

Departamento de Ciência Tecnologia e Arquitetura

Análise de Interferência no novo Aeroporto de Luanda

Kankho Sefo Maria Barros

**Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia de Telecomunicações e Informática**

Orientador:

Professor Doutor Pedro Joaquim Amaro Sebastião

Co- Orientador:

Professor Doutor Américo Correia

ISCTE-IUL

2019

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

Dedico especialmente este trabalho aos meus pais, Eduardo Pinho Barros e Maria Chingue pelo esforço incansável que têm feito por nós o meu muito obrigado.

Aos meus irmãos Khokhy Barros, Tchibwabwa, Barros, Elsa Barros, Eduardina Barros e Edith Barros o meu muito obrigado e juntos somos mais fortes.

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Agradecimento

Em primeiro lugar agradecer a Deus pelo dom da vida e por nos ter guiado a todo o momento.

Agradeço aos meus orientadores professores Pedro Sebastião e Américo Correia pelo apoio durante a realização do trabalho. Ao professor Pedro Sebastião muito obrigado pelo apoio e o posicionamento durante a realização do trabalho, confesso que aprendi muito com o professor.

Os meus agradecimentos estendem-se ao Instituto Nacional das Comunicações de Angola (INACOM) pelo apoio dado durante a realização do trabalho prático em Angola, ao Eng. Augusto Leonel e a equipa de fiscalização do INACOM, muito obrigado pela realização do trabalho.

Agradeço os professores do METI pela paciência e o empenho que sempre tiveram em transmitirem os seus conhecimentos da melhor forma possível, o meu muito obrigado.

Não deixaria de agradecer a Ana Mirrado pelo apoio e por tudo que tem feito por mim. Aos meus primos, Luis Nunes, Wilsom Baptista, Delson Kanorte, Lopes Fernandes, Jeremias Agostinho, Hélder Pacheco, Hélder Mateus, Edna Madalena, Edna Santiago, Celeste Ernesto, Vanda Cândida, Vilma Nael, o meu muito obrigado pelo apoio.

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Resumo

O espectro radioelétrico é um recurso natural limitado que é controlado por um regulador que faz a gestão do mesmo. Devido o surgimento de novas tecnologias, a procura do espectro é cada vez maior o que implica um custo elevado na obtenção do mesmo por parte dos operadores que dispõem deste recurso para melhor oferecerem os seus serviços de comunicações. No entanto a indústria das telecomunicações tem vindo a crescer de forma acelerada nos últimos tempos para dar resposta aos desafios enfrentados pelas sociedades. Sendo a comunicação móvel um dos pilares mais importante na indústria tecnologia, é possível a comunicação entre sistemas, a partir de rádios emissores e recetores. Sendo as interferências no domínio da frequência uma consequência da multiplicidade de sistemas que, se não forem devidamente planeadas podem degradar o sinal que se pretende receber com uma qualidade de serviço adequada, de acordo com o serviço a prestar ao utilizador.

O presente trabalho assenta na análise do espectro radioelétrico no novo aeroporto de Luanda (Angola), com o propósito de caracterizar e obter os possíveis níveis de interferências entre os sistemas de radiodifusão das aeronaves na zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda. Após o trabalho de campo conclui-se que o espectro na zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda é limpo.

Palavras chaves: Sistema de comunicações móveis, Sistema comunicação da aeronave, Interferências, Espectro eletromagnético.

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

ABSTRACT

The radio spectrum is a limited natural resource controlled by a regulator. Due to the emergence of new technologies, the demand for the spectrum is increasing, which implies a high cost in obtaining it from the telecommunication operators that have this feature to better offer their communications services. However, in recent times, the telecommunications industry has been growing rapidly to meet the challenges facing societies. The mobile communication is one of the most important pillars in the technology sector. It is possible to communicate between systems, by using radio transceivers. The interference in the frequency domain is a consequence of the multiplicity of systems that, if not properly planned, can degrade the signal to be received with an adequate quality of service, according to the service to be provided to the end user.

The current research is based on the analysis of the radioelectric spectrum that covers the new Luanda's airport (Angola). To identify and collect possible interferences that may degrade the aircraft broadcasting systems in the coverage area of the new Luanda airport. After the field measurement it is concluded that the spectrum of the coverage area of the new airport in Luanda is clean.

Keywords: Mobile Communications System, Aircraft Communication System, Interference, Electromagnetic Spectrum.

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimento	iv
Resumo.....	v
ABSTRACT	vi
Índice de Tabelas.....	ix
Índice de figura.....	x
Lista acrónimos	xii
Lista de Símbolos.....	xv
Capítulo I.....	1
1.1 - Introdução.....	1
1.2 - Motivação.....	1
1.3 – Enquadramento	2
1.4 – Objetivos.....	3
1.5 - Método	4
1.6 - Estrutura da Dissertação.....	5
Capítulo II.....	6
Tecnologias usadas na Comunicação móvel e Fundamentos do Espectro radioelétrico.	6
2 – Introdução as tecnologias usadas na comunicação móvel.....	6
2.1 - Primeira Geração de rede Móvel - (1G).....	6
2.2 – GSM – Sistema de Segunda Geração Móvel (2G)	7
2.2 - UMTS - Terceira Geração Móvel (3G).....	8
2.3 - LTE - Quarta Geração Móvel (4G).....	9
2.4 - Fundamento do Espectro Radioelétrico	11
2.5 - Equipamentos usados na realização do trabalho	13
2.6 - Relação das grandezas elétricas usadas em Telecomunicações.	15
2.7- Tipos de interferências na comunicação móvel.....	18

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

2.7.1 - Interferência Co canal	19
2.7.2 - Interferência no canal adjacente	22
Capítulo III	23
Tecnologias e Sistemas usados na comunicação aeronáutica.	23
3.1 - Introdução.....	23
3.2 - Sistema de Radionavegação	24
3.3 - Sistema de Comunicação	25
3.4- Sistemas Rádio Vigilância	25
3.5 – Sistemas usados na Comunicação Aeronáutica	27
3.5.1 - Sistema ILS	27
3.5.2 - Sistema Localizar.....	27
3.5.3 - Sistema Marker Beacons.....	28
3.5.4 - Sistema VOR.....	29
3.5.5 - Sistema Glide Slop.....	31
3.5.6 - Sistema GPS	32
3.5.7 - Sistema Galileo.....	32
3.5.8 - Sistema MLS	34
Capítulo IV	36
IV - Medições e análise dos resultados obtidos.....	36
4.1- Primeiro Cenário.....	37
Análise dos Resultados obtidos das Medições feitas no Aeroporto Huberto Delegado em Lisboa.	37
4.2 - Segundo cenário	43
Análise dos resultados das medições feitas no novo aeroporto de Luanda (Angola). 43	
Capítulo V	56
Conclusões Gerais.....	56
Trabalho Futuro	57
Apêndice I - Monitorização do Espectro	58
Apêndice II- Sistema Inteligente para Análise de Interferências com Recurso a Sensores Radioelétricos	59
Bibliografia.....	60

