

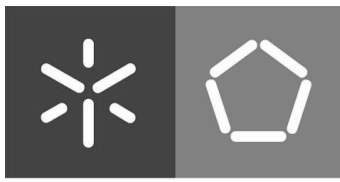
Universidade do Minho
Escola de Engenharia

David de Esteves Pereira e Matos Ferreira

**Sistema de localização através de
radiofrequência**

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em:
Engenharia Electrónica Industrial e Computadores

Dezembro de 2007



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

David de Esteves Pereira e Matos Ferreira

Sistema de localização através de radiofrequência

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em:
Engenharia Electrónica Industrial e Computadores

Trabalho efectuado sob a orientação de:
Professor Doutor António Fernando Macedo Ribeiro
Professor Doutor José Gerardo V. Rocha

Dezembro de 2007

“A Sabedoria é o conhecimento em movimento”
Jacques Fernandes da Silva

Ao meu pai e à minha mãe
À minha namorada Rita Neves

AGRADECIMENTOS

Resumo

O objectivo desta dissertação foi verificar a possibilidade de desenvolver uma infra-estrutura capaz de determinar a posição de um alvo dentro de uma área de 0,1 ha (1000m²) com uma precisão aceitável para a respectiva tarefa.

Durante este trabalho realizou-se um estudo das estratégias de rádio-localização possíveis e já existentes de modo a realizar a localização de um alvo com o auxílio de radiofrequência (RF), de forma a implementar um sistema de rádio-localização.

Após uma análise inicial das várias estratégias de rádio-localização determinou-se a melhor solução para implementar um sistema funcional de localização de uma forma fácil, segura e de baixo custo. Esta solução poderá ser usada em locais como campos de futebol, armazéns e parques de estacionamento subterrâneos, sem o uso de uma infra-estrutura de grandes dimensões e/ou dispendiosa – como a rede GPS (*Global Position System*), e que esteja sob o total controlo.

Neste estudo foram também abordados os aspectos relevantes na implementação prática de um sistema que utilize radiofrequência como as dimensões e alcance dos transmissores/receptores de RF, regras estruturais de antenas, normas legais para o uso do Espectro Electromagnético, alimentação energética, limitações a nível do desenvolvimento prático (material/equipamento inexistente). Para certos problemas, foram geradas hipóteses de soluções, mobilizando conhecimentos oriundos de várias disciplinas presentes no currículo e no percurso académico.

Abstract

The purpose of this dissertation was to verify the possibility of developing an infrastructure able to determine the position of a target within an area of 0.1 acres (aprox. 11000 ft² or 1000 m²) within an acceptable precision.

During this project, a study was carried out regarding possible and existing strategies, to locate a target with the aid of radiofrequency (RF), in order to implement a radiolocation system.

Following an initial analysis of the various radiolocation strategies, it was determined which would be the best solution to implement a workable system that can locate in an easy, secure and low cost performance. This solution could be used in sites such as football fields, warehouses and underground parking spaces, without the use of a large and/or expensive infrastructure - like the GPS network (*Global Position System*), and under a total control.

In this report it were also considered relevant aspects of a practical implementation of such a system which relies on radiofrequency, such as dimensions and RF transmitters/receivers range, antenna's structural rules, legal regulations and laws for the use of Electromagnetic Spectrum, power supply, practical development limitations (inexistent materials/equipment). For some aspects, hypothesis were developed for solutions, mobilising the knowledge acquired on several university classes and through the academic course.

ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO.....	6
A) PROBLEMA.....	6
B) O QUE É RÁDIO-LOCALIZAÇÃO?.....	6
C) ESTADO DE ARTE:.....	7
II – ENQUADRAMENTO TEÓRICO	14
A)ESTRATÉGIAS:.....	14
i) <i>Ângulo de Recepção:</i>	14
ii) <i>Força do Sinal:</i>	16
iii) <i>Baseada no Tempo</i>	17
iv) <i>Soluções</i>	18
B) APRENDIZAGEM.....	20
i) <i>Triangulação</i>	20
ii) RÁDIO	21
(1) Espectro EM (ElectroMagnético).....	21
(2) Modulação.....	22
(3) Oscilador.....	25
(4) Sistemas regenerativos e super-regenerativos.....	27
(5) Sistemas Super-heterónimos.....	29
(6) Sistemas Homónimos.....	32
C) TECNOLOGIAS.....	33
i) <i>GPS – Global Positioning System</i>	33
ii) <i>Radar- Radio Detection And Ranging</i>	37
iii) <i>ARDF- Amateur Radio Direction Finding</i>	43
iv) <i>LORAN – Long Range Navigation</i>	46
III – DESENVOLVIMENTO PRÁTICO.....	48
A) REGRAS PRÁTICAS:.....	48
B) TRANSMISSORES:.....	50
i) <i>Transmissor 433,92 MHz:</i>	51
ii) <i>Transmissor 108 MHz:</i>	54
C) RECEPTORES.....	60
IV – EXPÊRIÊNCIAS	65
(A) FORÇA DO SINAL RECEBIDO:.....	65
(B) ATRASO DA RECEPÇÃO SINAL.....	69
V – CONCLUSÕES.....	74
VI - BIBLIOGRAFIA	77
A) LIVROS:.....	77
B) DISSERTAÇÕES:.....	77
C) ARTIGOS:.....	78
D) TRABALHOS:.....	78
E) SITES:.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. 1 - INTERFACES DOS SOFTWARES: A) IP OPERATOR; B)Z010 MONITOR	8
FIG. 2 - ESQUEMA DE UMA REDE EM MALHA ZIGBEE	9
FIG. 3 - PRINTSCREENS DO ECRÃ DE UM TELEMÓVEL COM A APLICAÇÃO: A)BLUE RADAR; B) MINI GPS	9
FIG. 4 - ESQUEMA DE UM MEDIDOR DE CAMPO	11
FIG. 5 - A) IMAGEM HAWKEYE USADA NO SNOOKER; B)MAPA APRS COM DADOS DA ESTAÇÃO ESPACIAL INTERNACIONAL	13
FIG. 6 - A) ARQUITECTURA DE UMA ANTENA YAGI; B) LINHAS DO CAMPO ELECTROMAGNÉTICO ATRAVÉS DE UMA ANTENA YAGI	14
FIG. 7 - LINHAS DO CAMPO MAGNÉTICO NUMA ANTENA PARABÓLICA	15
FIG. 8 - A) BLUESOLEIL™ PARA PLACAS BLUETOOTH; B) GIGABYTE'S WIRELESS LAN MONITOR SUITE	17
FIG. 9 - DISTÂNCIA ENTRE UM SATÉLITE E UM RECEPTOR	18
FIG. 10 - ALCANCE DE UM RECEPTOR USANDO DUAS ESTRATÉGIAS DE RÁDIO-LOCALIZAÇÃO	19
FIG. 11 - TRIANGULAÇÃO USANDO TRÊS PONTOS A, B E C	20
FIG. 12 - TABELA DO ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	21
FIG. 13 - FORMAS DE ONDAS DOS SINAIS A)ORIGINAL E DA B)PORTADORA	22
FIG. 14 - SINAL TRANSMITIDO USANDO A)FM E EM B)AM	23
FIG. 15 - CIRCUITO DESMODULADOR DE AM	23
FIG. 16 - EXEMPLOS DO EFEITO ALIASING	25
FIG. 17 - FORMAS DE ONDA DO SINAL ORIGINAL, PORTADORA E SINAL MODULADO PARA AS MODULAÇÕES: A)FSK E B)ASK	25
FIG. 18 - CIRCUITO RESSONANTE LC (BOBINE E CONDENSADOR)	26
FIG. 19 - CIRCUITO DE UM RÁDIO DE CRISTAL DE UM TRANSMISSOR COM MODULAÇÃO EM FM	27
FIG. 20 - CIRCUITO OSCILADOR DE ARMSTRONG	28
FIG. 21 - CIRCUITO DE UM RECEPTOR SUPER-REGENERATIVO	29
FIG. 22 - TOPOLOGIA TÍPICA DO RECEPTOR SUPER-HETERÓDINO	29
FIG. 23 - ESQUEMA DE UM MIXER NUMA CONFIGURAÇÃO SINGLE BALANCED	30
FIG. 24 - A)CIRCUITO INTEGRADO TDA7000 DA PHILIPS; B)CONFIGURAÇÃO DO TDA7000 DE RÁDIOFM	31
FIG. 25 - RÁDIO RECEPTOR FM, COM O USO DO TDA7000	32
FIG. 26 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM SISTEMA HOMÓNIMO	32
FIG. 27 - MODULAÇÃO DO SINAL DE NAVEGAÇÃO E O CÓDIGO C/A	35
FIG. 28 - REPRESENTAÇÃO DO EFEITO DO RADAR	38
FIG. 29 - CAMINHO DO PULSO ELECTROMAGNÉTICO E EFEITO RADAR	39
FIG. 30 - REPRESENTAÇÃO DAS ONDAS ORIGINÁRIAS DE UM OBJECTO-ALVO: A)EM REGIME DE REPOUSO; B)EM MOVIMENTO, DA ESQUERDA PARA A DIREITA	41
FIG. 31 - A) AVIÃO E-3 SENTRY, AWACS, B) RADARES USADOS PARA OBSERVAR A SUPERFÍCIE TERRESTRE	42
FIG. 32 - A) REPRESENTAÇÃO DE UM RADAR NAVAL; B) E C) ANTENAS DE RADAR NAVAL	43
FIG. 33 - REPRESENTAÇÃO DAS MENSAGENS DOS VÁRIOS TRANSMISSORES, EM CÓDIGO MORSE	44
FIG. 34 - EXEMPLOS DE SNIFFERS COM ANTENAS YAGGI	44
FIG. 35 - A) SNIFFER VK3YNG Mk4; B) SNIFFER VK3MZ	45
FIG. 36 - IMAGEM DE UM A) VK3MZ 80M ARDF Tx E B) FOX-OR-ING Tx	46
FIG. 37 - REPRESENTAÇÃO DO ALCANCE DOS SINAIS EMITIDOS PELOS TRANSMISSORES 'M' E 'S'	47
FIG. 38 - REPRESENTAÇÃO LORAN COM TRÊS TRANSMISSORES: 'M', 'S', 'Q'	47
FIG. 39 - A) ANTENA REDUZIDA COM O USO DE UMA BOBINE; B) REPRESENTAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO PARA UMA ANTENA COM 1/10 DE λ	49
FIG. 40 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM TRANSMISSOR "FAROL"	51
FIG. 41 - MÓDULO DE TRANSMISSÃO TX433N DA AUREL, PARA 433,92 MHZ	51
FIG. 42 - CIRCUITO EQUIVALENTE DO SR433	52
FIG. 43 - CIRCUITO ELECTRÓNICO DO MÓDULO TX433N DA AUREL	53
FIG. 44 - CONFIGURAÇÃO DE OSCILADOR ASTÁVEL PARA O N555	53
FIG. 45 - TRANSMISSOR COM MODULAÇÃO ASK A 433MHZ	54
FIG. 46 - CIRCUITO ELECTRÓNICO DO LM3909	55
FIG. 47 - CONFIGURAÇÃO DO LM3909 PARA 1KHZ	56
FIG. 48 - CIRCUITO MODULADOR FM PARA 88 MHZ	56
FIG. 49 - TRANSMISSOR COM MODULAÇÃO FM A 88MHZ	57
FIG. 50 - CIRCUITO DO TRANSMISSOR COM MODULAÇÃO FM: A) EM PCB E B) NA BREADBOARD	57
FIG. 51 - SINAL DE SAÍDA, DO SINAL MODULADO EM FM	58
FIG. 52 - SINAL DE SAÍDA, DO SINAL MODULADO EM FM, NUM OSCILOSCÓPIO DE 300MHZ	58

FIG. 53 - SINAL DE SAÍDA, DO SINAL DE MODULAÇÃO	59
FIG. 54 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM RECEPTOR BÁSICO DE SINAIS ELECTROMAGNÉTICOS	60
FIG. 55 - CIRCUITO ELECTRÓNICO DE UM RECEPTOR BÁSICO DE SINAIS ELECTROMAGNÉTICOS	60
FIG. 56 - RECEPTOR E FORMAS DE ONDA DE: A)UM WALKIE-TALKIE E DE UM B)COMANDO DE PORTA DE GARAGEM	61
FIG. 57 - CIRCUITO DE UM AMPLIFICADOR DE RADIOFREQUÊNCIA (RF).....	62
FIG. 58 - FORMAS DE ONDA DE UM TRANSMISSOR DE FM, NUM RECEPTOR COM UM ANDAR AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN, A 1CM DE DISTÂNCIA: A)DA ONDA ORIGINAL E DA B)ONDA DE MODULAÇÃO....	63
FIG. 59 - TRANSMISSOR FM E RECEPTOR COLECTOR-COMUN DE UM ANDAR À DISTÂNCIA DE: A) 1CM E B) 8CM	63
FIG. 60 - FORMAS DE ONDA DE UM RECEPTOR COM UM ANDAR AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN, A 8CM DE DISTÂNCIA: A)DA ONDA ORIGINAL E DA B)ONDA DE MODULAÇÃO	64
FIG. 61 - GRÁFICO QUE DESCREVE A INFLUENCIA DA DISTÂNCIA NO SINAL RECEBIDO, PELO RECEPTOR DE UM ANDAR DE AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN.....	65
FIG. 62 - CIRCUITO IMPRESSO DE UM RECEPTOR DE RÁDIO COM FILTRO LC À ENTRADA E COM TRÊS ANDARES DE AMPLIFICAÇÃO DO TIPO COLECTOR-COMUN.....	66
FIG. 63 - IMAGEM DO CIRCUITO RECEPTOR CONSTRUÍDO NUM PCB	67
FIG. 64 - GRÁFICO QUE DESCREVE A INFLUENCIA DA DISTÂNCIA NO SINAL RECEBIDO, PELO RECEPTOR DE TRÊS ANDARES DE AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN	68
FIG. 65 - FOTOGRAFIA TIRADA DURANTE A EXPERIÊNCIA DE DISTÂNCIA VS FORÇA SINAL COM UM RECEPTOR DE TRÊS ANDARES DE AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN	68
FIG. 66 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM MÓDULO RECEPTOR AC_RX433 DA AUREL	69
FIG. 67 - A) ESQUEMA DO MÓDULO AC-RX433 DA AUREL; B)MÓDULO AC-RX433 DA AUREL	70
FIG. 68 - REPRESENTAÇÃO DO CENÁRIO DA EXPERIÊNCIA DE ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL	70
FIG. 69 - FOTOGRAFIA DO CENÁRIO DA EXPERIÊNCIA DE ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL: A)PRIMEIRO RECEPTOR; B)TRANSMISSOR; C)SEGUNDO RECEPTOR	71
FIG. 70 - FORMAS DE ONDA DA EXPERIÊNCIA SOBRE O ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL, COM DIFERENTES ESCALAS DE TENSÃO E ESCALA TEMPORAL DE 20US	71
FIG. 71 - FORMAS DE ONDA DA EXPERIÊNCIA SOBRE O ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL, COM ESCALAS DE TENSÃO IGUAIS E ESCALA TEMPORAL DE 20US.....	73
FIG. 72 - FORMAS DE ONDA DA EXPERIÊNCIA SOBRE O ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL, COM ESCALAS DE TENSÃO IGUAIS E ESCALA TEMPORAL DE 200US.....	73

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA DE FREQUENCIAS USADAS POR ALGUNS RADARES.....	40
TABELA 2 – RESULTADOS OBTIDOS NA MEDIÇÃO DE UM SINAL PROVENIENTE DO TRANSMISSOR FM, OBTIDOS NUM RECEPTOR DE UM ANDAR DE AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN.....	65
TABELA 3 – RESULTADOS OBTIDOS NA MEDIÇÃO DE UM SINAL PROVENIENTE DO TRANSMISSOR ASK DE 433MHZ, OBTIDOS NUM RECEPTOR DE TRÊS ANDARES DE AMPLIFICADOR COLECTOR-COMUN.....	67
TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS NA MEDIÇÃO DA DIFERENÇA TEMPORAL ENTRE DOIS SINAIS, NA EXPERIÊNCIA DO ATRASO DA RECEPÇÃO DO SINAL.....	72

ÍNDICE DE ALGORITMOS

I – INTRODUÇÃO

a) Problema

Este tema surgiu da possibilidade de se poder criar um sistema que fosse capaz de determinar uma localização num certo instante, num espaço limitado, que pudesse ser implementado em áreas desportivas onde, por vezes, é difícil saber a localização de uma bola quer em relação aos jogadores quer em relação aos limites definidos por esse desporto. Mesmo usando complexos sistemas de visão, estes sistemas ainda têm dificuldades em distinguir os efeitos ópticos inerentes da profundidade, logo, as decisões perante estes sistemas são sempre apoiadas em extrapolações.

b) O que é Rádio-localização?

Torna-se necessário neste trabalho esclarecer a diferença entre posição e localização. O termo localização é a informação exacta de um objecto (animado ou inanimado) num espaço ou área. Tomemos os exemplos: “O copo está no centro da mesa”, “O navio encontra-se a 40°50’25’’N e a 25°32’22W”. O termo posição descreve a disposição de um objecto indicando uma direcção. Como por exemplo: “O carro está estacionado na garagem, de traseira” ou “O rio corre para a foz, a Oeste”.

Rádio-localização (ou radiogoniometria) é:

- Uma forma de radiogoniometria. Um radiofarol, por exemplo, sendo um radioemissor, emite sinais que são recebidos por um radiogoniómetro, que tendo um sistema monodireccional de recepção, faz a triangulação da emissora, localizando-a com precisão¹;
- Arte de determinar a direcção e a posição de um posto emissor radioeléctrico²;

¹ In Wikipedia (<http://pt.wikipedia.org>) – Extraído em Agosto 2007

² In Dicionário KingHost (www.kinghost.com.br) – Extraído em Agosto 2007

- O conjunto de processos destinados a medir direcções, determinar posições com o emprego de ondas de rádio emitidas por transmissores de baixa ou média frequência, de posição conhecida³.

c) Estado de arte:

À medida que a tecnologia cresce a ritmo espantoso, todos os dias somos confrontados com numerosas e variadas ferramentas que, há apenas alguns anos, existiam apenas na nossa imaginação. Rádio-localização é uma dessas ferramentas, das quais a mais conhecida é o GPS (*Global Position System*). Não há muito tempo atrás, esta tecnologia estava apenas disponível aos militares Norte Americanos. Hoje em dia, está presente no nosso quotidiano, desde os aviões ao nosso carro, no nosso computador portátil ao nosso telemóvel e PDA.

A Força do Sinal é provavelmente a estratégia de rádio-localização mais fácil de implementar, sendo usada nos telemóveis para medir a força do sinal da torre retransmissora que está a ser utilizada, por Bluetooth e redes sem-fios WiFi. O hardware para cada uma destas tecnologias já possui a capacidade de medir a força do sinal. Existem, assim, vários programas capazes de dar uso a essa ferramenta embebida no hardware. Um exemplo é o caso do *Monitor Z010*, especialmente desenvolvido para o “telemodem“ (modem baseado no sistema de telemóveis) *Telemodem Z010*, que permite medir a força do sinal, para além de outras características. Ocorre a mesma situação para as redes IEEE 802.11 (WiFi): o software para *IP Operator*, desenvolvido especificamente para os computadores da LG Electronics.

³ In AirAndinas (www.airandinas.com) – Extraído em Agosto 2007

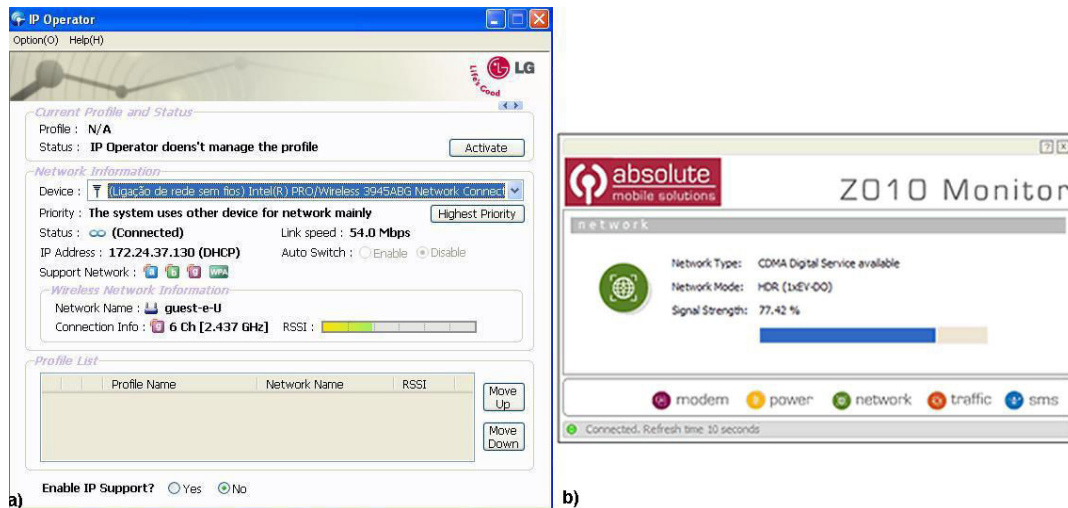


Fig. 1- Interface alguns exemplos destes programas : a) IP Operator; b)Z010 Monitor

Usando Bluetooth, é possível detectar outros dispositivos ao redor do aparelho em questão, existindo já muitos programas que usam essa capacidade para várias aplicações. Um exemplo é o *Blue Radar* da Symbian, que permite descobrir determinados dispositivos Bluetooth, tendo ainda a possibilidade de realizar avisos quando um determinado dispositivo entra no seu espaço.

O protocolo IEEE 802.15.4, ZigBee, possui em alguns módulos um bloco de hardware denominado “*Distributed Radiolocation Hardware Core*”. Este bloco digital permite realizar rádio-localização usando a força do sinal proveniente dos vários módulos. A diferença relevante nesta tecnologia é a implementação de um algoritmo de estimação de localização estatística. Este algoritmo permite que os vários nós na rede ZigBee, possam descobrir as suas posições, trocando informações entre si. A vantagem deste algoritmo é que nos permite implementar uma rede em que apenas sejam precisos dois nós de referência, já que mobilizando todos os dados o algoritmo determina a posição de todos os outros nós. Apresenta-se de seguida, uma representação de uma rede *ZigBee Mesh* (malha), onde os dois nós com a forma de triângulo são os nós de referência.

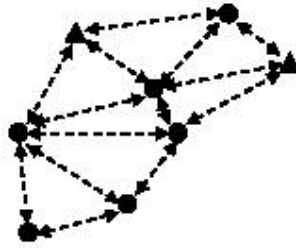


Fig. 2 - Esquema de uma rede em malha ZigBee

Ainda nos telemóveis, é possível usar as identificações das torres de GSM (*Global System for Mobile Communications*) para realizar um sistema de posicionamento global. O software *miniGPS* da Symbian permite criar uma base de dados de posições dentro das áreas de cobertura das operadoras GSM, usando a ID da célula dos retransmissores. O problema/limitação é que tem que ser o próprio utilizador a criar essa base de dados, o que pode tornar-se árduo e desencorajador.

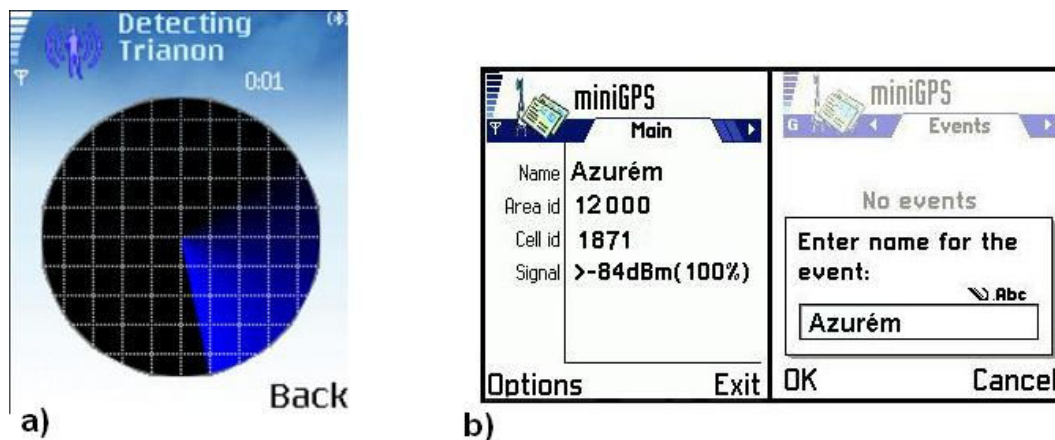


Fig. 3 – Imagens do ecrã de um telemóvel com a aplicação: a)Blue Radar; b) miniGPS

Mesmo assim, as aplicações são tão comuns como antigas. Esta técnica é usada pelos radioamadores para calibrar os seus transmissores, para detectar interferências quando se implementa uma infra-estrutura de rede sem fios e até em ARDF (*Amateur Radio Direction Finding*), uma disciplina orientada à direcção de rádio, para actividades de lazer, ao ar livre, com familiares e amigos.

A localização Baseada no Tempo é usada, de forma comum, no GPS e no LORAN (*LOW RANGE Navigation*). Esta estratégia consiste na medição do atraso de tempo no receptor, entre dois ou mais transmissores separados entre si. Com essa informação e

sabendo a localização dos transmissores (podem ser estáticos ou em movimento) poder-se-á triangular a localização do receptor num determinado plano (com dois transmissores) ou num espaço (com três transmissores). Porém, a precisão desta técnica depende no quão afastado está o transmissor do receptor, já que quanto mais afastados estiverem, maior será o atraso e o respectivo erro na medição será menor.

