadas simultaneamente. Este sistema de localização não só permite fazer medições entre localização de sensores conhecidos e desconhecidos, como também permite fazer medições entre localizações de dispositivos não conhecidos, sendo uma mais valia para o sistema de localização, aumentando a sua precisão e robustez;

A terceira categoria é baseada na “granularidade” da informação adquirida pelos sensores durante a comunicação.

- ***Fine-grained algorithms*** — Os algoritmos que utilizam informação precisa, baseados nas técnicas de medição RSS e TOA, inserem-se nesta categoria. Tipicamente, utilizam tecnologias como infravermelhos, ultrassons ou sinais radiofrequência;

- **Coarse-grained algorithms** — Este algoritmo estima a distância entre nós usando técnicas como contagem de saltos. Numa rede sem fios, o número de saltos é o número de arestas atravessadas por um sinal ao longo do caminho mais curto entre os nós de origem e de destino;

Finalmente, a quarta categoria é baseada na distribuição computacional.

- **Algoritmos centralizados** — A computação é realizada por um nó central ou dispositivo de rede. Todos os nós transmitem informação apenas para um único computador que se encarrega de resolver o problema de localização;
- **Algoritmos distribuídos** — A computação é igualmente distribuída pelos nós da rede, sendo que cada nó recebe informação da localização dos nós vizinhos, realiza as suas estimativas e retransmite os resultados obtidos aos outros nós;

Não é suficiente avaliar a prestação de uma determinada técnica apenas através dos resultados de precisão. É necessário introduzir outros parâmetros de avaliação, como por exemplo: exatidão, complexidade, robustez e custo [6].

## 2.10 Trabalhos existentes

Existem muitos trabalhos já desenvolvidos baseados na localização de fontes eletromagnéticas em ambientes *indoor*, principalmente em redes de sensores sem fios (WSN). A Figura 2.5, ilustra os principais sistemas sem fios utilizados em vários ambientes com uma indicação da resolução obtida.

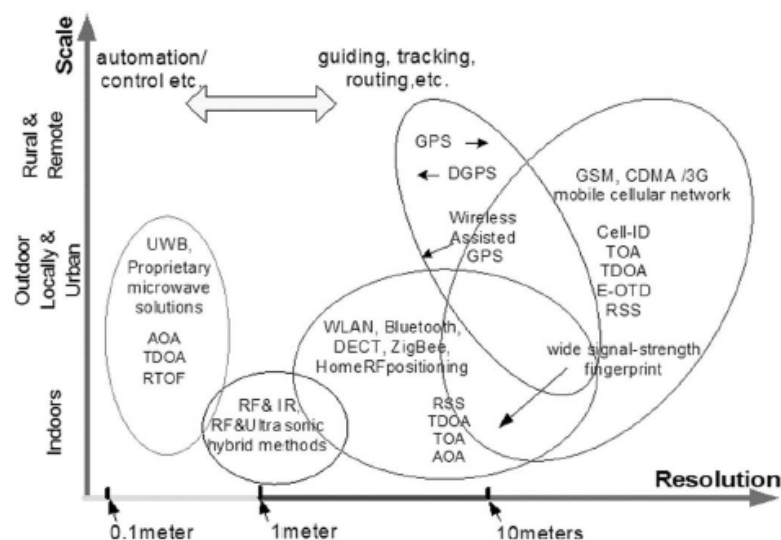


Figura 2.5: Sistemas de localização sem fios em diversos ambientes. Fonte: [6]

É sabido que o GPS (*Global Positioning System*) é um dos sistemas de localização e posicionamento mais bem sucedidos e utilizados em ambientes exteriores. No entanto, em ambientes

fechados interiores a cobertura do sinal é severamente degradada impossibilitando estimar a localização. A empresa *SnapTrack* pertencente à *Qualcomm*, encontrou uma forma de ultrapassar as limitações impostas pelo GPS convencional, fornecendo uma técnica GPS para ambientes *indoor* com uma precisão entre 5 a 50 metros [6]. O dispositivo *wireless* recolhe medições da constelação GPS e da rede móvel sem fios. Estas medições são combinadas por um servidor local que dá uma estimativa da posição.

Outro sistema utilizando tecnologia RFID (*radio-frequency identification*) é chamado de LAND-MARC [6] [7]. Este sistema tem como ideia a colocação de *tags* de referência fixas para ajudar na calibração da localização. Estas *tags* servem de pontos de referência no sistema. A abordagem LANDMARC necessita de informação da intensidade do sinal de cada *tag* para os leitores. É utilizado o método do vizinho mais próximo (KNN – *k-nearest-neighbor*) para calcular a localização das *tags* RFID.

Bahl et al. [8] propôs um sistema RF para localização e seguimento de utilizadores dentro de um edifício, RADAR, que adota um método do vizinho mais próximo. Uma das abordagens propostas pelos autores para determinar a localização do utilizador é modelando a propagação do sinal. São usados modelos que privilegiam fatores de atenuação de obstáculos como paredes e chão, em vez de, modelos de desvanecimentos de *Rayleigh* e distribuição de *Rician*, usados em ambientes exteriores. A precisão do sistema RADAR é de 2-3 metros aproximadamente.

## Capítulo 3

# Composição do sistema de antenas

Neste Capítulo são descritas as partes que fazem parte do sistema global de antenas. Para além disso, são apresentadas algumas características de cada um dos componentes.

### 3.1 Antenas planares

As antenas planares *microstrip* têm vindo a ser utilizadas mais recentemente em diversas áreas e aplicações, como por exemplo, nas comunicações sem fios e em rádios móveis que apresentam especificações similares. As principais vantagens destas antenas são a facilidade de construção e baixos custos inerentes. Para além disso, as antenas planares são adaptáveis a vários tipos de superfícies e fisicamente robustas quando inseridas em superfícies rígidas. Apresentam uma grande versatilidade em termos de impedância, frequência de ressonância, polarização e diagrama de radiação. Outra vantagem, consiste na possibilidade de projetar a antena planar em diversas formas (quadrangular, rectangular, circular, triangular, anel circular, etc). Por outro lado, existem desvantagens na utilização deste tipo de antenas, sendo estas: baixa eficiência, baixa potência, fraca polarização e largura de banda estreita. No entanto, uma largura de banda estreita é desejável em algumas aplicações como sistemas de segurança. Contudo, existem métodos que podem ser usados para melhorar a eficiência e a largura de banda (até cerca de 35%), através do aumento da altura do substrato. O tamanho de uma antena *microstrip* é inversamente proporcional à sua frequência de operação. Portanto, não faz sentido a utilização destas antenas para frequências relativamente baixas, porque o tamanho da antena seria muito elevado.

As antenas planares *microstrip* são constituídas por uma camada metálica muito fina depositadas sobre um substrato com uma altura  $h$  muito inferior ao comprimento de onda em espaço livre ( $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ ). A antena é alimentada num ponto específico de forma a que o máximo do padrão de radiação seja normal à camada de metal. Isto é alcançado escolhendo o modo adequado de excitação do campo eletromagnético.

Existem diversos substratos que podem ser utilizados no projeto destas antenas e as suas constantes dielétricas inserem-se geralmente na gama de  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ .

A antena radiadora pode ser projetada de diversas formas, no entanto as mais comuns são quadrangulares, retangulares, dipolos e circulares, devido à facilidade de análise e fabricação e também às características de radiação que apresentam, especialmente baixa radiação de polarização cruzada. Para alcançar melhor diretividade, é possível juntar vários elementos *microstrip*, formando uma cortina, com a possibilidade de poderem ser alimentados individualmente.

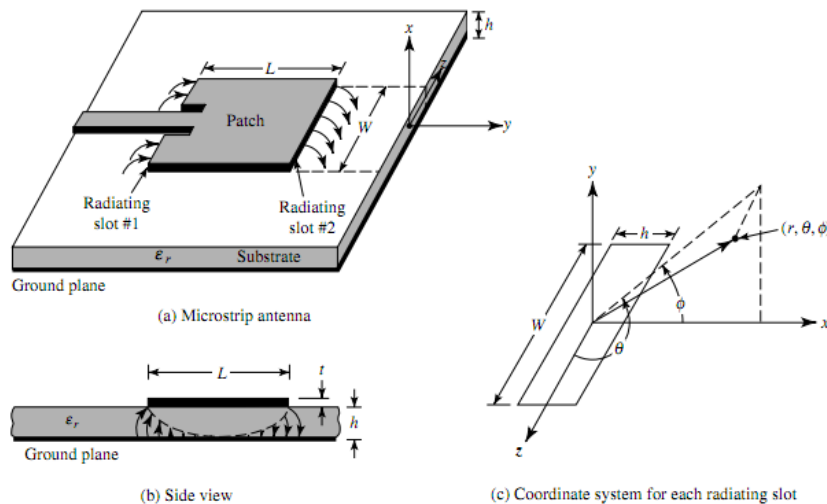


Figura 3.1: Esquema da antena *microstrip* e sistema de coordenadas. Fonte: [9]

### 3.1.1 Métodos de alimentação

Existem diversas formas de alimentação para este tipo de antenas. As mais populares e usadas são quatro: linha *microstrip* (*microstrip line*), cabo coaxial (*coaxial probe*), acoplamento através de abertura (*aperture coupling*) e alimentação acoplada por proximidade (*proximity coupling*).

A Figura 3.2 ilustra os quatro métodos de alimentação enunciados.

#### 3.1.1.1 Linha *microstrip*

A alimentação em linha *microstrip* é uma tira condutora, geralmente com um tamanho muito inferior comparada com a antena *patch*. A facilidade em fabricar e a simplicidade de modelar são as principais vantagens da alimentação em linha *microstrip*. No entanto, com o aumento da espessura do substrato, as ondas de superfície e a radiação espúria de alimentação aumenta e, desta forma, a largura de banda é limitada tipicamente por 2 a 5%. Outra desvantagem, é a presença de assimetrias inerentes que originam modos de ordem elevada que produzem radiação de polarização cruzada.

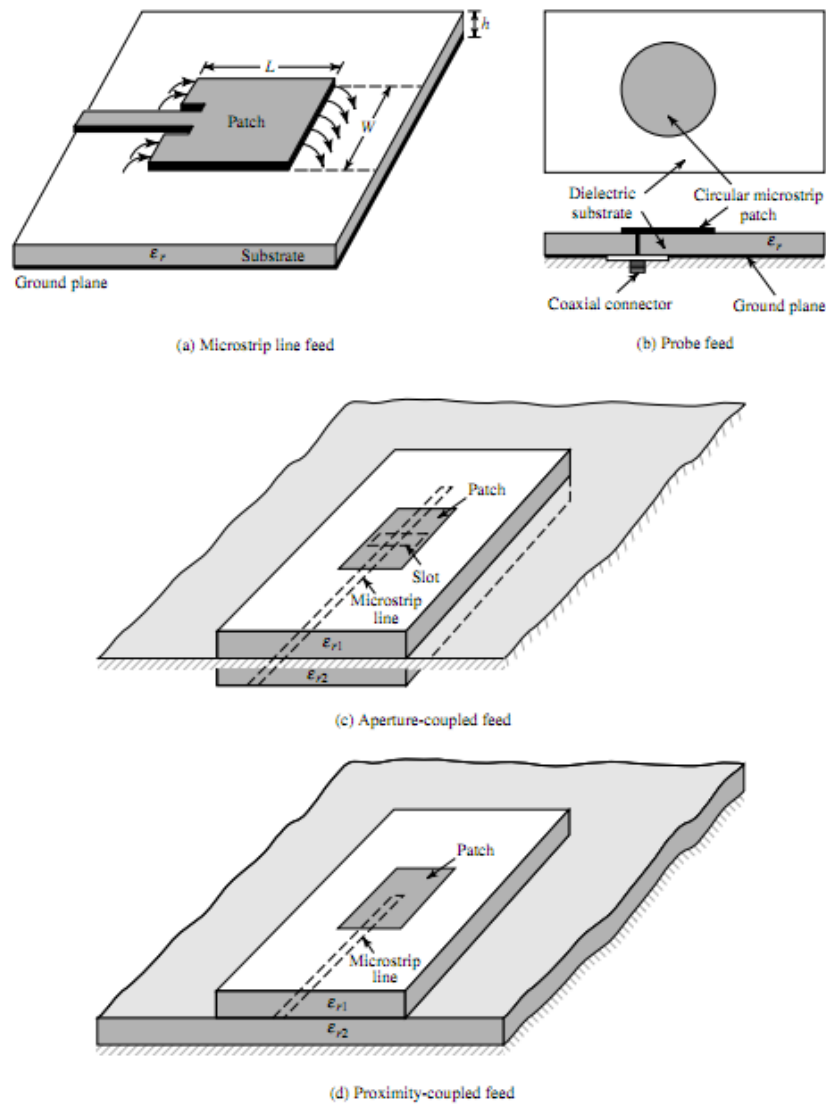


Figura 3.2: Métodos de alimentação: (a) linha *microstrip*, (b) cabo coaxial, (c) acoplamento através de abertura e (d) acoplamento por proximidade. Fonte: [9]

### 3.1.1.2 Linha coaxial

As vantagens no uso da alimentação em linha coaxial são a facilidade de fabricação e a baixa radiação espúria presente. Por outro lado, existem dificuldades na modelação para espessuras de substratos maiores que  $0.02\lambda_0$ . Para além disso, apresenta uma largura de banda estreita. Tal como a alimentação em linha *microstrip*, a alimentação em linha coaxial apresenta alguns problemas de radiação de polarização cruzada.

### 3.1.1.3 Acoplamento através de abertura

A alimentação de acoplamento através de abertura (*aperture coupling*), tem a vantagem de ser fácil de modelar e apresentar uma radiação espúria moderada. A dificuldade em fabricar este tipo

de alimentação e a largura de banda estreita são as principais desvantagens.

### 3.1.1.4 Acoplamento por proximidade

Finalmente, a alimentação acoplada por proximidade apresenta as seguintes vantagens: maior largura de banda, fácil de modelar e baixa radiação espúria. A maior desvantagem, ao contrário dos dois primeiros métodos de alimentação anteriores, é a dificuldade de fabricação.