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Utilização do espectro de frequências [15]	13
Tabela 2 - Escala de potencias de dBm em 1mW	17
Tabela 3 - Relação de potência e a tensão em decibel [17]	17
A tabela 4, apresenta alguns dos múltiplos e submúltiplos usados em telecomunicações [18].....	18
Tabela 5 - Múltiplos s submúltiplos para corrente, tensão e potencia [18]	18
Tabela 6 - Unidade logarítmica usadas em telecomunicações [19].....	18
Tabela 7 - Valores da razão de reuso co canal para valores de N	20
Tabela 8 - Tecnologias e sistemas usados na comunicação aeronáutica [24].....	26
Tabela 9 - Classe do sistema de rádios ajudas á navegação aérea VOR	30
Tabela 10 - Frequências do espectro e tipo de tecnologias usadas no canal	44
Tabela 11 - Frequências de sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz	47
Tabela 12 – Frequências de sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz	47
Tabela 13 - Frequências de sistemas que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz	48
Tabela 14 - frequências de Sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1 GHz a 2 GHz.....	48
Tabela 15 - Frequências e tecnologias que funcionam nas bandas de 2 GHz a 4 GHz..	50
Tabela 16 - Frequências e tecnologias que funcionam nas bandas de 2GHz a 4GHz....	50
Tabela 17 - Sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 2GHz a 4GHz.....	51

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Índice de figura

Figura 1- Posição de análise do espectro [1].	2
Figura 2 - Arquitetura do GSM, fonte: adaptado de Release 96 do 3GPP [5].	8
Figura 3 - Arquitetura do UMTS [8].	9
Figura 4 - Arquitetura do LTE [11].	11
Figura 5 - Analisadores de espectro [16].	14
Figura 6 - Interferência no canal.	20
Figura 7- Tipos de antenas da aeronave [24].	24
Figura 8 - Sistema ILS (adaptado de Niquette,1996)	27
Figura 9 - Feixe de onda do Localizer (fonte: HELFRICK,2007) [26].	28
Figura 10 - Marker Beacons [25].	29
Figura 11 - Sinal de referencia [25].	29
Figura 12 – Sinal variável [25].	30
Figura 13 - Feixe de onda de Glide Slope [27].	31
Figura 14 - Antena terrestre do GS [27].	31
Figura 15 - Funcionamento de um satélite GPS.	32
Figura 16 - Sistema Galileo.	34
Figura 17 - Imagem aérea do aeroporto de Lisboa.	36
Figura 18 - Imagem aérea da zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda	37
Figura 19 - Espectro de um sistema na zona de cobertura do aeroporto de Lisboa	38
Figura 20 - Sistema radio FM na zona de cobertura do aeroporto de Lisboa	39
Figura 21 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 100.18MHz	39
Figura 22 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 1.835GHz.	40
Figura 23 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa 943.5997MHz	41
Figura 24 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa 2.137566GHz	41
Figura 25 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 122.00MHz	42
Figura 26 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 113.61591MHz	43
Figura 27 - Antenas usadas na análise do espectro no novo aeroporto de Luanda	43
Figura 28 - Espectro de frequência de sistemas que operam nas faixas de 9kHz a 30MHz	44

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Figura 29 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas faixas dos 380.2MHz á 520.2MHz.....	45
Figura 30 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas faixas de 1GHz á 2GHz	46
Figura 31 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 2GHz á 4GHz	49
Figura 32 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 3GHz a 4GHz	51
Figura 33 - Características do sinal interferente.....	52
Figura 34 - Características do sinal interferente.....	53
Figura 35 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 3GHz a 4GHz	54
Figura 36 - Características do sinal do segundo pico	54
Figura 37 - Largura de banda do sinal do segundo pico	55
Figura 38 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 4GHz a 6GHz	55
Figura 39 - Estação móvel	58
Figura 40 - Arquitetura do modelo proposto.....	59

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Lista acrónimos

1G	First Generation
2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation
ADS-B	Vigilância-Transmissão de Dependência Automática
AuC	Authentication Centre
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
BWA	Broadband Wireless Access
CN	Core Network
CS	Circuit Switch
DDP	Difference De Potential
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DME	Distance Measuring Equipment
E-UTRAN	Evolved - UMTS Terrestrial Radio Access Network
EHF	Extremely High Frequencies
EIR	Equipment Identity Register
ELF	Extremely Low Frequencies
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
FCS	Sistemas de Comunicação do Futuro
FT	Fourier Transform
FWA	Fixed Wireless Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMPCS	Global Mobile Personal Communications by Satellite
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System For Mobile Communications
HF	High Frequencies
HLR	Home Location Register

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

HSS	Home Subscriber Server
ILS	Instrument Landing System
INACOM	Instituto Nacional de Comunicações
IP	Internet Protocol
L-DACS	Sistemas de Comunicações de Aeronaves Digitais em L
LF	Low Frequencies
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MF	Medium Frequencies
MME	Mobility Management Entity
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching center
NASA	National Aeronautical and Space Administration
NDB	Non-Directional Radio Beacon
OSS	Operation Support System
P-GW	Packet Data Network Gateway
PCRF	Policy and Charging Resource Function
PCS	Serviços de Comunicação Pessoal
PS	Packet Switch
QoS	Quality of Service
RAD	Serviço de Radiodifusão
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRM	Radio Resource Management
S-GW	Serving Gateway
S.I	International System
SAE	System Architecture Evolution
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHF	Frequências Super Altas
SIM	Subscriber Identity Module
SRD	Short Range Device

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

TCAS	Sistemas que evitam Colisões no Tráfego
TDT	Digital terrestrial television
UAT	Transceiver de Acesso Universal
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VHF	Very High Frequency
VLf	Very Low Frequency
VLR	Visitor Location Register
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Range

Análise de Espectro no novo Aeroporto de Luanda

Lista de Símbolos

d	Distância
I_0	Número de células que provocam interferências co canal
I_i	Potência interferente
K	Constante de anéis interferentes da célula
N	Tamanho do Cluster
n	Expoente que caracteriza a perda média de trajeto
P_1	Potência recebida
P_2	Potência de saída
P_r	Potência média recebida
Q	Parâmetro da célula
R	Raio da célula
S	Potência do sinal desejado
S/R	Relação sinal ruído interferente

Capítulo I

No capítulo I descreve-se a motivação que esteve na origem da escolha do tema “ Análise das interferências no novo aeroporto de Luanda” para esta dissertação. A motivação é procedida pelo enquadramento, objetivos, método e estrutura da dissertação.

1.1 – Introdução

A evolução tecnológica a que temos vindo acompanhar resulta num crescente e desenvolvimento das comunicações móveis à distância, sendo esta portador por uma série de tecnologias sem fio que dão suporte á comunicação aeronáutica. Por este motivo os sistemas não estão ausentes de interferências na comunicação. Na indústria aeronáutica existem diversas tecnologias e sistema que permitem disponibilizar diversos serviços para o bom funcionamento dos sistemas aeronáuticos, no entanto o foco desta dissertação assenta na análise de Interferências no novo aeroporto de Luanda.

1.2- Motivação

Com o exponencial crescimento tecnológico em resposta a necessidade dos utilizadores deu origem o desenvolvimento de diversas tecnologias com maior utilização do espectro radioelétrico para dar suporte a estas tecnologias. Deste modo, surgiu a necessidade de realizar um estudo que tivesse como objeto na análise de interferências no novo aeroporto de Luanda. No entanto as interferências em geral são conhecidas como perturbações que degradam o sinal transmitido e consequentemente provocam interferência na comunicação. Por outro lado, a motivação da escolha do tema surgiu devido o interesse em aprofundar os meus conhecimentos em telecomunicações, em particular relacionado com o espectro radioelétrico em sistemas aeronáuticos, i.e., analisar possíveis níveis de interferências encontradas na zona do novo aeroporto de Luanda. Ainda como contributo para a motivação foi o fato do regulador das comunicações em Angola ter dado a possibilidade de apoiar a realização do trabalho experimental na zona do aeroporto, e também a possibilidade deste trabalho contribuir para análise e avaliação do nível de interferências a disponibilizar ao INACOM.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

1.3 - Enquadramento

A evolução natural dos sistemas de radiocomunicações exige uma constante evolução dos equipamentos e técnicas usado na monitorização e controlo do espectro radioelétrico. No passado a maioria das emissões radioelétricas podia ser restringida a um grupo limitado de modulações analógicas para as aplicações mais comuns. Com o passar do tempo e com a evolução tecnológica surgiram os sistemas digitais que interagem com outras tecnologias de acesso múltiplo[1].