O RFID (*Radio Frequency IDentification*) é um sistema de identificação, apoiado em radiofrequência, mas que também pode ser usado para realizar localizações. É uma ferramenta cada vez mais usada, graças ao baixo preço de cada identificador (*Tags*) que ronda os 20 cêntimos. A reduzida dimensão dos Tags permitm que sejam fixados em produtos pequenos e maleáveis. No passado dia 13 de Agosto 2007, pôde ser vista uma reportagem no segmento “Futuro Hoje”, no Telejornal do canal SIC, onde se falou desta mesma tecnologia a ser aplicada pela Throttleman numa loja de roupa, sendo neste caso usada com o intuito de identificar as peças de roupa. Apesar de permitir saber quais os produtos que estão numa prateleira com apenas um movimento de varrimento do leitor pelas prateleiras, o seu alcance continua ser muito restrito não sendo fiável para objectos colocados a determinadas distâncias. O grande obstáculo para a expansão desta tecnologia continua a ser o preço do leitor RFID, que pode rondar os \$1000.

Na mesma área, existem aparelhos/programas que servem para o propósito de detectar certos tipos de sinais de rádio. Estes aparelhos ganharam o nome de *Sniffers* por diferentes razões. O Sniffer, no seu propósito fundamental, serve para capturar o tráfico que entra e sai de uma rede de dados e identificar pacotes estranhos que viajam pela rede. São usados frequentemente pelos administradores das redes para vigiar a rede, mas também são usados por algumas pessoas mal intencionadas para descobrir informações importantes tais como senhas, sessões de Telnet (Protocolo de comunicações do tipo Cliente-Servidor) e Correio electrónico (e-mail). Em redes sem fios como a WiFi estes pacotes de hardware/software podem ser usados para detectar sistemas WiFi, com a intenção de roubar informação privada (*WarDriving*) ou simplesmente para usufruir dos serviços que essa rede suporta (*PiggyBacking*), sem uma autorização explícita. Este software (Sniffers) existem de forma numerosa pois são fáceis de desenvolver usando linguagens de programação como C ou Perl. Eis dois exemplos: o *KSniffer* – uma

aplicação Sniffer para SO⁴ Linux com ambiente gráfico KDE – e o *Ethereal* – uma ferramenta multi funções para várias plataformas como o Windows, Linux, BSD, Mac e outras.

O mesmo nome Sniffer também é dado aos aparelhos que permitem detectar certas energias de radiofrequência. Estes dispositivos são basicamente medidores de força do sinal ou medidores de campo (*Field Strength Meter*). O seu princípio é simples: é composto por um andar receptor (antena), um andar filtro (circuito LC – bobine e condensador), um andar rectificador de meia onda (díodo de RF, normalmente de germânio) e um andar de medição. Apresenta-se de seguida um medidor de campo simples:

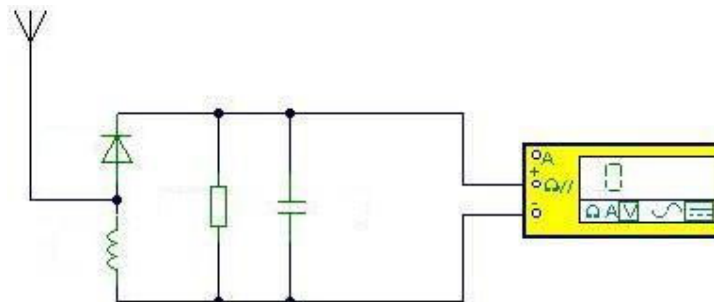


Fig. 4 - Esquema de um medidor de campo

Este circuito é usado há bastante tempo, principalmente pelos radioamadores, para calibrarem os seus transmissores, mas também é usado para detectar transmissores de dimensões reduzidas que estejam escondidos numa sala. Pode parecer algo saído de um filme de espões mas a sua aplicação é corrente. Deve pois ser visto como um sistema muito prático e não como algo dramático. É usado também para detectar fios condutores da rede eléctrica que já estejam embutidos nas paredes de uma casa, quando há necessidade de substituí-los. Como o ajuste de frequência é possível, através do circuito LC, este aparelho também é usado com o mesmo propósito dos fios da rede eléctrica, mas para os cabos da linha telefónica. Como o sinal final, antes de entrar no dispositivo medidor (pode ser um micro-amperímetro), é rectificado, é indiferente o tipo de modulação, seja FM ou AM. Um problema persiste e decorre do seguinte: como o sistema de recepção e sintonização se baseia simplesmente num circuito LC, toda a energia que alimenta o circuito apenas provém das próprias ondas electromagnéticas.

⁴ Sistemas Operativos

Logo, a sua distância à fonte do sinal, terá que ser pequena para que se possa detectar convenientemente os sinais.

A Comissão da Federação Internacional de Futebol aprovou no passado mês de Março de 2007, uma proposta da marca Adidas para criar uma “bola inteligente” para ser usada em jogos de futebol, com certas regras da sua utilização. Esta bola irá usar uma tecnologia com o nome *Hawk-Eye*, desenvolvida pela empresa com o mesmo nome e já é usada em jogos de Ténis, Críquete e até no *World Snooker Championship 2007*. O sistema segue a trajectória da bola (alvo) e permite saber a posição da bola, usando sistemas de visão. Os princípios fundamentais a que esta “bola inteligente” terá de obedecer são: - A tecnologia só será usada no auxílio de decisões referentes à linha de golo; - O sistema terá que ser 100% fiável; - A indicação de que a bola realmente passou a linha de golo, ou não, terá que chegar ao árbitro em segundos. Uma bola com micro-chip – a Cairo – foi usada no Mundial Sub-17 em 2005, como teste ao chip da Adidas. Esta experiência garantiu o aval da FIFA à Adidas, estando agora a ser testada em jogos juvenis da Liga Inglesa.

Existe um sistema criado por (e para) radioamadores, nos Estados Unidos, que realiza um sistema de posicionamento baseado nos relatos dos radioamadores. Este sistema chama-se APRS (*Automatic Position Reporting System*) e foi desenvolvido por Bob Bruninga, na Academia Naval dos Estado Unidos. O princípio é o de que, sistemas baseados em radioamadores transmitem informação relevante para toda a gente na rede de uma forma imediata. Qualquer estação captura essa informação, sendo revelada de forma consistente e padronizada a todos os participantes. É um sistema dedicado à comunicação e informação do local (o tempo meteorológico, pontos sinalizadores, informação do tráfego, etc.) e não dedicado somente à localização. Alguns sistemas móveis utilizam uma interface GPS para enviar a posição do transmissor nesse instante, mas este conceito existe muito antes do GPS ter um preço acessível, tendo sido vulgarizado por volta de 1992. Mais tarde mudou o nome para *Automatic Packet Reporting System*.

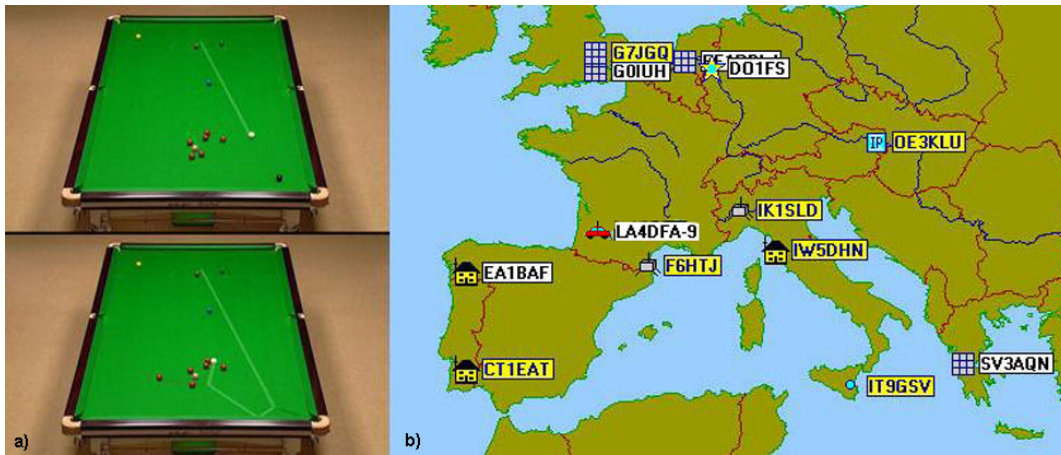


Fig. 5 - a) Imagem HawkEye usada no snooker; b) Mapa APRS com dados da Estação Espacial Internacional

II – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

a) Estratégias:

Podem-se resumir a três, as grandes estratégias de rádio-localização: Ângulo de Recepção, Força do Sinal e Baseada no Tempo.

i) Ângulo de Recepção:

Uma tecnologia baseada no Ângulo de Recepção define-se por determinar a posição de um objecto (alvo) através do ângulo formado pela linha do sinal receptor e o plano do receptor. O alvo transmite um sinal constante numa determinada frequência, enquanto o receptor permanece à “escuta” nessa frequência. O receptor possui uma antena precisa e direccional, que pode ser do tipo Yagi ou parabólica.

Uma *antena Yagi* é uma antena com uma arquitectura característica que lhe concede uma sensibilidade exclusiva aos sinais que estejam perpendiculares aos seus elementos. Esta sensibilidade depende do espaçamento entre os elementos e torna-a insensível aos sinais que não estejam directamente na sua linha de visão (*LoS – Line of sight*). O espaçamento entre os elementos pode ser desde metade do comprimento de onda até um oitavo (1/8) do comprimento de onda, em que o comprimento de onda é:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Eq.01}$$

Onde λ é o comprimento de onda do sinal emitido, c a velocidade da luz (no vazio) e f é frequência do sinal. Uma antena Yagi tem o seguinte desenho:

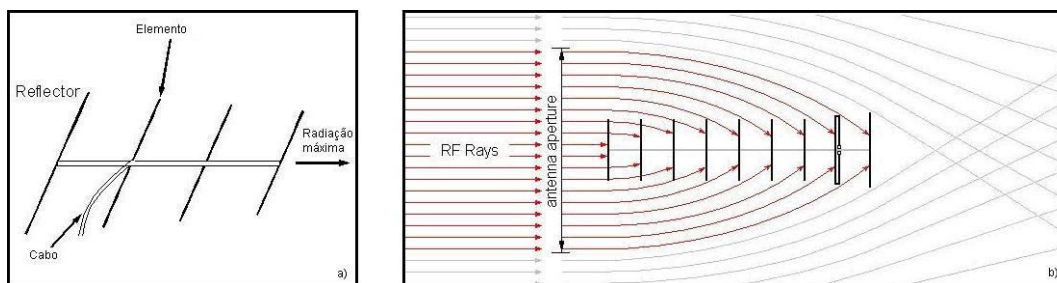


Fig. 6 - a) Arquitectura de uma antena Yagi; b) Linhas do campo electromagnético através de uma antena Yagi.

O ganho de uma antena Yagi depende consideravelmente do tamanho dos elementos que aumentam de tamanho dependendo da sua posição no alinhamento, desde a ponta que recebe o sinal, até ao extremo onde se encontra o reflector. Assim, basta um desvio físico num dos elementos para afectar consideravelmente o ganho da antena.

Uma antena *parabólica* permite aumentar o seu ganho bastando aumentar o diâmetro do disco:

$$G \approx \left(\frac{\pi \cdot D}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Eq.02}$$

Onde G é o ganho e D é o diâmetro do disco. Os sinais electromagnéticos são reflectidos pelo disco com uma geometria parabólica, directamente para uma antena de alimentação que se encontra antes do transmissor/receptor. Esta antena de baixo ganho escolhe a polaridade do sinal, ajudando a eliminar possíveis sinais indesejados, e pode ser do tipo dipólo de metade do comprimento de onda ou direcciona (como uma Yagi).

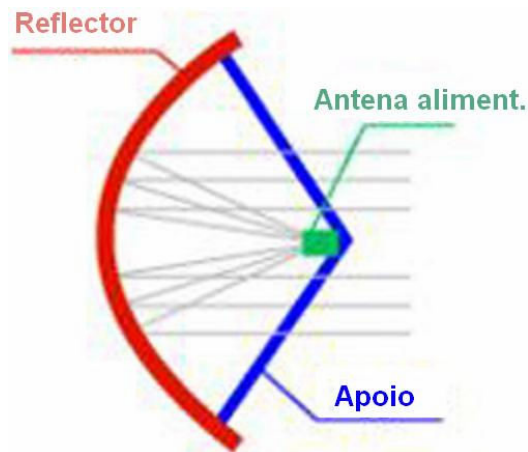


Fig. 7 - Linhas do campo magnético numa antena parabólica

Com o uso deste tipo de antenas é possível determinar a direcção em que se encontra o objecto alvo, desde que o sinal transmitido não encontre obstáculos entre o transmissor e o receptor. Quando a antena está directamente na *LoS* do alvo, a potência do sinal recebido terá o seu valor máximo de potência.

ii) Força do Sinal:

Neste tipo de estratégia, se o receptor possuir a capacidade de medir a potência do sinal recebido também será possível saber com alguma precisão, a distância a que se encontra o alvo. Sabemos que a potência do sinal recebido depende da distância entre o transmissor e o receptor, pois existe uma relação logarítmica entre a perda de sinal e o aumento da distância entre os dois intervenientes. Esta perda de sinal (P) depende da distância de:

$$P(d) = P_0(d_0) + 10.n.\log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad \text{Eq.03}$$

Depende também da potência do sinal transmitido P_0 , de um desvio padrão relacionado com o efeito de sombra, descrito pela Lei de Gauss, (X_σ), de uma relação logarítmica entre o ponto de referência e o receptor (d/d_0) e de uma constante de perda de sinal que depende do ambiente de propagação. Como tal, são necessários amplificadores potentes à medida que a distância entre o transmissor e o receptor aumenta. Mesmo assim, como a perda do sinal depende do ambiente de propagação, esta pode variar com as mudanças de ambiente físico como o vento, temperatura, poeiras, nevoeiro e chuva. Logo essa perda poderá estar em constante alteração e, conseqüentemente, a força do sinal recebido poderá também variar mesmo que a distância entre o alvo e o receptor se mantenha. Este tipo de abordagem já é usado em vários dispositivos de uso comum como os telemóveis, WiFi e Bluetooth. Existem programas que utilizam a tecnologia Bluetooth não só para detectar os dispositivos ao seu alcance como também a força do seu sinal, o mesmo acontecendo para redes WiFi, e os famosos *Sniffers* de rede sem fios.

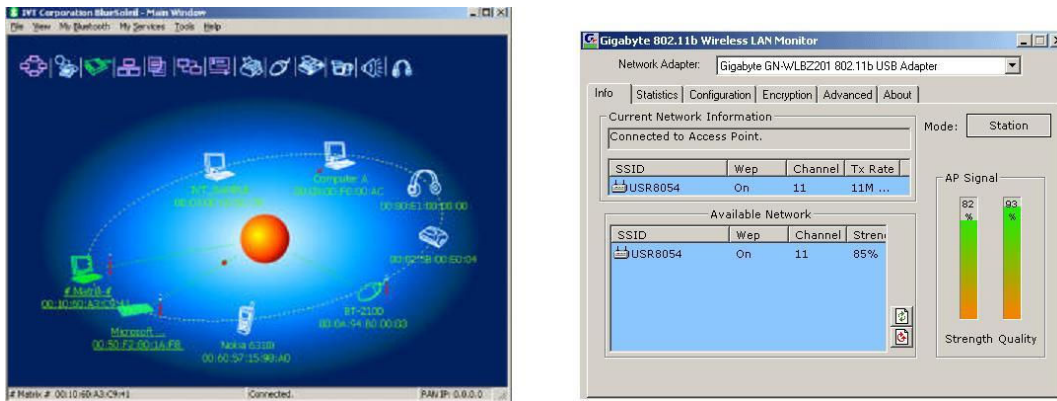


Fig. 8 – a) Bluesoleil™ para placas Bluetooth; b) Gigabyte's wireless LAN monitor suite

iii) Baseada no Tempo

Esta é a tecnologia mais comum usada na localização de sistemas. É o mesmo princípio usado no Global Positioning System (GPS), LoRaN e nos radares. O seu funcionamento consiste na medição do atraso de um sinal recebido.

No caso do GPS o sinal recebido tem a origem dos satélites orbitais e é comparado com um sinal de referência igual ao recebido.

No caso dos radares, o sinal recebido tem a sua origem no próprio receptor. Uma antena transmissora /receptora produz um pulso electromagnético curto de alta potência na gama das super altas-frequências (SHF). O sinal propaga-se no espaço e quando encontra um obstáculo este é reflectido de volta à origem. Desde que é transmitido até à altura em que é recebido o tempo é contabilizado. Sabendo a velocidade de propagação, é possível calcular a distância a que se encontra o alvo da origem.

No caso dos sistemas LoRaN (LOng RANge Navigation), o tempo de atraso é medido usando dois ou mais postos de transmissão como comparação. Estes postos de transmissão encontram-se normalmente em terra, podendo também existir em bóias aquáticas em alto mar. Transmitem a baixas frequências (entre 90 e 110kHz) e são usados em barcos e aviões por várias nações. Como os postos estão sempre no mesmo local, é possível determinar a posição da embarcação, medindo o intervalo entre os sinais recebidos. Quanto mais distante se encontra o alvo da origem, maior é a distância. Este é o princípio da tecnologia Baseada no Tempo.

iv) Soluções

Cada uma das estratégias tem as suas vantagens e os seus defeitos daí que a combinação de mais do que uma estratégias parece ser uma solução.

Usar a Força do Sinal é sempre a primeira escolha, devido à sua facilidade de implementação. Mas esta estratégia tem um grande problema já que a força do sinal recebido depende bastante do meio de propagação. Logo, a sensibilidade do receptor tem que ser capaz de se ajustar às variações atmosféricas e meteorológicas do ambiente. Além do mais, terá sempre que possuir um bloco de amplificação não só mais potente que o normal, como também deverá ter um andar de Conversão Analógica – Digital bastante sensível para obter leituras mais exactas. A limitação deste sistema é a distância, pois quanto maior ela for entre o transmissor e o receptor, o andar de amplificação terá de ser mais robusto e o ADC terá de ter uma maior resolução.

Pelo contrário, a estratégia Baseada no Tempo é favorecida pela distância pois quanto maior ela for entre o receptor e o transmissor, maior é o atraso do sinal na recepção. E como o tempo é a grandeza a ser medida, quanto maior o valor do atraso, mais facilmente será medida esta propriedade. Um bom exemplo consiste num satélite em órbita à distância de 20×10^6 m (20.000km):

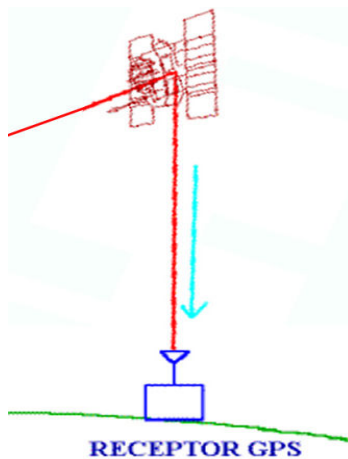


Fig. 9 – Distância entre um satélite e um receptor

O tempo necessário para percorrer essa distância à velocidade da luz será:

$$\phi = \frac{l}{c} = \frac{20 \times 10^6}{3 \times 10^8} = \frac{2}{30} \approx 66,7 \text{ ms} \quad \text{Eq.04}$$

Um atraso de sinal de 66,7ms é um valor aceitável para ser medido mediante o nível de tecnologia que existe neste momento. Então, uma combinação destas duas estratégias seria uma boa solução pois as duas de certo modo complementam-se. Quando a distância fosse relativamente pequena, o sistema apoiava-se na tecnologia de Força do Sinal. Quando a distância aumentasse ao ponto de a medição, feita pela primeira tecnologia, deixar de ser fíável recorria-se à tecnologia Baseada no Tempo.

Na figura seguinte pode-se observar uma representação do alcance das duas tecnologias:



Fig. 10 – Alcance de um receptor usando duas estratégias de rádio-localização

Esta solução deve ser usada em locais com grande área/volume para que as duas estratégias combinadas possam ter um verdadeiro sucesso. Em ambientes mais pequenos não é necessário implementar a tecnologia Baseada no Tempo pois é a estratégia que apenas tem bons resultados para distâncias longas e também porque é uma tecnologia mais dispendiosa devido à necessidade de componentes de desempenho rápido.

b) Aprendizagem

i) Triangulação

Triangulação é o processo de determinar as coordenadas e/ou a distância até um ponto, sabendo o comprimento de um dos lados do triângulo ou dos ângulos que os lados fazem ‘dois-a-dois’. Com o auxílio dos contributos oriundos da trigonometria⁵ e da geometria⁶ é possível determinar todos os dados necessários para efectuar a triangulação, juntamente com a Lei dos Senos e o Teorema de Pitágoras.

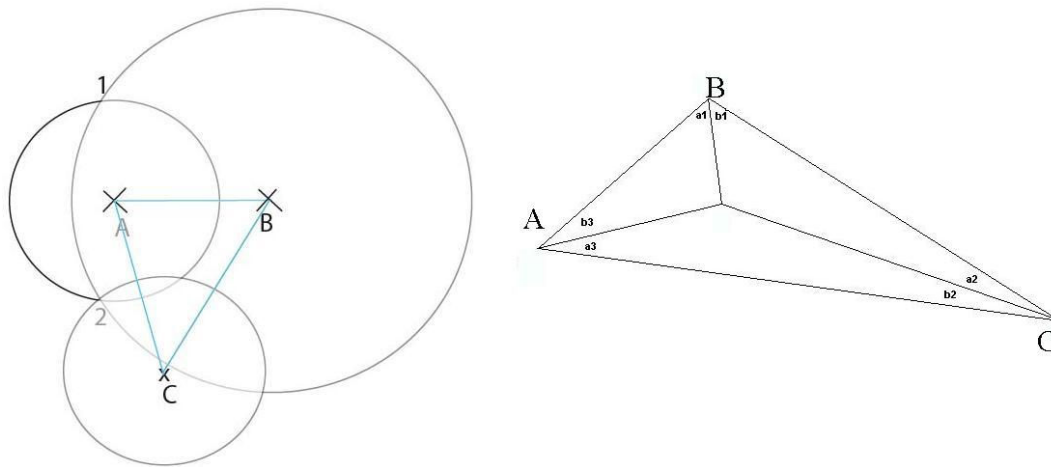


Fig. 11 – Triangulação usando três pontos A, B e C

É um “método topográfico ou geodésico de localização de um ponto a partir de visadas de outros pontos, espacialmente controlados, para que, com duas visadas para dois pontos não dispostos em linha recta, defina-se a posição topográfica do ponto de interesse que será o vértice de um triângulo”⁷.

⁵ Do Grego *trígonos*, triângulo + *metrein*, medir – In Priberam (<http://www.priberam.pt>) – Extraído em 2007

⁶ Ramo da Matemática que estuda as propriedades e as relações entre pontos, rectas, curvas, superfícies e volumes no plano e no espaço – In Priberam (<http://www.priberam.pt>) – Extraído em 2007

⁷ In Portal Universidade de Brasília (<http://www.unb.br>) – Extraído em 2007

ii) RÁDIO

(1) Espectro EM (ElectroMagnético)

Este conceito deriva do latim *spectru* ou *spectrum*, que quer dizer aparição ou fantasma. Na terminologia da Física corresponde ao “padrão produzido quando são separadas radiações electromagnéticas nos seus comprimentos de onda constituintes”⁸.

O Espectro Electromagnético é a distribuição das radiações electromagnéticas em função das frequências, com as unidades em Hertz, ou em função do comprimento de onda, com unidades normalmente em metros.

Uma radiação é uma oscilação de campos electromagnéticos que se propagam num meio físico à velocidade da luz. É chamada de onda electromagnética pois contém energia eléctrica e energia magnética. A onda oscila ou altera-se entre estas duas formas de energia, à medida que se propaga. O espectro das ondas electromagnéticas, em função do comprimento de onda (em metros), era usada antigamente pelos técnicos de telecomunicações e radioamadores. Mas com o aparecimento de sistemas que utilizam frequências na ordem dos GHz, esse conceito deixou de ser utilizado.

O Espectro electromagnético está dividido em classes de frequências, em que para cada uma dessas classes foi reservada ou definido internacionalmente um intervalo de frequências, à medida que a ciência foi descobrindo a sua existência. De seguida, mostra-se uma figura com o Espectro Electromagnético:

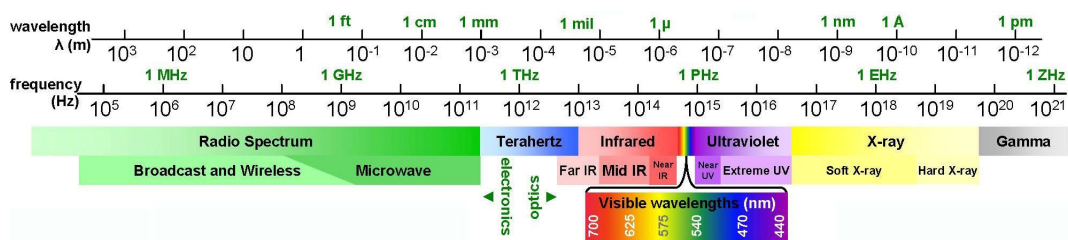


Fig. 12 – Tabela do Espectro Electromagnético

Por exemplo, as micro-ondas estão localizadas entre os 1GHz e o os 30GHz. As ondas de rádio comuns são simples radiações electromagnéticas. Porém, a luz visível pelos seres humanos é uma radiação iónica, isto é, possui energia suficiente para

⁸ In Priberam (<http://www.priberam.pt>) – Extraído em 2007

remover electrões. Este fenómeno acontece pois a luz é composta por um feixe de partículas energéticas (fotões) que vibram numa determinada frequência, dentro de um intervalo do Espectro EM: [430; 750] THz. Se for feita a conversão para comprimento de onda, usando a Eq.01, obtemos o respectivo intervalo [700; 400] nm.