## 3.1.2 Antenas utilizadas

As antenas desenvolvidas apresentam uma forma retangular e o tipo de alimentação escolhido é através de linha *microstrip* devido à sua simplicidade. Para o projeto e dimensionamento das antenas, é necessário especificar três parâmetros que vão descrever o comportamento da antena. Estes parâmetros são: a frequência de operação  $f_r$ , a constante dielétrica do material do substrato  $\epsilon_r$  e a espessura/altura do substrato  $h$ . A partir da definição destes parâmetros, é possível determinar as dimensões da antena.

O material utilizado na concepção das antenas é o *Roggers 4003*, com uma espessura do substrato  $h$  de 0.813 mm e constante dielétrica  $\epsilon_r$  de 3.38. A frequência de operação  $f_r$  escolhida é de 2.4 GHz. Com estes parâmetros, é possível determinar os valores  $W$  e  $L$  das antenas *patch*, ilustrados na Figura 3.3.

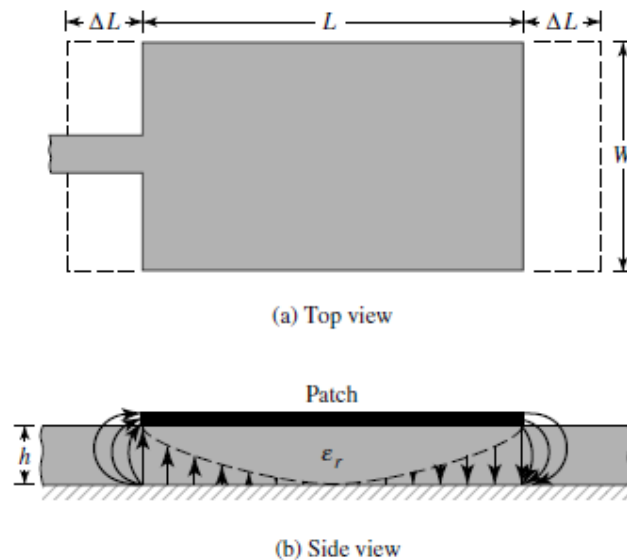


Figura 3.3: Esquema da antena *microstrip* com as medidas  $W$  e  $L$  e altura do substrato  $h$ . Fonte: [9]

Para um radiador eficiente, a largura  $W$  que permite uma boa radiação é dada por:

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

onde  $v_0$  é a velocidade da luz em espaço livre.

A constante dielétrica efetiva da antena *microstrip* é dada através de:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (3.2)$$

O comprimento  $\Delta L$  da antena é dado por:

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.3)$$

O comprimento real da antena  $L$  é dado através de:

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (3.4)$$

A Tabela 3.1 apresenta os valores calculados pelas equações descritas anteriormente.

Parâmetros	Valores
$W$	42.2336 mm
$\epsilon_{reff}$	3.26255
$\Delta L$	0.3908 mm
$L$	33.8204 mm

Tabela 3.1: Resumo dos parâmetros e respectivos valores calculados

As dimensões do plano de massa da antena, comprimento  $L_g$  e largura  $W_g$ , podem ser calculadas através das seguintes equações:

$$L_g = 6h + L \quad (3.5)$$

$$W_g = 6h + W \quad (3.6)$$

Assim,  $L_g=38.7$  mm e  $W_g=47.1$  mm.

A Figura 3.4 demonstra a antena *patch* desenvolvida com as especificações pretendidas.

### 3.1.2.1 Frequência de operação da antena

O parâmetro  $S_{11}$  é um coeficiente de reflexão de entrada e representa o nível de potência que é refletido a partir da antena. Se o parâmetro  $S_{11} = 0$ , então toda a potência é refletida pela antena e nada é irradiado. A Figura 3.5 apresenta o parâmetro  $S_{11}$  simulado da antena. Desta forma, é possível verificar que a antena opera melhor na banda dos 2.4 GHz, como se pretendia, apesar de ocorrer um pequeno desvio deste valor.

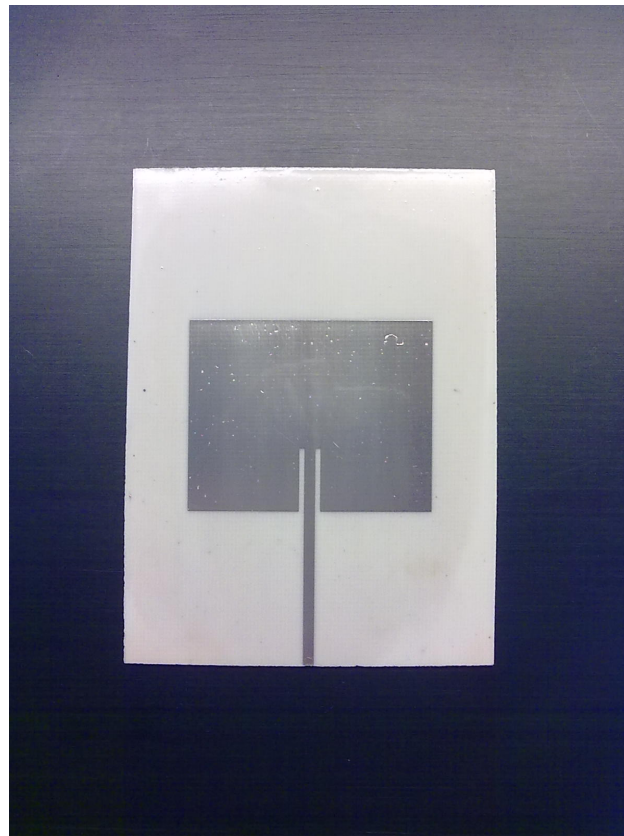


Figura 3.4: Antena *patch* com as características e dimensões projetadas

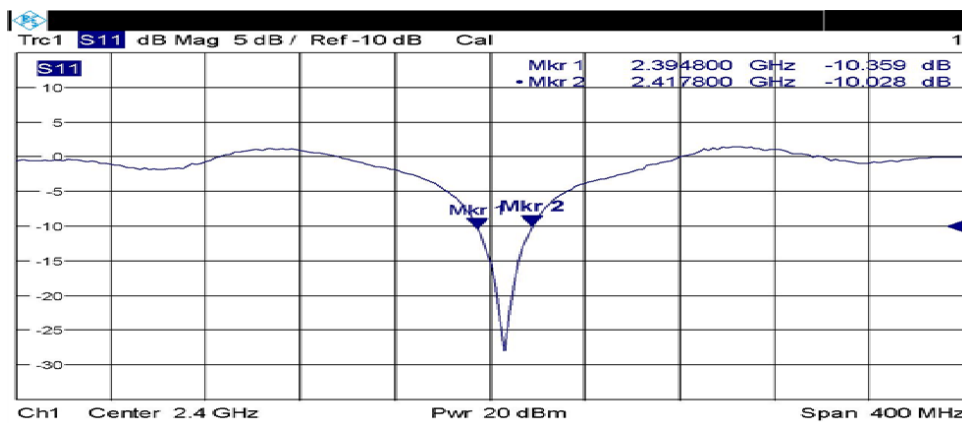


Figura 3.5: Simulação do parâmetro S11 da antena *patch*. Fonte: [1]

### 3.2 Placa de medição de potência

Existem 4 placas de medição, uma para cada antena. Estas placas têm a finalidade de medir a potência proveniente de cada antena.

Cada placa apresenta uma entrada para o sinal rádio frequência e uma saída que fornece uma tensão proporcional à potência de entrada, isto é, a potência à entrada do sinal recebido em dBm

é convertida em volt. O circuito integrado utilizado (ADL5513-R7) para fazer a conversão pode ser utilizado numa gama de potência entre os -80 e 10 dBm. As frequências de operação deste circuito integrado encontram-se entre os 100 MHz e os 4 GHz. Para além disso, o circuito apresenta características como bom tempo de resposta e baixa sensibilidade a variações de temperatura.

Cada antena é controlada por cada um dos módulos ilustrados na Figura 3.6.

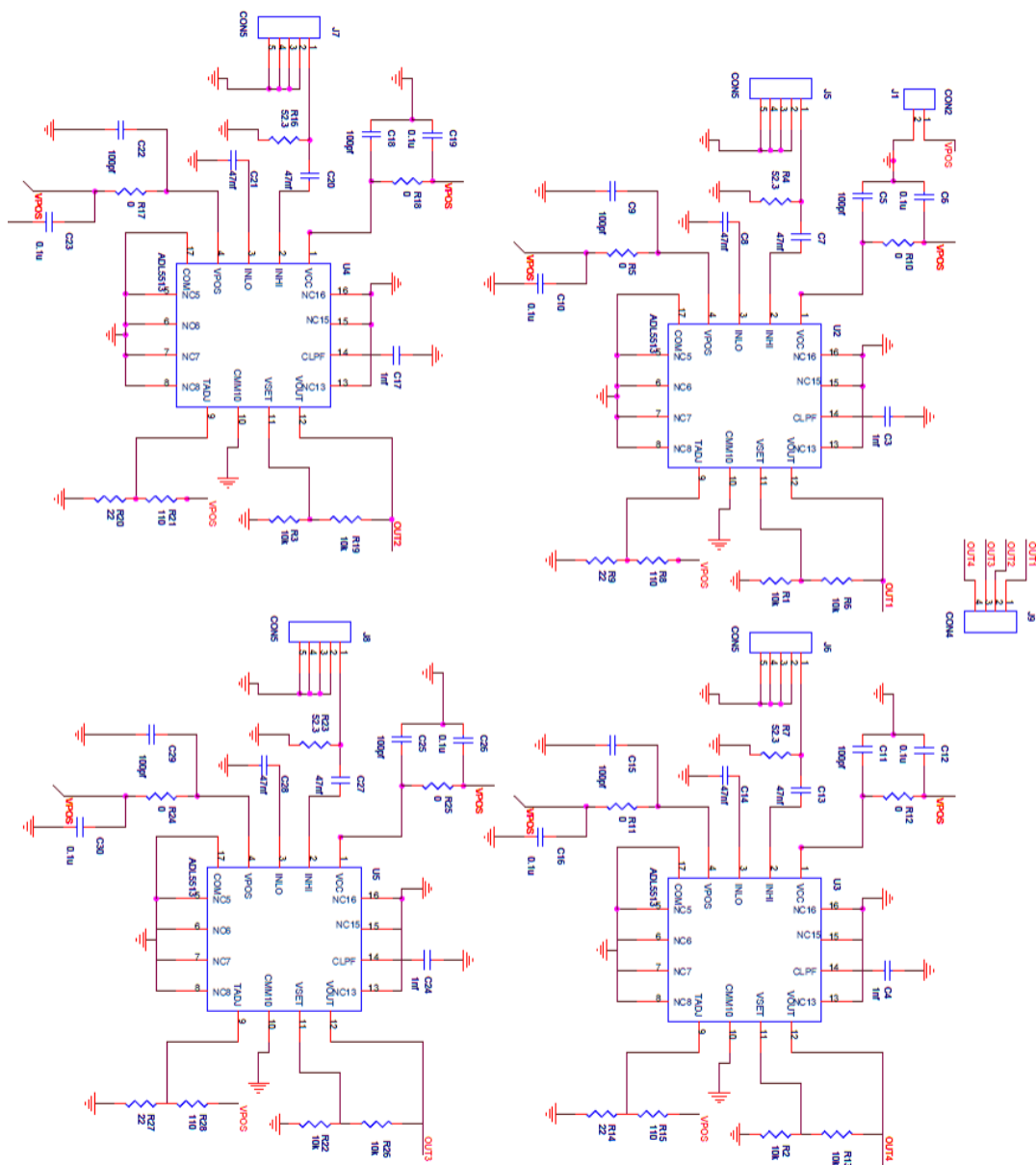


Figura 3.6: Desenho do esquema global da placa. Fonte: [1]

### 3.3 Controlador de interface programável Arduino

Outra parte fundamental que compõe o sistema final é o controlador de interface programável Arduino, ilustrado na Figura 3.7. O Arduino apresenta grande versatilidade com diversas funcionalidades e características entre as quais:

- conversores analógicos/digitais;
- diferentes entradas e saídas para ligações com outros dispositivos periféricos;
- possibilidade de utilizar diversas linguagens de programação como C/C++, Java, Matlab, etc.

Cada conversor analógico/digital possui uma resolução de 10 bit, equivalente a 1024 estados possíveis ( $2^{10} = 1024$ ), isto é, são distinguidos 1024 níveis de tensão. Para cada saída da placa de medição de potência, existe uma ligação correspondente à entrada do conversor analógico/digital do Arduino.

Com os valores obtidos a partir dos conversores do Arduino é possível calcular as tensões e potências de cada antena com o auxílio do MATLAB e, desta forma, estimar o ângulo de chegada do sinal através dos algoritmos implementados no MATLAB.

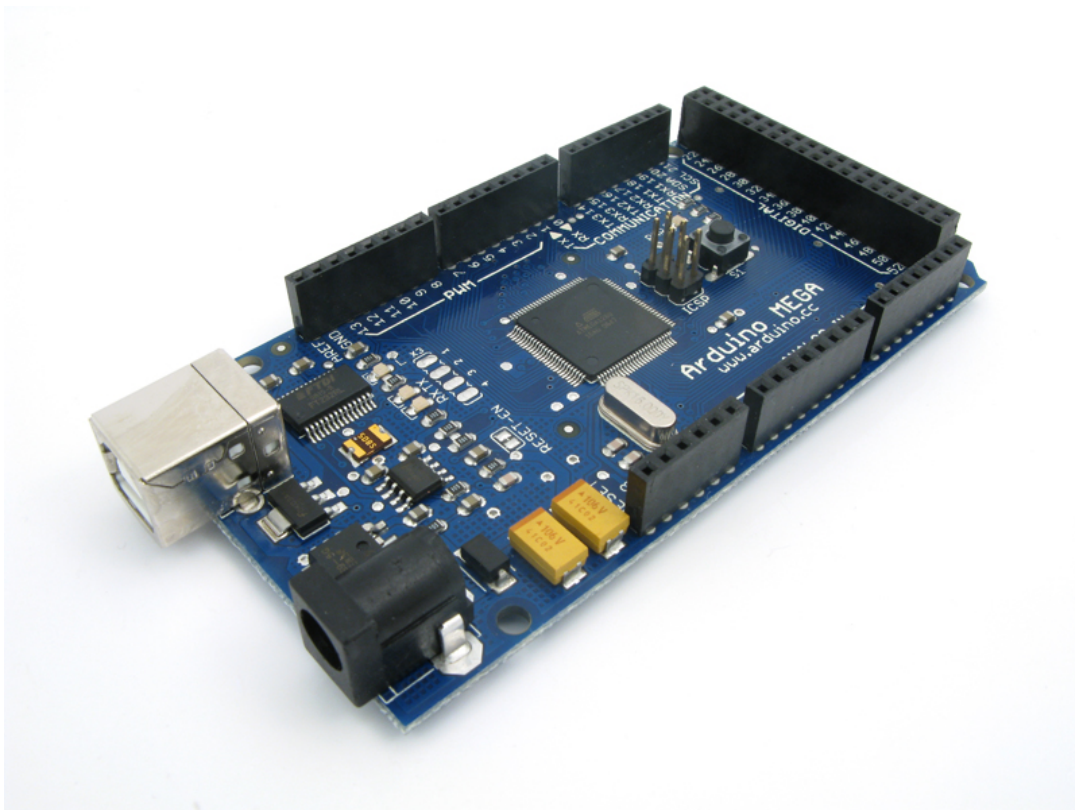


Figura 3.7: Placa Arduino. Fonte: [10]

### 3.4 Sistema final

A Figura 3.8 ilustra o diagrama de blocos que fazem parte do sistema global. Existem quatro antenas *patch*, colocadas num suporte circular, com um afastamento entre estas de  $90^\circ$ .