Os sistemas de comunicação modernos, desempenham um papel na comunicação e estão incorporados as tecnologias rádio devido as características e o meio de transmissão que utilizam [2]. No entanto, é importante ter em conta que o espectro radioelétrico é um recurso natural escasso que exige uma gestão cuidadosa com objetivo claro pra uma utilização racional, qualitativa e livre de interferências, por este e outros motivos, surgiu a necessidade de criar um organismo que controla este recurso, a fim de evitar problemas de interferências entre os sistemas utilizados. Na realização desta dissertação, a revisão de literária esteve na base de trabalhos realizados com o foco no espectro radioelétrico desde os sistemas de medida tradicionalmente usados na monitorização e controlo do espectro, monitorização de sinais variantes no tempo, estudos relacionados com os sistemas e tecnologias utilizadas na comunicação aeronáutica, dentre os vários estudo consultados na elaboração do trabalho importante citar o estudo feito no aeroporto de Lisboa de uma interferência prejudicial que afetou a comunicação do serviço móvel aeronáutico entre a torre de controlo e as aeronaves em aproximação à pista de aterragem [1].



Figura 1- Posição de análise do espectro [1].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

1.4 - Objetivos

O principal objetivo deste estudo, que conduz à escrita desta dissertação de mestrado, é a análise de interferência no novo aeroporto de Luanda (Angola), de forma a minimizar os possíveis níveis interferências aeronáuticas que neste possam surgir e poder contribuir para as avaliações que o INACOM (Instituto de Telecomunicações de Angola), realiza.

No entanto espera-se que na conclusão deste trabalho estejamos em condições de dar resposta a algumas questões colocadas o início da sua elaboração:

- Procurar saber quais os tipos de interferências frequentes na comunicação móvel;
- Procurar saber qual é o impacto da localização geográfica no estudo das interferências das aeronaves;
- Apurar qual o impacto da intensidade do campo elétrico nas faixas de frequências dos sistemas analisadas.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

1.5 - Método

O método escolhido para a realização desta dissertação foi a utilização de modelos empíricos obtidos através de medições reais em vários cenários e regiões, havendo posteriormente uma modelação dos resultados obtidos, que será apresentada um modelo final que fornece o valor mediano da atenuação, em função da posição.

Os modelos desta categoria, especialmente aqueles que utilizam expressões matemáticas, apresentam a grande vantagem de, geralmente, serem de fácil aplicação e de necessitarem de um tempo de execução (computacional) bastante baixo. Por outro lado, estes modelos apresentam a desvantagem de serem baseados em medidas realizadas em determinados locais e de não fornecer resultados muito fiáveis para cenários diferentes para os quais foram testados.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

1.6 - Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em 5 capítulos. O capítulo I foi feito a descrição da escolha do tema e abordou-se os seguintes pontos: motivação, objetivos, e o método usado para a realização deste trabalho. Ao passo que o capítulo II procede-se a uma contextualização das tecnologias usadas na comunicação móvel e fundamentos do espectro radioelétrico. Já no capítulo III o foco foi os sistemas e tecnologias usadas na comunicação aeronáutica. O IV capítulo foi dedicado ao trabalho de campo, o mesmo é composto por dois cenários, o primeiro cenário os testes foram realizadas num dos pontos da zona de cobertura do aeroporto de Lisboa (Portugal), ao passo que o segundo cenário as medições foram feitas em Luanda, num dos pontos da zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda (Angola), neste cenário de medições tivemos o apoio do Instituto Nacional da Comunicações de Angola (INACOM). O capítulo V foi dedicado às principais conclusões e possíveis trabalho a desenvolver.

Capítulo II

Tecnologias usadas na Comunicação móvel e Fundamentos do Espectro radioelétrico.

Este capítulo apresenta uma contextualização das tecnologias usadas na comunicação móvel, isto é, da primeira à quarta geração móvel(4G). O mesmo descreve o modo de funcionamento dos equipamentos usados na realização do trabalho, também aborda a relação das grandezas elétricas usadas em telecomunicações, e os tipos de interferências frequentes na comunicação móvel.

2 - Introdução as tecnologias usadas na comunicação móvel.

2.1 - Primeira Geração de rede Móvel - (1G)

A primeira geração de redes móveis é baseada em tecnologia analógica, foi desenvolvida nos anos 80, foi o primeiro sistema a permitir o utilizador a manter uma ligação dentro da área de serviço mesmo quando se encontra em movimento. No entanto com a possibilidade de cobertura contínua surgiu a necessidade de criar um mecanismo que permitisse transferir uma chamada entre áreas de cobertura nas células pertencentes a diferentes estações base. Neste sistema único serviço disponível era a transmissão de voz, como consequência tinha muitas limitações, desde a falta de capacidade do sistema, os terminais dos utilizadores eram grandes e pesados, existia incompatibilidade entre os sistemas, as interfaces não eram normalizadas, e tinha uma baixa segurança na transmissão da informação [3].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

2.2 - GSM - Sistema de Segunda Geração Móvel (2G)

Com o aparecimento da segunda geração de redes móveis, foi necessário dar início ao desenvolvimento de sistemas digitais, que começou a ser efetivamente utilizados no início dos anos 90, impulsionado pelo avanço da tecnologia dos circuitos integrados que permitiu a efetiva transmissão digital [4].

O Global System For Mobile Communications (GSM), foi desenvolvido na Europa nos anos 80, distinguindo-se pelo uso de cartões de memória Subscriber Identity Module (SIM), e apresentava vantagens significativas em relação aos sistemas analógicos.

- Técnicas de codificação digital
- Maior eficiência espectral
- Melhor qualidade na ligação
- Melhor tráfego de dados na rede
- Criptografia da informação transmitida

A arquitetura GSM (Figura 2) é constituída pela CN (Core Network), e a RAN (Radio Access Network). Dentro da Core Network (CN), encontramos os seguintes elementos:

- Home Location Register (HLR) - Local onde se encontra a informação do utilizador e outros serviços.
- Visitor Location Register (VLR) – Responsável pela localização do utilizador.
- Authentication Centre (AuC) - Responsável pela autenticação do utilizador
- Equipment Identity Register (EIR) - Controla a identificação de validade do equipamento.
- O Mobile Switching Center (MSC) - Tem a função de comutação, faz também ligações com outras interfaces de diversas bases de dados e com redes externas, sendo que qualquer tráfego na rede passa obrigatoriamente no MSC. Ao passo que dentro da Radio Access Network (RAN), encontramos os seguintes elementos:
 - User Equipment (UE) - É um dispositivo utilizado para a comunicação, é tipicamente um equipamento portátil tal como um telefone inteligente que envolve duas componentes, o SIM e o terminal móvel e o MS.
 - Base Transceiver Station (BTS) – Distribui a informação pelos utilizadores que se encontram na sua zona de cobertura da rede.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- Base Station Controller (BSC) - Controla a gestão do recurso das BTS, bem como das suas interfaces, também é responsável pelo processo do handover entre as BTS.
- Transcoder (TC) - Tem a função de converter o canal de voz de 16 kbps em 64 kbps e vice-versa.