A radiação de luz visível propaga-se num meio vácuo à velocidade de 3×10^8 m/s. A radiação electromagnética, apesar de não ser uma radiação com as mesmas características que a radiação luminosa, tem uma velocidade de propagação muito próxima da velocidade da luz. Por isso é que nos cálculos dos comprimentos de onda é utilizada o valor da velocidade da luz.

(2) Modulação

Qualquer sistema de telecomunicações que utilize ondas electromagnéticas requer um bloco de oscilação para modular o sinal que contém informação, para a sua transmissão no respectivo meio físico. Na modulação existem dois tipos de sinal: a portadora e o sinal original:

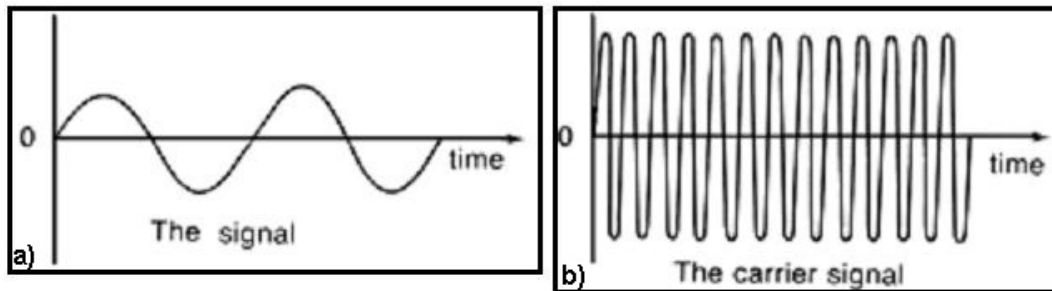


Fig. 13 - Formas de ondas dos sinais a)Original e da b)Portadora

O sinal original é aquele que contém a informação que se deseja transmitir. A portadora é a onda que irá transportar o sinal original através do meio físico. O sinal da portadora tem origem num oscilador, podendo ser um circuito ressonante ou de cristal.

A Modulação em Frequência (FM), representada na figura seguinte, é descrita da seguinte forma: quando o sinal original varia de amplitude, a frequência da portadora irá ser alterada. Quanto maior for a amplitude do sinal original, maior será a diferença de frequência na portadora, logo, será necessário que o receptor suporte uma maior largura de banda. Esta situação ocorre, pois o sinal resultante (sinal modulado) varia entre um valor mínimo de frequência (quando a amplitude do sinal original é mínima) e um valor

máximo de frequência (quando a amplitude do sinal original é máxima). Assim, os valores de frequência do sinal modulado têm que ser predeterminados e são, normalmente, acordados os valores de uma frequência central e um valor de largura de banda.

A Modulação em Amplitude (AM) é a modulação mais fácil e directa de se implementar. O sinal da portadora é transmitido constantemente para o meio físico, com uma frequência – frequência da portadora – constante. A amplitude da portadora é directamente proporcional à amplitude do sinal original, como se vê nas imagens seguintes:

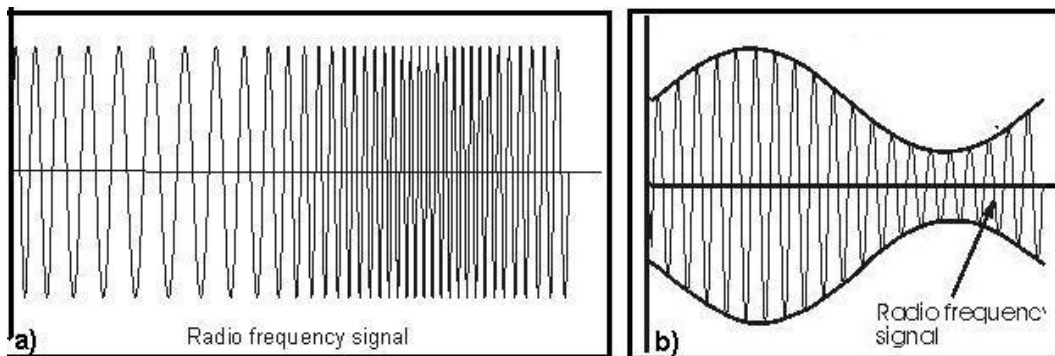


Fig. 14 - Sinal transmitido usando: a)FM e b)AM

A desmodulação AM também é bastante fácil, bastando para tal um circuito rectificador, um díodo por exemplo, e um detector de pico – um circuito RC (resistência em paralelo com um condensador):

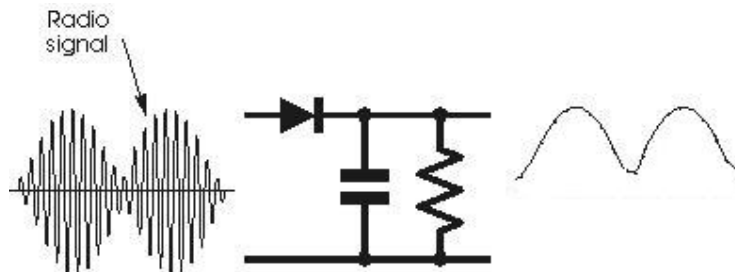


Fig. 15 - Circuito desmodulador de AM

A frequência da portadora é usualmente calculada através de um factor multiplicador de 10x, ou seja, para saber a frequência da portadora, multiplica-se a frequência máxima do sinal original (pois um sinal de áudio para o ouvido humano

varia entre os 20 Hz e os 20KHz), e multiplica-se por 10. Se esta regra não for seguida pode haver perda de sinal e, logo, de informação.

Além destas duas modulações analógicas (ou padrão), existem ainda:

- Modulação em Fase (PM – *Phase Modulation*);
- Modulação em Banda Lateral Única (SSB - *Single-SideBand*), Dupla (DSB - *Double-SideBand*) e Vestigial (VSB - *Vestigial SideBand*);
- Modulação de Amplitude em Quadratura (QAM - *Quadrature Amplitude Modulation*);

Mas estes tipos de modulações não são capazes de suportar a demanda por parte dos utilizadores de telecomunicações, por maiores débitos de informações nas transmissões. Por isso, foram inventados novos tipos de estratégias para modulação de forma a conseguir-se um maior débito de transmissões. Estas novas tecnologias usam processamento de sinal em forma digital, isto é, em bits: ‘1s’ e ‘0s’.

Usada muitas das vezes para realizar as conversões analógicas para digitais (ADC – *Analog to Digital Conversion*), as modulações digitais são normalmente compostas por um sinal portador do tipo digital e um sinal original que pode ser de origem analógica ou, também, digital.

A Modulação por Pulsos (*Shifted Key*) ou digital introduz o conceito de amostragem, que considera que qualquer sinal analógico pode ser recuperado a partir de um determinado número de amostras que por sua vez depende da frequência da portadora. Logo, se a frequência da portadora não seguir a regra do factor de multiplicação, então o número de amostras do sinal original será demasiado pequeno e o sinal original será erradamente amostrado. A este problema chama-se *Aliasing* e é muito comum em processamento de sinal digital de imagens gráficas e estatísticas. As duas imagens que seguidamente apresentamos, revelam esse efeito. O sinal original (com a cor vermelho à esquerda e com a cor roxa à direita) é amostrado a baixa frequência e resulta num sinal distorcido (com a cor azul à direita e com a cor verde à direita):

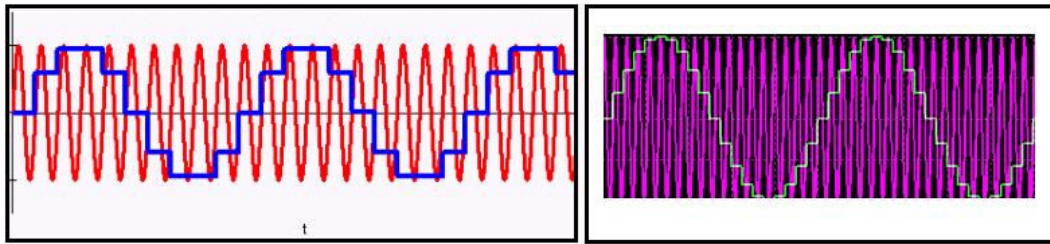


Fig. 16 - Exemplos do efeito Aliasing

A Modulação de Amplitude digital ASK (*Amplitude Shift Keying*) é semelhante à modulação AM, só que o sinal original é de origem digital. O mesmo é válido para a modulação de frequência digital FSK (*Frequency Shift Keying*). As figuras seguintes demonstram as formas de onda destas duas modulações, cada uma com o sinal original (modulador), a portadora e o sinal modulado.

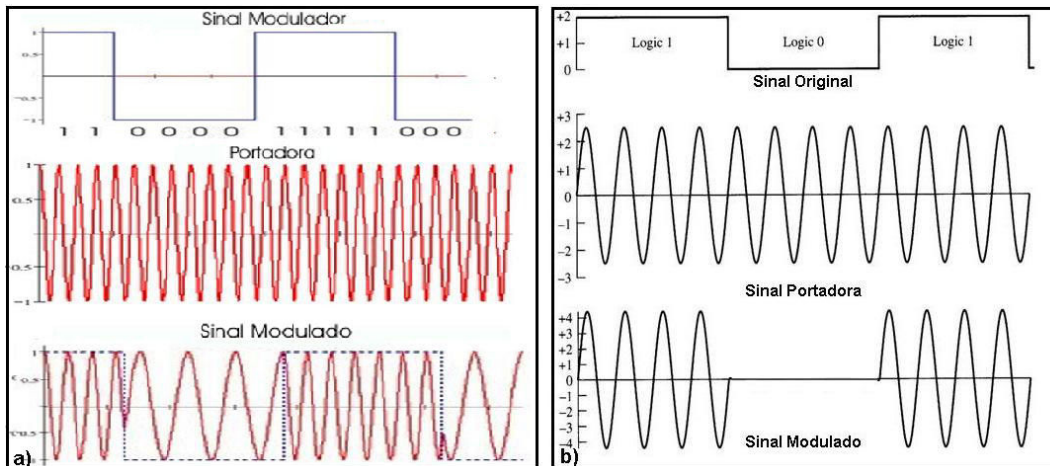


Fig. 17 - Formas de onda do sinal original, portadora e sinal modulado para as modulações: a)FSK e b)ASK

(3) Oscilador

Como referido anteriormente, qualquer sistema de telecomunicações requer um bloco de oscilação. Este bloco é normalmente composto por um circuito ressonante ou por um cristal com propriedades semelhantes a um cristal de quartzo. Os cristais de quartzo têm a capacidade de vibrar a uma frequência constante quando lhe é aplicada uma corrente eléctrica contínua. Esta propriedade é a característica dos materiais piezoeléctricos. Em sistemas eléctricos que requerem circuitos osciladores de frequências muito altas (nas gamas de MHz e GHz), não se usa cristais de quartzo pois estes são limitados a nível de frequência e muito difíceis de ser fabricados. Então, para serem utilizados neste tipo de circuitos produzem-se polímeros piezoeléctricos.

Um circuito ressonante, normalmente constituído por um componente capacitivo e um componente indutivo, é capaz de oscilar a uma frequência e amplitude constante, quando se encontra em equilíbrio. A ressonância ocorre quando a impedância de um condensador iguala a impedância de uma bobine. Em baixo pode-se observar uma representação de um circuito LC:

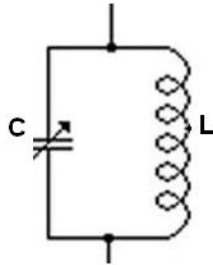


Fig. 18 - Circuito ressonante LC (Bobine e Condensador)

A impedância de um condensador (Z_C) ideal é descrita pela seguinte equação:

$$Z_C = \frac{1}{jWC} \quad \text{Eq.05}$$

onde C é a capacidade – ou capacitância – do condensador, W é a frequência angular. A impedância de uma bobine (Z_L) ideal é descrita pela seguinte equação:

$$Z_L = jWL \quad \text{Eq.06}$$

onde L é a indutância da bobine. Quando os dois componentes estão segundo uma configuração em paralelo, se as impedâncias dos dois se anularem:

$$Z_C = Z_L \Leftrightarrow \frac{1}{jWC} = jWL \quad \text{Eq.07}$$

Então a impedância equivalente é máxima e a corrente que atravessa o circuito é mínima. Isto apenas acontece para uma determinada frequência que é descrita por:

$$fc = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}} \quad \text{Eq.08}$$

Nas aplicações de telecomunicações, ter este circuito associado à saída do bloco que produz o sinal original permite realizar a modulação em frequência. A frequência da

portadora coincide com a frequência de ressonância (ou de oscilação). A figura seguinte apresenta um esquema de um circuito muito simples para transmitir voz através de um sinal modulado em FM:

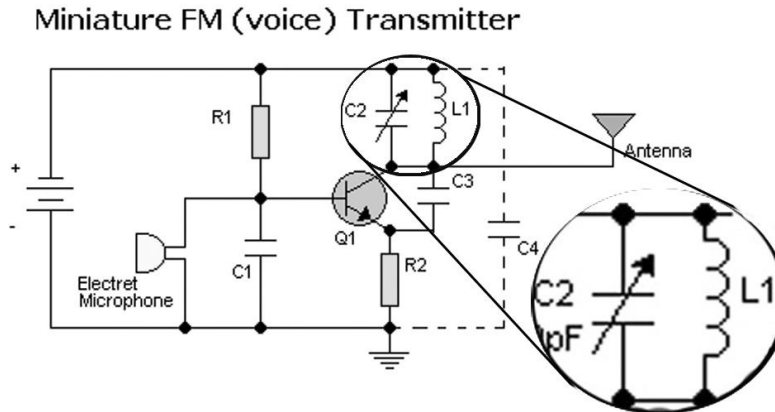


Fig. 19 - Circuito de um Rádio de Cristal de um transmissor com modulação em FM

O condensador C2 e a bobine L1 formam o circuito ressonante. O transistor providencia uma ligeira amplificação. O microfone “*Electret Microphone*” cria o sinal original, transformando a energia sonora em energia eléctrica. Os microfones nestes circuitos simples são normalmente microfones de cristal, pois o cristal é mais adequado para transformar ondas sonoras de baixa potência, em energia eléctrica. A este tipo de transmissores, denominam-se de rádios de cristal pois utilizam estes microfones como fontes de sinal.

(4) Sistemas regenerativos e super-regenerativos

Os rádios regenerativos suportam-se no princípio da re-alimentação. O sinal proveniente da antena receptora é, em parte, utilizado para re-alimentar o sinal de entrada. Estes sistemas, normalmente receptores AM, possuem uma sensibilidade e uma selectividade superior, concedendo uma qualidade de áudio maior e menor figura de ruído, que os rádios receptores passivos. Estas características são possíveis graças ao uso de um tubo de vácuo (mais conhecidos por válvulas) que permite a re-alimentação. Este tubo de vácuo é posteriormente substituído por semicondutores de melhor qualidade como os transístores bipolares e de junção (JFET) dando-lhe capacidades de amplificação até 100.000 vezes (transístor bipolar). Esta é uma grande vantagem em comparação com os receptores não-regenerativos que têm ganhos até 20 vezes.

Um receptor regenerativo utiliza o princípio do oscilador de Armstrong, em que a energia produzida pelo andar de amplificação é de novo introduzida à entrada por uma bobine através de um acoplamento magnético. Este circuito é apresentado na figura seguinte:

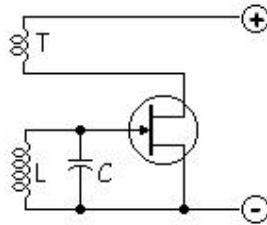


Fig. 20 - Circuito oscilador de Armstrong

A bobine ‘T’ devolve parte da energia amplificada para a bobine L do circuito ressonante através de um acoplamento magnético – normalmente um núcleo ferromagnético.

O limite destes sistemas é a sua frequência máxima: certa de 12MHz com uma largura de banda de 3kHz.

Já um sistema super-regenerativo permite configurações de receptores a frequências muito altas (VHF – *Very High Frequency*), ultra ondas (UHF – *Ultra High Frequency*) ou até micro-ondas. Em resumo, um sistema super-regenerativo utiliza um segundo oscilador – interno ou externo – para ajudar a amplificar o circuito sintonizador (circuito ressonante, por exemplo). Quando o circuito sintonizador está em oscilação, o circuito oscilador auxiliar carrega o condensador. Quando este condensador estiver carregado, a sua tensão faz parar a oscilação do sintonizador. De seguida, o condensador descarrega para uma resistência e o circuito sintonizador retorna ao seu funcionamento. Durante o tempo em que o sintonizador não oscila, o sinal RF de entrada é então acumulado. Esta estratégia permite ganhos de até 1.000.000 (um milhão). Outro aspecto é que a frequência do circuito oscilador secundário tem que ter uma frequência muito abaixo da frequência RF, por exemplo 30KHz.

A limitação destes circuitos é que não podem ser usadas frequências de transmissão muito baixas pois isso significaria que a frequência do oscilador secundário, estaria abaixo dos 30KHz, aproximando-se da banda de áudio. O que queria dizer que um utilizador de rádio iria ouvir um ruído proveniente do circuito oscilador

secundário. Na figura seguinte apresenta-se um circuito de um receptor super-regenerativo:

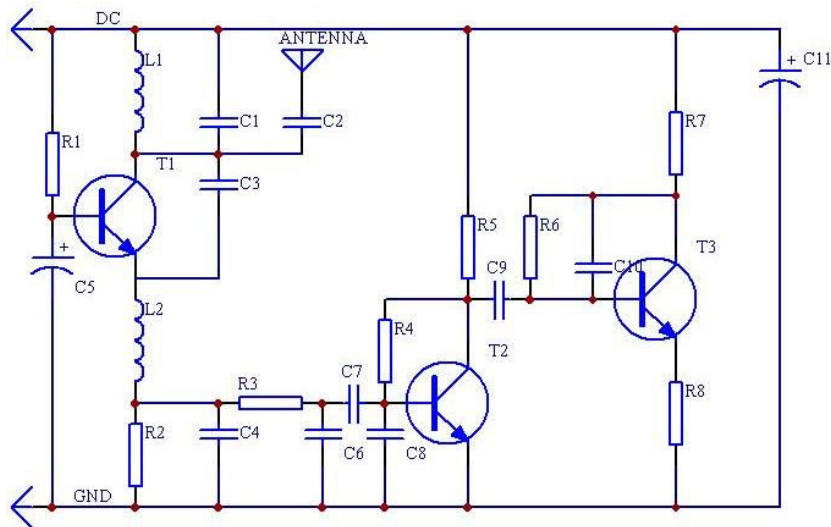


Fig. 21 - Circuito de um receptor super-regenerativo

(5) Sistemas Super-heterónimos

A denominação Heterónimo vem do Grego o *héteros*- "diferente", - *dýn[amis]* "força" ou "poder" e quer dizer: gerar novas frequências, combinando/misturando dois ou mais sinais num circuito não-linear como uma válvula, transistor ou *Mixer*. Num sistema super-heteródino, duas frequências são misturadas para criar a soma e/ou a diferença das duas frequências originais. A figura seguinte apresenta o diagrama de blocos de um sistema super-heteródino:

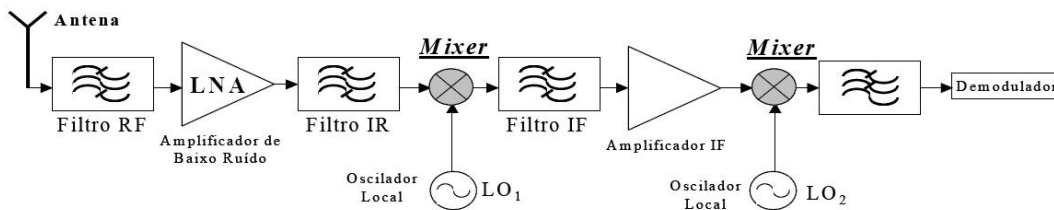


Fig. 22 - Topologia típica do receptor super-heteródino

O princípio que sustenta este tipo de receptores é trazer o sinal (RF) recebido na antena para uma Frequência Intermédia (IF), para que se possa realizar uma amplificação intermédia. Após este estágio, baixa-se de novo a frequência para a banda

base perto de DC (*Direct Current*) onde se encontra armazenada a informação transmitida, para uma amplificação.

Os andares de amplificação para altas-frequências (HF – *High Frequencies*), são difíceis de se desenhar e obter grandes ganhos. Usando esta tecnologia, facilita-se a construção física de transmissores/receptores para comunicações com frequências muito superiores. Estes processos são possíveis graças a um bloco chamado *Mixer*, que é o circuito que permite “transportar” um sinal que se apresente à sua entrada, para uma frequência abaixo da sua (método *downconversion*) ou acima (método *upconversion*). Este método é possível graças à mistura de um sinal oscilador de uma onda quadrada com uma frequência que irá impor a frequência do sinal convertido. Independentemente do método ser *downconversion* ou *upconversion*, a frequência do sinal à saída (IF) do *Mixer* será igual à frequência do sinal RF menos ou mais, respectivamente, a frequência do sinal do oscilador (LO).

$$f_{IF} = f_{RF} - f_{LO} \quad \text{Downconversion} \quad \text{Eq.09}$$

$$f_{IF} = f_{RF} + f_{LO} \quad \text{Upconversion} \quad \text{Eq.10}$$

O aspecto de uma configuração de um *Mixer* típico apresenta-se na figura seguinte:

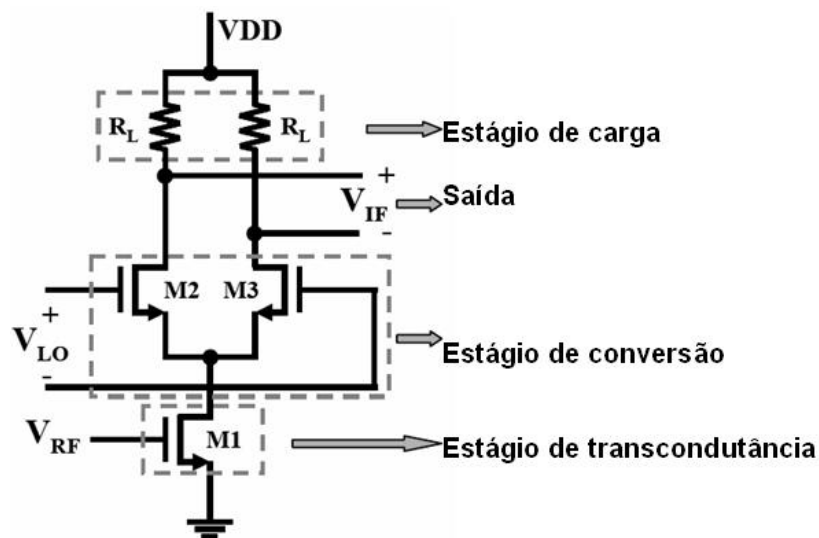


Fig. 23 - Esquema de um Mixer numa configuração Single Balanced

Os transístores M1 e M2, normalmente do tipo FET com tecnologia CMOS para melhor integração, servem idealmente como interruptores. Por isso é que a forma de onda do oscilador local deve ser o “mais quadrada possível”.

A ideia de converter o sinal RF num sinal com menor frequência tem as suas vantagens. A procura por frequências no Espectro EM tem-se tornado cada vez mais rígida, sendo crescentemente necessário não só aproveitar todas as frequências disponíveis como também criar tecnologias de transmissão que permitam canais de transmissão (largura de banda) mais pequenos. Isto implica que os filtros tenham que se tornar mais selectivos, o que muitas das vezes não é possível quer pelo tamanho que os filtros ocupam nos circuitos integrados, quer por simplesmente não ser possível devido às instabilidades.

Um *Mixer* resolve o problema da selectividade facilmente pois basta regular o circuito oscilador tornando possível seleccionar a frequência com que se deseja trabalhar. É muito mais fácil regular/controlar o circuito oscilador do tipo LC (na maior parte das vezes) do que controlar os vários componentes reactivos que um filtro de grande selectividade requer. Outra vantagem é que, usando o método *upconversion*, será possível obter frequências mais altas do que aquelas que se conseguem obter em alguns osciladores tornando-se possível utilizar uma parte do Espectro EM que ainda não estava ao nosso alcance.

Os sistemas super-heterónimos permitiram as integrações de rádios. Um exemplo disso é o famoso rádio de FM que usamos todos os dias, na banda [88; 108] MHz. O circuito integrado TDA7000, da Philips, tornou-se muito popular pois, com apenas um conjunto de componentes passivos é possível construir um rádio FM.