As antenas fazem ligação com a placa de medição de potência que contém o detetor logarítmico capaz de medir a potência do sinal RF. Esta placa também se encontra ligada ao Arduino, através das entradas do conversor analógico-digital. Finalmente, a ligação entre o Arduino e o computador é realizada através duma porta série.

Posteriormente, os dados recebidos no computador são utilizados no programa MATLAB para efetuar os cálculos necessários e percorrer os algoritmos implementados para a estimação do ângulo de chegada da fonte.

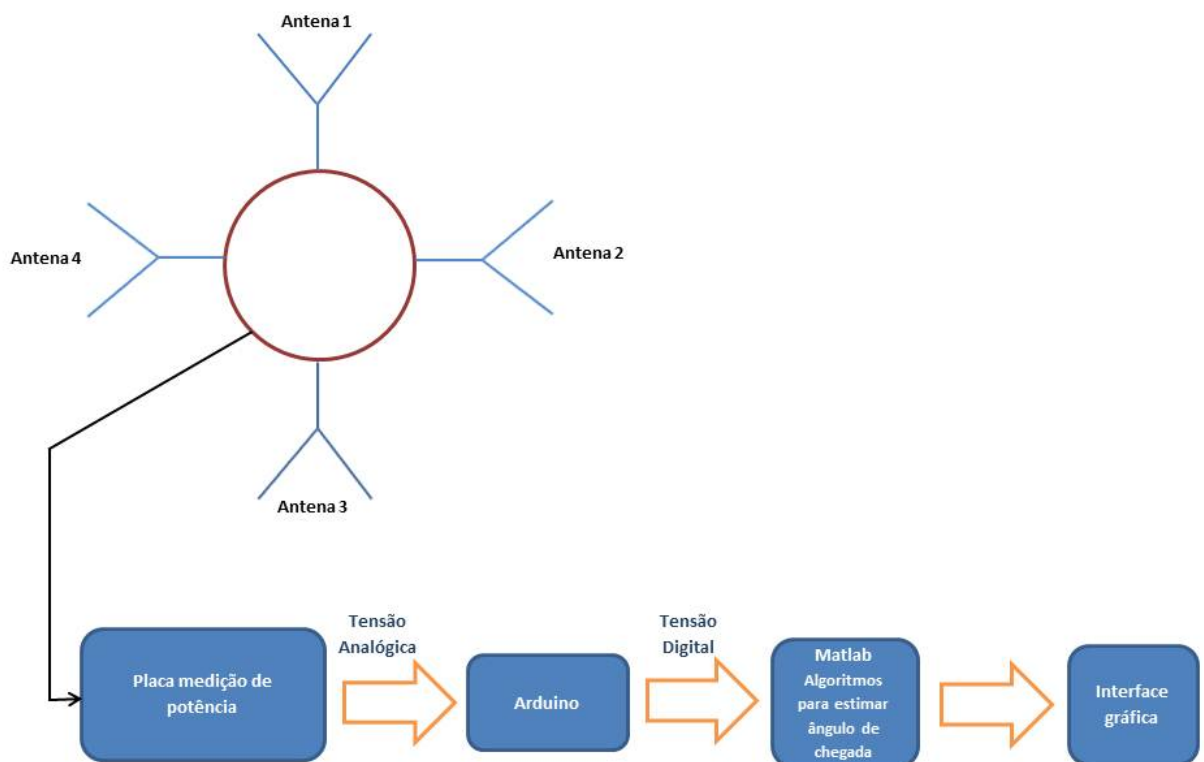


Figura 3.8: Diagrama de blocos do sistema global



## Capítulo 4

# Revisão dos métodos utilizados

Neste capítulo são resumidos os vários métodos de localização desenvolvidos por Esequiel Pereira [1]. Para além disso, é referido de entre os diversos métodos qual o melhor, isto é, o que apresenta melhor precisão no ângulo de chegada estimado comparativamente com o ângulo de chegada real.

### 4.1 Potência do sinal recebido

Neste trabalho é utilizada a técnica de medição através da intensidade do sinal recebido (RSS). Esta técnica é baseada na intensidade do sinal recebido para estimar as distâncias entre o transmissor e o recetor. No entanto, em ambientes *indoor* o sinal não se comporta da mesma forma como em espaço livre, devido às reflexões provocadas por pessoas, paredes ou qualquer outro tipo de objetos presentes nestes espaços.

A equação 4.1 descreve a potência do sinal recebido em função da distância dada através de:

$$P_r(d)[dBm] = P_0(d_0)[dBm] - 10n_p \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (4.1)$$

onde  $P_0(d_0)[dBm]$  corresponde a um valor de potência de referência a uma distância  $d_0$  do transmissor,  $n_p$  representa a taxa de perda em que o sinal decresce com a distância dependendo do tipo de ambiente em que se propaga,  $X_\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição Gaussiana e desvio padrão  $\sigma$  que representa o efeito causado pelas obstruções e propagação multipercurso. O parâmetro  $n_p$  recebe, geralmente, valores entre 2 e 3 para ambientes abertos e 2 e 4 para ambientes fechados. Assim, desta forma, desprezando a contribuição de  $X_\sigma$  é possível estimar a distância  $d$  através da equação:

$$d = d_0 \times 10^{\frac{P_0(d) - P_r(d)}{10 \times n_p}} \quad (4.2)$$

Esta técnica não é muito precisa principalmente em ambientes que apresentam obstáculos que provocam a redução da intensidade do sinal e originam propagação multipercurso.

## 4.2 Métodos utilizados para determinação do ângulo

Para conseguir obter e estimar o ângulo de chegada são propostos 3 métodos com abordagens diferentes. De notar, que a precisão dos métodos a utilizar depende da diretividade das antenas e dos seus diagramas de radiação respetivos. Cada método apresenta resultados diferentes.

Os 3 métodos para determinação do ângulo de chegada são:

- **Método da tangente**
- **Método das parábolas**
- **Método das tabelas**

### 4.2.1 Método da tangente

O suporte circular é composto por 4 antenas, colocadas uniformemente e separadas por  $90^\circ$  nesse suporte. Assumindo que a contagem em graus se inicia a partir da antena 1, tem-se o seguinte: a antena 1 encontra-se em  $\theta=0$ , a antena 2 em  $\theta=90^\circ$ , a antena 3 em  $\theta=120^\circ$  e, finalmente, a antena 4 em  $\theta=270^\circ$ .

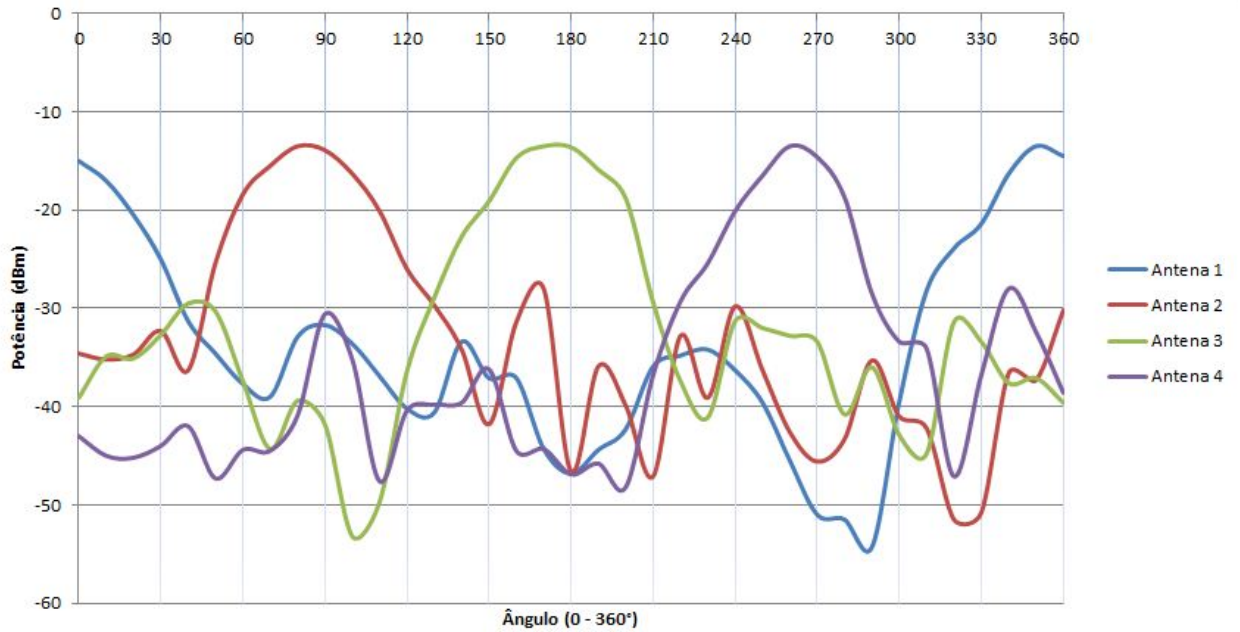
O diagrama de potência das antenas obtido e ilustrado na Figura 4.1, pode ser aproximado por uma curva sinusoidal, ou seja, por uma função  $\sin \theta$  ou  $\cos \theta$ . Devido ao desfasamento de  $90^\circ$  entre as antenas, 2 antenas terão um comportamento equivalente à função  $\sin$  e as 2 antenas restantes à função  $\cos$ , relativamente aos seus diagramas de potência.

Para o cálculo do ângulo  $\theta$ , é necessário saber de entre as 4 antenas quais as 2 que estão a receber maior potência para, desta forma, saber qual o quadrante do círculo. Por exemplo, supondo que a antena 1 está a receber a maior potência, verifica-se qual a segunda antena a receber mais potência. Se for a antena 2, pode-se concluir que o ângulo de chegada se encontra no quadrante 1, e é dado por:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (4.3)$$

Caso contrário, isto é, se for a antena 4 a receber a segunda maior potência, o ângulo de chegada encontra-se no quarto quadrante, logo é dado por:

$$\theta = 270 + \tan^{-1} \left( \frac{P_4}{P_1} \right) \quad (4.4)$$

Figura 4.1: Diagrama de radiação das antenas *patch*

Para os restantes casos, as equações para os valores de  $\theta$  são descritas na Tabela 4.1.

1ª Antena com maior potência	2ª Antena com maior potência	Quadrante	Ângulo $\theta$
Antena 1	Antena 2	1	$\tan^{-1} \left( \frac{P_2}{P_1} \right)$
Antena 1	Antena 4	4	$270 + \tan^{-1} \left( \frac{P_1}{P_4} \right)$
Antena 2	Antena 1	1	$90 - \tan^{-1} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$
Antena 2	Antena 3	2	$90 + \tan^{-1} \left( \frac{P_3}{P_2} \right)$
Antena 3	Antena 2	2	$180 - \tan^{-1} \left( \frac{P_2}{P_3} \right)$
Antena 3	Antena 4	3	$180 + \tan^{-1} \left( \frac{P_4}{P_3} \right)$
Antena 4	Antena 3	3	$270 - \tan^{-1} \left( \frac{P_3}{P_4} \right)$
Antena 4	Antena 1	4	$270 + \tan^{-1} \left( \frac{P_1}{P_4} \right)$

Tabela 4.1: Valores de  $\theta$  para os diversos casos

#### 4.2.2 Método das parábolas

Neste método, os diagramas de radiação obtidos para cada antena, são aproximados por polinómios de ordem quadrática do tipo:

$$P(\theta) = a\theta^2 + b\theta + c \quad (4.5)$$

Inicialmente, o sistema mede as potências das 4 antenas. De seguida, são resolvidas as equações e são obtidas as suas raízes (duas raízes para cada equação). Determina-se quais das raízes devem ser usadas para calcular e se obter a estimativa do ângulo de chegada, recorrendo-se à técnica apresentada no método da tangente (determinar os quadrantes). Finalmente, é determinado o ângulo calculando a média das raízes que pertencem ao quadrante determinado.

### 4.2.3 Método das tabelas

É usada uma tabela com as potências medidas previamente para cada antena em função do ângulo de chegada. Quando o sistema mede um conjunto de potências, inicia uma procura para verificar qual o conjunto de valores de potência da tabela é que está mais próximo, ou seja, a uma menor distância quadrática e é retornado o ângulo de chegada estimado. A precisão deste método depende diretamente da quantidade de registos prévios de potências guardados, isto é, um registo de potências de 1 em 1° é mais preciso do que um registo de potências de 5 em 5°, no entanto, uma maior precisão implica um número elevado de registos de potência demorando mais tempo o processo de registo.

De entre os três métodos descritos anteriormente, o método das tabelas é o que apresenta maior precisão na estimação do ângulo de chegada. A Figura 4.2 apresenta a interface gráfica (produzida em MATLAB) utilizada para apresentar diversos parâmetros nomeadamente os valores das potências e os ângulos real e estimado. O sistema de antenas é alinhado inicialmente com a fonte emissora e a rotação é controlada por um suporte giratório, sabendo sempre a posição angular da fonte emissora.