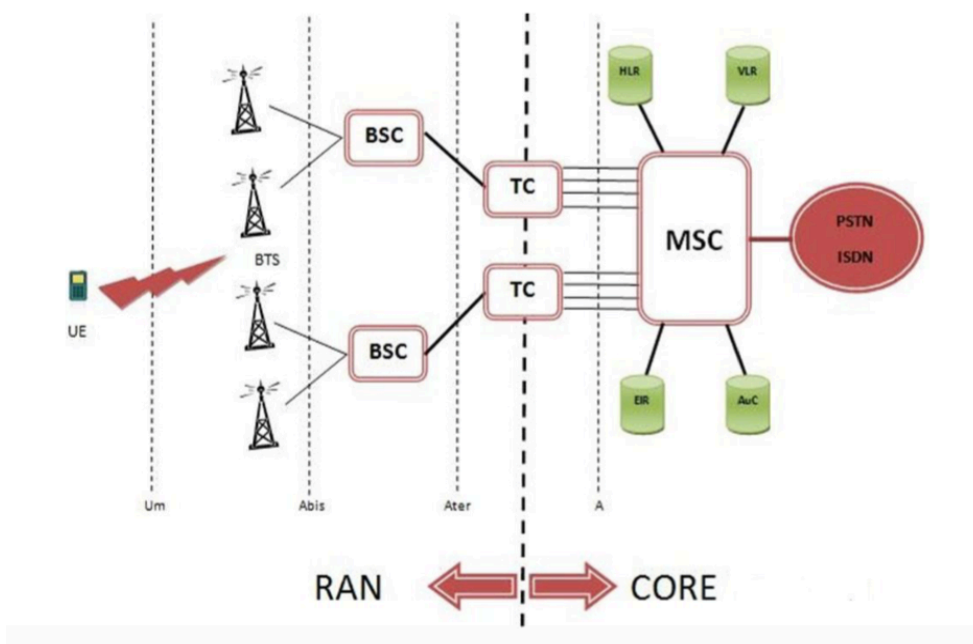


Figura 2 - Arquitetura do GSM, fonte: adaptado de Release 96 do 3GPP [5].

2.2 - UMTS - Terceira Geração Móvel (3G)

O Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), é um termo genérico para as tecnologias da terceira geração, desenvolvido dentro do 3GPP, é considerado como o sucessor do GSM. Um dos fatores importantes para o aparecimento do UMTS foi o facto de existirem serviços móveis e aplicações de internet com velocidades muito altas.

O UMTS hoje é conhecido como uma tecnologia de banda larga de acesso múltiplo por divisão de código, sendo uma das suas principais funções é proporcionar comutação e encaminhamento do tráfego ao utilizador [6]. A arquitetura do UMTS (Figura 3) é constituída pela Core Network e a UTRAN, que são elementos que constituem a tecnologia UMTS, dentro destes elementos estão incorporados os seguintes elementos:

- Uu- é a interface de ligação entre o terminal móvel o Nó B e o RNC.
- Iu- é a interface existente entre entre o RNC e o CN (MSC/VLR ou SGSN)

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- Iu- PS utilizado para a transferência de pacotes de dados
 - Iu- CS usado na transferência dos fluxos de voz
- Iub- interface entre o RNC e o Nó B
- Iur- interface entre diferentes RNCs
- RNC realiza a gestão autónoma dos recursos do RRM (Radio Resource Management) do UTRAN. O mesmo gere transferência de protocolos entre as interfaces do Iu, Iur e Iub, responsável pelos serviços de operação e manutenção do RNS (Radio Network Subsystem) com acesso ao OSS (Operation Support System).
- GGSN- actua como uma interface entre o backbone da rede GPRS e as redes externas GPRS (rede radio e de IP) [7].

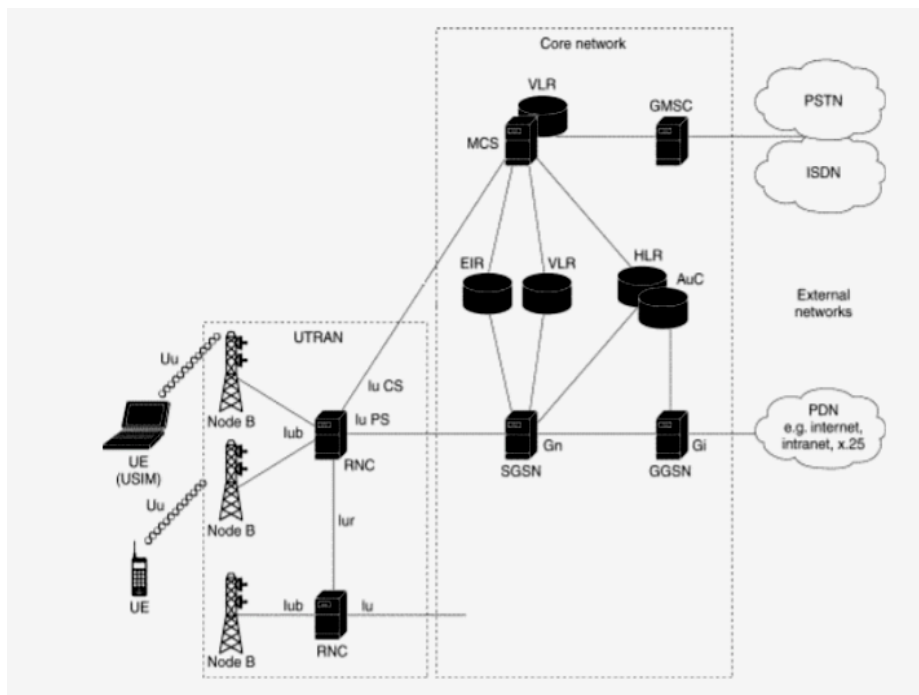


Figura 3 - Arquitetura do UMTS [8].

2.3 - LTE - Quarta Geração Móvel (4G)

O Long Term Evolution (LTE), é uma tecnologia de alto nível que surgiu aproximadamente em 2004 pelo organismo das telecomunicações, conhecido como o projeto da terceira geração. Face ao crescimento exponencial do uso de dados móveis e o aparecimento de novas aplicações surge o LTE, com objetivo de fornecer serviços de alta qualidade na comunicação móvel [9].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

O LTE tem uma arquitetura simples que suporta qualidade de serviço em todos os extremos, e está associado a dois termos, o primeiro está associado a uma evolução da tecnologia de acesso rádio UTRAN designada de E-UTRAN, ao passo que o segundo está associado a uma evolução não rádio e designa-se de System Architecture Evolution (SAE) que inclui o Evolved Packet Core (EPC), os dois conceitos ligados dão origem ao Evolved Packet System (EPS) [10]. No entanto a Figura 2.4 - apresenta a arquitetura do LTE, que é constituído pelos seguintes elementos:

- User Equipment (UE) - dispositivo de acesso do usuário.
- E-UTRAN - é composta por uma rede mesh de eNodeBs que se comunicam através da interface X2. A eNodeB tem a camada física (PHY), Medium Access Control (MAC), Radio Link Control (RLC) e o protocolo de controlo de pacotes de dados. Também inclui a funcionalidade de compressão de cabeçalho, criptografia, gestão de recursos do rádio, controlo de admissão, negociação de QoS no uplink e broadcast que contém informações da célula.
- EPC - encontram-se os principais elementos da rede que desempenham as principais funções do sistema e são definidos como:
 - MME (Mobility Management Entity): é o principal elemento de controlo no EPC. Entre as suas funções encontra-se também autenticação, segurança, gerenciamento de mobilidade, gerenciamento de perfil do utilizador, ligação e autorização de serviços.
- S-GW (Serving Gateway) - faz o roteamento dos pacotes de dados dos usuários entre a rede LTE e outras tecnologias como o 2G / 3G utilizando a interface S4. Gere e armazena informações do UE como parâmetros de serviços IP suportados e informações sobre o roteamento interno dos pacotes na rede.
- P-GW (Packet Data Network Gateway): faz o roteamento entre o EPC e redes de pacotes externas, realiza a filtragem e controle de pacotes requeridos para os serviços. O P-GW envia endereços IP para os equipamentos dos usuários para que eles possam se comunicar com outros dispositivos localizados em redes externas.
- PCRF (Policy and Charging Resource Function): responsável pela política e controle de carga (PCC), estabelece a QoS adequado para que os serviços solicitados possam utilizar os recursos apropriados.
- HSS (Home Subscriber Server): banco de dados de registo do utilizador, executa funções equivalentes às do HLR, AuC e EIR definidos nas releases anteriores.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- Serviços: provê a interligação do LTE com outras redes.