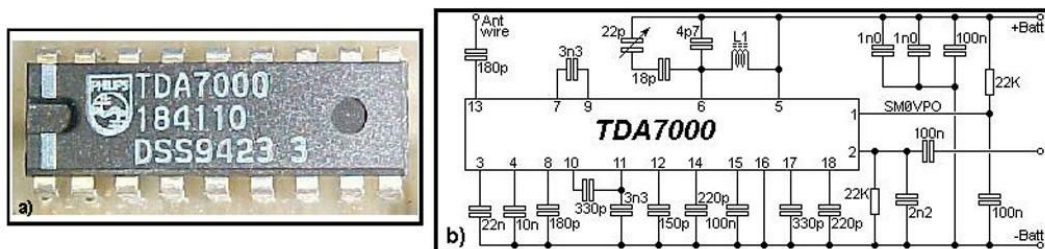


Fig. 24 - a)Circuito Integrado TDA7000 da Philips; b)Configuração do TDA7000 de rádioFM

Também porque os condensadores e as resistências são fáceis de arranjar. A bobine L1, utilizada no circuito oscilador LC, não existe normalmente à venda pois tem uma indutância baixa (na ordem dos nano-Henries) mas este tipo de bobines fáceis de fazer,

(exemplo: um fio condutor enrolado à volta de um lápis com 6 voltas) e normalmente resulta bem. O próprio circuito oscilador tem na secção dos condensadores um condensador variável para sintonizar as estações de rádio:

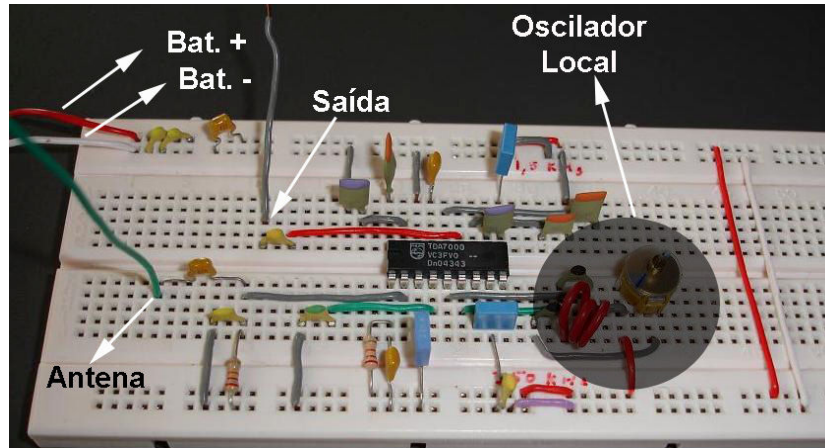


Fig. 25 - Rádio receptor FM, com o uso do TDA7000

(6) Sistemas Homónimos

Nos sistemas heterónimos, o sinal é transportado para uma frequência abaixo da f_{RF} , para uma frequência intermédia f_{IF} , para a amplificação intermédia. Já nos sistemas homónimos este fenómeno não ocorre. O sinal RF é levado directamente para a banda base. A vantagem é que elimina um problema que os sistemas heterónimos têm e que é o Ruído da Imagem. O sinal IF está ainda próximo do sinal RF no Espectro EM e, como o sinal IF tem mais potência que o sinal RF, este tende a “infectar” o sinal original e fazer com que se perca informação. Na figura seguinte apresenta-se o diagrama de blocos de um sistema homónimo:

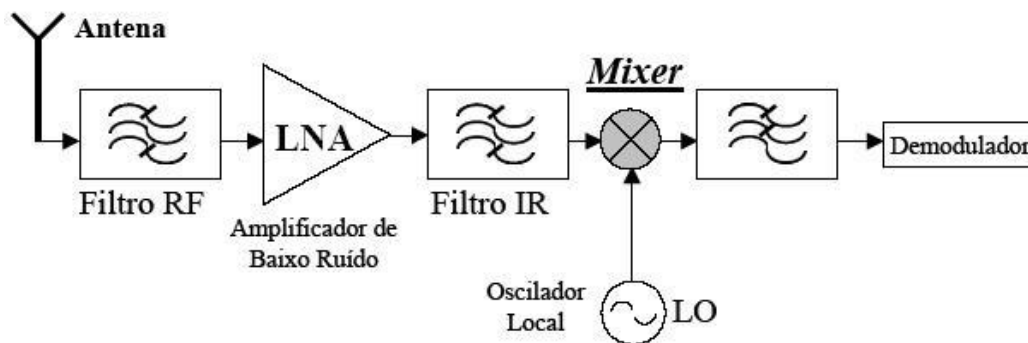


Fig. 26 - Diagrama de blocos de um sistema homónimo

c) Tecnologias

i) GPS – *Global Positioning System*

“Navigation is defined as the science of getting a craft or a person from one place to another”⁹.

Para muitos de nós, a capacidade de navegação requer o uso dos nossos olhos, senso comum e pontos de referência. Mas quando a navegação requer uma exactidão mais precisa, com um tempo de resposta menor, não é possível confiar só em pontos de referência.

Os primeiros exemplos de GPS foram o *U.S. Navy Navigation Satellite System – Transit* – e o *Russian Tsikada System*. Estes sistemas forneciam um sistema de posicionamento a duas dimensões (2D) com bastante precisão, mas apresentavam um grande problema. A sua latência era muito grande e variava com a latitude. A frequência com que era actualizada a localização do alvo, por exemplo, no Equador era de 110 minutos, enquanto a 80° esse tempo diminuía para 30 minutos. Além disso, o sistema receptor necessitava de 10 a 15 minutos para realizar o processamento. Este facto não apresentava grandes consequências para embarcações em alto mar pois a sua velocidade de deslocação é pequena demais para ser significativa. No entanto para deslocações mais rápidas, como acontece com os aviões, já seria crítico.

Foi então necessário desenvolver um novo sistema. Em 1960, os militares dos Estados Unidos, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e o DOT (*Department of Transportation*) criaram uma equipa conjunta com o objectivo de criar uma infra-estrutura capaz de permitir a localização/navegação com cobertura global, contínua (independente do estado atmosférico), com capacidade para suportar alvos dinâmicos e com grande precisão. O Laboratório de Pesquisa Naval (NRL) providenciou a investigação com relógios baseados no espaço, para criar tempos de transferência de dados mais precisa (Projecto “*Timation*”). A Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) concebeu um sistema de posicionamento de satélites em que estes estariam sob uma órbita elíptica em inclinações de 0°, 30° e 60°.

⁹ D. Kaplan, Elliott - Understanding GPS : principles and applications, p.01

Em 1969, criado pelo GPS *Joint Program Office* (JPO), o projecto NAVSTAR GPS é concebido. Até ao momento, o GPS JPO continua a supervisionar o desenvolvimento e produção deste sistema que fornece dois tipos de serviços: SPS (*Standart Positioning Service*) e PPS (*Precise Positioning Service*).

O primeiro, o SPS, é mundialmente usado pelos civis e possui uma precisão de 100m (95%) horizontalmente, 156m (95%) verticalmente e de relógio 340ns (95%). O segundo, o PPS, é usado pelos militares dos Estados Unidos e certas agencias governamentais, possuindo uma precisão de 22m (95%) horizontalmente, 156m (95%) verticalmente e de relógio 200ns (95%).

A Rússia possui um sistema muito similar com o GPS, denominado GLONASS (*Russian Global Navigation Satellite System*). Este sistema foi criado em 1970 e possui uma precisão de 100m (95%) horizontalmente, 150m (95%) verticalmente, para o serviço civil. A sua precisão para o serviço militar é semelhante ao PPS e do GPS.

O GPS é composto por uma rede de satélites artificiais que se localizam a uma altura de aproximadamente 20.000 km, abaixo da Órbita Geostacionária. Estes estão dispostos em 6 planos orbitais, com 4 satélites por cada plano. Cada um dos 28 satélites (4 satélites são sobresselentes) que formam esta rede envia um sinal complexo para a superfície terrestre e para o receptor alvo que deseja obter a sua posição no globo. Os receptores podem ser numerosos já que operam passivamente, ou seja, apenas efectuam a recepção. O receptor utiliza o sinal com duas frequências na gama das micro-ondas, originário de três satélites para realizar a triangulação da sua posição. As frequências usadas são: L1 = 1575.42 MHz (frequência primária) e L2 = 1227.6 MHz (frequência secundária). Estas duas frequências são usadas para transmitir a mesma frequência para que se possa avaliar o atraso resultante pela ionosfera. Para suportar tantos receptores, utiliza-se a codificação CDMA (*Code Division Multiple Access*)

Cada satélite está permanentemente a emitir três sinais: a mensagem de navegação, um “almanaque” (pois contém informações temporais) e um *ephemeris*¹⁰. O “almanaque” constitui toda a informação referente às orbitas e actuais estados dos satélites da rede/constelação GPS. Como a informação ainda é elevada, de cada vez que um receptor é iniciado pela primeira vez a sua inicialização demora cerca de 12 a 15 minutos, pois tem que fazer o “download” dessa publicação. Um *ephemeris* é um

¹⁰ Tábuas astronómicas que indicam a posição dos planetas para cada dia do ano.

calendário astrológico, que permite saber com precisão a posição de um objecto presente em órbita. Esta informação demora por volta de 30 segundos a descarregar para o receptor e é válida durante 4 horas, apesar de os satélites actualizarem essa sua informação a cada 2 horas. O receptor utiliza a informação do almanaque e do *ephemeris* para calcular a posição de cada um dos satélites que está a utilizar na triangulação.

A mensagem de navegação fornece o tempo (horário) do seu relógio atómico interno que possui um atraso de aproximadamente 10^{-9} segundos/dia. Esta informação é enviada num sinal de 50bps juntamente com um código que identifica cada um dos satélites, como um B.I. – o código C/A (*Coarse Acquisition*). A figura seguinte apresenta o diagrama de blocos:

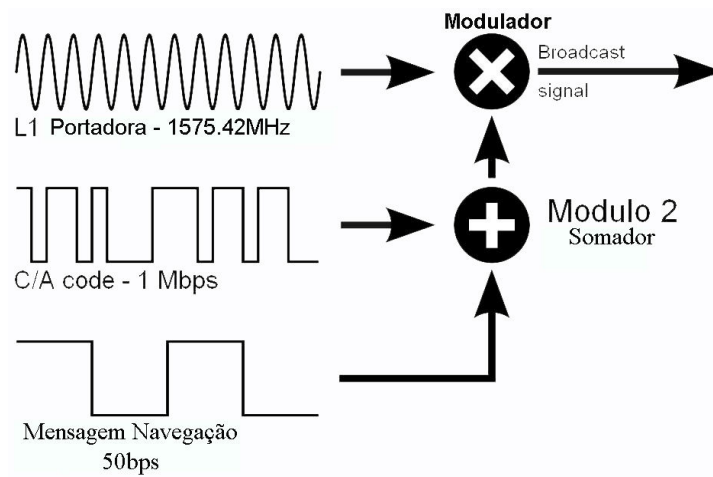


Fig. 27 - Modulação do sinal de navegação e o código C/A

O receptor adquire os sinais oriundos dos três satélites e mede o atraso do sinal, comparando o relógio que vem no sinal com o seu próprio relógio interno composto por um cristal de quartzo. Daí considerar-se este sistema, um sistema baseado no Tempo de Chegada (TOA - *Time of arrival*). O atraso do sinal permite-lhe saber a distância na linha de visão entre o alvo e o satélite, pois as ondas de rádio propagam-se à velocidade da luz, em ambientes de vácuo, descrevendo:

$$\phi = \frac{l}{c} \text{ segundos} \Leftrightarrow l = \phi.c \text{ metros} \quad \text{Eq.11}$$

Onde θ é o atraso do sinal em segundos, l é a distância percorrida pelo sinal e c é a velocidade da luz que, num ambiente vácuo, é de 3×10^8 m/s. Uma vez que se sabe a localização no espaço de cada um dos satélites envolvidos, é possível calcular a localização do alvo com bastante precisão.

O receptor utiliza um relógio de cristal pois concede portabilidade ao utilizador do serviço, mas estes relógios de cristal não são muito exactos para este tipo de operações. Para tal são necessários 4 satélites: 3 para localização (triangulação) e 1 para sincronizar/corriger o relógio interno do receptor, devido ao offset.

Existem módulos disponíveis comercialmente, que permitem aos criadores de hardware construir equipamentos que possam usufruir das vantagens de utilizar um Sistema de Posicionamento Global, como o LEA-4H da empresa Suíça UBlox. Outro exemplo desses módulos é o “GPS 18” do fabricante GARMIN que suporta uma comunicação com um computador através uma porta USB ou através de uma porta série (RS-232). Usando a porta série, é possível então formar uma interface mais controlada e dedicada, o que é perfeito para grupos dedicados à construção de robots, veículos autónomos ou outros sistemas embebidos.

Podemos encontrar disponíveis módulos que são muito eficazes para soluções em sistemas móveis (M2M - *Mobile-to-Mobile*) pois fornecem uma ligação mais coerente entre a tecnologia GPS e a tecnologia actual GSM (*Global System for Mobile* ou *Global Spécial Mobile*). Dois exemplos disso são: o RF8110 da empresa RFMD e o módulo XT75 da Siemens. Esta simbiose de tecnologia «possibilita o desenvolvimento de soluções M2M mais complexas, ou seja, soluções de rastreamento veicular, chamadas de emergências, gerenciamento de frota, e sistema de navegação podem ser trazidas ao mercado em menor tempo e com menor custo»¹¹.

Também já existem equipamentos portáteis pessoais que permitem aos consumidores utilizarem-nos para auxílio em viagens de carro pelas estradas do seu país, e/ou usarem nos tempos livres como forma de lazer. Eis um exemplo: existe há já algum tempo um site onde o (futuro) participante se pode inscrever e aceder a uma base de dados que possui informação de vários pontos no globo com as coordenadas geográficas, e onde com a ajuda de um equipamento de GPS pode realizar uma “Caça ao Tesouro”. Esta actividade chama-se *geocaching* e esta comunidade existe tanto para os adeptos de Orientação como para as famílias que desejem passear pela Natureza.

¹¹ In Siemens (<http://www.siemens.com.br>) – extraído em Agosto 2007

Para despertar competição e informar as pessoas, para cada ponto existe uma descrição do nível de dificuldade. O site principal é www.geocaching.com, mas existem muitos outros pois esta actividade está a ganhar cada vez mais adeptos por todo o mundo, graças à descida de preços dos equipamentos de GPS portáteis e pessoais.

ii) Radar- *RA*dio *D*etection *A*nd *R*anging

O conceito do radar foi demonstrado pela primeira vez pelo físico alemão Heinrich Hertz, nas suas experiências entre 1885 e 1889, provando as teorias de James Clerk Maxwell, publicadas em 1864, sobre os campos electromagnéticos. Hertz criou um aparelho, similar a um radar de pulso [ver mais abaixo], que emitia ondas electromagnéticas na zona dos 455 MHz. Ele demonstrou que as ondas electromagnéticas viajam à mesma velocidade que a luz, que são reflectidas em matérias metálicas e refractados em prismas dieléctricos.

Em 1900, continuando com o trabalho de Hertz, outro alemão de nome Christian Hülsmeier construiu um aparelho que é actualmente conhecido como radar de pulsos mono estático (*Monostatic Pulse Radar*). Este aparelho foi então patenteado em 1904, em Inglaterra. O instrumento era capaz de detectar navios, organizar (mapear) uma área marítima para prevenir colisões entre embarcações. Mas este não apresentou muito sucesso devido à falta de necessidade de prevenir este tipo de colisões, caindo no esquecimento.

Em 1920, S.G. Marconi descobre uma detecção de alvos através de ondas de rádio e apresenta essas descobertas, em 1922, num discurso perante o *Institute of Radio Engineers* (actualmente o IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*). Na mesma altura, dois investigadores do Laboratório de Pesquisa da Marinha dos Estado Unidos, A. Hoyt Taylor e Leo C.Young, realizam uma grande descoberta, acidentalmente. Um navio que passava na linha de visão entre dois transmissores/receptores, um em cada margem de um rio, criava uma variação/flutuação no sinal. Este fenómeno foi chamado de CW (*Continuous Wave*) *wave – interference system*. Actualmente é conhecido como radar CW.

Foi apenas nos anos entre 1920 e 1930, com o aparecimento dos pesados bombardeiros, que cresce o interesse por um sistema operacional de radar, por parte dos militares. Nessa altura vários países desencadearam pesquisas e experiências com o radar CW, como os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, antiga USSR, Itália, França, Japão e até a Holanda. De todos estes estudos, é de salientar o grande avanço feito pela Universidade de Birmingham do Reino Unido, com a invenção de um *magnetron*¹² de micro-ondas de alta potência.

RADAR é um sistema electromagnético para detecção e localização através da reflexão de objectos aéreos, marítimos e terrestres e do ambiente. Permite medir a distância entre a antena e o alvo, enviando pulsos electromagnéticos em todas as direcções, a 360°. A energia electromagnética é irradiada, onde parte dela é interceptada pelo obstáculo e reflectida de novo à origem (eco). Detecta-se o eco desse sinal e mede-se o tempo que demora ao sinal a ir e a regressar. A sua performance é óptima a longas e curtas distâncias, sob condições atmosféricas difíceis para sensores ópticos e de infravermelhos. Na figura seguinte, apresenta-se uma representação do efeito do radar usado para detectar aviões:

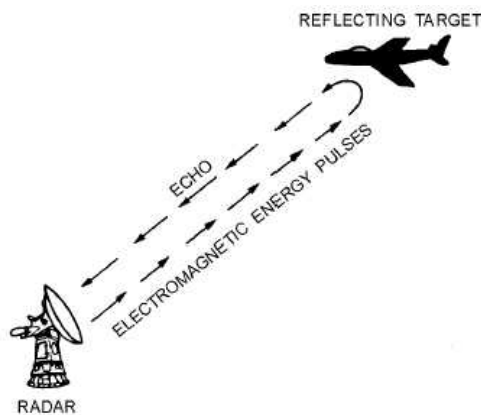


Fig. 28 - Representação do efeito do radar

Este sistema combina duas estratégias de rádio-localização: Baseado no Tempo e Ângulo de Recepção.

• ¹² Díodo no qual o fluxo de electrões é controlado por um campo magnético continuamente aplicado para gerar potência à frequência de microondas

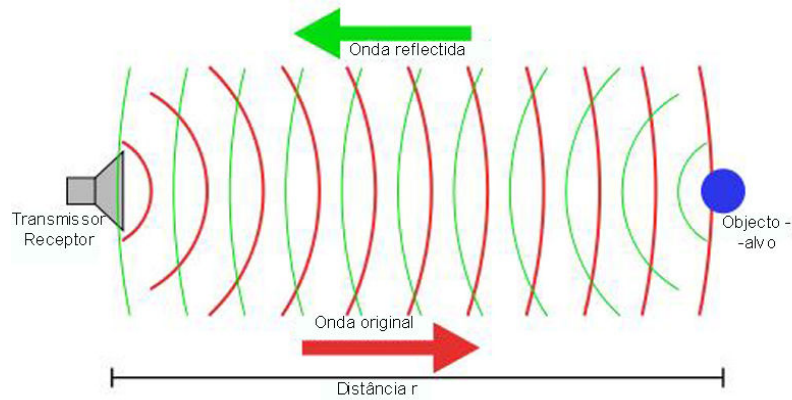


Fig. 29 – Caminho do pulso electromagnético e efeito RADAR

Este sistema mede o atraso do sinal para calcular a distância ao alvo e usa antenas direccionais para saber a direcção do sinal reflectido. Como o tempo de atraso medido pelo radar corresponde ao tempo que a onda demora a percorrer o caminho fonte – obstáculo – fonte, a distância calculada será o dobro da distância entre a fonte e o obstáculo:

$$l = \frac{\phi \cdot c}{2} \text{ metros} \quad \text{Eq.12}$$

O transmissor cria uma onda electromagnética do tipo sinusoidal, modulada por um trem de impulsos. Esta onda possui uma frequência na zona das micro-ondas, no Espectro Electromagnético, entre os 100Mhz e os 36GHz. Para os radares na costa, com alcance para além do horizonte, usam frequências entre 3MHz e 30MHz.

Na tabela ¹³seguinte pode-se observar alguns intervalos de frequências usados por diferentes tipos de radares:

¹³ In Wikipedia (<http://en.wikipedia.org/wiki/Radar>) – Extraído em Agosto 2007

Radar Frequency Bands

Band Name	Frequency Range	Wavelength Range	Notes
HF	3–30 MHz	10–100 m	Coastal radar systems, over-the-horizon radar (OTH) radars; 'high frequency'
P	< 300 MHz	1 m+	'P' for 'previous', applied retrospectively to early radar systems
VHF	50–330 MHz	0.9-6 m	Very long range, ground penetrating; 'very high frequency'
UHF	300–1000 MHz	0.3-1 m	Very long range (e.g. ballistic missile early warning), ground penetrating, foliage penetrating; 'ultra high frequency'
L	1–2 GHz	15–30 cm	Long range air traffic control and surveillance; 'L' for 'long'
S	2–4 GHz	7.5–15 cm	Terminal air traffic control, long range weather, marine radar; 'S' for 'short'

Tabela 1 - Tabela de frequências usadas por alguns radares

As antenas direccionais de forma parabólica estão apoiadas numa base que está constantemente a rodar no eixo vertical (perpendicular à base). O receptor encontra-se no mesmo local que o transmissor. Para que o receptor não interprete o sinal que foi imediatamente transmitido, usa-se um dispositivo denominado *diplexer* que liga e desliga o transmissor e o receptor em intervalos de tempo muito menores que o tempo do pulso. Este intervalo de tempo depende da distância mínima para detectar alvos.

É possível também determinar a velocidade que um objecto alvo possui, usando um conceito chamado “Efeito de Dopler”. Este descreve-se do seguinte modo: um sinal com uma determinada frequência, que é reflectido num objecto em movimento, tem a sua frequência alterada quando retorna ao ponto de origem. O efeito de Dopler é, também, usado para diferenciar os alvos em movimento dos obstáculos fixos, como as árvores, prédios e outros objectos em redor. Este efeito usa o mesmo princípio da Física, que explica a alteração do som de uma sirene, que se ouve à distância, à medida que se aproxima de nós (e o inverso quando se afasta).

Os radares de impulsos que medem as diferenças da frequência de Doppler são chamados MTI (*Moving Target Indication*) ou Radares de Impulsos (*Pulse Doppler Radars*). Estes requerem grande performance e um dutty cylce pequeno:

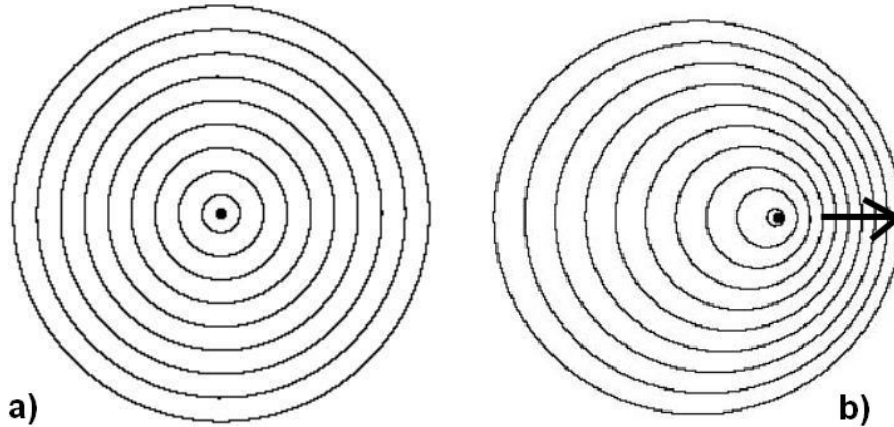


Fig. 30 – Representação das ondas originárias de um objecto-alvo: a)em regime de repouso; b)Em movimento, da esquerda para a direita

Como se pode observar na Fig.30, o objecto em movimento faz com que a distância (período) entre as ondas seja menor quando as ondas se propagam na mesma direcção que o objecto. Isto quer dizer, que a frequência do sinal recebido será maior do que originalmente, se o alvo estiver a dirigir-se para o receptor. O contrário também é verdade quando o alvo se afasta do receptor.

Analisemos um radar Doppler de Frequência Variada (*Dopler Frequency Shift*). Se um número de ondas ao longo para uma distância l entre o alvo e o radar é igual a l/λ , então o número total de períodos do sinal Φ , em radianos, é dado por:

$$\Phi = \frac{2\pi \times 2l}{\lambda} \quad \text{Eq.13}$$

A velocidade angular é portanto a derivada da equação anterior no tempo. Como o alvo está em movimento, é a distância que varia com o tempo ($l = f(t)$). Logo:

$$w_d = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \frac{dl}{dt} \quad (\text{rad/s}) \quad \text{Eq.14}$$

$$w_d = 2\pi \cdot f_d \quad (\text{rad/s}) \quad \text{Eq.15}$$

onde f_d é a frequência variada de Dopler. A velocidade linear será então:

$$v_r = \frac{dl}{dt} \text{ (m/s)} \quad \text{Eq.16}$$

Então a frequência variada será:

$$fd = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_r}{\lambda} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot v_r}{c} \approx 20,944 \cdot f_i \cdot v_r \text{ (Hz)} \quad \text{Eq.17}$$

Isto ocorre para frequências do radar (f_i) em GHz.

O Radar também pode ser usado em aviões, sendo exemplo disso, são os AWACS (*Airborn Warning And Control System*).