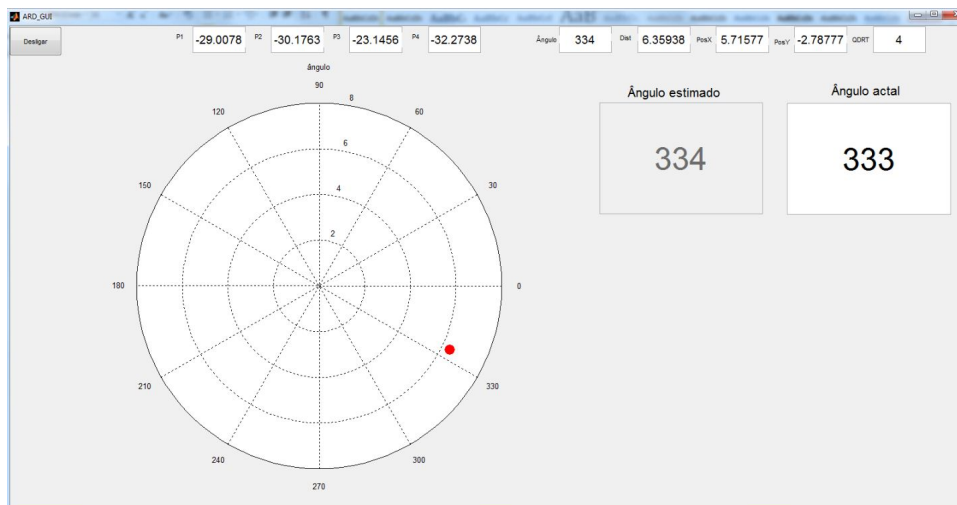


Figura 4.2: Interface gráfica utilizada para estimar o ângulo de chegada. Fonte: [1]

### 4.3 Materiais utilizados

Para criar um sinal de radiofrequência que seja detetável através do sistema de antenas recetoras, são necessários dois aparelhos essenciais para esse efeito: uma antena emissora e um gerador de sinais. De seguida, são apresentados os materiais que foram disponibilizados e utilizados nos testes com o sistema de antenas.

O tipo e o modelo da antena emissora é *Log-Periodic Dipole Antenna HL040* da *Rohde & Schwarz*. Esta antena permite operar numa gama de frequências entre os 400 a 3000 MHz com um ganho praticamente constante ao longo dessa gama.



Figura 4.3: Antena emissora utilizada: *Log-Periodic Dipole Antenna HL040*

Os diagramas de radiação da antena variam consoante a frequência utilizada como é ilustrado na Figura 4.4. As linhas a tracejado representam o campo magnético e as restantes o campo elétrico.

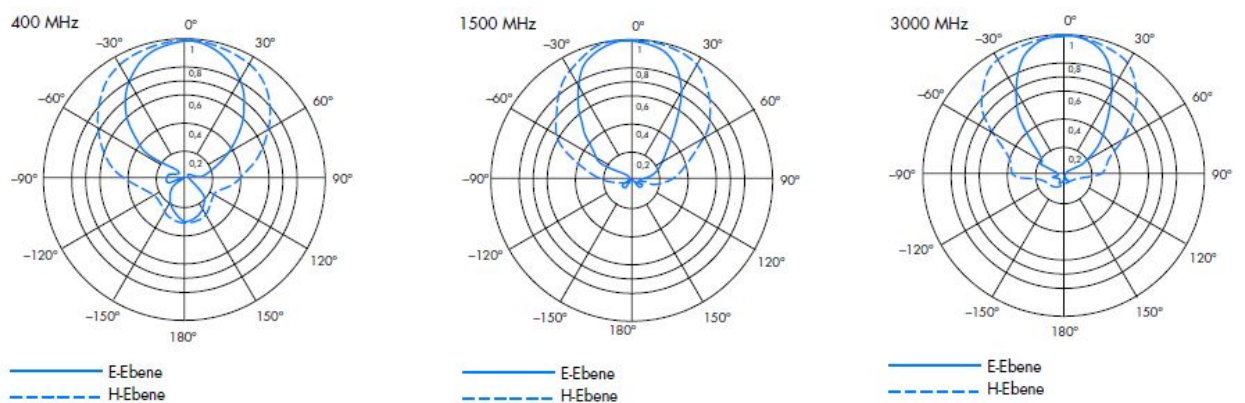


Figura 4.4: Diagramas de radiação da antena *Log-Periodic Dipole Antenna HL040*

A Tabela 4.2 resume as principais especificações da antena emissora utilizada.

Especificações	
Gama de Frequências	400 MHz - 3 GHz
Polarização	linear
Impedância	50 $\Omega$
SWR	<2.5 typ. <2.0
Ganho	5 a 10 dBi

Tabela 4.2: Especificações principais da antena emissora *Log-Periodic Dipole Antenna HL040*

A frequência e a potência do sinal injetadas na antena são realizadas a partir do gerador de sinais *Rohde & Schwarz SMIQ03B Signal Generator*. A sua gama de operação situa-se entre os 300 KHz e 3.3 GHz.



Figura 4.5: Gerador de sinais utilizado: *Rohde & Schwarz SMIQ03B Signal Generator*

A Tabela 4.3 resume as principais especificações do gerador de sinais utilizado.

Especificações	Valores
Gama de Frequências	300 KHz - 3.3 GHz
Resolução de Frequência	0.1 Hz
Gama de saída	-140 dBm - 13 dBm
Resolução de saída	0.1 dB

Tabela 4.3: Especificações principais do gerador de sinais *Rohde & Schwarz SMIQ03B*

## Capítulo 5

# Experiências realizadas

Neste capítulo são apresentadas várias experiências realizadas com o sistema de antenas e explicadas algumas formas e técnicas construídas para diminuir o impacto da interferência mútua entre as antenas. Para além disso, são apresentados possíveis modelos teóricos do comportamento do sinal refletido em várias situações.

### 5.1 Construção de proteções para as antenas

Um dos objetivos principais deste trabalho, consiste em arranjar alguma forma de minimizar a interferência mútua entre as antenas, isto é, minimizar o impacto que cada antena tem na leitura de potência de outra antena adjacente. Para tal, optou-se por construir uma proteção para cada antena. Esta proteção consiste simplesmente numa cartolina coberta na parte interior por papel metálico. Desta forma, espera-se que a leitura de potência de cada antena seja mais precisa.

A Figura 5.1 ilustra uma proteção metálica.



Figura 5.1: Modelo de uma proteção coberta interiormente com papel metálico

Cada antena que compõe o sistema tem a sua própria proteção como é ilustrado na Figura 5.2.

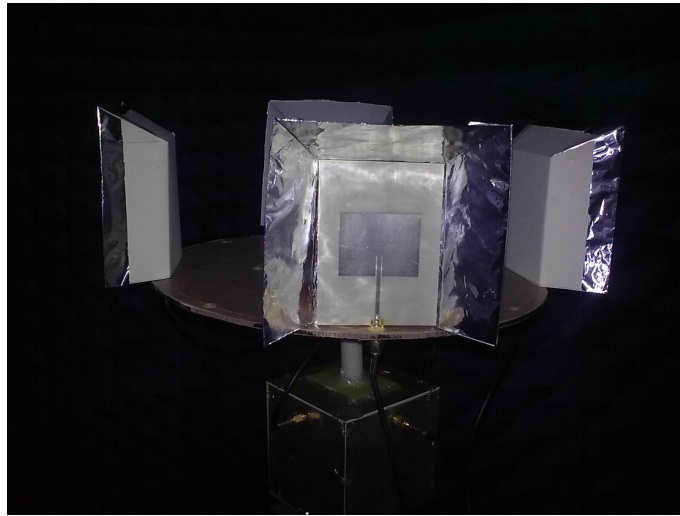


Figura 5.2: Sistema de antenas no interior da câmara anecoica com as proteções colocadas

### 5.1.1 Resultados obtidos com e sem proteções na câmara anecoica

São apresentados de seguida os gráficos de potência obtidos no interior da câmara anecoica com e sem a utilização das proteções. Foram registados os valores de potência para cada antena numa rotação completa ( $0^\circ - 360^\circ$ ) de 5 em  $5^\circ$ . O sistema de antenas foi colocado num suporte giratório com um motor que é controlado a partir de um computador onde é especificado em graus a rotação que se pretende.

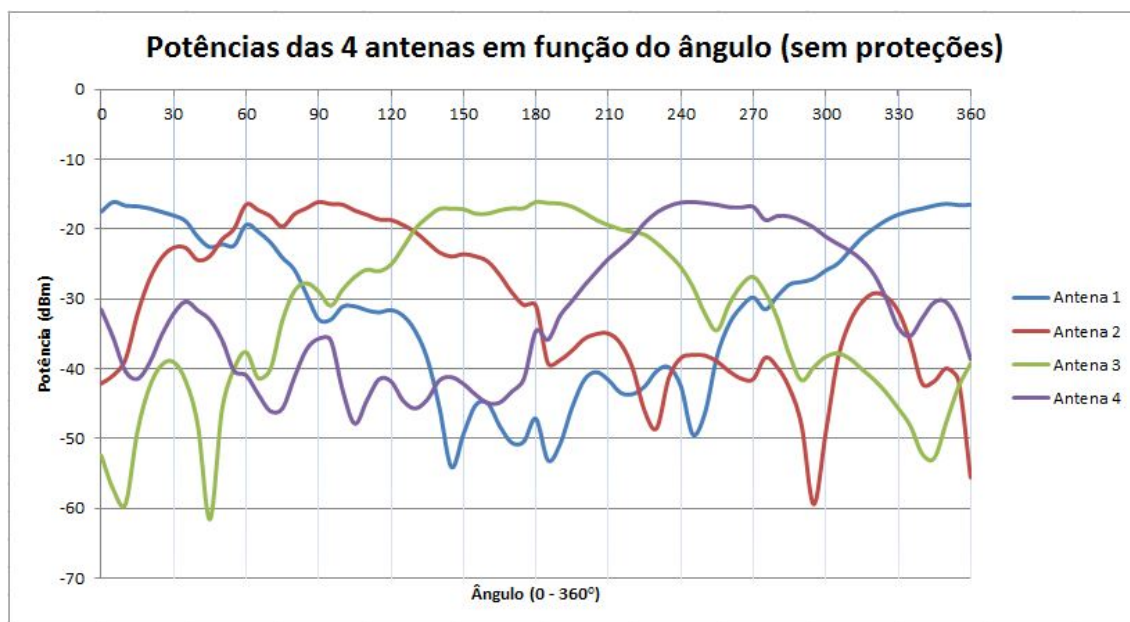


Figura 5.3: Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa ( $360^\circ$ ) sem o uso de proteções

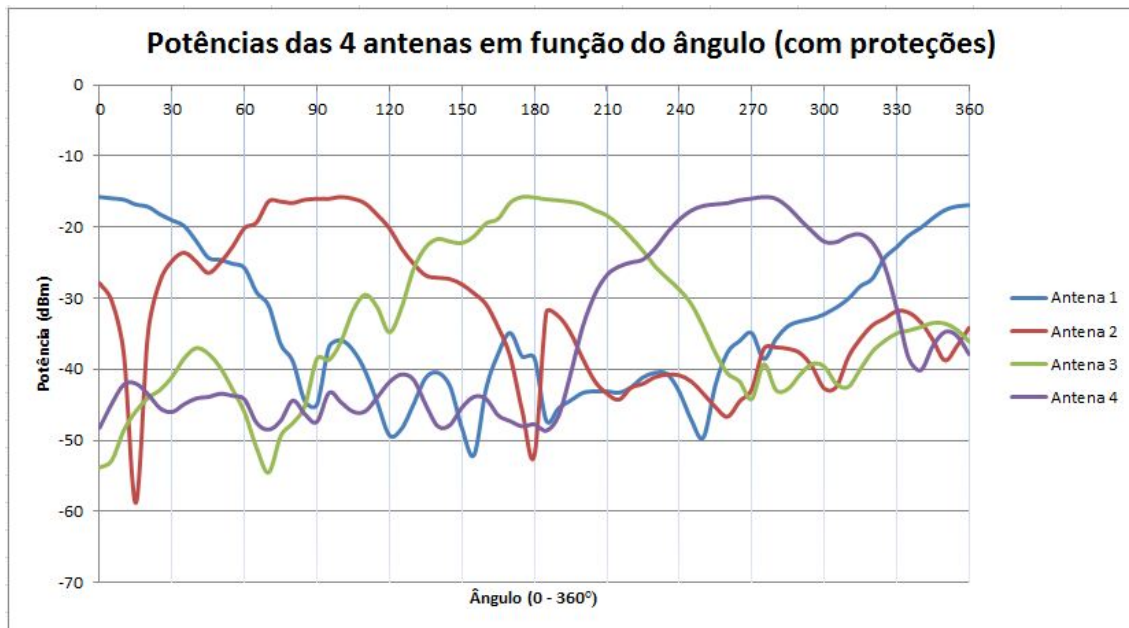


Figura 5.4: Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) com o uso de proteções

Avaliando as Figuras 5.3 e 5.4 é possível reparar nas curvas originadas, em forma de parábola, devido à potência recebida em cada antena. A antena 1 tem o seu máximo de potência à volta dos 0°, a antena 2 apresenta um máximo aos 90°, a antena 3 apresenta um máximo aos 180° e a antena 4 apresenta um valor de potência mais elevado à volta dos 270°. Como seria de esperar, existe um máximo de potência em intervalos de 90° devido à disposição geométrica das quatro antenas e ao facto que cada uma das antenas tem máxima captação na sua linha radial.

Olhando atentamente nos dois gráficos de potência, essencialmente a partir dos  $-30\text{dBm}$  para valores superiores, verifica-se que no primeiro caso, onde não são utilizadas as proteções, existem mais picos nas curvas em relação ao segundo caso onde são utilizadas as proteções. Para além disso, repare-se na interseção das curvas de potência entre as antenas adjacentes. É claramente visível que no segundo caso estas interseções ocorrem a um nível de potência inferior em relação ao primeiro caso e, desta forma, são obtidas curvas de potência mais bem definidas para cada antena. No primeiro caso, sem o uso de proteções, ocorre uma interseção entre a antena 2 e a antena 3 à volta dos  $-20\text{dBm}$ , enquanto que no segundo caso, com o uso de proteções, todas as interseções entre as antenas ocorrem à volta dos  $-25\text{dBm}$ .

Assim, qualquer um dos métodos enunciados no Capítulo 4, beneficiará desta maior discriminação de potências entre as antenas.