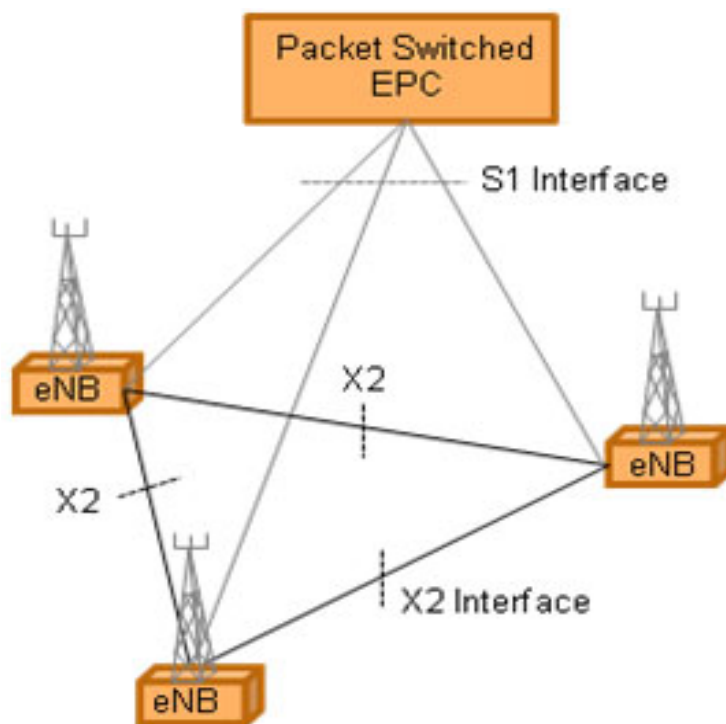


Figura 4 - Arquitetura do LTE [11].

2.4 - Fundamento do Espectro Radioelétrico

Nos últimos anos, a demanda por serviços de comunicação sem fio cresceu muito além das previsões anteriores. No entanto com desenvolvimento das comunicações sem fio surgiu a preocupação da gestão do espectro radioelétrico para evitar a escassez do mesmo. A atual política de gestão do espectro é caracterizada pela atribuição de espectro estático, em que o espectro de radiofrequências é atribuído a longo prazo a grandes regiões geográficas em regime de exclusividade [12].

O espectro radioelétrico é constituído por ondas eletromagnéticas com ampla faixa no comprimento de onda, e frequências de oscilação, estas frequências são usadas conforme as suas características, criando assim o espectro de frequências, onde as frequências variam entre 9 kHz a 300 GHz (Tabela 1) [13].

A partilha do espectro ocorre quando vários sistemas rádios independentes ou utilizadores independentes utilizam as mesmas frequências do espectro [14], e baseiam-se nos seguintes aspetos:

- Sensibilidade espectral - uma tecnologia pode apenas ocupar uma parte do espectro que ainda não esteja licenciado em outro utilizador.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- Alocação espectral – de acordo com a disponibilidade do espectro, pode ser alocado um canal associado a uma banda de frequência do espectro.
- Acesso do espectro – vários utilizadores podem aceder às mesmas frequências depois de alocadas, este acesso deve ser coordenado para evitar interferências.
- Acordo entre o transmissor e o recetor – quando uma parte de espectro é definida para a comunicação, o recetor desta comunicação deve também ser informado sobre as frequências por si escolhidas para ser possível estabelecer a ligação entre o emissor e o recetor.
- Mobilidade espectral – os utilizadores são considerados visitantes das bandas de frequências do espectro que utilizam.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 1 - Utilização do espectro de frequências [15]

Bandas de Frequências	Faixa de Frequências
Frequências Extremamente Baixas (ELF)	0 até 3kHz
Frequências Muitas Baixas (VLF)	3 até 30 kHz
Rádio Navegação Marítima	6 até 540 kHz
Frequências Baixas (LF)	30 até 300 kHz
Frequências Médias (MF)	300 até 3000 kHz
Banda de Rádio Difusão em AM	540 até 1630 kHz
Serviço de Informações para Viajantes	1610 kHz
Frequências Altas (HF)	3 até 30 MHz
Banda de Rádio Difusão de Ondas Curtas	5.95 até 26.1 MHz
Frequências Muito Altas (VHF)	30 até 300 MHz
Banda Baixa para TV (Banda 1) - Canais 2 - 6	54 até 88 MHz
Banda de Rádio Difusão em FM	88 até 174 MHz
High Band: TV Band 2 - Canais 7 - 13	174 até 216 MHz
Super Banda (Rádio móvel, fixo e TV).	216 até 600 MHz
Frequências Muito Altas (UHF)	300 até 3000 MHz
Canais 14 – 70	470 até 806 MHz
L-banda	500 até 1500 MHz
Serviços de Comunicação Pessoal (PCS)	1850 até 1990 MHz
Dispositivos Não Licenciados de PCS	1910 até 1930 MHz
Frequências Super Altas (SHF) (Micro-ondas)	3 até 30 GHz
C – Banda	3600 até 7025 MHz
X – Banda	7.25 até 8.4 GHz
Ku – Banda	10.7 até 14.5 GHz
Ka – Banda	17.3 até 31 GHz
Frequências Extremamente Altas (EHF)	30.0 até 300 GHz
Comunicação por Satélite	38.6 até 275 GHz
Radiações Infravermelhas	300 GHz até 430 THz
Luz Visível	430 THz até 750 THz
Radiações Ultravioletas	1.62 PHz até 30 PHz
Raios X	30 PHz até 30 EHz
Raios Gama	30 EHz até 3000 EHz

2.5 - Equipamentos usados na realização do trabalho

Analisador de espectro é um equipamento usado para medir a composição espectral de sinais elétricos, acústicos ou óticos, o mesmo pode ser analógico ou digital.

Os analógicos usam filtros passa banda variável e a frequência central é sintonizada nas faixas de frequências em que o espectro é analisado, ao passo que os aparelhos digitais utilizam a transformada de Fourier (FT) que consiste num processo

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

matemático que transforma o sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência. A imagem da Figura 5, representa dois analisadores de espectro radioelétrico.



A) ROHDER. S. FSH3, 100 kHz à 3 GHz.

B) NARDA, 9 kHz a 6 GHz.

Figura 5 - Analisadores de espectro [16].