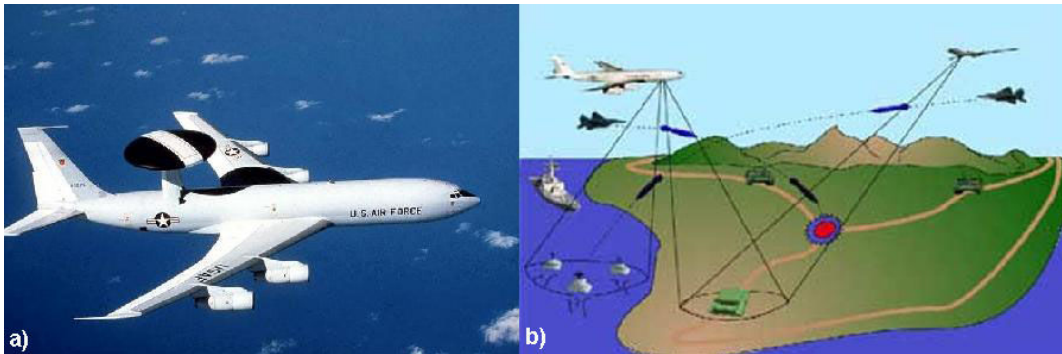


Fig. 31 - a) Avião E-3 Sentry, AWACS, b) Radares usados para observar a superfície terrestre

Outro exemplo de radares são aqueles usados nos barcos, como se pode ver na figura seguinte:

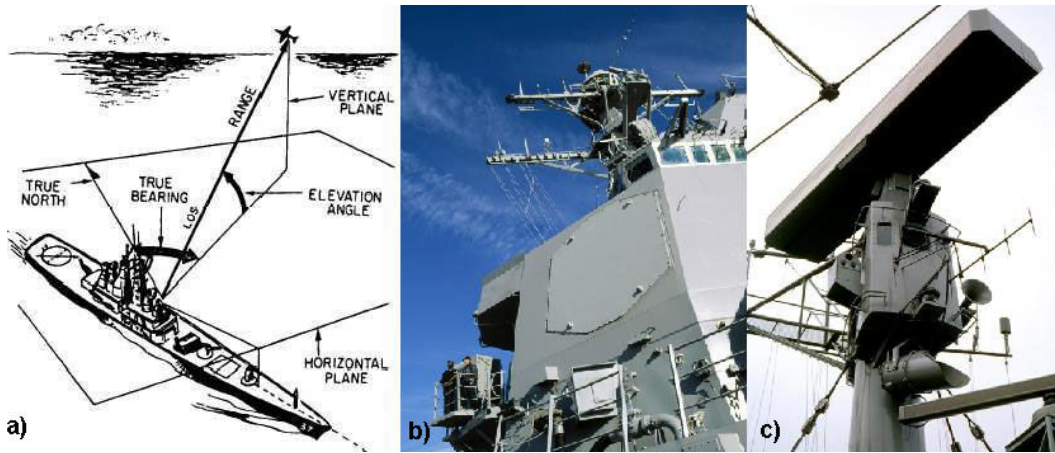


Fig. 32 - a) Representação de um radar naval; b) e c) antenas de radar naval

O radar também é usado para adquirir informação meteorológica sobre o ambiente, controlo de tráfego aéreo, sistemas de medição de velocidade de veículos nas estradas rodoviárias e pelos militares.

iii) *ARDF- Amateur Radio Direction Finding*

É uma disciplina de orientação com o auxílio da rádio-localização. Conhecido como *Foxhunting* ou também *Radio Sport*. É parecido com o *Bush Orienteering*, que consiste em procurar locais alvos através de pontos no mapa, mas onde em vez do auxílio de um mapa, são usados aparelhos de rádio-localização. Esta disciplina mobiliza conjuntamente capacidades de rádio básicas com capacidades de orientação. As competições são normalmente realizadas em ambientes rurais. Consiste no uso de um receptor, chamado *Sniffer* e de uma antena direccional, do tipo Yagi, para encontrar um transmissor alvo chamado raposa ou baliza. O sinal emitido pela baliza é a palavra “MO”, em código morse, seguido de um número de Bips. O número de Bips identifica o emissor.

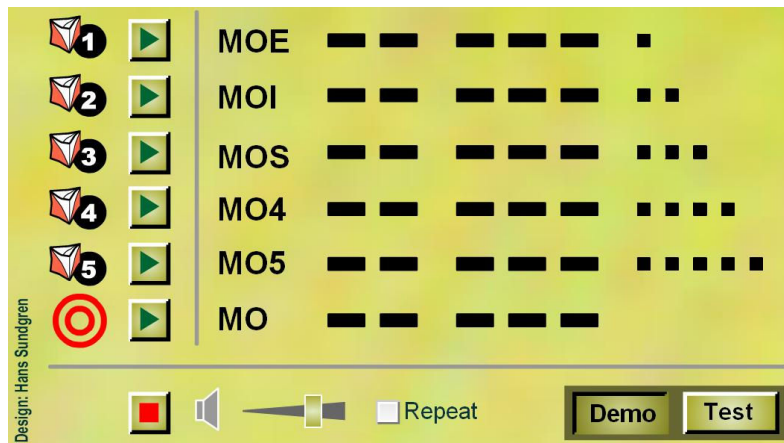


Fig. 33 - Representação das mensagens dos vários transmissores, em código morse

Existem 5 transmissores escondidos mais um sexto transmissor noutra frequência que assinala o ponto de partida/chegada. Esta actividade de radiofrequência usa duas frequências. A primeira é em ondas curtas, 3,5 MHz, sendo adequada para os principiantes já que o comprimento de onda é menor (80m), fazendo não apenas com que os obstáculos tenham menor influência, como também, os reflexos do sinal são menos significativos. A outra frequência é em VHF (*Very High Frequency*), 144 MHz. Esta frequência é usada pelos utilizadores mais experientes pois suscita mais problemas nos aspectos referidos anteriormente. Além disso, a força do sinal também é crítica nesta frequência. O uso de um atenuador aumenta a precisão do *Sniffer*.

Esta abordagem também combina duas estratégias de rádio-localização: Ângulo de Recepção e Força do Sinal. A antena direccional apenas capta o sinal no máximo da sua potência, quando esta está a apontar na direcção de onde o sinal é originado. Nas figuras seguintes podemos observar alguns exemplos:



Fig. 34 - Exemplos de Sniffers com antenas Yaggi

O Sniffer encontra-se normalmente acoplado à antena.

Quando a força do sinal é máxima, o equipamento receptor, que possui um medidor da potência de sinal, irá apresentar um aviso que pode ser do tipo sonoro ou então assumir uma forma visual (um *display* digital ou analógico que apresenta a Potência do sinal ou uma característica que depende da potência de sinal. Ex.: tensão eléctrica). Quando a antena se desvia da linha de visão do alvo, a potência do sinal recebida irá diminuir e o aviso também, isto é, o sinal sonoro perde intensidade ou o *display* irá acusar uma diminuição de intensidade do sinal recebido. Mantendo a antena apontada à origem do sinal, obtém-se a direcção do alvo e à medida que se aproxima o aviso irá aumentar (a intensidade do sinal recebido irá aumentar).

Existem vários tipos de *Sniffers* à venda no mercado. Dois exemplos são: o *VK3YNG Mk4 Foxhunt Sniffer*, para ser usado nas bandas 120Mhz e 144MHz; e o *VK3MZ*, para ser usado na banda 3,5 MHz:

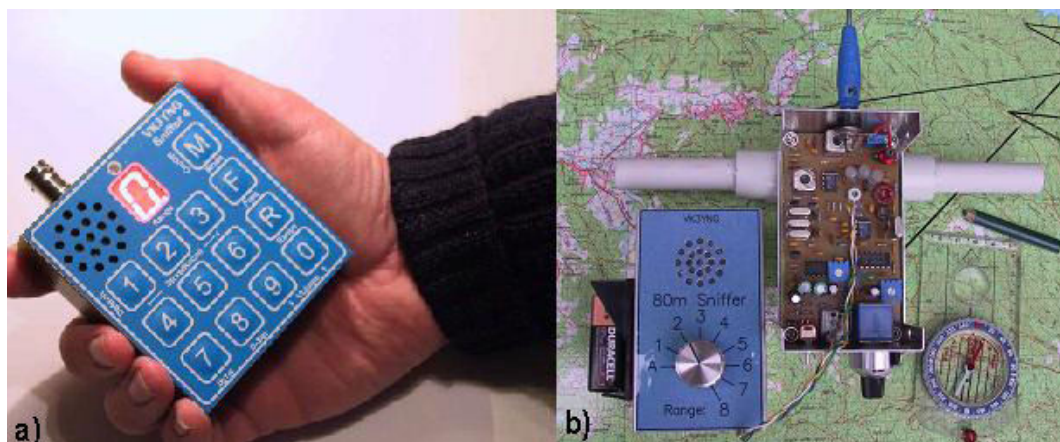


Fig. 35 - a) Sniffer VK3YNG Mk4;

b) SnifferVK3MZ

Quanto aos transmissores, temos o *VK3MZ 80m ARDF Tx*, para os 3,5MHz, e o *Fox-Or-ing Tx*, para os 144MHz:

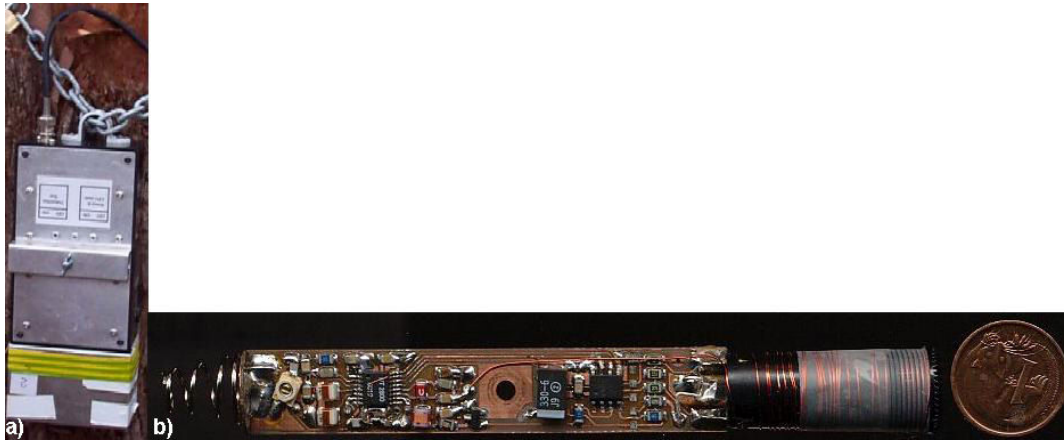


Fig. 36 - Imagem de um transmissor a) VK3MZ 80m ARDF Tx e b) Fox-Or-ing Tx

iv) LORAN – *LOng RAnge Navigation*

Como explicado anteriormente, este sistema aproveita-se de vários transmissores espalhados por vários países como Arábia Saudita, Índia, EUA, Canadá, China, Noruega, Alemanha, etc. Alguns dos transmissores já foram desactivados e desmontados, embora muitos outros continuem ainda em funcionamento. Este sistema de navegação apresenta um problema devido aos efeitos eléctricos do ambiente e da atmosfera, principalmente nas alturas do nascer do sol e do pôr-do-sol. Nestas alturas, a atmosfera torna-se carregada de iões fazendo com que os sinais electromagnéticos se reflectam no “tecto” da atmosfera. Apesar de nas comunicações este fenómeno poder ser uma vantagem, neste sistema ele torna-se um problema pois a navegação pressupõe que a origem do sinal vem de transmissores de origem costeira de terra firme. Ao invés disso, o receptor adquire sinais “fantasmas” originários da ionosfera, sinais falsos, corrompendo assim o sistema de navegação.

A abordagem utilizada no LORAN, pode ser representado na seguinte figura:

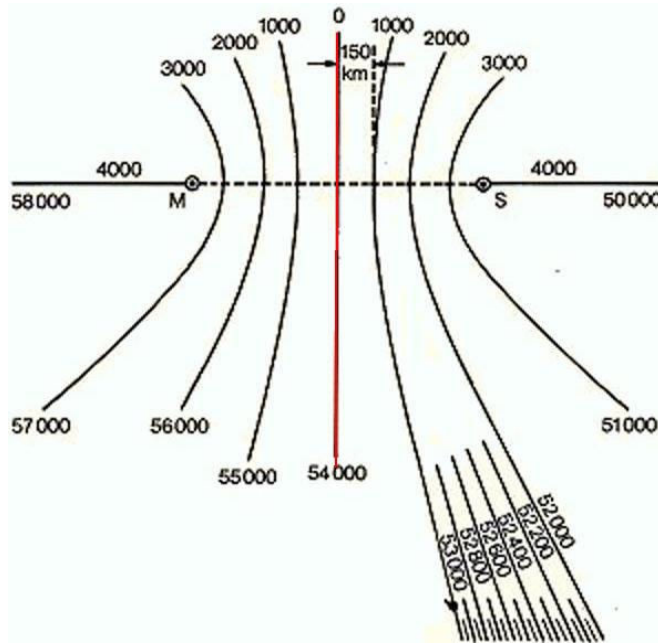


Fig. 37 – Representação do alcance dos sinais emitidos pelos transmissores 'M' e 'S'.

A diferença de tempo dos sinais recebidos de cada um dos transmissores é constante ao longo das suas parábolas, daí não ser possível determinar a posição nas duas dimensões (2D) com apenas dois transmissores. Para resolver essa limitação recorre-se a um terceiro transmissor. Na imagem seguinte, no ponto onde as duas linhas se cruzam, encontra-se o alvo:

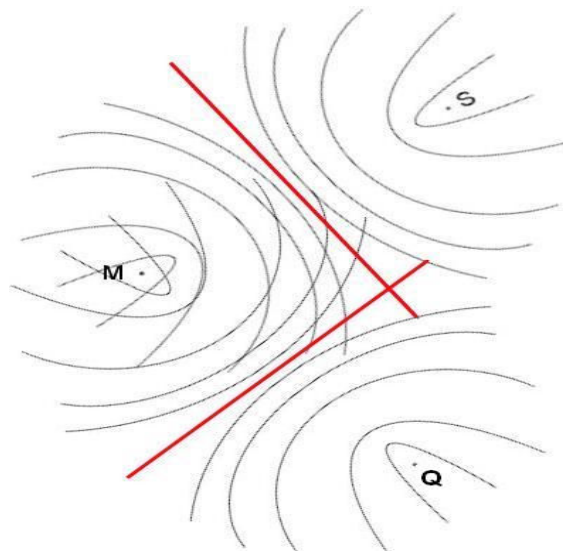


Fig. 38 – Representação LORAN com três transmissores: 'M', 'S', 'Q'

III – DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

Este capítulo aborda a parte de desenvolvimento técnico, o apontamento de resultados e correcções aos protótipos.

a) Regras práticas:

Visto que os dispositivos a construir têm como objectivo trabalhar em radiofrequência, antes de se começar a desenvolver os respectivos circuitos tem que se escolher primeiramente a banda de frequências dos sinais de rádio. Este procedimento deve-se ao facto da escolha da frequência de transmissão (e recepção) limitar vários aspectos de natureza electrónica, física e geométrica.

A frequência determinará o tamanho da antena pois o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência e o tamanho da antena é inversamente proporcional ao comprimento de onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{e} \quad L = X.\lambda \quad \text{Eq.18}$$

Em que λ é o comprimento de onda, c é a velocidade da luz e da propagação das ondas electromagnéticas, f é a frequência do sinal propagado e L é o comprimento do pólo da antena. No caso de ser um dipólo, a relação (X) entre o comprimento do pólo da antena e o comprimento de onda pode ser $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$. Deste modo, uma antena dipólo pode ter um comprimento até $\frac{1}{4}$ do comprimento de onda sem que se perca um ganho de antena relevante. Poder-se-á sempre reduzir o tamanho da antena acoplado uma bobine na base da antena, mas isso pode trazer outros problemas que podem requer que a saída/entrada seja adaptada:

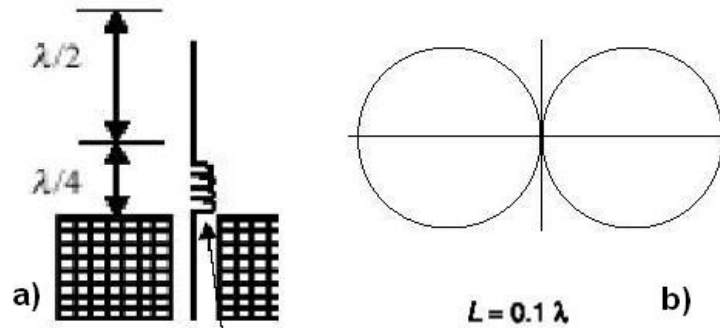


Fig. 39 – a) Antena reduzida com o uso de uma bobine; b) Representação do campo magnético para uma antena com $1/10$ de λ

Outro aspecto a ter em atenção é o tamanho das pistas do circuito impresso. Apesar de em circuitos de frequências baixas (LF $\approx [30; 300]$ KHz) não ser relevante, já em circuitos de super alta-frequência (SHF $\approx [0,3; 3]$ GHz) o comprimento das pistas torna-se essencial. Esta consideração deve-se ao facto de que, se as pistas tiverem um comprimento grande, elas transformam-se em antenas que irradiam campos electromagnéticos, interferindo pois com todo o circuito e reduzindo o rendimento de todo o sistema. Também, como são antenas a irradiar, o sinal parasita interferirá com outros sistemas na sua periferia. Como regra, o comprimento das pistas não deve exceder $1/10$ de λ .

Os circuitos que funcionam em SHF requerem pistas com tamanhos muito reduzidos. É importante ter em conta a frequência de 433,92MHz e 2.4Ghz, duas das frequências livres para ser usada em Serviços Industriais, Científicos e Médicos (ISM). Então:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{433,92 \times 10^6} \approx 70 \text{ cm} \Rightarrow \frac{70}{10} = 7 \text{ cm} \quad \text{Eq.19}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} \approx 12,5 \text{ cm} \Rightarrow \frac{12,5}{10} \approx 1,25 \text{ cm} \quad \text{Eq.20}$$

Como se pode observar, à medida que a frequência do sistema é menor, mais pequenas têm que ser as dimensões das pistas e, por consequência, o tamanho dos componentes. Para a frequência de 433,92MHz, esse facto não é muito preocupante, mas quando se usa a frequência de 2,4GHz já se torna difícil criar circuitos sem o auxílio de máquinas de microtecnologia. Daí o facto dos circuitos eléctricos se tornarem

cada vez mais pequenos nas telecomunicações pois para poder usar o espectro electromagnético acima das SHF, as pistas (*microstrips*) têm que ser também cada vez mais reduzidas.

Esta necessidade/exigência não seria problemática se o espectro electromagnético não estivesse já saturado. Como a gama de frequências até às SHF parece já estar toda ocupada, reconhece-se a necessidade de criar dispositivos que utilizem as bandas de frequências que estão para lá do nosso limite actual do espectro, como por exemplo as frequências 2,4GHz. Esta frequência, apesar de “livre” é utilizada por diferentes protocolos de telecomunicações, e muitos deles fazem já parte de sistemas que trabalham em conjunto. Os protocolos mais comuns são a família IEEE 802.11 (*WiFi* – usado em *Wireless Local Area Network*), IEEE 802.15.1 (*Bluetooth*) e IEEE 802.14.4 (*ZigBee*).

Para complicar mais esta situação, existem vários dispositivos sem fios que usam esta frequência, como telefones, teclados e ratos de computadores sem-fios. Por esta razão é que existem certos estabelecimentos que não permitem o uso de dispositivos de *Bluetooth*, nem outros aparelhos comuns sem-fios, por interferirem com os aparelhos que possuem nas suas instalações. Apesar de, actualmente, ser possível criar canais cada vez mais pequenos para as frequências, continua a não ser suficiente.

b) Transmissores:

Neste estudo, o transmissor será o alvo, daí ser relevante considerar o seu tamanho. Se um dos objectivos é obter um transmissor de dimensões reduzidas, então o grande problema será a alimentação, o que não é de estranhar pois uma das grandes limitações actuais da microelectrónica é a própria fonte de alimentação. Um exemplo, são os computadores portáteis onde as suas baterias continuam a ser uma limitação ao nível da “portabilidade”, tamanho e peso. E se a alimentação entra em conflito com as dimensões do aparelho, ela afectará necessariamente a potência de transmissão. No entanto, já existem baterias de tamanhos pequenos, como a A23 de 12V, com um comprimento de 28mm o que facilita a sua viabilidade.

O transmissor (farol) deverá emitir um pulso periodicamente que será modulado para que seja transmitido. Este pulso pode ser originado por um oscilador pequeno – como o integrado N555 comum ou um LM3909. Este último é um oscilador para ser

aplicado em circuitos que usem LEDs com o intuito de realizar efeitos de *strobe*, sendo este particularmente interessante, pois não requer o uso de duas resistências e um condensador, como o N555, para funcionar como oscilador astável. Em contrapartida, ele não permite funcionar a frequências superiores a 1kHz.

Outra condição é que ele deverá possuir o andar de modulação, em que essa modulação poderá ser feita pela fase, pela amplitude ou pela frequência.

Por fim, existe o andar da antena que deverá obedecer às regras de construção de antenas. Na figura seguinte apresenta-se um diagrama de blocos a representar um sistema transmissor “farol”.

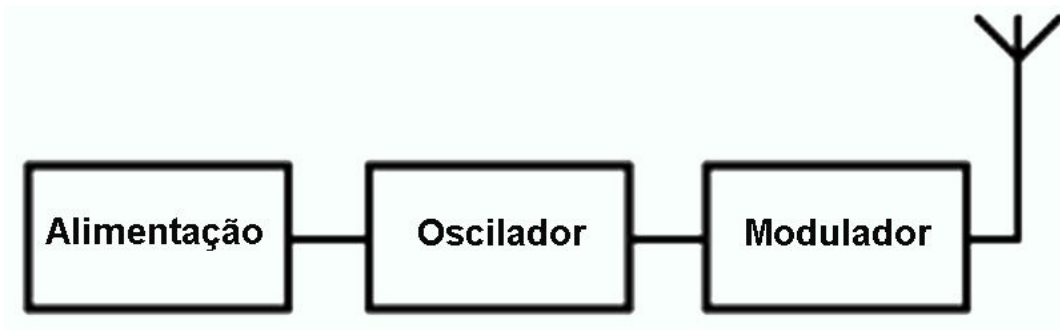


Fig. 40 – Diagrama de Blocos de um transmissor “farol”

i) Transmissor 433,92 MHz:

No caso da criação de uma modulação em amplitude digital (ASK), existem módulos à venda que fazem as modulações usando frequências ISM (433,92 MHz). Um exemplo é o TX433N da Aurel que se pode observar na figura seguinte:

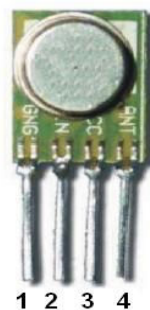


Fig. 41 – Módulo de transmissão TX433N da Aurel, para 433,92 MHz

Este módulo realiza a modulação ASK de um sinal que se apresente à entrada, sendo bastante simples de se integrar num projecto de telecomunicações. O módulo tem quatro pinos, como se pode ver na Fig.41:

- Pino 1 corresponde ao GND (Ground);
- Pino 2 corresponde à entrada (do sinal original);
- Pino 3 corresponde ao Vcc (Alimentação);
- Pino 4 corresponde à ligação para a antena.

O circuito integrado do módulo dá uso a um componente que realiza a oscilação à frequência de modulação: o SR433. Este componente é um ressonador¹⁴ de 433,92MHz que produz um sinal, com uma forma de onda do tipo “dente de serra”, quando lhe é aplicada uma tensão máxima de $\pm 30V$. O circuito equivalente do SR433 apresenta-se na figura seguinte:

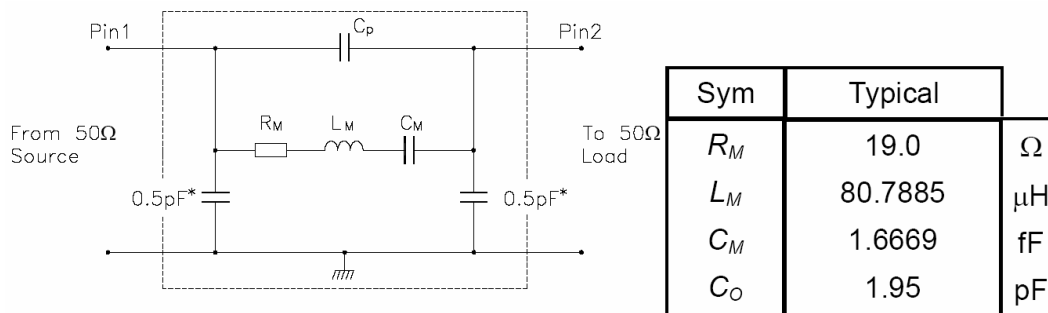


Fig. 42 - Circuito equivalente do SR433

Combinando o SR433 com um pequeno andar de amplificação, obtemos um transmissor de baixa potência. A figura seguinte apresenta o circuito electrónico, que se encontra integrado no módulo TX433N:

¹⁴ *Resonator* = Ressonador (aparelho usado para aumentar a voz através de ressonância)

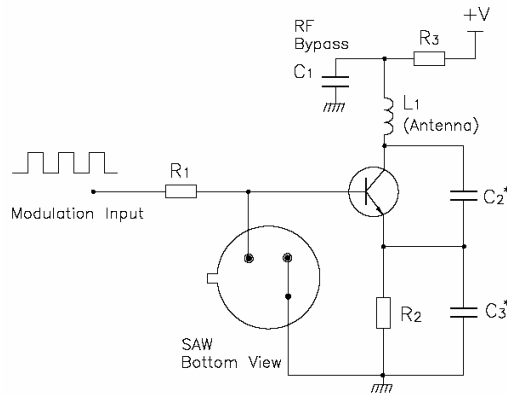


Fig. 43 - Circuito electrónico do módulo TX433N da Aurel

Os componentes passivos e o transistor são de fácil integração. Mas, como se pode ver na Fig.43, o componente que ocupa o maior espaço é o próprio SR433.