### 5.1.2 Resultados obtidos com proteções maiores na câmara anecoica

Para verificar se era possível melhorar as curvas de potência das antenas, isto é, melhorar o isolamento entre as antenas, foram construídas proteções semelhantes mas como um tamanho maior. Depois de colocadas as proteções maiores em cada antena obteve-se o diagrama de potência ilustrado na Figura 5.5.

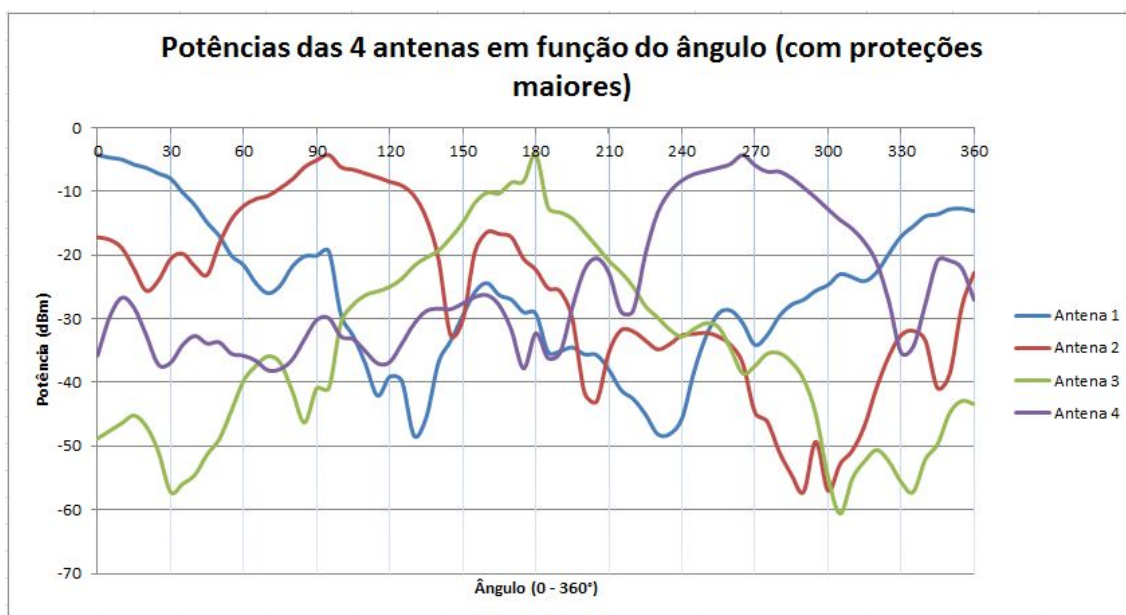


Figura 5.5: Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) com o uso de proteções maiores

A partir da Figura 5.5 verifica-se que as potências se aproximam dos 0 dBm, ou seja, as potências recebidas com a proteção maior são superiores às potências recebidas com as proteções menores.

Com a proteção maior, a energia recolhida por cada antena também é maior, no entanto, começam a surgir fenómenos que dependem do comprimento de onda e do tamanho da proteção metálica.

### 5.1.3 Resultados obtidos no exterior da câmara anecoica

Para verificar o comportamento do diagrama de potência de cada antena num ambiente com ruído, foi colocado o sistema de antenas fora da câmara anecoica, numa sala com vários objetos e sem material absorvente para simular um ambiente ruidoso.

A rotação do sistema de antenas foi efetuado manualmente devido à impossibilidade de usar o motor de rotação fixo que se encontra na câmara anecoica e que permite uma rotação mais precisa. As Figuras 5.6 e 5.7 ilustram os diagramas obtidos no exterior da câmara anecoica.

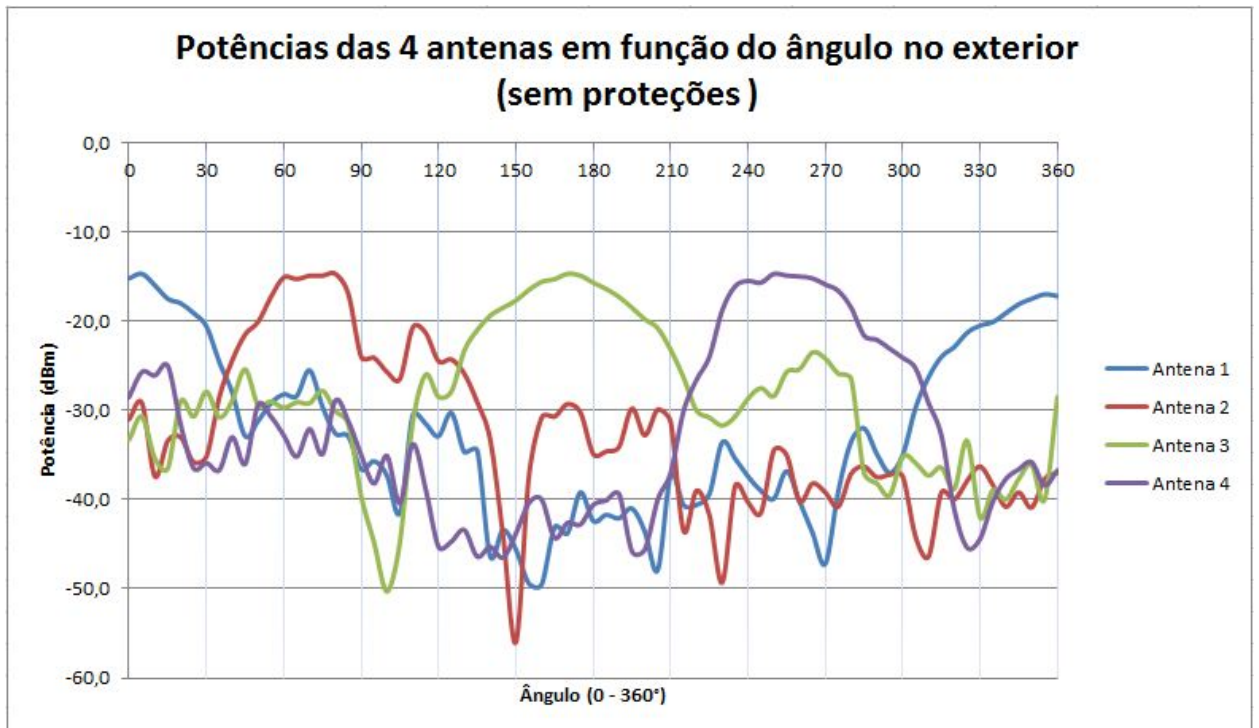


Figura 5.6: Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) fora da câmara anecoica e sem o uso de proteções

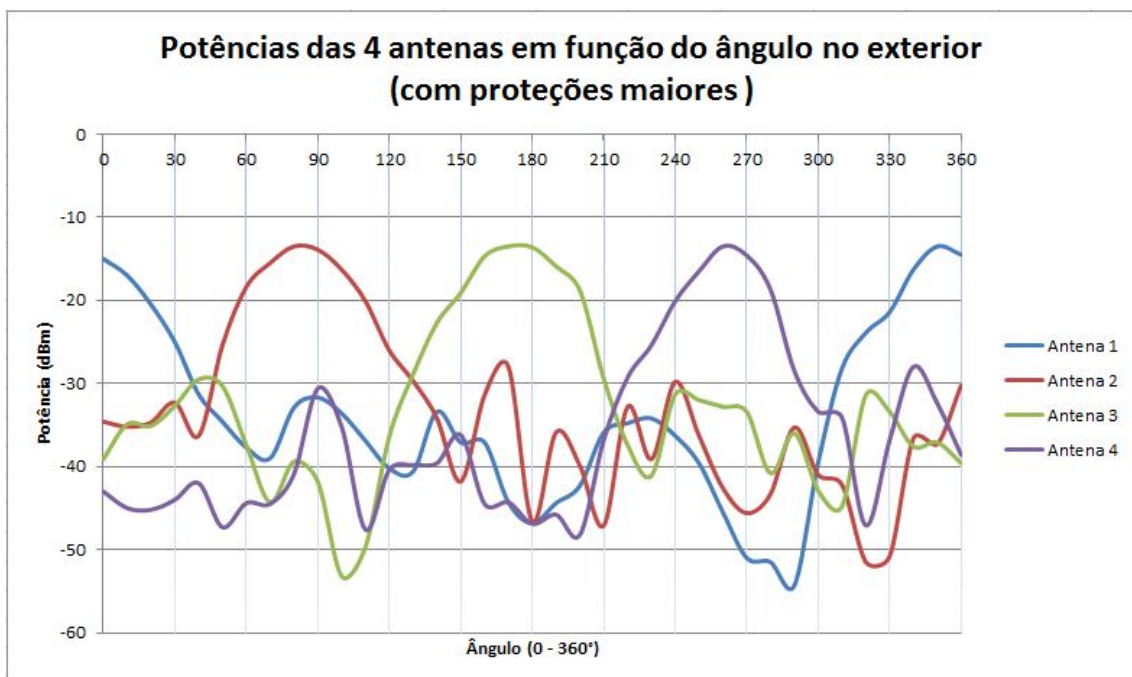


Figura 5.7: Representação das potências das quatro antenas ao longo de uma rotação completa (360°) fora da câmara anecoica e com o uso de proteções maiores

Nos dois casos, com e sem proteções, os ângulos e os valores de pico obtidos em cada curva de potência de cada antena não estão bem alinhados.

Estes desvios podem-se dever ao facto do alinhamento manual não ser perfeito durante as medições de potências entre o sistema de antenas e a antena emissora durante a rotação. No entanto, verifica-se que as curvas de potência da Figura 5.7 estão melhor definidas e não apresentam tantos picos aleatórios como nas curvas de potência da Figura 5.6. Mais uma vez, obtém-se curvas de potência melhor definidas com o uso de proteções.

## 5.2 Ângulo real e estimado

Para verificar a precisão do sistema de antenas relativamente ao ângulo de chegada, foram realizadas experiências no interior e exterior da câmara anecoica com e sem as proteções. O método usado para o cálculo do ângulo de chegada foi o método das tangentes. De entre os três métodos existentes (tangente, parábolas e tabelas), este método foi escolhido por ser o que apresentou pior resultado na estimação do ângulo como demonstrado no trabalho anterior [1]. Os resultados são apresentados de seguida em forma de gráficos. Foram registados os ângulos de 10 em 10° para uma rotação completa (0-360°).

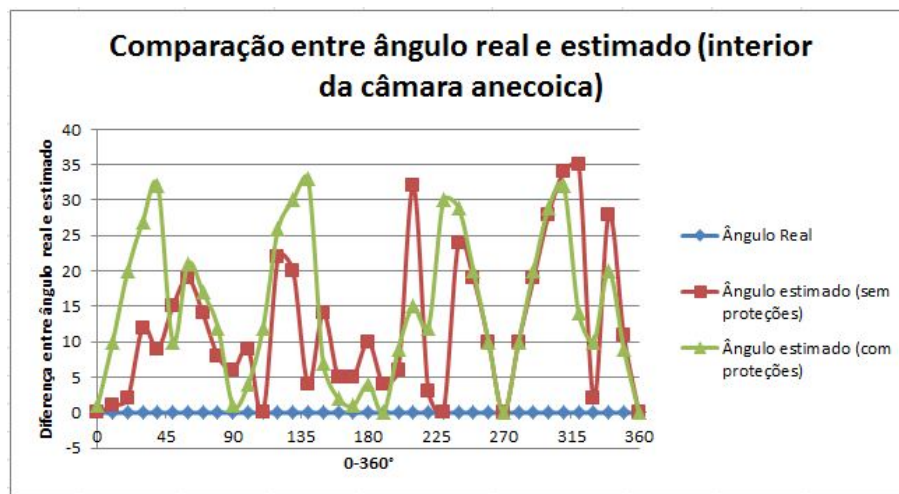


Figura 5.8: Comparação entre o ângulo real e estimado no interior da câmara anecoica com e sem proteções

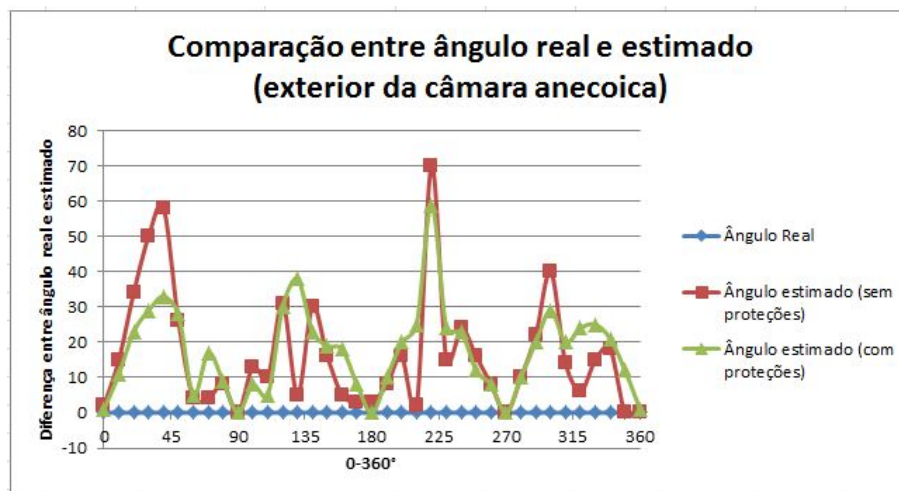


Figura 5.9: Comparação entre o ângulo real e estimado no exterior da câmara anecoica com e sem proteções

De acordo com os gráficos obtidos, verifica-se que existem variações maiores entre o ângulo real e estimado, ou seja, erros superiores no ângulo estimado para o teste realizado no exterior da câmara anecoica. Isto pode ser explicado pelo ruído devido a reflexões entre objetos e paredes e multipercurso do sinal que provocam uma má estimação do ângulo de chegada. No entanto, no teste que se realizou no interior da câmara anecoica, grande parte dos ângulos estimados estão longe dos ângulos reais apresentando-se erros significativos de valor máximo na ordem dos 35°. Mesmo com a utilização das proteções o método utilizado para o cálculo da estimação do ângulo não demonstra eficácia. Desta forma, apenas utilizando o método das tabelas [1] se obtém um ângulo estimado próximo do ângulo real como é descrito no Capítulo 4.