O trabalho pratico desenvolvido nesta dissertação envolveu dois cenários de medições, o primeiro cenário as medições foram feitas num dos pontos da zona de cobertura do aeroporto de Lisboa (Portugal), ao passo que o segundo cenário foi realizado também num dos pontos da zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda (Angola). No entanto o equipamento do tipo **A**, é do fabricante ROHDER & SCHWARZ de modelo FSH3, opera na faixa dos 100kHz a 3GHz, foi utilizado no primeiro cenário e possui as seguintes Características:

- Isotropia da antena: capacidade de captar radiações provenientes de qualquer radiação do espaço;
- Cálculo automático da intensidade do campo elétrico a partir das suas componentes de saídas;
- Possui uma elevada sensibilidade e ampla gama dinâmica (medição de campo elétrico entre 1mV/m e 100V/m);
- Pode-se usar o equipamento para várias opções de medida (desde medições quase instantâneas para uma visão geral do nível de radiação eletromagnética num dado local, até medições contínuas ao longo de semanas ou meses para um acompanhamento da evolução no tempo da intensidade de radiação numa dada localização);
- Medição no valor eficaz e valor do pico;
- Separação do campo elétrico gerado pela frequência;

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- O equipamento é portátil e pode ser usado no interior e no exterior de um determinado local.

O cabo original, fornecido pelo fabricante possui cerca de dois metros e liga a antena ao analisador de espectro, é considerado uma parte integrante da antena. Ao passo que o equipamento da Narda IDA2, foi utilizado para fazer as medições na zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda. O mesmo tem as seguintes características:

- Funciona na faixa dos 9 kHz a 6 GHz;
- O equipamento funciona com antenas direcionais, isto é, na vertical e na horizontal;
- Medição no valor eficaz e valor do pico.
- Separação do campo elétrico gerado pela frequência.
- O equipamento é portátil e pode ser usado no interior e no exterior de um determinado local.
- Isotropia da antena: capacidade de captar radiações provenientes de qualquer radiação do espaço;

Os dois equipamentos usados nesta dissertação cobrem todo o espectro da comunicação móvel do nosso trabalho. A diferença principal entre eles é a área de cobertura que ocupam [16].

2.6 - Relação das grandezas elétricas usadas em Telecomunicações.

Em telecomunicações são usadas algumas escalas logarítmicas para medir a relação entre potências de sinais elétricos, de acordo com as variações existentes entre os sinais.

Um sinal elétrico pode apresentar um ganho ou atenuação para o sinal, nesta secção vamos abordar a relação entre grandezas elétricas usadas frequentemente em telecomunicações para medir valores de Tensão, Corrente e a Potência.

Tensão elétrica v_{AB} , é a energia, necessária para mover uma unidade de carga de um ponto para outro, a unidade no sistema internacional (**S.I**) é o Volt (V).

$$V_{a,b} = \frac{dw}{dt} \text{ (V)} \quad (1)$$

Corrente elétrica i , é a variação de cargas elétricas em relação ao tempo (dq/dt), a unidade no sistema internacional (**S.I**) é o Ampère (A).

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

Potência elétrica P, é o trabalho em função da variação do tempo, a unidade no sistema internacional (**S.I**) é o Watt (**W**).

$$P = \frac{\Delta w}{dt} \quad (\text{w}) \quad (3)$$

O decibel **dB**, é uma unidade logarítmica usada para declarar o ganho ou a perda de um dispositivo em relação a outro. Um sistema é caracterizado por sinal de entrada e um de saída, a grandeza do sinal pode ser medida em Volt **V**, quando o sinal de saída for maior que o sinal de entrada há um ganho de potência no sinal (+), o contrário é uma perda de sinal (-).

A relação de dois valores de potências em **dB**, é dado pela equação:

$$A(\text{db}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (4)$$

Onde **P₁** a potência de entrada no sistema, e **P₂** a potência saída do sistema, no caso de ocorrer uma atenuação no sinal a equação é dado por:

$$A(\text{db}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (5)$$

onde **P₁ < P₂**

Quando se pretende referir a potência relativamente a 1mW, a potência do sinal em **dBm** é dada por:

$$P(\text{dbm}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P(\text{W})}{1\text{mW}} \right) = \frac{P(\text{W})}{0.001\text{w}} \quad (6)$$

A tabela 2 indica escalas de potências em dBm, calculados com a potência acima de **1mW**.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 2 - Escala de potências de dBm em 1mW

Potência em	
Watt (W)	Potência em dBm
100 W	50
10W	40
1W	30
100 μ	- 10
10 μ	- 20
100 n	- 40
10 n	- 50

O P_{dBm} é a potência expressa em dBm. No entanto as escalas em decibéis também são usadas para indicar o nível de tensão V , caso não existir atenuação, é negativo. A equação o da tensão V é dada pela seguinte expressão.

$$V(db) = 20 \log \left(\frac{v1}{v2} \right) \quad (7)$$

A tabela 3, demonstra a relação de potência em decibel, e a relação de tensão em decibel.

Tabela 3 - Relação de potência e a tensão em decibel [17].

Relação da Potência		Relação da tensão	
	Decibel		Decibel
100	20	100	40
10	10	10	20
2	3	2	6
1.26	1	1.4	3
1	0	1.12	1
0.5	-3	1	0
0.1	-10	0.5	-6
0.01	-20	0.1	-20

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

A tabela 4, apresenta alguns dos múltiplos e submúltiplos usados em telecomunicações [18]

Tabela 5 - Múltiplos e submúltiplos para corrente, tensão e potência [18]

Corrente	Tensão	Potência
1mA = 0,001A	1μV = 0,000 001 V	1pW = 0,000 000 000 001W
1μA = 0,000001A	1mV = 0,001 V	1nW = 0,000 000 001W
1nA = 0,000 000 001A	1kV = 1000V	1μW = 0,000001W
1pA = 0,000000 000 001A	1MV = 1000 000 V	1mW = 0,001W
		1kW = 1000W
		1MW = 1000000 W
		1GW = 1000000000W

A tabela 6, apresenta algumas operações utilizadas em unidades logarítmicas dB, dBm e dBw.

Tabela 6 - Unidade logarítmica usadas em telecomunicações [19]

Operação	Resultado	Significado da operação
(dB) ± (dB)	dB	Relação de potências
(dBm) ± (dB)	(dBm)	Valor de potências de um ganho de atenuação
(dBW) ± (dB)	(dBW)	
(dBm) - (dBm)	(dB)	Relação de potências
(dBW) - (dBW)	(dB)	
(dBm) + (dBm)		Operação Proibida
(dBW) + (dBW)		
(dBm) ± (dBW)		
(dBW) ± (dBm)		

2.7- Tipos de interferências na comunicação móvel

As interferências são fatores limitativo do desempenho dos sistemas de comunicação rádio, existem várias fontes de interferência radioelétrica desde internas e externas.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

As interferências causadas por fontes internas podem ocorrer de formas diferentes com por exemplo nas estações móveis da mesma célula, ligação de células vizinhas ou estações-base que operam na mesma frequência, ao passo que externa são aquelas que irradiam energia na faixa de frequência destinada ao móvel. Portanto as interferências nas zonas urbanas são mais intensas por existir maior tráfego de dados e presença de ruído [20]. No entanto, dentro da comunicação móvel existe vários tipos de interferências, neste trabalho destacou-se as interferências co canal, interferência no canal adjacente e interferência near-far (perto-longo).

2.7.1 - Interferência Co canal

O reuso de frequências implica que uma determinada zona de cobertura exista varias células utilizando as mesmas frequências, quando isso acontece estas células são chamadas de interferências Co-canal. Este tipo de interferência acontece de varias formas por exemplo no ruído térmico, os efeitos podem ser eliminados aumentando a relação sinal/ruído [21]. A interferência Co-canal não pode ser eliminada simplesmente aumentando a potência da portadora de um transmissor, já que nos sistemas móveis com o aumento da potência de transmissão da portadora implicará interferência nas células vizinhas [22].