Este módulo tem a capacidade de transmitir sinais digitais com débito máximo de 8kbps¹⁵. Apesar ter sido desenvolvido para transmissões de dados digitais, o TX433N pode ser usado para aplicações de base analógica. Usando este módulo juntamente com o oscilador astável cuidadosamente dimensionado, obtem-se um transmissor farol. O oscilador, dimensionado para ter uma frequência de 1KHz e com a configuração astável:

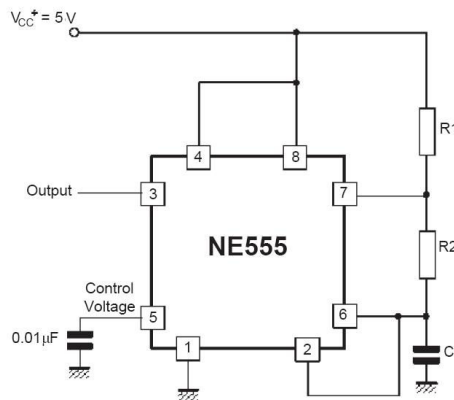


Fig. 44 – Configuração de oscilador astável para o N555

Obtemos então os valores de:

¹⁵ kbps = Kilo bits por segundo. 1kbps = 1024 bits por segundo

- R1=910Ω;
- R2=50kΩ;
- C1=10nF;

Com estes valores, obtemos um oscilador astável que produz uma onda quadrada com frequência de 1KHz.

O integrado requer uma alimentação de 5V, mas o modulador requer uma alimentação de 12V. Como tal, dever-se-á usar um Integrado 7805 para normalizar a tensão para 5V.

Se a frequência de transmissão é de 433,92MHz, usando a equação 2.1, obtem-se o comprimento da antena de aproximadamente 17,5cm:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{433,92 \times 10^6} \approx 70 \text{ cm} \quad \text{e} \quad L = \frac{1}{4} \cdot \lambda \approx 17,5 \text{ cm} \quad \text{Eq.21}$$

Combinando todos os blocos, obtem-se o transmissor deste tipo:

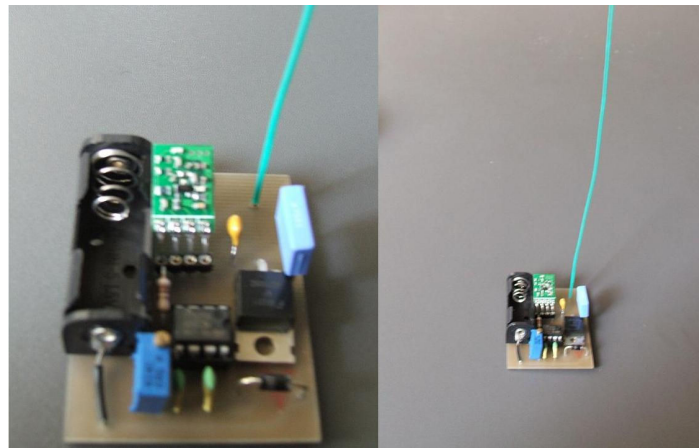


Fig. 45 – Transmissor com modulação ASK a 433MHz

ii) Transmissor 108 MHz:

Outro transmissor interessante é um pequeno transmissor “farol” que usa a modulação em frequência (FM) convencional na gama das frequências de rádio FM [78; 108] MHz.

O princípio é o mesmo, seguindo o mesmo diagrama de blocos (Fig.40), mas desta vez o oscilador é o integrado LM3909, que apenas requer um condensador

electrolítico de 100uF. O LM3909 é um oscilador/"LED flasher", que requer uma alimentação de 1,5V até 6V. Este oscilador produz pulsos com frequências entre 1 Hz (com um condensador de 300uF) e 1,1 KHz (com um condensador de 0,3uF). Em baixo apresenta-se o circuito electrónico que constitui este integrado (IC):

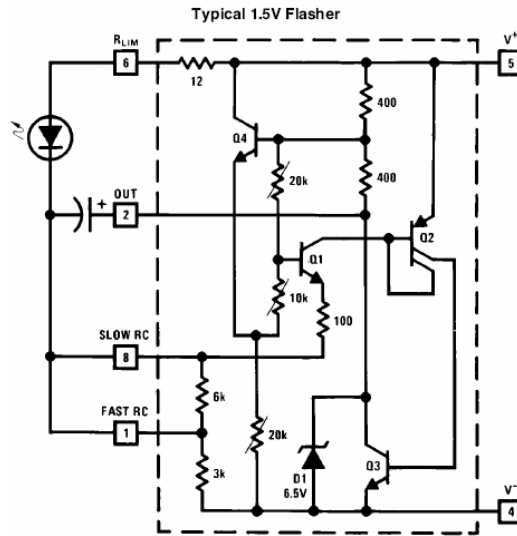


Fig. 46 - Circuito electrónico do LM3909

O LED (com características de baixo consumo) auxilia posteriormente na sintonização do rádio receptor que pode ser um rádio normal de FM. Essa sintonização faz-se tentando encontrar o som de baixa frequência, criado pelo oscilador, sincronizando com o piscar do LED.

Para o bloco de oscilador deste transmissor de FM, é usada a seguinte configuração, obtida através da datasheet deste integrado:

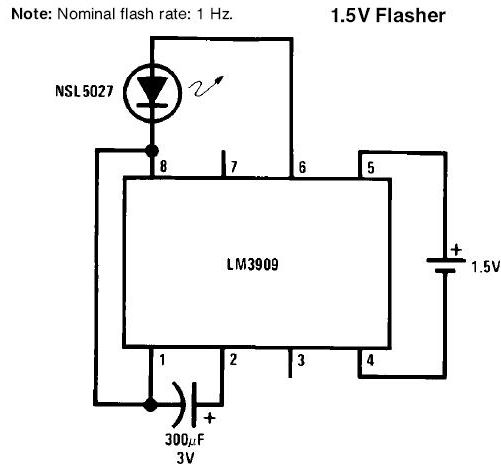


Fig. 47 – Configuração do LM3909 para 1KHz

Para o bloco de modulação FM usa-se o conceito básico para fazer a modulação de um sinal que, aplicado à base do transistor 2N3904 (ou outro transistor para propósitos gerais), põe o transistor a funcionar como interruptor. Ao aparecer uma corrente aos terminais do circuito oscilador composto por C3 e L1, o circuito LC produz um sinal alternado na gama FM [78; 108] MHz.

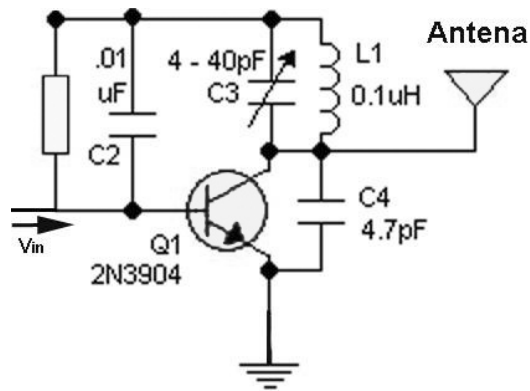


Fig. 48 – Circuito modulador FM para 88 MHz

Juntando os dois blocos, obtém-se o circuito transmissor:

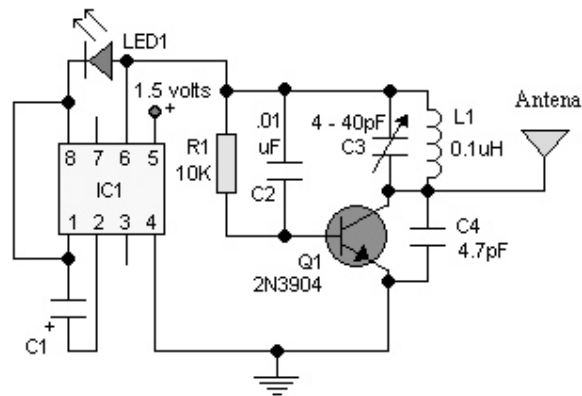


Fig. 49 – Transmissor com modulação FM a 88MHz

De notar, que em vez de se aplicar o sinal de entrada directamente na base do transístor, o sinal modulado funciona como alimentação. As variações de tensão aos terminais do condensador e da bobine fazem com que o circuito LC entre em ressonância, modulando o sinal de entrada (1KHz) para a frequência de 88MHz.

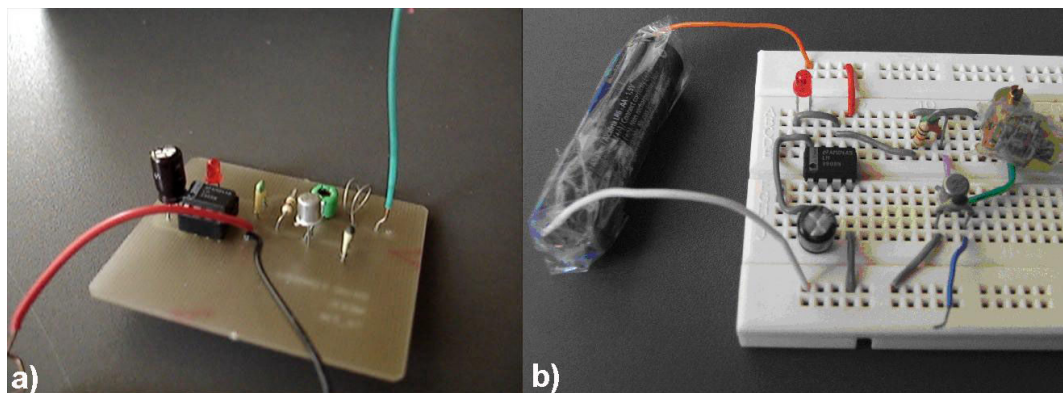


Fig. 50 – Circuito do transmissor com modulação FM: a) em PCB e b) na breadboard

O sinal de saída do transmissor, no ponto de ligação à antena (no colector do transístor) é apresentado de seguida:

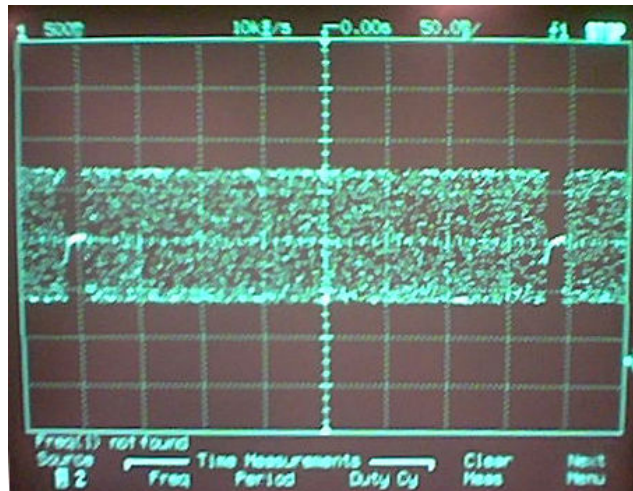


Fig. 51 – Sinal de saída, do sinal modulado em FM

Diminuindo a escala temporal do osciloscópio, é possível observar o efeito da Frequência Modulada em que a frequência toma valores diferentes ao longo da linha do tempo:

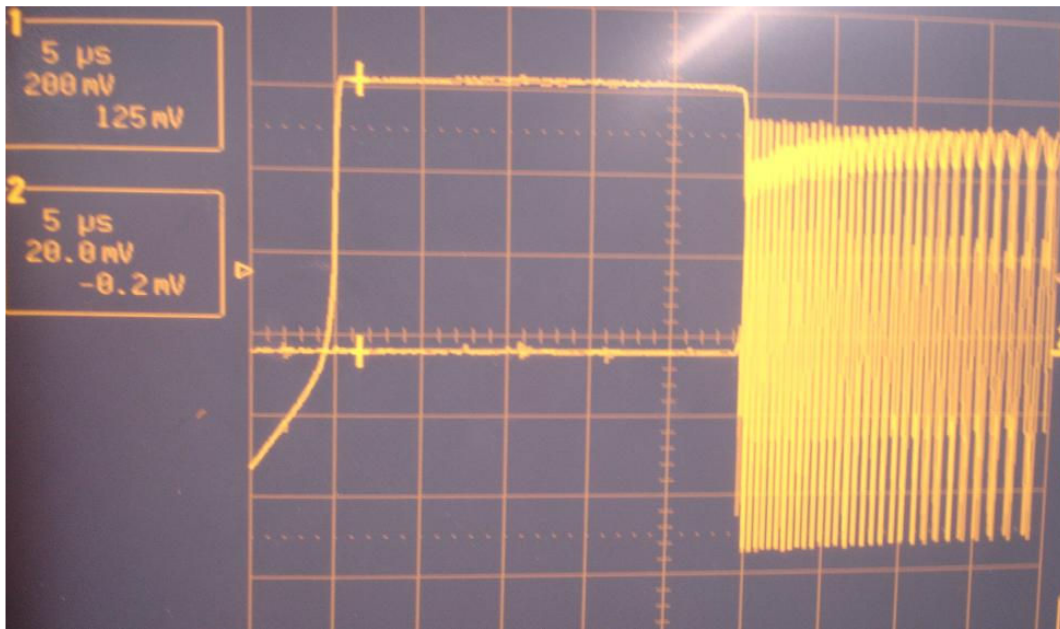


Fig. 52 - Sinal de saída, do sinal modulado em FM, num osciloscópio de 300MHz

E o sinal de saída do transmissor, no ponto de ligação à antena (no colector do transístor) para a frequência de modulação:

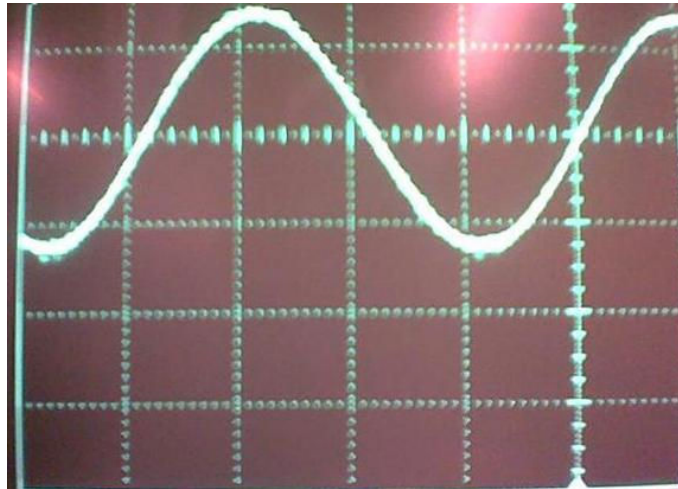


Fig. 53 - Sinal de saída, do sinal de modulação

O transmissor foi desenvolvido para ser alimentado por uma pilha AA de 1,5V, mas se o circuito for alimentado por duas dessas pilhas, 3V, o transmissor conseguirá um alcance muito superior, embora se torne mais pesado.

c) Receptores

A recepção de sinais electromagnéticos apresenta-se de maneira fácil, pois um simples fio condutor eléctrico capta as ondas electromagnéticas convertendo-as em energia eléctrica. A dificuldade na recepção de telecomunicações electromagnéticas é a forma como se obtém o sinal que contém a informação, por entre todo o ruído electromagnético que existe na Natureza e que é oriundo da tecnologia do Homem. Um fio condutor (a antena), um circuito rectificador e filtro forma um receptor de sinais electromagnéticos, como se pode ver pelo diagrama de blocos:

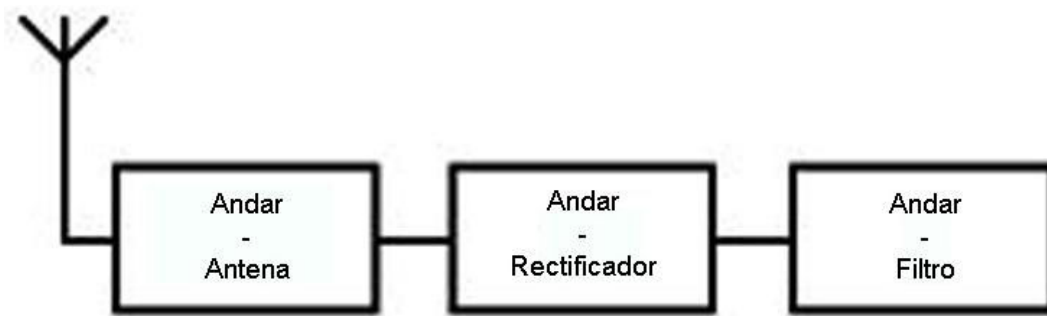


Fig. 54 - Diagrama de blocos de um receptor básico de sinais electromagnéticos

Implementando um receptor rude seguindo este diagrama de blocos, obtemos o seguinte circuito electrónico:

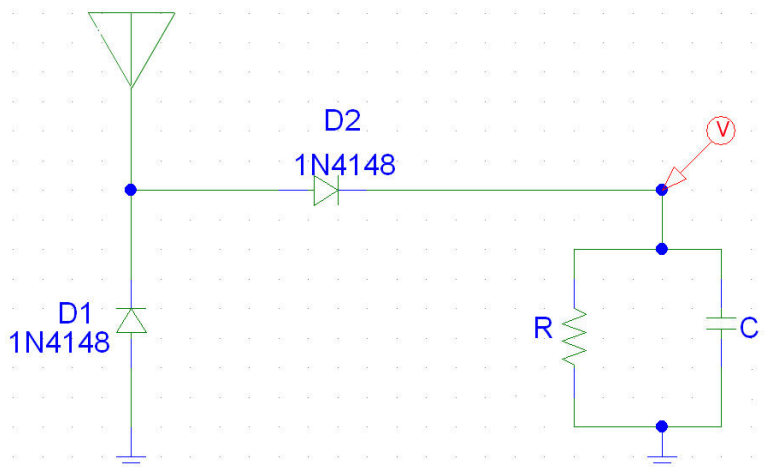


Fig. 55 - Circuito electrónico de um receptor básico de sinais electromagnéticos

Com este simples circuito electrónico é possível capturar as ondas electromagnéticas, sem o uso de uma fonte de energia externa, apenas alimentado pela energia proveniente dos campos electromagnéticos. Este circuito é semelhante ao usado num medidor de campo (V. capítulo Introdução) mas muito mais simples. Ele é capaz de captar qualquer tipo de sinal independentemente da técnica de transmissão (modulação, tipo de antena, etc.), desde um *Walkie-Talkie*, um comando de porta de garagem ou até um telemóvel. As formas de onda podem ser visualizadas num osciloscópio, ligando a ponta de prova aos terminais do filtro RC, como podemos ver pelas figuras seguintes:

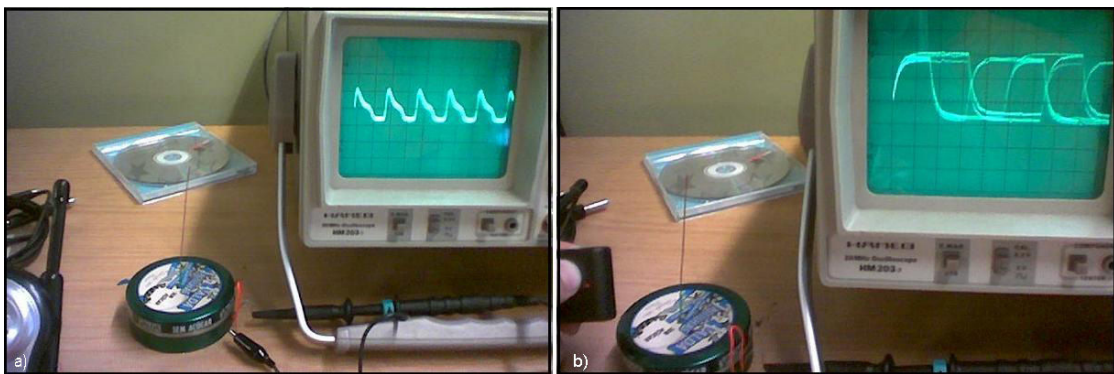


Fig. 56 - Receptor e formas de onda de um: a) Walkie-Talkie b) comando de porta de garagem

Mas um bom receptor requer que um filtro bem dimensionado e com um elevado valor (Q) de qualidade para filtrar todos os sinais não relevantes à aplicação, sejam eles o ruído branco e as interferências de origem tecnológica: emissões electromagnéticas vindas da rede eléctrica e lâmpadas, sinais de rádio, etc. É necessário também, possuir um andar de amplificação bem calibrado e potente, pois diferentes gamas de frequências requerem diferentes tipos de amplificadores.

Em termos de construção e número de componentes o ideal de um amplificador seria usar Amplificadores Operacionais (AmpOps) integrados já que para a sua configuração são necessários menos componentes passivos para a configuração. Os AmpOps permitem também ganhos mais controlados e menos sensíveis a ruídos pois os componentes activos encontram-se integrados. Mas em sistemas de rádio-frequência torna-se difícil encontrar integrados de AmpOps que forneçam ganhos altos durante operações de altas-frequências devido à Largura de Banda do Ganho (*Gain Bandwidth*) que descreve o limite ganho de operação de um AmpOp. Como tal, foi decidido seguir o desenho do amplificador usando as configurações de amplificadores tradicionais com o

uso do componente activo mais simples: o transistor. O uso do transistor de RF BF199 é muito comum no desenvolvimento e construção de aparelhos de rádio-frequência. Este transistor bipolar tem uma Largura de Banda de Ganho de 1,1Ghz, em que tem um ganho de 1, permite quedas de tensão entre o colector e emissor (V_{CE}) de 25V e um ganho de corrente contínua (h_{FE} - DC Current gain) de 38.

Para o presente projecto, escolheu-se a configuração Amplificador de Colector-Comun pois fornece um bom ganho com baixa impedância de saída e alta impedância de entrada, o que garante uma menor perda de sinal à entrada da base do transistor.

Na figura seguinte apresenta-se um andar de amplificação do tipo colector-comun, calibrado e testado no simulador “MicroSim Release 8”, da MicroSim Corporation:

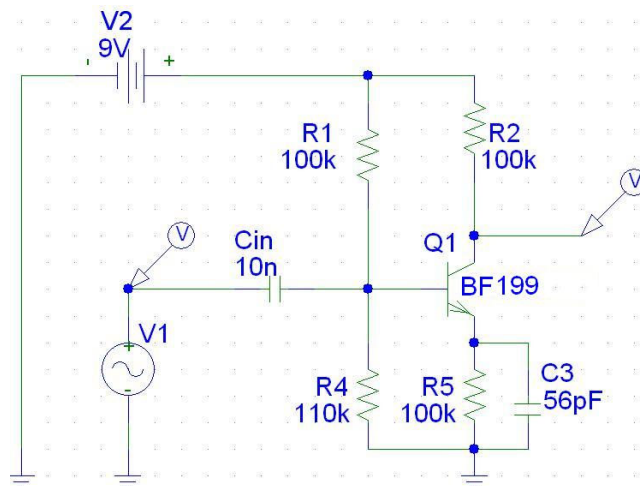


Fig. 57 - Circuito de um amplificador de Radiofrequência (RF)

Montando a prévia configuração numa *breadboard* e ligando as pontas do osciloscópio à entrada do colector do transistor BF199, será possível observar as formas de onda dos sinais que este receptor é capaz de captar. Para este exemplo, usamos o transmissor construído previamente, com modulação em FM à frequência de 108MHz. Podemos assim visualizar a forma de onda do transmissor FM:

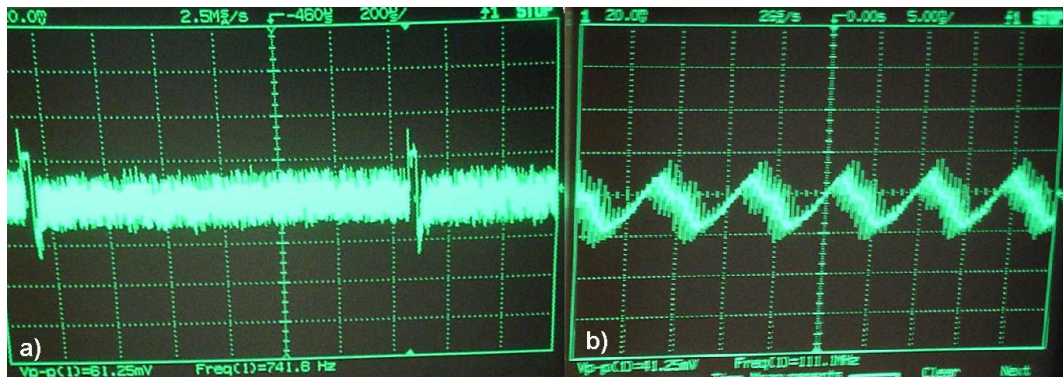


Fig. 58 - Formas de onda de um transmissor de FM num receptor com um andar amplificador colector-comun a 1cm de distância: a) Da Onda original b) Onda de modulação

Como é possível observar, o transmissor FM produz um sinal com duas ondas a frequências diferentes. O primeiro sinal, com frequência de aproximadamente 800HZ, é o sinal original que contém a informação mas que neste transmissor o sinal apenas é uma onda alternada originada de um oscilador (LM3909). A segunda forma de onda é o sinal de modulação criado pelo circuito de ressonância LC. Estas formas de onda do receptor acontecem quando o transmissor se encontra a apenas 1cm de distância do receptor, como se pode observar na figura seguinte:

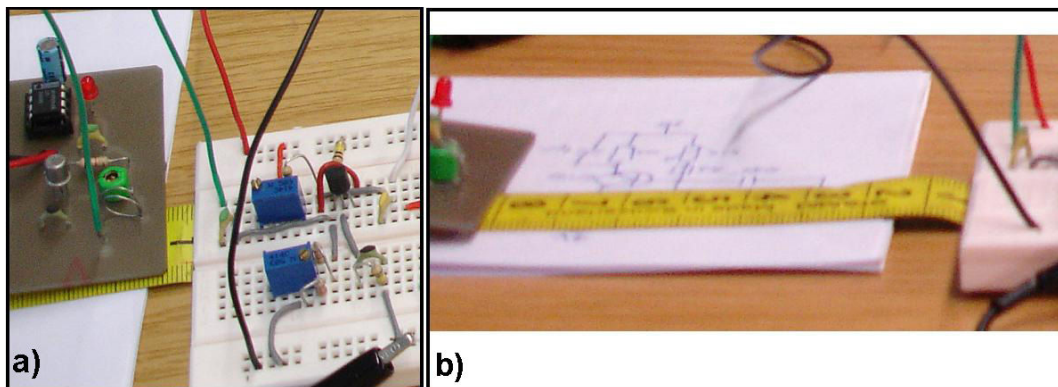


Fig. 59 - Transmissor FM e receptor colector-comun de um andar à distância de: a) 1cm b) 8cm