### 5.3 Simulação da reflexão do sinal

Foi feita uma simulação MATLAB que estuda a configuração usada nas medições exteriores à câmara anecoica, sobre a contribuição do sinal emitido pela antena emissora mais o sinal refletido na parede ou porta. As Figuras seguintes, ilustram o esquema da sala com a localização da antena emissora e recetora e os sinais.

Um primeiro caso de estudo consiste na simulação do sinal emitido pela antena emissora (AE) mais a contribuição do sinal refletido na parede da sala. A conjugação destes dois sinais vai alterar a potência recebida na antena recetora (AR). Teoricamente, o sinal quando reflete na parede tem uma inversão de fase do campo elétrico e, desta forma, é necessário ter em conta este efeito nos cálculos para a simulação.

Num segundo caso, a porta refletora é a responsável pela reflexão do sinal emitido. De forma semelhante ao caso anterior da parede, neste caso considera-se apenas o sinal recebido na antena recetora a contribuição do sinal da antena emissora mais o sinal refletido na porta.

As Figuras 5.12 e 5.13 que se seguem representam os valores máximos e nulos dos sinais diretos mais a contribuição da reflexão. Em alguns pontos do espaço os sinais anulam-se e, desta forma, o sinal recebido é muito fraco, e noutros pontos, os sinais adicionam-se, provocando um sinal recebido mais intenso pela antena recetora. A antena recetora (AR) encontra-se numa posição (X0, Y0) e é feito um varrimento de pontos na direção do eixo dos X e Y. O código MATLAB utilizado para produzir as Figuras 5.12, 5.13 e 5.14 encontra-se no Anexo A.

O propósito dos gráficos realizados em MATLAB serve para demonstrar a ideia da complexidade da situação, isto é, a grande variabilidade geométrica que existe do sinal soma nas situações descritas anteriormente. Desta forma, em determinadas situações a técnica baseada na intensidade do sinal recebido (RSS) e que é utilizada neste trabalho não é muito precisa, principalmente em ambientes que apresentam obstáculos que podem originar propagação multipercurso e variabilidade na intensidade do sinal.

## Situação reflexão na parede

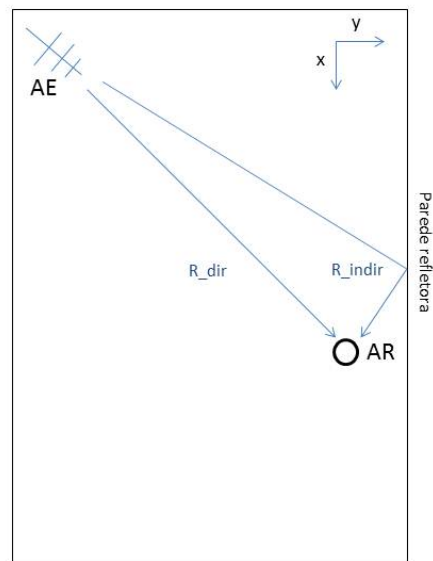


Figura 5.10: Representação da contribuição do sinal direto mais o sinal refletido na parede

## Situação reflexão na porta

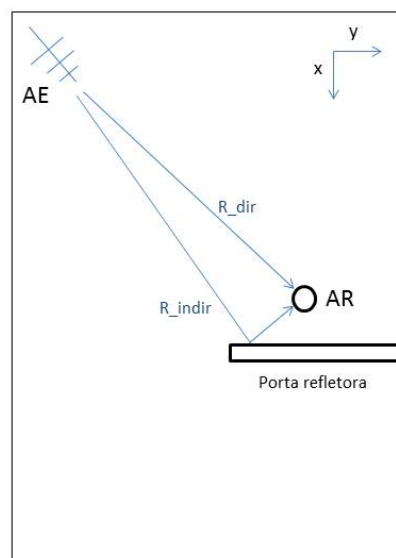


Figura 5.11: Representação da contribuição do sinal direto mais o sinal refletido na porta

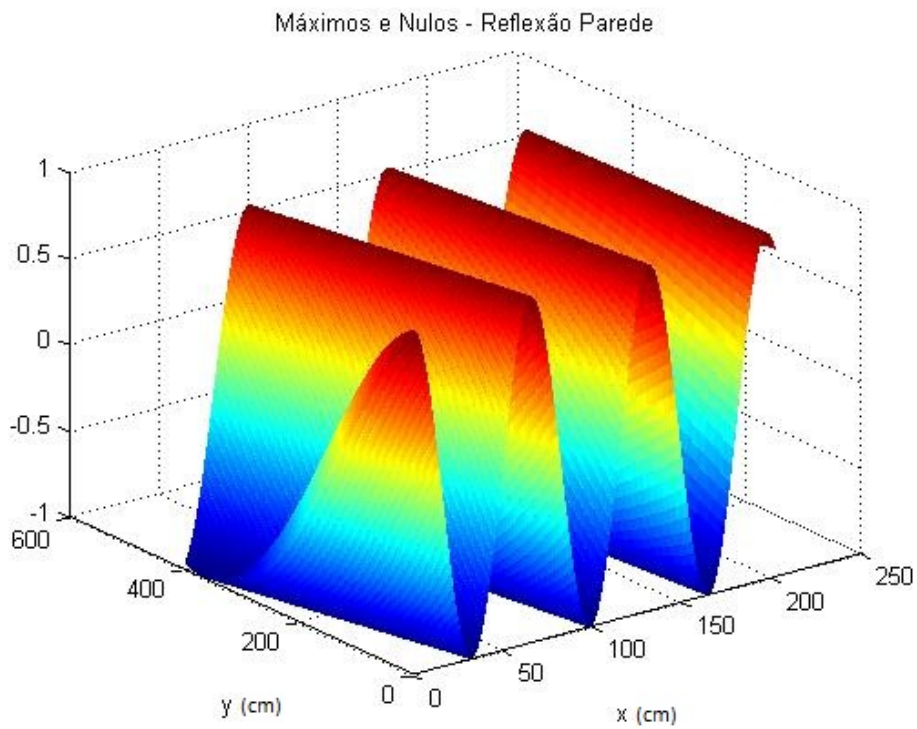


Figura 5.12: Contribuição do sinal direto mais a reflexão principal na parede. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal

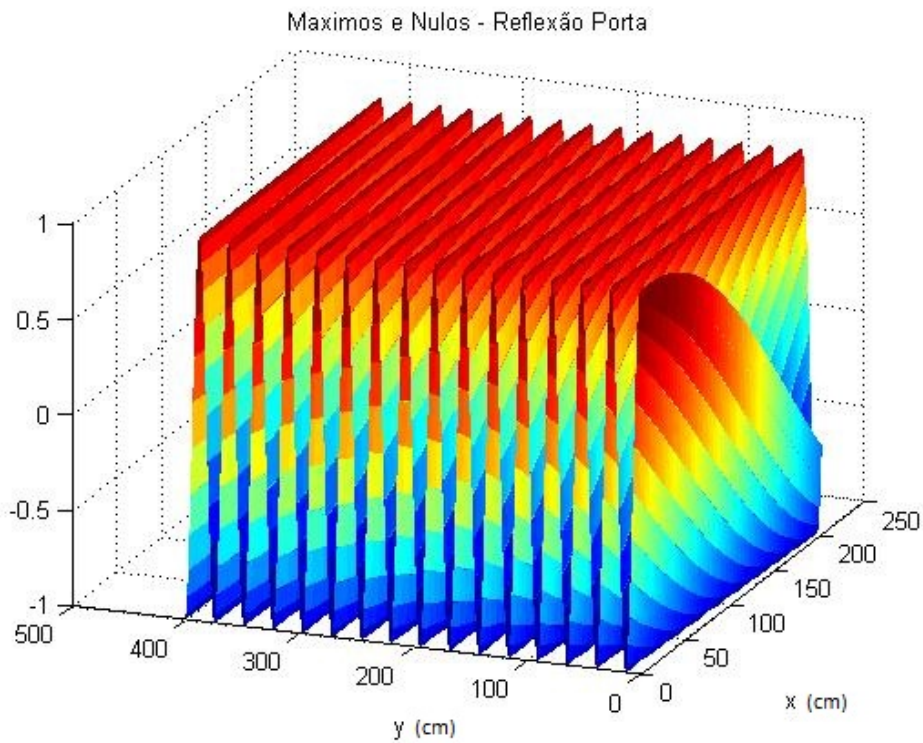


Figura 5.13: Contribuição do sinal direto mais a reflexão principal na porta. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal

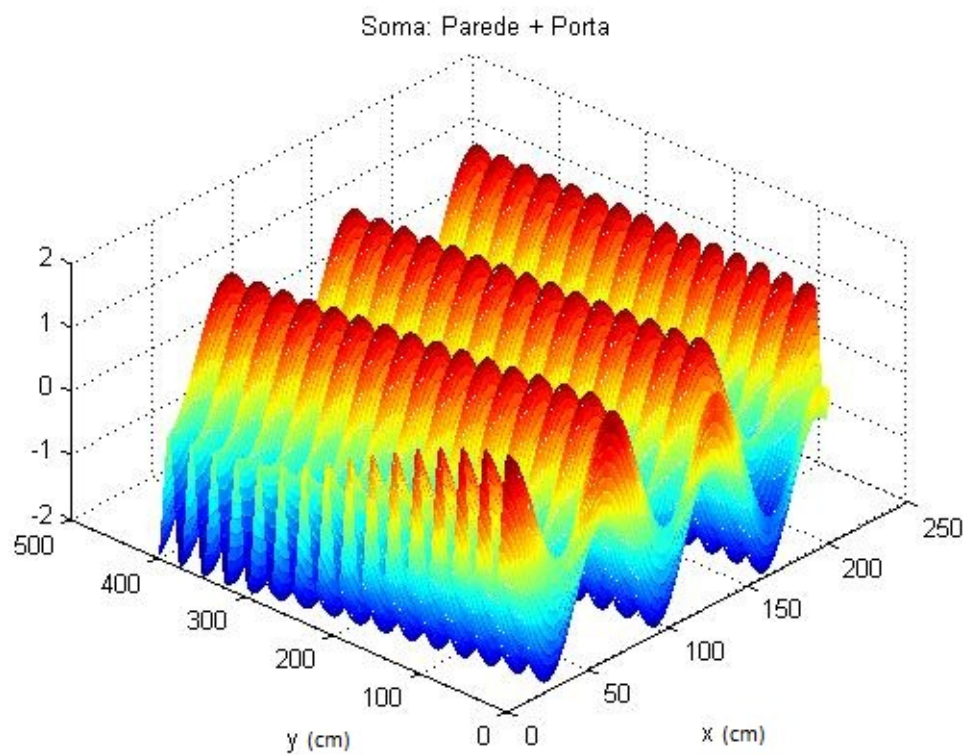


Figura 5.14: Contribuição do sinal direto, da reflexão principal na porta mais a reflexão principal na parede. Zonas a vermelho correspondem ao máximo do sinal e zonas a azul correspondem a anulamento do sinal

## 5.4 Simulação de 2 elementos de antenas

Utilizando 2 antenas elementares como ilustrado na Figura 5.15 obtém-se o diagrama de radiação horizontal representado na Figura 5.16. Sendo a frequência de operação das antenas  $f$  de 2.4 GHz e considerando a velocidade de propagação da luz  $c$ , as antenas estão separadas através de um comprimento de  $1\lambda$  equivalente a 12.5 cm. Existe um desfasamento na alimentação entre a antena 1 e a antena 2 de  $180^\circ$ . O diagrama de radiação em  $3D$  está representado na Figura 5.17. A simulação foi efetuada no programa *4nec2* [11].