No entanto para minimizar a interferência Co-canal as células devem estar separadas por uma distância mínima que seja adequado entre elas. A interferência Co-canal é independente da potência transmitida, e se torna uma função do raio (R) da célula, e da distância (D) entre os centros das células Co-canal mas próximas. Aumentando a razão D/R a separação espacial entre as células Co-canal relativa a distância de cobertura de uma célula é aumentada permitindo a redução da interferência Co-canal, o parâmetro Q , chamado de razão de reuso Co-canal é relacionado ao tamanho do cluster N . A equação (8) é usada para uma geometria móvel hexagonal.

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad (8)$$

A medida em que o parâmetro Q aumenta implica uma maior capacidade para o sistema, a equação (9) é diretamente proporcional ao tamanho do cluster N . Quanto maior for o tamanho N , maior será a razão de reutilização de frequências. Para cada célula dentro de um cluster são atribuídos $1/N$ do número total de canais disponíveis

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

para uma maior capacidade do sistema numa determinada aérea de cobertura. Portanto quanto maior for o fator de reuso Co-canal do parâmetro Q , melhor será a qualidade da transmissão dividido a um nível baixo de interferência Co-canal. A tabela 6 demonstra a relação do tamanho do Cluster e o paramento Q .

Tabela 7 - Valores da razão de reuso co canal para valores de N

Tamanho do Cluster (N)	Razão de Reuso Co-canal (Q)
$i=1, j=1$ 3	3
$i=1, j=2$ 7	4.58
$i=2, j=2$ 12	6
$i=1, j=3$ 13	6.24

As células co canal, no caso em que o cluster é igual a $N = 7$ células, as seis células interferentes constituem o primeiro anel interferente. Neste caso é necessário determinar a relação entre o sinal desejado e o sinal interferente (S/I).

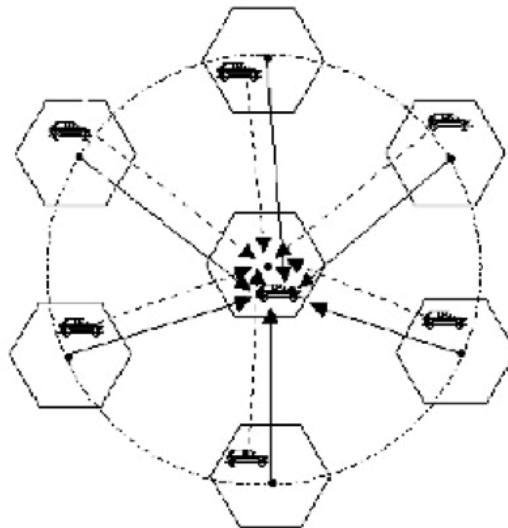


Figura 6 - Interferência co canal

A relação entre a potência do sinal desejado e do sinal interferente pode ser determinado, se os níveis de sinais das células co-canal são conhecidos, pela equação;

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{10} I_1} \quad (9)$$

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Onde i_0 , é o número de células que provocam interferência Co-canal, S é a potência do sinal desejado, I_i é a potência de interferência causada pela $i^{\text{ésimo}}$ célula co-canal interferente.

Na propagação de um canal radio móvel mostra-se que a potência média do sinal recebido em qualquer ponto decai de acordo com a distância entre d o emissor e o recetor, sendo a distancia de referencia e n o expoente das perdas médias de trajeto.

A potência média recebida P_r a uma distância d a partir de uma antena transmissora é dada pela equação:

$$Pr(d)=Po(d/do)^{-n} \quad (10)$$

ou

$$Pr(\text{dBm})=Po(\text{dBm})-10n\log(d/do) \quad (11)$$

Onde P_0 é a potência recebida de um dado ponto de referência a uma pequena distancia d_0 da antena transmissora, n é o expoente que caracteriza as perdas de trajeto, e situa-se tipicamente entre 3.5 e 4, nos sistemas de rádio móvel urbanos.

$$\boxed{P_r d^n = P_0 d_0^n} \quad (12)$$

Onde P_r é a potência media recebida a uma distância d a partir de uma antena transmissora, P_0 é a potência de um referencial a uma distancia d_0 da antena transmissora, n é o expoente que caracteriza as perdas de trajeto.

A equação (13) permite determinar a relação do S/I para qualquer número desejado de anéis interferentes K , $Q=D/R$ é a relação entre a distância de reuso D e o raio da célula R .

$$\boxed{\frac{S}{I}} = \frac{Q^n}{6} \frac{1}{\sum_{k=1}^K K^{1-n}} \quad (13)$$

Ao passo que a equação (14) relaciona, o S/I ao tamanho do cluster N , que determina a capacidade global do sistema $i_0=6$ é o número de células interferentes.

$$\boxed{\frac{S}{I}} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}} = \frac{\left(\frac{D}{R}\right)^n}{i_0} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{i_0} \quad (14)$$

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

2.7.2 - Interferência no canal adjacente

As interferências no canal adjacente resultam de sinais que estão na faixa de frequência adjacente do sinal desejado. Geralmente ocorrem devido imperfeições no filtro do recetor que permite a receção do sinal indesejado proveniente de faixas próximas, este problema é associado ao efeito perto-longe (near-far), quando o emissor interferente se encontra próximo da estação-base e o utente de referência está afastado da estação de base. Para minimizar este problema de canal adjacente é necessário demissionar com cuidado os filtros da estação de base e atribuir canais suficientemente afastados na frequência. Atribuem-se canais sucessivos nas frequências a diferentes células, de modo a que os canais adjacentes de uma célula estejam separados por N larguras de banda de canal, com o N igual ao tamanho do cluster. Alguns esquemas de atribuição de canal também evitam a interferência do canal adjacente nas células vizinhas.

Nos sistemas comerciais de rádio móvel, os níveis de potência transmitida por cada utilizador estão sob constante controlo por parte das estações-base, este processo é feito de modo a garantir que cada móvel transmita apenas a potência necessária para manter uma boa qualidade na comunicação.

Capítulo III

No capítulo III fez-se uma introdução das tecnologias e sistemas usados na comunicação aeronáutica, e desenvolveu-se de forma detalhada os sistemas que dão suporte a comunicação aeronáutica, isto desde o sistema radionavegação, sistema radio comunicação e sistema radio vigilância.

Tecnologias e Sistemas usados na comunicação aeronáutica.

3.1 - Introdução

As interferências na comunicação aeronáutica prejudicam os sistemas de comunicação da aeronave.

Na indústria aeronáutica encontramos três sistemas que dão suporte na comunicação aeronáutica, sistema de radionavegação, sistema de radiocomunicação e radio vigilância, estes sistemas desempenham um papel importante na segurança da aeronave, e devem ser imunes a fontes interferentes com forte intensidade do campo elétrico, por estas e outras razões existem níveis de imunidade com varias ordens de grandeza superiores a essas fontes.