Mas se os dois intervenientes forem afastados para uma distância de 8cm, o sinal recebido começa a ficar fraco e mal se consegue distingui-lo do ruído de fundo:

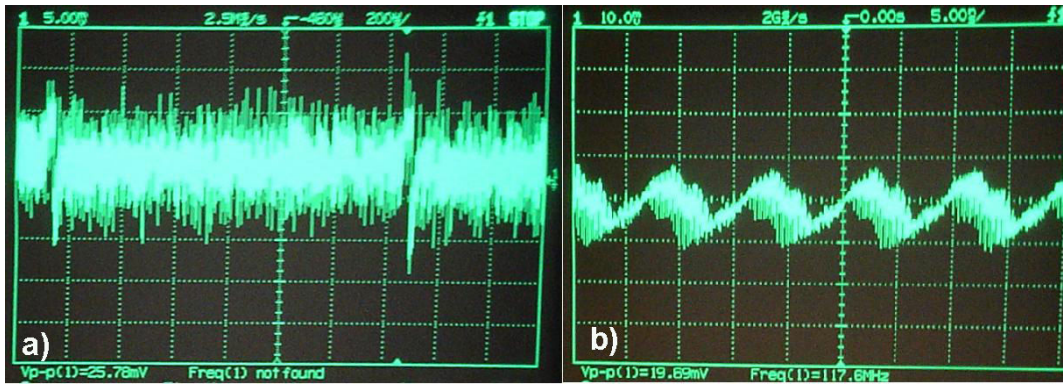


Fig. 60 - Formas de onda de um receptor com um andar amplificador colector-comun a 8cm de distância: a) Da Onda original b) Onda de modulação

IV – EXPÊRIÊNCIAS

(a) Força do sinal recebido:

Foi realizada uma experiência para observar a relação distância e valor de energia recebida pelo receptor. Os resultados foram os seguintes:

Distância (cm)	V _{p-p} (mV) – Onda Original	V _{p-p} (mV) – Onda Moduladora
1	61,25	41,25
2	51,25	37,5
4	40,63	27,5
5	32,13	25,62
6	35,00	23,75
7	36,56	21,56
8	25,78	22,19

Tabela 2 – Resultados obtidos na medição de um sinal proveniente do transmissor FM, obtidos num receptor de um andar de amplificador colector-comun

Com estes dados podemos construir um gráfico que descreve relativamente bem o efeito que a distância tem no sinal recebido:

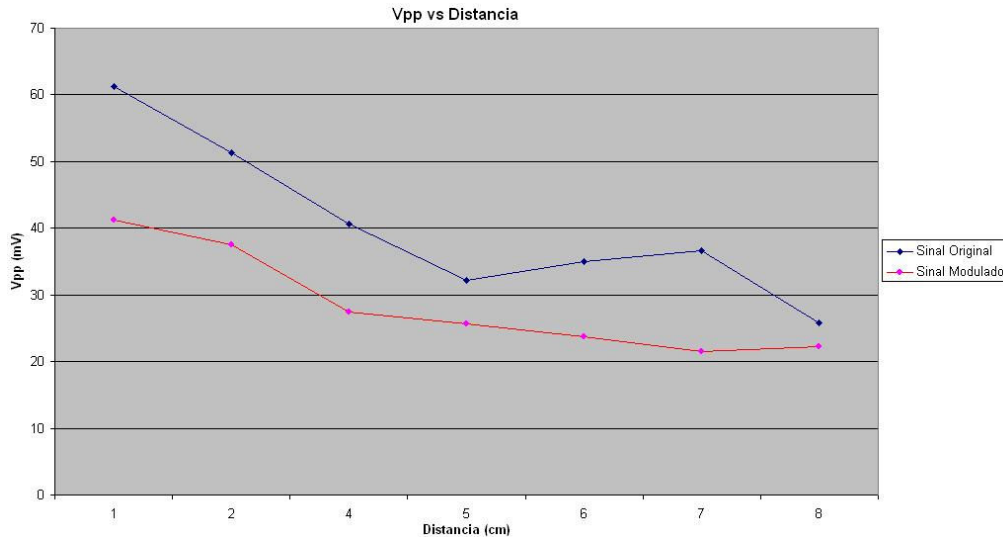


Fig. 61 - Influência da distância no sinal recebido, pelo receptor de um andar de amplificador colector-comun

Para que se consiga aumentar a distância de recepção sem que se comece a perder o sinal, é necessário aumentar o ganho adicionando mais andares de amplificação. Adicionando mais dois andares a diferença torna-se evidente e para que o ruído tenha menos influência no processo de amplificação construiu-se um circuito impresso (PCB

– *Printed Circuit Board*) com um plano de massa relevante. Para auxiliar a filtragem do sinal, colocou-se um filtro LC à entrada, em que o valor do condensador varia entre 5 e 50pF e a bobine é um pedaço de fio de cobre com uma volta e meia, enrolada à volta de um lápis e sem qualquer núcleo. De seguida, apresenta-se o desenho do PCB sem a representação da bobine. A introdução da bobine é feita nos dois buracos que se encontram à esquerda da resistência R1:

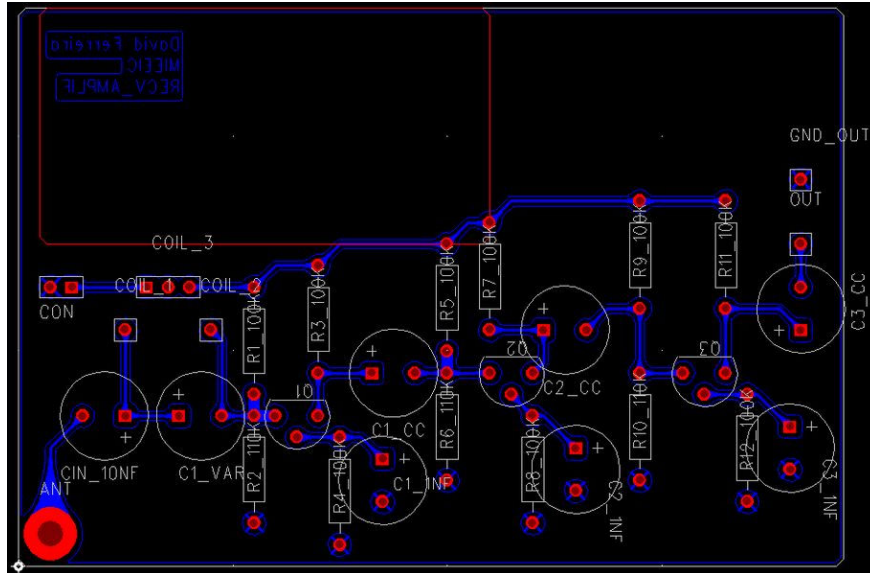


Fig. 62 - Circuito impresso de um receptor de rádio com filtro LC à entrada e com três andares de amplificação do tipo colectador-comun

O rectângulo vermelho na figura de cima representa o espaço onde fica colocada a bateria de alimentação de todo o circuito, que neste caso é uma pilha comum de 9V. Na figura seguinte, apresenta-se uma imagem do receptor com uma antena de extensão e ligada a um osciloscópio através de pontas de prova. As pontas de prova encontram-se ligadas à massa do circuito (ao pino negativo da pilha de 9V) e à saída do circuito que corresponde ao terminal do condensador C3_CC:

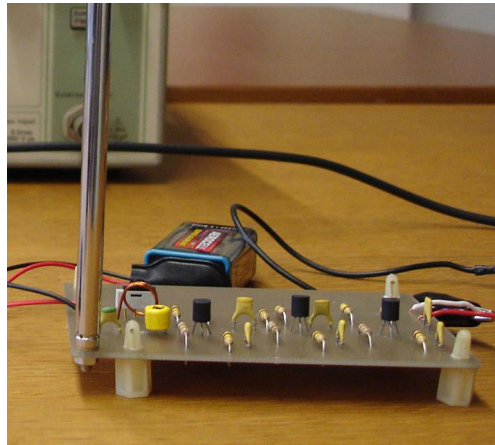


Fig. 63 - Imagem do circuito receptor construído num PCB

Após a construção deste circuito, realizou-se a mesma experiência que se fez anteriormente para o receptor com apenas um andar, tendo sido utilizado desta vez o transmissor de ASK, pois este possui muito mais potência de transmissão. Como os efeitos de filtragem presentes no receptor coincidem com filtros passa-alto calibrados para os 100MHz (aproximadamente), a recepção de sinais de 433MHz não é influenciada. Os resultados foram os seguintes:

Distância (cm)	V_{p-p} (mV)	V_{escala} (mV)	T_{escala} (ms)
5	30	50	0.2
10	28	20	0.2
15	28	10	0.2
20	27	10	0.2
25	27	10	0.2
30	27	10	0.2
35	27	10	0.2
40	27	10	0.2
55	18	10	0.2
65	10	10	0.2
75	10	5	0.2
85	7	5	0.2
95	10	5	0.2
105	20	5	0.2
115	14	10	0.2
125	10	10	0.2
145	3	5	0.2

Tabela 3 – Resultados obtidos na medição de um sinal proveniente do transmissor ASK de 433Mhz, obtidos num receptor de três andares de amplificador colector-comun

O respectivo gráfico dos valores obtidos nesta experiência é apresentado de seguida:

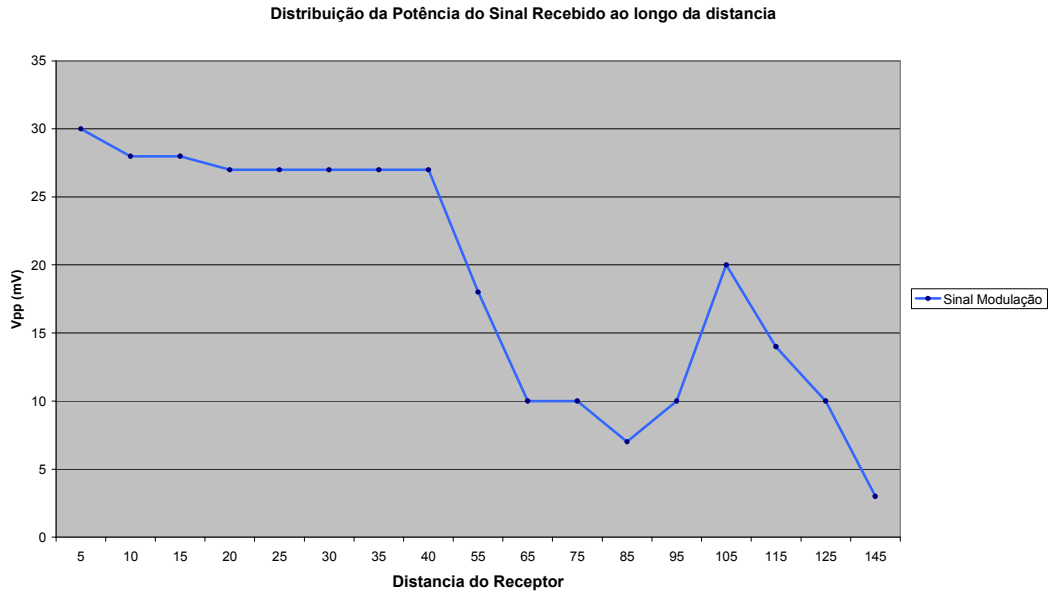


Fig. 64 - Gráfico que descreve a influência da distância no sinal recebido, pelo receptor de três andares de amplificador colector-comun

Mais uma vez, observa-se uma diminuição da força do sinal recebido à medida que a distância entre o receptor e transmissor aumenta. Ocorre uma discrepância entre os 95cm e os 115 cm, mas crê-se que ela se deve ao facto da distância ser aproximadamente igual ao comprimento de onda transmitida, 70cm. Essa distância permite ao transmissor produzir a onda electromagnética completamente antes desta alcançar o receptor. Observe-se a seguinte figura, tirada durante esta experiência, para a distância de 105cm:

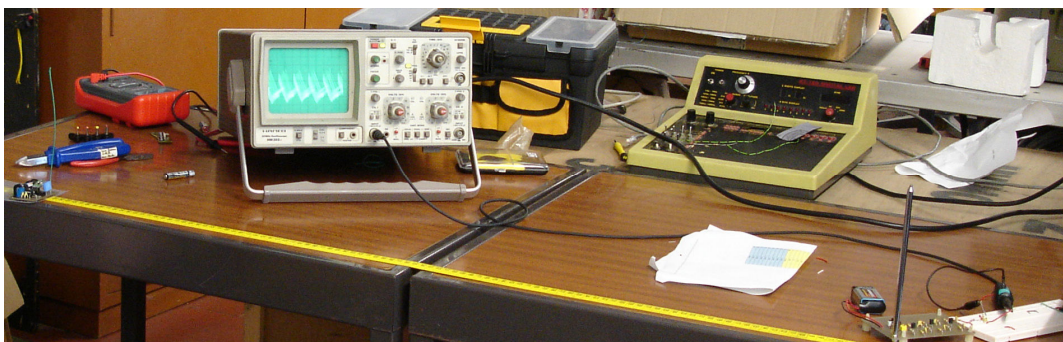


Fig. 65 - Fotografia tirada durante a experiência de Distância vs Força Sinal com um receptor de três andares de amplificador colector-comun

(b) Atraso da recepção sinal

Uma segunda experiência foi realizada para analisar o efeito da distância no atraso da recepção de um sinal. Para o efeito, foi utilizado o transmissor de 433MHz, com modulação em ASK visto este ter mais potência que o transmissor em FM. Foi também usado um módulo receptor AC_RX433, da Aurel, de modulação ASK em 433,92 MHz. Este módulo é composto por um pré-amplificador de radiofrequência (RF), seguido de um desmodulador de AM, ou um detector de pico (Detector de AM de imagem), um amplificador de baixa frequência LF (frequência original) e finalmente um detector. O diagrama de blocos que descreve este módulo pode ser observado na imagem seguinte:

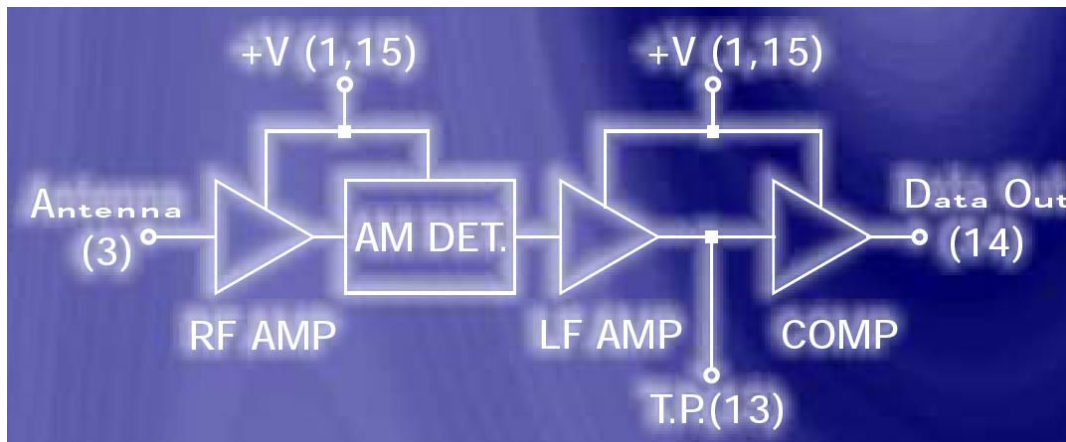


Fig. 66 - Diagrama de blocos de um módulo receptor AC_RX433 da Aurel

Em sistemas de transmissão digital utiliza-se uma estratégia para evitar a necessidade de usar vários andares de amplificação final ou amplificadores de potência bem como a sua calibração. Como os sinais variam entre os dois estados binários '1' e '0', utiliza-se o comparador como andar final para fornecer esses dois estados à saída. O comparador serve-se da tensão de referência que, nestas situações, é o mais baixo possível para comparar com o sinal que tem origem no amplificador LF. Se o sinal ultrapassar o valor de referência, o comparador coloca à saída uma tensão de valor igual à sua tensão de alimentação V_{cc} que neste caso é 5V. Se o sinal é menor que a tensão de referência, o sinal à saída do comparador é 0V. Deste modo, consegue-se obter um sinal à saída do comparador de dois estados: estado '0' de 0V e o estado '1' de 5V. O amplificador LF apenas tem que ter a capacidade de amplificar o sinal original até o limite da tensão de referência.

De seguida, apresenta-se o esquema deste módulo com a descrição dos pinos:

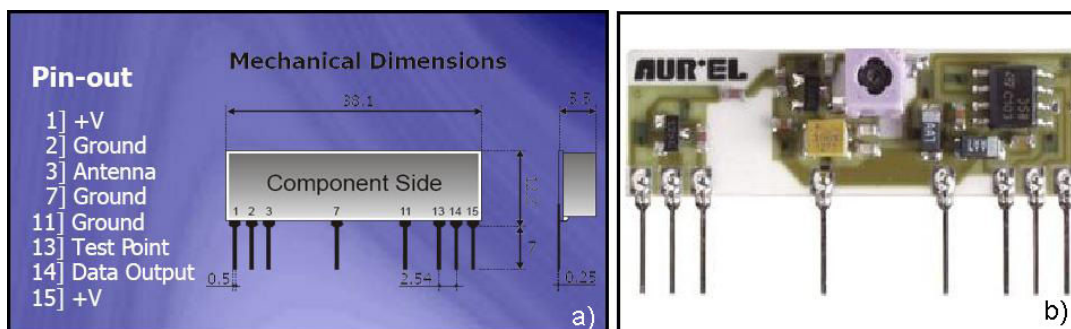


Fig. 67 - a) Esquema do módulo AC-RX433 da Aurel; b) Módulo AC-RX433 da Aurel

Como se pode observar na imagem do módulo, existe um componente de forma quadrada, de cor branca, entre os pinos 7 e 11. Este componente do módulo é uma bobine de indutância variável para auxiliar na sintonização. Versões anteriores destes módulos utilizavam condensadores variáveis, mas com a evolução da tecnologia de integração foi possível desenvolver esta solução.

Esta experiência consiste em analisar o impacto que a distância tem no tempo de chegada de um sinal a um receptor. Para esse ensaio utilizaram-se dois módulos AC-RX433 da Aurel e o transmissor de 433MHz previamente construído e um osciloscópio para receber as formas de onda à saída de cada receptor e compará-las. Os dois receptores foram colocados afastados à distância de 9,8 m e no centro dos dois encontra-se o osciloscópio. Para que os sinais chegassem ao mesmo tempo foram esticados quatro fios de cobre para que tivessem o mesmo comprimento de 4,9m, dois para cada receptor: a fase e o neutro. O cenário que permitiu estudar o atraso do sinal recebido aqui descrito apresenta-se na figura seguinte:

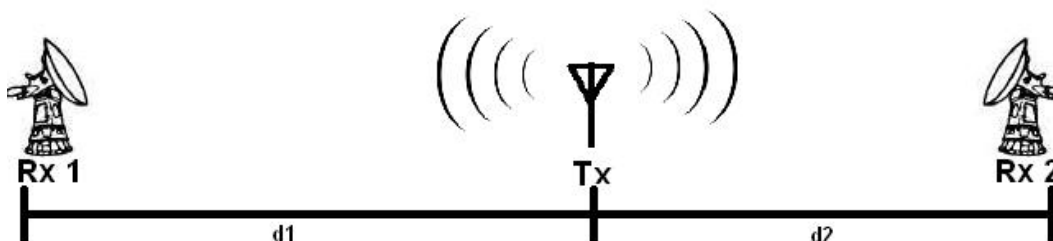


Fig. 68 - Representação do cenário da experiência de Atraso da recepção do Sinal

Este cenário foi montado num dos laboratórios e em baixo apresenta-se o resultado em forma de fotografia do espaço real:

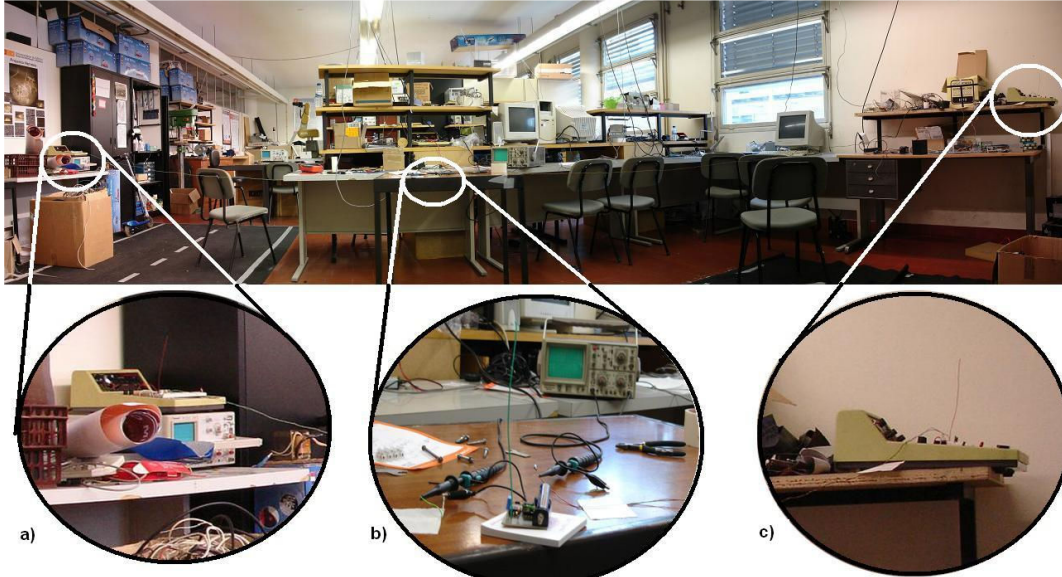


Fig. 69 - Fotografia do cenário da experiência de Atraso da recepção do Sinal: a) Primeiro receptor; b) Transmissor; c) Segundo receptor

Durante a montagem do cenário, os fios foram entrelaçados para ajudar a eliminar o ruído pois o campo magnético gerado pelo fio de fase é anulado pelo campo magnético gerado pelo fio do neutro pois as correntes nos dois fios seguem sentidos contrários (Regra da mão direita). Cada par foi ligado a uma ponta de prova do osciloscópio para que se pudesse projectar no seu ecrã as formas de onda. Colocando o transmissor em diferentes posições da linha, o resultado foi o seguinte:

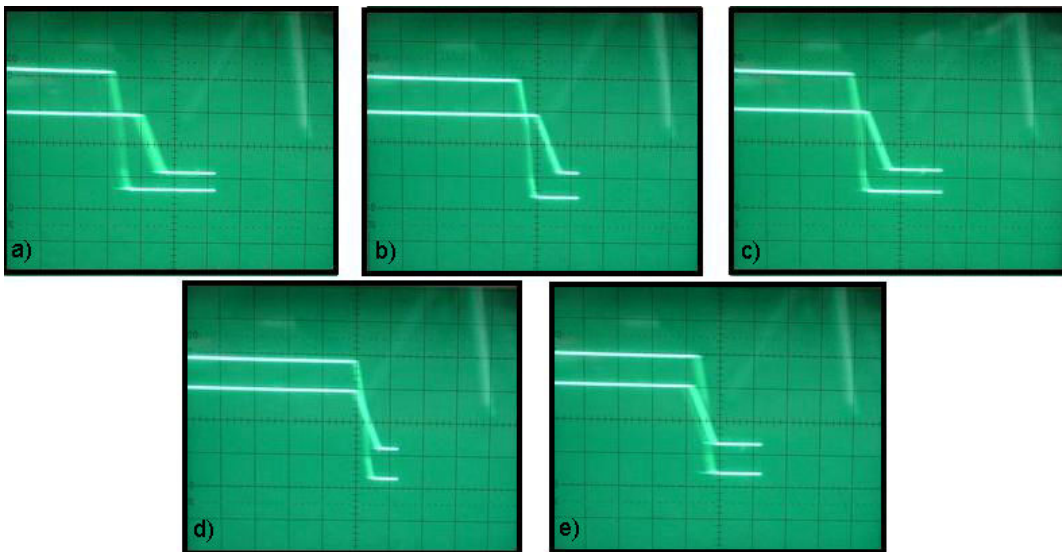


Fig. 70 - Formas de onda da experiência sobre o Atraso da recepção do Sinal, com diferentes escalas de tensão e escala temporal de 20us

As formas de onda apresentadas em cima correspondem às formas de onda registadas, quando o transmissor se encontrava nas seguintes posições com uma escala temporal de 20us/div:

- a) Perto do receptor da direita (Fig.69.a)
- b) À distância aproximada de 2,45m, afastado do receptor da direita
- c) Ao centro da linha entre os dois receptores, 4,9m, (Fig.69.b)
- d) À distância aproximada de 2,45m, aproximado do receptor da esquerda
- e) Perto do receptor da esquerda (Fig.69.c)

As formas de onda têm escalas diferentes para que fosse possível observar mais eficazmente as diferenças temporais dos dois sinais. Para a forma de onda com origem no receptor da direita, foi usada uma escala de 1V/div, enquanto que para a forma de onda com origem do receptor da esquerda foi usada uma escala de 2V/div. A diferença entre as duas formas de onda em relação ao eixo do tempo (eixo XX), variou realmente com a distância, sendo obtidos os resultados:

Distância (m)	Atraso do sinal recebido (us)
≈0	80
2,45	60
4,9	50
7,35	20
≈9,8	≈0

Tabela 4 - Resultados obtidos na medição da diferença temporal entre dois sinais, na experiência do atraso da recepção do sinal

Os dois sinais podem ser observados nas figuras seguintes, ambos com escala de 1V/div e com uma escala temporal de 20us/div:

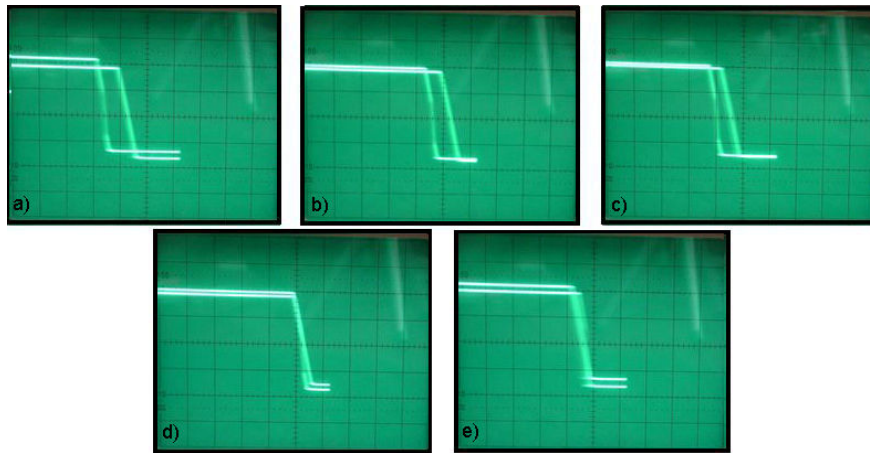


Fig. 71 - Formas de onda da experiência sobre o Atraso da recepção do Sinal, com escalas de tensão iguais e escala temporal de 20 μ s

Como se pôde observar, seria difícil retirar boas conclusões usando a mesma escala de tensões nos dois sinais. A mesma situação mas com uma escala temporal maior pode ser observada na figura seguinte:

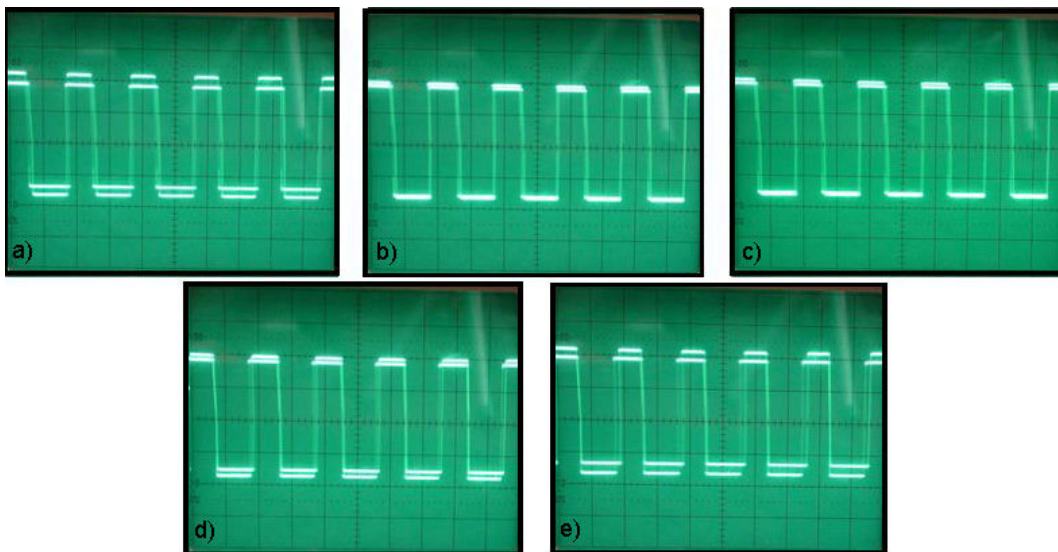


Fig. 72 - Formas de onda da experiência sobre o Atraso da recepção do Sinal, com escalas de tensão iguais e escala temporal de 200 μ s

V – CONCLUSÕES

Os transmissores foram construídos com sucesso, mas encontraram-se alguns problemas na implementação dos receptores, pois foi difícil construir a partir do papel um receptor capaz de funcionar nos 433MHz de forma eficaz e coerente. Apesar de existirem módulos receptores capazes de capturar de uma maneira simples o sinal transmitido na frequência 433,92MHz, como o RX433N da Aurel, o sinal resultante à saída deste módulo é de natureza binária, sinal favorável para a transmissão de sinais digitais. Mas é impossível manipular outros parâmetros no receptor senão o ajuste fino da frequência através da bobine variável, o que torna a manipulação do sinal recebido bastante difícil.

O receptor usado na experiência da força do sinal foi relativamente útil perante o transmissor de modulação em ASK pois este possui uma força de transmissor superior ao transmissor de modulação em FM, uma vez que a alimentação do sinal de transmissão – sinal modulador – é limitada pela alimentação máxima do integrado oscilador LM3909 que neste caso era 3V. Segundo o *datasheet* deste integrado, a sua alimentação poderia atingir no máximo 6V por isso, se fosse alimentado por uma pilha de 12V seguida por um regulador de tensão (IC 7805), acabando por ser alimentado por 5V. Outra hipótese seria o uso de uma bateria de 4 pilhas AA de 1,5V, que resultaria numa alimentação de perto do seu limite máximo suportável.

Como se pôde observar pela primeira experiência, a estratégia de rádio-localização pela Força do Sinal é possível de ser implementada, mas requer um grande esforço a nível da amplificação da energia recebida das ondas electromagnéticas e a nível de dimensionamento.

A segunda experiência permite confirmar que o atraso do sinal recebido varia com a distância do alvo ao longo da linha entre os dois receptores. Mas os resultados apresentam discrepâncias face aos pressupostos teóricos. Segundo as leis da Física as ondas electromagnéticas propagam-se perto da velocidade da luz, uma vez que o meio onde viajam, a nossa atmosfera, não se encontra em vácuo. Considerando que o sinal viaja desde o transmissor até ao receptor, e depois percorre o fio condutor até ao

osciloscópio, a distância total percorrida pelo sinal será sempre o dobro da distância em causa:

$$distância_{total} 2 \times 9,8m = 19,6m \quad \text{Eq.22}$$

Tomando a velocidade da luz como a sua velocidade, para percorrer 19,6m, segundo a Eq.04, a onda precisaria de:

$$\phi = \frac{l}{c} \text{ segundos} \Leftrightarrow \phi = \frac{19,6m}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 65,33ns \quad \text{Eq.23}$$

Onde θ é o atraso do sinal em segundos, l é a distância percorrida pelo sinal e c é a velocidade da luz que, num ambiente vácuo, é de 3×10^8 m/s.

No entanto, e segundo os resultados, o sinal demorou 80us a percorrer essa distância ocorrendo um grande atraso no percurso do sinal. Apesar do ambiente de propagação estar num local fechado, dentro de um laboratório, sendo propício a ser mais denso que o ar do exterior e assim reduzir a velocidade das ondas electromagnéticas, talvez ele não seja um facto relevante a ter em conta para o intervalo de discrepância. Presume-se que a ocorrência deste facto se deva ao uso de componentes passivos nos receptores, uma vez que utiliza um circuito detector de AM como a bobine, que pode infligir diferenças de fase nos sinais alternados.

De qualquer modo, como são usados dois receptores semelhantes, é possível inferir que o problema afecta os dois receptores da mesma maneira e que, mesmo com esta diferença de valores, a relação atraso de sinal vs distância fica provada nesta experiência.

Como análise final, é de afirmar que este projecto gerou uma oportunidade de:

- Adquirir um maior conhecimento das tecnologias de telecomunicações;
- Aumentar conceitos gerais adstritos ao funcionamento das fontes de campos electromagnéticos, assim como os princípios fundamentais da manipulação destas fontes para transmitir informação de um transmissor para um receptor, afastados, através de um meio de propagação sem fios
- Adquirir uma visão sobre telecomunicações, mais concreta, exacta e crítica sobre os instrumentos e objectos oriundos desta tecnologia.

Por fim, é de salientar que este trabalho requereu o uso e a combinação de conhecimentos que foram previamente obtidos em várias disciplinas, e que neste projecto tiveram que ser integrados de modo a conseguir adquirir novas informações e construir novas noções passíveis de se organizarem como um conhecimento simultaneamente conceptual e procedimental.

VI - BIBLIOGRAFIA

a) Livros:

Apontamentos da disciplina de *Microdispositivos de RF para Comunicações Sem Fios* do Mestrado Integrado em Engenharia de Electrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho;

Kaplan, Elliott D. (ed.) *Understanding GPS: principles and applications*. Artech House, Norwood (1996);

Malvino. *Electrónica I*. Ed. Makron Books;

Pereira, Alexandre; Poupa, Carlos. *Como escrever uma tese: monografia ou livro científico – usando o Word*. Edições Sílabo, Lisboa (2003);

Pozar, David M. *Microwave Engineering*. University of Massachusetts. USA, John Wiley & Sons, Inc, 2ª Edição (1998);

Skolnik, Merrill I. *Introduction to radar systems*. McGraw-Hill, New York (2001);

Vassallo, Francisco Ruiz. *Manual de Antenas Receptoras para TV e FM*. Editora Plátano, 3ª Edição (1977);

Vaz, Emanuel Eduardo Pires. *Antenas – Teoria e Prática*. Edições Lopes da Silva, Porto (1987);

b) Dissertações:

Dário Echavarria Cifurtes, Rubén. *Estudo e projeto de um misturador CMOS para RF*. **Universidade de São Paulo, São Paulo** (11 Dez. 2003);

Jorge Antunes Ferreira, Fabrício. *Projeto de um Misturador em Tecnologia CMOS de 0,25 μm* . **Universidade Federal de Itajubá** (2 de Outubro de 2006);

Linde, Holger. *On Aspects of Indoor Localization*. **Universität Dortmund**. (Ag. 2006);

Ribeiro, José Carlos de Almeida *Receptor de rádio-frequência em tecnologia CMOS para comunicações sem fios a 433 MHz*. **Universidade do Minho, Escola de Engenharia** (Setembro 2006) - não publicada;

c) Artigos:

Guo, Wenyu; Thomson, Simon L.; Filer, Nick P.; Barton, Stephen K. *Knowledge Base Assisted Mapping for an Impulse Radio Indoor Location-sensing Technique*. **School of Computer Science, University of Manchester, Manchester, United Kingdom** (May 2005);

Mota, Sara Piteira. *FIFA aprova bola com 'chip' em jogos amadores*. **Diário Económico**. (09 Mar. 2007);

Taubenheim, David; Kyperountas, Spyros; Correal, Neiyer. *Distributed Radiolocation Hardware Core for IEEE 802.15.4*. **Motorola Labs, Plantation, Florida, USA**. (8 Dec. 2005);

d) Trabalhos:

Ferreira, David Matos. *Desenho e simulação de um Mixer com R.F. de 433Mhz, para um Frequência Intermédia de 10Mhz. Tecnologia CMOS – 0.7µm*. **Universidade do Minho, Escola de Engenharia** (30 Dez. 2006);

Ferreira, David Matos. *Localização entre dois pontos usando Radiofrequência*. **Universidade do Minho, Escola de Engenharia (Julho 2007)**;

e) Sites:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Triangulation>

Triangulation - Wikipedia, the free encyclopedia

Consultado em 2006/08

<http://www.pr.gov.br/batebyte/edicoes/2000/bb99/estagiario.htm>

Bate Byte 99 Julho/2000 - GPS - Sistema de Posicionamento Global

Consultado em 2006/08

<http://www.rfmd.com/gps.asp>

Global Positioning System (GPS) - RF Micro Devices

Consultado em 2006/08

<http://dataweek.co.za/news.aspx?pkINewsid=22309&pkICategoryId=42&pkIIssueID=587>

New radio modules combine GPS with GSM technology - Dataweek

Consultado em 2006/08

<http://www.rfdesign.co.za/pages/5645456/Home.asp>

RF Design Home Page

Consultado em 2006/08

[http://www.u-blox.com/products/Product_Summaries/LEA-4H_Prod_Summary\(GPS.G4-MS4-](http://www.u-blox.com/products/Product_Summaries/LEA-4H_Prod_Summary(GPS.G4-MS4-)

[05018\).pdf#search=%22LEA-4H%22](#)

LEA-4H_Prod_Summary(GPS.G4-MS4-05018)

Consultado em 2006/08

<http://arla.radio-amador.net/procedimento1.htm#coordena%E7%E3o%20de%20Radioamadores>

3.8 – Sistema Automático de Posicionamento via Rádio (APRS)

Consultado em 2006/08

<http://www.aprs.net>

APRS: Automatic Position Reporting System

Consultado em 2006/08

<http://www.itpen.com/tech.html>

ITPEN – Core Technology

Consultado em 2006/08

<http://www.embedded.com/showArticle.jhtml?articleID=18402586>

Embedded.com - RF technology brings 3D positioning

Consultado em 2006/08

<http://dataweek.co.za/default.aspx?pkIssueID=571>

Dataweek - Published by Technews

Consultado em 2006/08

<http://dataweek.co.za/news.aspx?pkNewsId=21623&pkCategoryId=42>

2,45 GHz antenna solutions - Avnet Kopp – Dataweek

Consultado em 2006/08

<http://www.itecdiffusion.com/indexpt.html>

ITECDIFFUSION - EQUIPAMENTOS ELECTRONICOS DE VIGILANCIA E CONTRA-ESPIONAGEM

Consultado em 2006/08

http://www.itecdiffusion.com/PT/contra_espionagem_protecao.html

EQUIPAMENTOS E DISPOSITIVOS CONTRA-ESPIONAGEM ANTI-SPY ANTI-GRAMPO DETECTOR BLOQUEADOR

Consultado em 2006/08

http://pt.wikipedia.org/wiki/Identifica%C3%A7%C3%A3o_por_r%C3%A1dio-frequ%C3%Aancia

RFID - Wikipédia

Consultado em 2006/08

http://dn.sapo.pt/2006/04/13/economia/identificar_produtos_radio_frequenci.html

DN Online: Identificar produtos por rádio frequência

Consultado em 2006/08

<http://www.epcglobalinc.org>

EPCglobal Homepage

Consultado em 2006/08

<http://www.radioamadores.net>

RADIOAMADORES.net

Consultado em 2006/08

<http://www.amrad.pt/index.php>

AMRAD - Associação de Amadores de Rádio para a Investigação, Educação e Desenvolvimento

Consultado em 2006/08

<http://www.amrad.pt/ardf.php>

ARDF - Programa de Rádio-orientação

Consultado em 2006/08

<http://www.universal-radio.com/catalog/hamhf/0817.html>

Yaesu FT-817, Yaesu FT817 Amateur Transceiver

Consultado em 2006/08

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Radar>

Radar - Wikipédia

Consultado em 2006/08

<http://www.sisnav.com.br/navegacao.php>

SISNAV - Sistemas Rádio Navais

Consultado em 2006/08

<http://paginas.terra.com.br/lazer/py4zbx/tutsstv16.htm>

Observações sobre o Varisstv de Mr. S. Hunt.

Consultado em 2006/08

<http://omeuzapp.blogs.sapo.pt/880.html>

Monitor Z010 - o meu zapp

Consultado em 2006/08

<http://www.absoluteitsolutions.com/category.php?catid=7>

Absolute IT Solutions

Consultado em 2006/08

[http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dio_\(comunica%C3%A7%C3%A3o\)#Modalidades](http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1dio_(comunica%C3%A7%C3%A3o)#Modalidades)

Rádio (comunicação) – Modalidades - Wikipédia

Consultado em 2006/08

<http://dispersamente.blogspot.com/2006/04/radiolocalizacao.html>

DISPERSAMENTE...: RADIOLOCALIZAÇÃO

Consultado em 2006/08

<http://express.ece.ucsb.edu/radiolocation>

Adaptive Radiolocation for Mobile Sensor Networks

Consultado em 2006/08

<http://handheld.teco.edu/entry.asp%3Fid=113.html>

HCVL - Olivetti Research Laboratory

Consultado em 2006/08

<http://en.wikipedia.org/wiki/LORAN>

LORAN - Wikipedia, the free encyclopedia

Consultado em 2006/08

<http://inventors.about.com/library/inventors/blradar.htm>

RADAR and Doppler RADAR Invention and History

Consultado em 2006/08

<http://www.icp.pt>

ANACOM - Autoridade Nacional de Comunicações

Consultado em 2006/08

<http://www.anacom.pt/template12.jsp?categoryId=183307>

Quadro Nacional de Atribuição de Frequências 2005-2006 - ANACOM

Consultado em 2006/08

<http://www.itu.int/home/index.html>

International Telecommunication Union

Consultado em 2006/08

<http://www.ancruzeiros.pt/ancvhf-freq.html>

A.N.C. - Faixa de Frequências VHF

Consultado em 2006/08

http://www.portaldocidadao.pt/PORTAL/entidades/MOPTC_PCM/ANACOM/pt/SER_indicacao+de+fai+xa+de+frequencias+de+redes+de+radiocomunicacoes+privativas+localizada+++servico.htm

Portal do Cidadão - Indicação de Faixa de Frequências de Redes de Radiocomunicações Privativas

Localizada - Serviço Móvel Terrestre

Consultado em 2006/08

http://pt.wikipedia.org/wiki/Comprimento_de_onda

Comprimento de onda - Wikipédia

Consultado em 2006/08

<http://www.futureofflight.org>

Aviation Center & Boeing Tour.

Consultado em 2006/11

<http://www.boeing.com/companyoffices/aboutus/tours/>

Boeing: Aviation Center & Boeing Tour.

Consultado em 2006/11

http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

Global Positioning System - Wikipedia, the free encyclopedia

Consultado em 2006/11

<http://www.geocaching.com/>

Geocaching - The Official Global GPS Cache Hunt Site

Consultado em 2006/11

<http://exameinformatica.clix.pt/foco/especial/213940.html>

ESPECIAL – GEOCACHING

Consultado em 2006/11

<http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/doppler/doppler.html>

The Doppler Effect and Sonic Booms

Consultado em 2007/06

<http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/Bima/doppler.html>

Doppler Effect

Consultado em 2007/06

http://www.electronics-radio.com/articles/radio/basic_radio/radio_spectrum/radio_spectrum.php

Electronics and Radio Today :: The radio spectrum

Consultado em 2006/11

http://www.electronics-radio.com/articles/radio/basic_radio/radio_spectrum/radio_spectrum.php

Electronics and Radio Today :: The radio spectrum

Consultado em 2006/11

http://www.electronics-radio.com/articles/radio/basic_radio/radio_spectrum/radio_spectrum.php

Electronics and Radio Today :: The radio spectrum

Consultado em 2006/11

http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802

IEEE 802 - Wikipedia, the free encyclopedia

Consultado em 2006/11

Superheterodyne receiver - Wikipedia, the free encyclopedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Superheterodyne>

Consultado em Agosto 2007

Super-heterodino - Wikipédia

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Super-heterodino>

Consultado em Agosto 2007

Heterodyning - Wikipedia, the free encyclopedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Heterodyne>

Consultado em Agosto 2007

Teoria da eletricidade - Heterodinação

<http://www.bn.com.br/radios-antigos/teoria.htm>

Consultado em Agosto 2007

Heterodyne Principle

http://people.seas.harvard.edu/~jones/cscie129/nu_lectures/lecture7/heterodyne/heterodyne.html

Consultado em Agosto 2007

Módulo XT75

http://www.siemens.com.br/templates/coluna1.aspx?channel=7701&channel_pri_nivel=6573

Consultado em Agosto 2007

Chapter 1 Introduction to Basic Radar

http://www.tpub.com/content/et/14089/css/14089_11.htm

Consultado em Agosto 2007

BASIC RADAR CONCEPTS

http://www.tpub.com/content/neets/14190/css/14190_14.htm

Consultado em Agosto 2007

synthetic aperture radar: Definition and Much More from Answers.com

<http://www.answers.com/topic/synthetic-aperture-radar?cat=technology>

Consultado em Agosto 2007

Victorian ARDF Group

<http://www.ardf.org.au/cgi-bin/menu.cgi>

Consultado em Agosto 2007

VK3YNG Foxhunt Sniffer MK4 Operation Manual V2.1

http://www.users.bigpond.net.au/vk3yng/foxhunt/2m_sniffer/manual.htm

Consultado em Agosto 2007

The VK3YNG Microsniffer Project

<http://www.users.bigpond.net.au/vk3yng/foxhunt/microsniffer/microsniffer.html>

Consultado em Agosto 2007

VK3YNG 80m ARDF foxhunt sniffer kit

http://www.users.bigpond.net.au/vk3yng/foxhunt/80m_sniffer/80m_sniffer.html

Consultado em Agosto 2007

BlueRadar - Symbian Series 60 3rd Edition Software

<http://gallery.mobile9.com/f/38846/>

Consultado em Agosto 2007

BlueRadar (Symbian) - Download

<http://blueradar.en.softonic.com/ie/53426>

Consultado em Agosto 2007

All About Symbian Review: BlueRadar

http://www.allaboutsymbian.com/reviews/item/Blue_Radar.php

Consultado em Agosto 2007

miniGPS for Series 60 2.x by PSI NT (Psiloc)

<http://my-symbian.com/s60/software/applications.php?faq=2&fldAuto=279>

Consultado em Agosto 2007

Comunidade RFID Portugal - Solução RetailID em reportagem na SIC

http://www.portalfid.net/index.php?option=com_content&task=view&id=113&Itemid=2

Consultado em Agosto 2007

O que são Sniffers

<http://www.invasao.com.br/coluna-andre-09.htm>

Consultado em Agosto 2007

Sniffers: What They Are and How to Protect Yourself

<http://www.securityfocus.com/infocus/1549>

Consultado em Agosto 2007

Wardriving - Wikipedia, the free encyclopedia

<http://en.wikipedia.org/wiki/Wardriving>

Consultado em Agosto 2007

Packet sniffer - Wikipedia, the free encyclopedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Packet_sniffer

Consultado em Agosto 2007

Ethereal: A Network Protocol Analyzer

<http://www.ethereal.com/>

Consultado em Agosto 2007

WarDriving.com

www.wardriving.com

Consultado em Agosto 2007

Piggybacking (internet access) - Wikipedia, the free encyclopedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Piggybacking_%28internet_access%29

Consultado em Agosto 2007

Simple Field Strength Meter

<http://www.zen22142.zen.co.uk/Circuits/rf/sfsm.htm>

Consultado em Agosto 2007

Automatic Position Reporting System - Wikipedia, the free encyclopedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Position_Reporting_System

Consultado em Agosto 2007

Dicionario KingHost: Radiogoniometria

<http://www.kinghost.com.br/dicionario/radiogoniometria.html>

Consultado em Agosto 2007

AirAndinas.com - Gestão de Conhecimentos Aeronáuticos

<http://www.airandinas.com/>

Consultado em Agosto 2007

Hawk-Eye Innovations

http://www.hawkeyeinnovations.co.uk/?page_id=1009

Consultado em Agosto 2007

Hawk-Eye – Wikipédia

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Hawk-Eye>

Consultado em Agosto 2007

Definição - triangulação

<http://www.unb.br/ig/glossario/verbete/triangulacao.htm>

Consultado em Agosto 2007

Electronics and Radio Today :: Frequency Modulation (FM)

http://www.electronics-radio.com/articles/radio/modulation/frequency_modulation/fm.php

Consultado em Agosto 2007

Frequency Modulation

http://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Frequency_Modulation.html

Consultado em Agosto 2007

Electronics and Radio Today :: Amplitude Modulation (AM)

http://www.electronics-radio.com/articles/radio/modulation/amplitude_modulation/am.php

Consultado em Agosto 2007

VIVASEMFIO.com » Modulação de Sinal

http://www.vivasemfio.com/blog/category/modulacao_sinal/

Consultado em Agosto 2007

Artuzi - Técnicas de Modulação - 23.02.2001

<http://www.eletrica.ufpr.br/artuzi/apostila/cap5/pg28.html>

Consultado em Agosto 2007

Modulações digitais

http://paginas.fe.up.pt/~sam/Tele2/apontamentos/Modul_2.pdf

Consultado em Agosto 2007

Aliasing

<http://www.cbi.dongnocchi.it/glossary/Aliasing.html>

Consultado em Agosto 2007

The Basics of Anti-Aliasing: Using Switched-Capacitor Filters - Maxim/Dallas

http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/3494/

Consultado em Agosto 2007

VHF tracking receiver and Aircraft band receiver

<http://www.jbgizmo.com/page23.html>

Consultado em Agosto 2007

Regenerative circuit - Wikipedia, the free encyclopedia

http://en.wikipedia.org/wiki/Regenerative_circuit

Consultado em Agosto 2007

FM only: Low Tech FM Radios

http://www.somerset.net/arm/fm_only_lowtech.html

Consultado em Agosto 2007

Armstrong oscillator: Definition and Much More from Answers.com

<http://www.answers.com/topic/armstrong-oscillator?cat=technology>

Consultado em Agosto 2007

System and method for performing mobile robotic work operations - Patent 5974348

<http://www.freepatentsonline.com/5974348.html>

Consultado em Agosto 2007

System and method for performing mobile robotic work operations - Patent 5974348

<http://www.patentmonkey.com/PM/patentid/5974348.aspx>

Consultado em Agosto 2007

ZigBee: ZigBee x Bluetooth

http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialzigbee/pagina_4.asp

Consultado em Agosto 2007