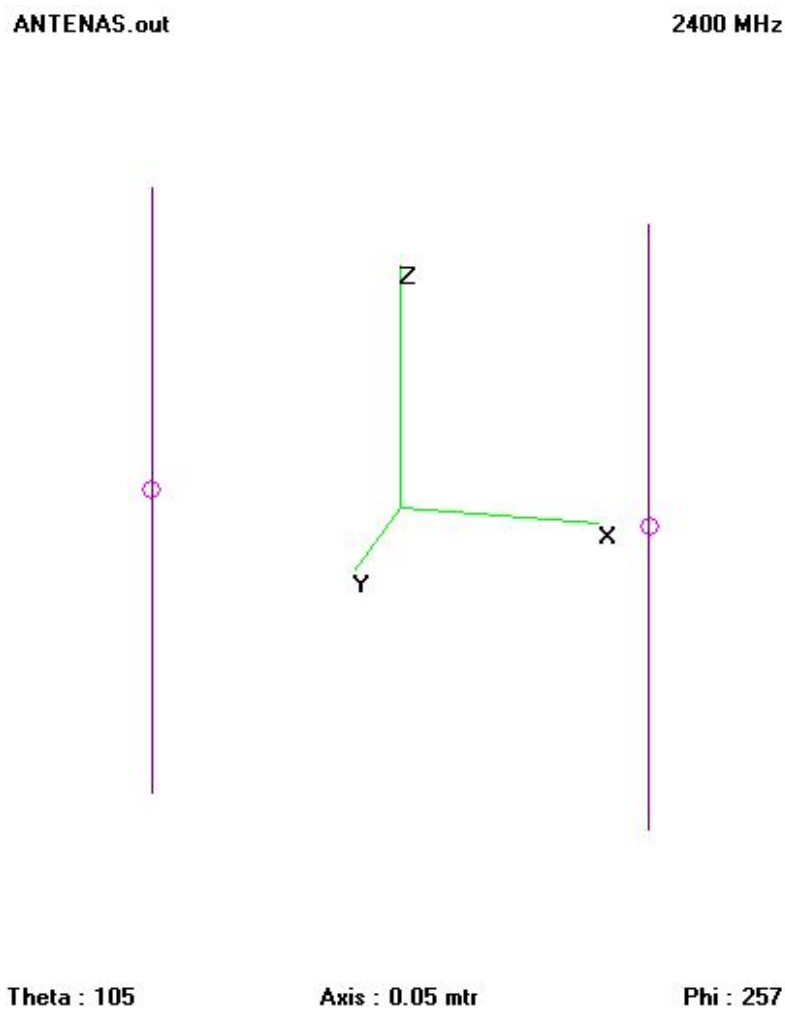


Figura 5.15: Dois elementos de antenas separados por  $\lambda$

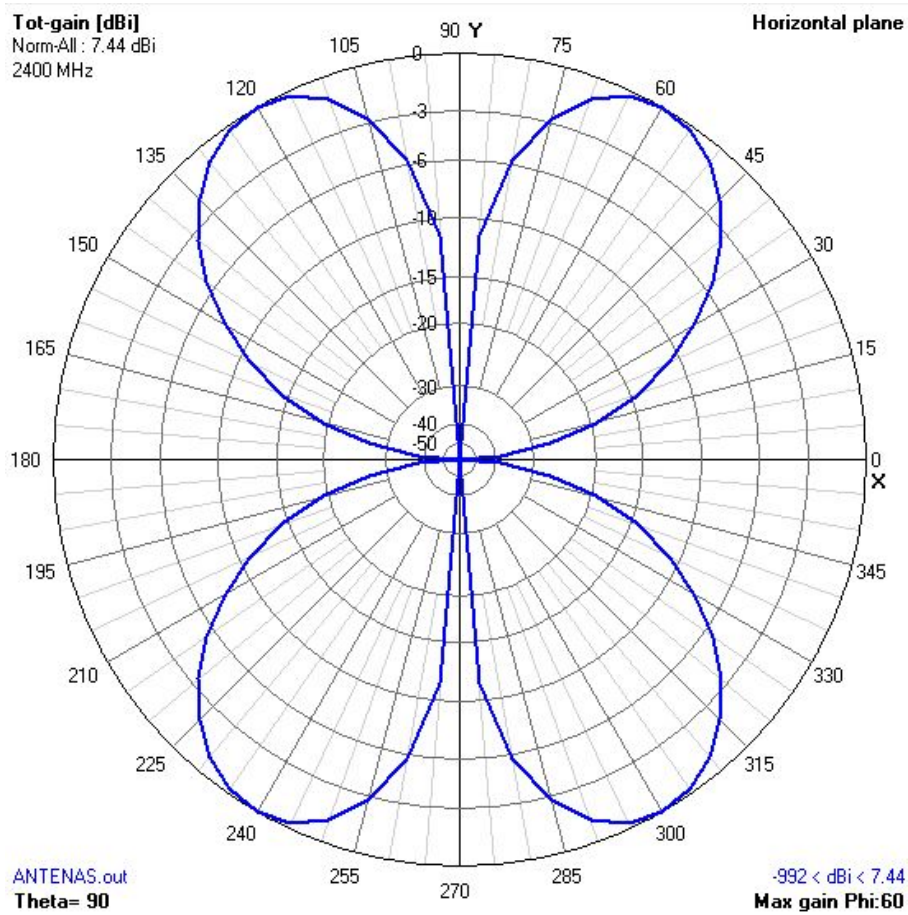


Figura 5.16: Diagrama de radiação horizontal do conjunto dos dois elementos de antenas

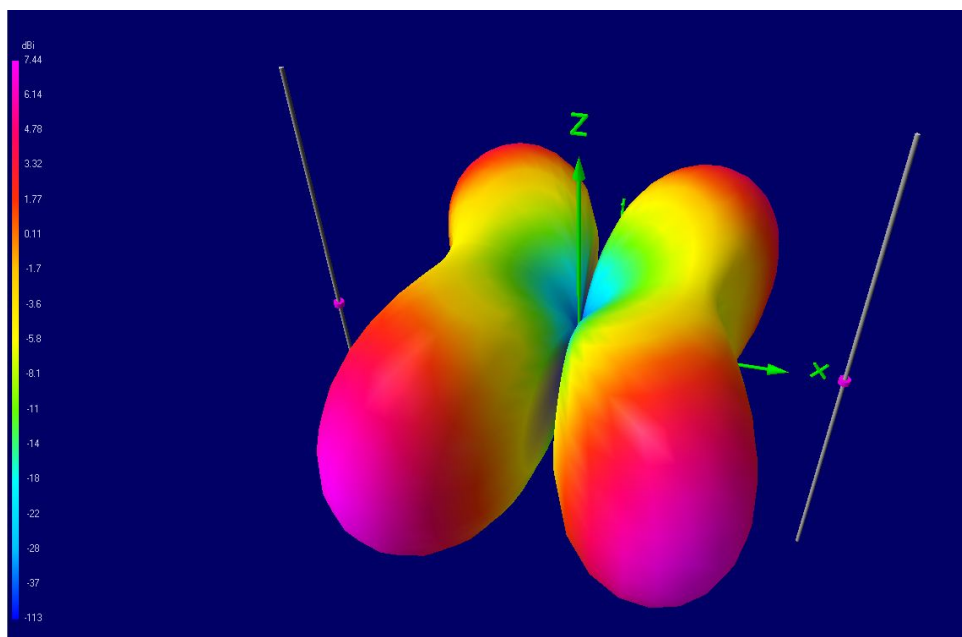


Figura 5.17: Diagrama de radiação em 3D do conjunto dos dois elementos de antenas

A utilização dos dois elementos de antenas desfasados de  $180^\circ$  podem ser equiparados à utilização de uma antena *patch* com uma “parede” refletora situada à distância de  $\frac{\lambda}{2}$ , equivalente a 6.25 cm. A Figura 5.18 ilustra o sistema apenas com uma antena mais a "parede" que não passa de um objeto metálico quadrangular. A “parede” refletora provoca uma inversão de fase do sinal de  $180^\circ$  e, desta forma, o diagrama de radiação seria semelhante ao diagrama de radiação do conjunto dos dois elementos de antenas. No entanto, o diagrama de radiação da antena *patch* não é igual a um elemento de antenas.

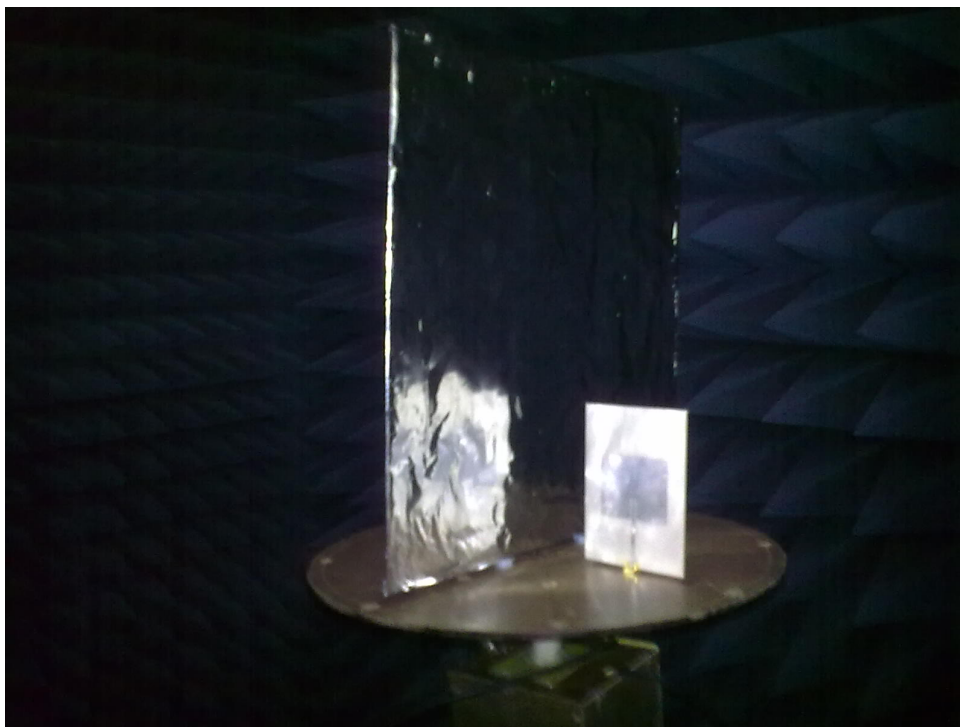


Figura 5.18: Sistema constituído por uma antena *patch* mais a “parede” metálica no interior da câmara anecoica

O diagrama de radiação de uma antena *patch* está representado na Figura 5.19. Para efetuar este diagrama foram registadas as potências que a antena recebia numa rotação completa de  $360^\circ$ , de 5 em  $5^\circ$ .

Fazendo a sobreposição do diagrama de radiação dos dois elementos de antenas, ilustrado na Figura 5.20, com o diagrama de radiação da antena *patch* da Figura 5.19 obtém-se o que se espera do diagrama de radiação do conjunto da antena *patch* mais a “parede” metálica.

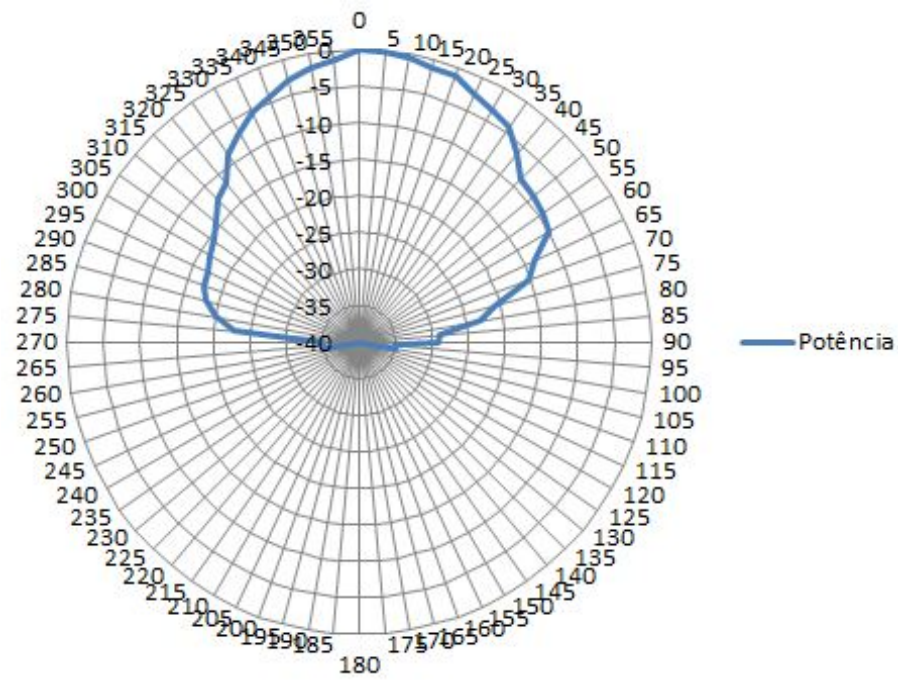


Figura 5.19: Diagrama de radiação de uma das antenas *patch*

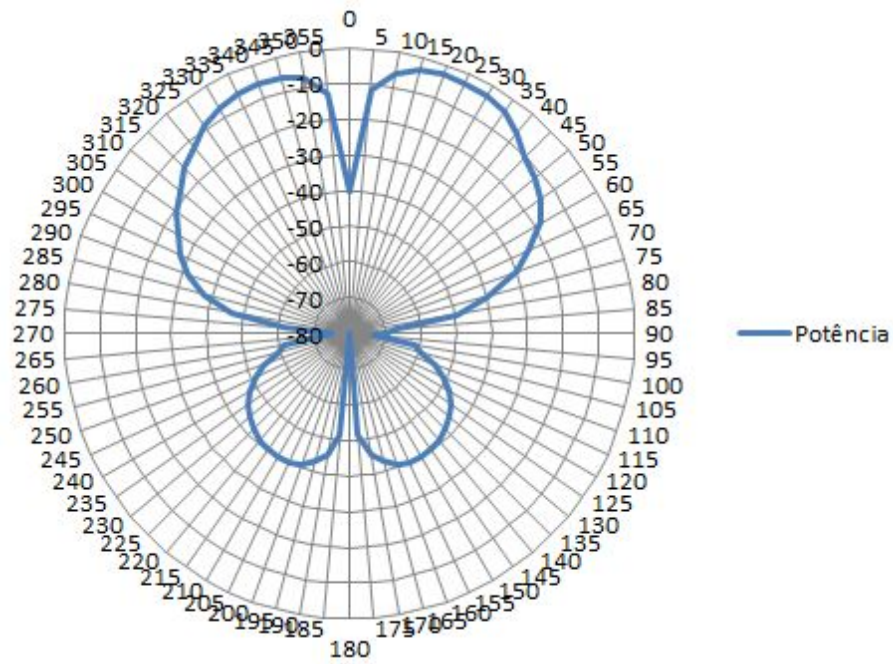


Figura 5.20: Diagrama de radiação de uma das antenas *patch* com a "parede" metálica

A utilização do diagrama da Figura 5.20 poderia ser uma forma de permitir a detecção de uma fonte radiofrequência. Quando a fonte estivesse alinhada com o sistema composto pela antena mais “parede”, a potência recebida seria muito baixa devido ao "nulo" de potência que existe no diagrama da Figura 5.20 para o ângulo de  $0^\circ$ . No entanto, fazendo uma rotação de 15 a  $25^\circ$  absolutos para o lado esquerdo ou direito, obtém-se um máximo de potência captado pelo sistema composto pela antena mais "parede". Estas diferenças de potências repentinas recebidas numa gama de rotação pequena (entre os  $-25$  e  $25^\circ$ ) permitiriam estimar o ângulo de chegada da fonte.

#### 5.4.1 Resultados obtidos com a antena *patch* com a “parede” metálica

A Figura 5.21 é um esquema da sala câmara anecoica com o posicionamento das antenas (emissora e recetora) no seu interior.

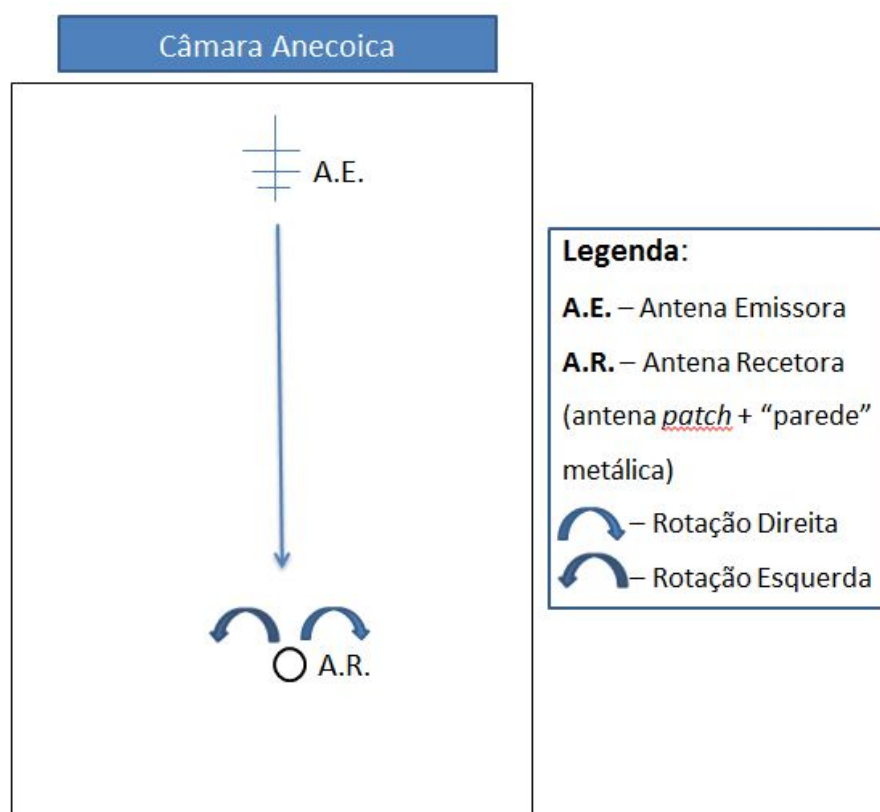


Figura 5.21: Esquema da antena *patch* com a “parede” metálica no interior da câmara anecoica

Os resultados dos valores de potência registados no interior da câmara anecoica com o sistema constituído apenas por uma das antenas *patch* mais a “parede” metálica (Figura 5.18) apresentam-se de seguida nas Tabelas 5.1 e 5.2.

<b>Rotação Direita</b>	
Graus (°)	Potência (dBm)
0	-18.2
5	-16.5
10	-15.2
15	-14.3
20	-13.5
25	-13
30	-12.8
35	-13.4
40	-14.2
45	-15.3
50	-16.6
55	-18.1
60	-19.4
65	-22.7
70	-26.3
75	-29.4
80	-33.4
85	-39.3
90	-46.2

Tabela 5.1: Valores de potência obtidos para uma rotação direita de 0 a 90°

<b>Rotação Esquerda</b>	
Graus (°)	Potência (dBm)
0	-17
5	-18.6
10	-20.5
15	-22.5
20	-24.7
25	-26.9
30	-28.7
35	-31.2
40	-33.2
45	-33.6
50	-31.7
55	-30.9
60	-32.2
65	-33.7
70	-34.8
75	-36
80	-37.6
85	-39.6
90	-41.9

Tabela 5.2: Valores de potência obtidos para uma rotação esquerda de 0 a 90°

Analisando os valores da Tabela 5.1, rotação direita, verifica-se que existe um valor mínimo quando o sistema aponta diretamente para a fonte, coincidente com os  $0^\circ$ . O valor máximo de potência recebida é registado aproximadamente nos  $30^\circ$ . A Figura 5.22 apresenta em forma de gráfico polar os valores obtidos na rotação direita. De notar que os valores utilizados nos restantes quadrantes (entre  $90$  e  $360^\circ$ ) são uma cópia dos valores da rotação direita (entre  $0$  e  $90^\circ$ ). A zona a vermelho (entre  $90$  e  $270^\circ$ ) não tem interesse porque teoricamente o diagrama de radiação visto por detrás da antena *patch* é praticamente nulo.

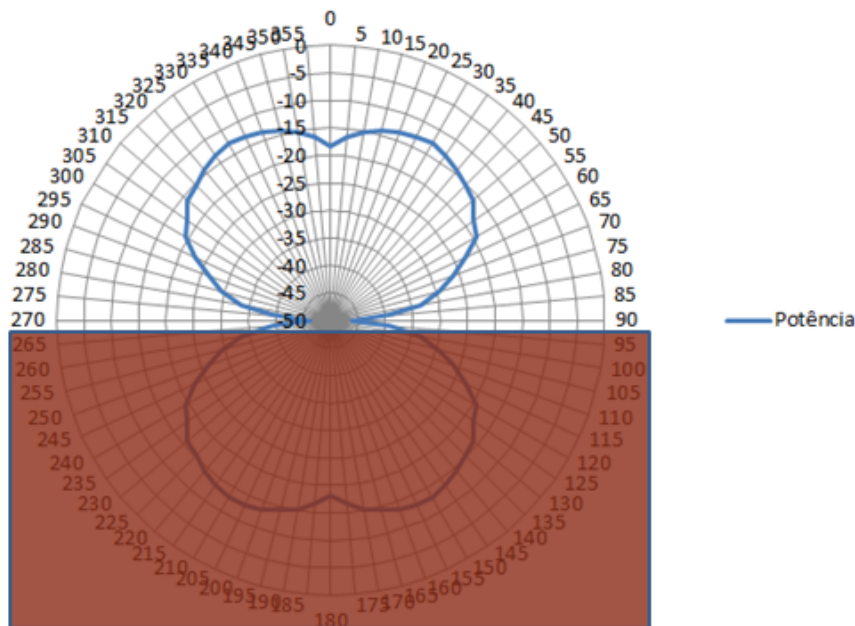


Figura 5.22: Diagrama de radiação de uma antena *patch* com a “parede” metálica (obtido experimentalmente)

Desta forma, comprova-se que a utilização do diagrama de radiação da Figura 5.20 aproxima-se do comportamento do sistema composto pela “parede” metálica mais a antena *patch* apesar de o valor de potência nos  $0^\circ$  não ser tão baixo.

De realçar que os valores obtidos da Tabela 5.2, rotação esquerda, não têm interesse para esta experiência porque a “parede” metálica bloqueia o sinal que deveria ser recebido pela antena recetora. Estes valores só estão incluídos para registo do que foi efetuado e também indicam a limitação do bloqueio da “parede”.

Em suma, por um lado, as reflexões do sinal provocadas em ambientes com ruído afetam o sistema de antenas tendo impacto direto na eficácia da localização de fontes eletromagnéticas mas, por outro lado, se houvesse a capacidade de estabelecer uma diferença temporal entre os sinais das várias antenas para permitir avançar com o processamento do sinal mais sofisticado, era possível formar cortinas com uma maior agilidade melhorando a eficácia do sistema.

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

Um dos objetivos deste trabalho consistia em diminuir a interferência mútua eletromagnética entre as antenas. Para tentar alcançar esse feito surgiu a ideia de construir proteções metálicas para colocar em cada uma das antenas e verificar o impacto que teriam nas medições de potência por parte de cada uma das antenas. Inicialmente, o sistema de antenas foi colocado na câmara anecoica sem qualquer isolamento em cada antena e foram retiradas as potências das antenas ao longo de uma rotação de  $360^\circ$ . De seguida, foi efetuado o mesmo processo de medição anterior mas, desta vez, com as proteções metálicas colocadas. A partir dos diagramas de potência que resultaram de ambas as situações, verificou-se que com o uso das proteções as curvas de potência aparecem mais bem definidas, isto é, a interseção das curvas de potência entre antenas adjacentes acontece a um nível de potência mais baixo. Assim, considera-se que utilizando as proteções a eficácia do sistema de antenas pode aumentar.

Numa fase posterior, optou-se por fazer proteções maiores e realizar novamente o registo de potências para apurar se existia alguma diferença em relação à utilização das proteções iniciais. Verificou-se, em geral, que o nível de potência registado pelas antenas subiu 10 dBm nos seus valores de pico máximo, no entanto, as curvas de potência não ficaram tão bem definidas (em forma de senoide), possivelmente devido a efeitos inerentes provocados pelo tamanho superior das proteções que afetam o sinal recebido.

O sistema de antenas também foi testado no exterior da câmara anecoica, num ambiente muito mais ruidoso. Inicialmente foi testado o sistema sem proteções e registado as potências, e verificou-se que os diagramas de radiação estavam mal definidos e com vários picos. Com o uso das proteções (maiores) verificou-se que o diagrama de radiação apresentava-se mais bem definido (em forma de senoide) e com menos ruído mútuo entre as antenas.

Outra análise de estudo realizada, foi a simulação de uma situação onde o sinal direto emitido e refletido se conjugavam e que impacto teriam para a leitura de potências. Verificou-se que existem pontos do espaço em que estes dois sinais se anulam ou se somam. Desta forma, devido a estas variações da potência do sinal em ambientes ruidosos, o sistema de antenas pode não ser

fiável.

Outra análise de estudo efetuada, foi uma simulação de dois elementos de antenas separadas à distância de um comprimento de onda  $\lambda = 12.5\text{cm}$ , de forma a obter um diagrama de radiação horizontal igual ao ilustrado na Figura 5.16. De forma análoga a esta abordagem, utilizou-se apenas uma antena *patch* com uma "parede" metálica à distância de  $\lambda/2$  para, desta forma, tentar obter as mesmas características do diagrama de radiação dos dois elementos de antenas. Esperava-se que quando o sistema composto pela antena mais "parede" estivesse alinhado com a direção da fonte emissora, a potência recebida seria muito baixa, já que no diagrama de radiação descrito anteriormente, existe um nulo (para além de outros) nessa direção. De facto, o valor obtido nessa direção era baixo, e à medida que se rodava o sistema para a direita, as potências aumentavam e decresciam novamente como se esperava.

Verificou-se experimentalmente o comportamento do sistema de antenas em diversos meios e com algumas alterações (utilização das proteções). A partir de diversas análises experimentais que foram realizadas, pode-se concluir que o sistema de antenas atual utilizado não é eficaz em ambientes com ruído. Finalmente, os objetivos propostos foram atingidos.

## 6.1 Trabalho Futuro

Um dos objetivos futuros passa por implementar ou modificar os algoritmos já existentes de forma a permitir um melhoramento no cálculo do ângulo e da distância. Também seria interessante experimentar o sistema em ambientes mais abertos e com menos obstáculos para comparar o comportamento do sistema em ambientes fechados onde foram realizados testes.

A utilização deste sistema com o método das tabelas funciona, no caso simplificado de uma única fonte, em condições ideais. Um trabalho futuro seria alterar o sistema de forma a introduzir a capacidade de estabelecer a diferença temporal entre os sinais das várias antenas, para permitir avançar com o processamento de sinal mais sofisticado. O facto de se usar a potência do sinal simplifica o sistema mas limita as suas capacidades. Se houvesse capacidade de controlar as quatro fases, era possível formar cortinas com uma maior agilidade, melhorando a eficácia do sistema.

Por um lado o sistema atual apresenta as suas limitações, porém, é um sistema simples, transportável, praticamente autónomo apenas necessitando de um computador.

## Anexo A

# Simulações em Matlab

De seguida é apresentado o código Matlab utilizado na conceção das Figuras [5.12](#), [5.13](#) e [5.14](#).

### A.1 Reflexões parede e porta

```
%Programa para calcular máximos e nulos

stepx=1; %saltos de 1 em 1cm
stepy=1;

for i=1:1:101
    for k=1:1:51

        x_0=500+(i-1)*stepx;
        %P0=(x_0, y_0), ponto que vai-se deslocar em x ...

        y_0=150+(k-1)*stepy;
        %... e y

        r_dir=sqrt((x_0^2 + y_0^2));

        x_1=x_0;
        %pontos da reflexao 1 (na parede)

        y_1=414-y_0;
        % ----

        x_2=(600+600-x_0);
        %pontos da reflexao 2 (na porta)
```

```
        y_2=y_0;
% -----

        r_ind=sqrt(x_1^2 + y_1^2);
%reflexao 1 (na parede)

        r_ind_2=sqrt(x_2^2 + y_2^2);
%reflexao 2 (na porta)

        delta_r=r_ind-r_dir;
        delta_r_2=r_ind_2-r_dir;

        delta_phase=delta_r/12.5*2*pi+pi;
%delta_r/12.5 dá o nº de lambdas

        delta_phase_2=delta_r_2/12.5*2*pi+pi;

        A(i,k)=cos(delta_phase);
        % "size(A)" - para verificar o tamanho da matriz (101x51)

        B(i,k)=cos(delta_phase_2);

    end

end

figure
mesh(A)
title('Máximos e Nulos - Reflexão Parede')
xlabel('x')
ylabel('y')

figure(2)
mesh(B)
title('Maximos e Nulos - Reflexão Porta')
xlabel('x')
ylabel('y')
```

# Referências

- [1] Esequiel da Veiga Pereira. Desenvolvimento de um sistema de localização de fontes rádio frequência para aplicações indoor. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.
- [2] Guoqiang Mao, Barış Fidan, e Brian D. O. Anderson. Wireless sensor network localization techniques. *Computer Networks*, 51(10):2529–2553, 2007.
- [3] F. Franceschini. A review of localization algorithms for distributed wireless sensor networks in manufacturing. *International journal of computer integrated manufacturing*, 22(7):698–716, 2009.
- [4] Xu Junjun, Luo Haiyong, Zhao Fang, Tao Rui, e Lin Yiming. Dynamic indoor localization techniques based on rssi in wlan environment. Em *2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications (ICPCA 2011), 26-28 Oct. 2011*, Proceedings 2011 6th International Conference on Pervasive Computing and Applications (ICPCA 2011), páginas 417–21. IEEE, 2011.
- [5] A. del Corte-Valiente, J. M. Gomez-Pulido, e O. Gutierrez-Blanco. Efficient techniques and algorithms for improving indoor localization precision on wlan networks applications. *International Journal of Communications, Networks and System Sciences*, 2(7):645–51, 2009.
- [6] Liu Hui, H. Darabi, P. Banerjee, e Liu Jing. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on*, 37(6):1067–1080, 2007.
- [7] Xu Hongli, Huang Liusheng, Xu Tao, Huo Yongkai, e Wang Yang. Practical indoor tracking using wireless sensor networks. Em *2009 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09), 19 March 2009*, 2009 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC'09), páginas 209–15. IEEE, 2009. 10626887 wireless sensor network RF technique mobile entity localization area-point indoor tracking AIT system beacon-correlation algorithm BCA shadowing-grid localization SGL algorithm.
- [8] Paramvir Bahl e Venkata Padmanabhan. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2(PAGE):775–784, 2000.
- [9] Constantine A. Balanis. *Antenna Theory: Analysis and Design*.
- [10] Arduino mega 2560. [http://www.simplelabs.co.in/sites/default/files/arduino\\_mega.jpg](http://www.simplelabs.co.in/sites/default/files/arduino_mega.jpg).
- [11] 4nec2. <http://home.ict.nl/~arivoors/>.