Os sistemas com níveis de imunidades superior a 100V/m podem causar consequências drásticas nos sistemas de radio difusão da aeronave, os menos críticos o nível de imunidade varia de 5 a 20 V/m. Em 2002, foi lançado um projeto Euro-Americano para desenvolver um novo sistema de comunicação aeronáutica, que garante a segurança dos passageiros e cumpri com os novos requisitos aeronáutico. A organização Europeia para a Segurança da Navegação Aérea durante a Conferência Mundial de Radiocomunicações em 2007 trataram de matérias relacionadas com a utilização mundial das frequências de rádio, indo de encontro com necessidades globais em termo de espectros[23].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

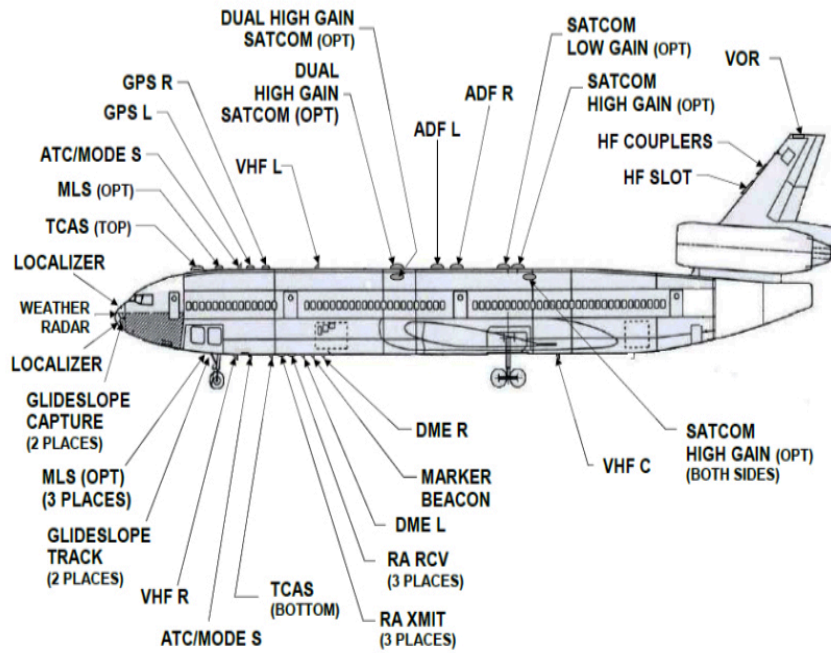


Figura 7- Tipos de antenas da aeronave [24].

No estudo dos sistemas e tecnologias usado na comunicação Aeronáutica, destacam-se três sistemas que sustentam a comunicação aeronáutica;

- Sistema de Radionavegação;
- Sistema de Rádio Comunicação;
- Sistema de Rádio vigilância;

3.2 - Sistema de Radionavegação

Baseia-se na medição do tempo de propagação de uma onda eletromagnética entre o emissor e o recetor, além de rádios de comunicação, as aeronaves em geral são equipadas com sensores de rádio navegação que são utilizados para receberem os sinais de rádio emitidos por vários tipos de canais de comunicação [24].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

3.3 - Sistema de Comunicação

Os sistemas de comunicação e navegação são as principais funções de rádio da aeronave, o sistema de comunicação compreende o critério de transmissão e recepção.

Os receptores são utilizados na aeronave como auxílio á navegação em diversas aplicações, desde o simples detetor automático da direção (ADF) até á sistemas de navegação que usam computadores e outras técnicas avançadas para resolverem automaticamente os problemas de navegação durante o voo. Os rádios planeados para uso futuro no espaço aéreo europeu são os Sistemas de Comunicações de Aeronaves Digitais em L (L-DACS) [24].

3.4- Sistemas Rádio Vigilância

As aeronaves de forma geral estão equipadas com rádios de vigilância, que são sistemas usados para coletar e fornecer informações sobre o tráfego e os riscos meteorológicos em torno da aeronave. Os rádios de vigilância atualmente em uso são o Transponder Mode-S, Sistemas que evitam Colisões no Tráfego (TCAS), a Vigilância-Transmissão de Dependência Automática (ADS-B), Transceiver de Acesso Universal (UAT) e o Radar Meteorológico. O radar meteorológico é usado na localização de precipitações, no cálculo do seu movimento e na estimativa do seu tipo.

Os radares modernos são na sua maioria, radares doppler capazes de detetar o movimento das gotículas de chuvas, além da intensidade da precipitação [24].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

A tabela 8 - Apresenta um conjunto de Tecnologias e Sistemas usados na Comunicação Aeronáutica, que serão explicados com mais detalhe no desenvolvimento do trabalho.

Tabela 8 - Tecnologias e sistemas usados na comunicação aeronáutica [24]

Banda	Frequência (MHz)	Sistemas	Espetro (MHz)	Tecnologia MÓVEL
1	105-140	ILS Localizar	108.10-111.95	
		VOR	108-117.95	
		VDB		
2	325-340	VHF COM	118-138	
		ILS Gilde Sliope	328.6-335.40	
3	960-1250	L-DACS2	960.5-975	GSM
		UAT	977-979	
		L-DACS1 Rx	985.5-1008.5	
		Mode S XPDR RX	1027-1033	
		TCAS Tx	1027-1033	
		L-DACS1 Tx	1048.5-1071.5	
		Mode S XPDR Tx	1087-1093	UMTS
		TCAS Rx	1087-1093	
		DME(low band) Rx	960-1160	
		DME(High band)RX	1160-1215	
		DME Tx	1031-1150	
		GPS L5/GalileoE5a	1166-1186	
		Galileo E5b	1197-1217	
GPS L2C	1217-1237			
4	1565-1585	GPS & Galileo L1	1565-1585	
5	5020-5100	MLS	5031-5090,70	

R. Comunicação



R. Navegação



R. Vigilância



3.5 – Sistemas usados na Comunicação Aeronáutica

3.5.1 - Sistema ILS

O sistema ILS (Instrument Landing System), existe há mais de 40 anos, mas continua a ser um dos mais importantes no auxílio da aterragem dos voos. Permite aterragem da aeronave com segurança numa pista mesmo havendo obstáculos, como tempo nublado, ou mesmo quando estamos perante a ausência de iluminação nos aeroportos.

O ILS é utilizado regularmente pelas companhias de aviação e pelas forças armadas, o mesmo é constituído por alguns sistemas que dão suporte no seu funcionamento como: Localizer, Glide Slope, e o Marker Beacon [25].

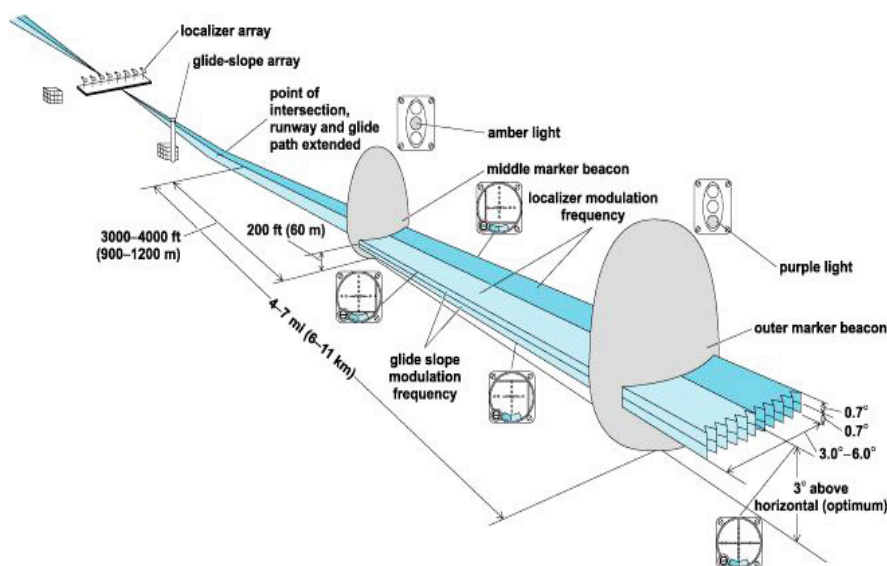


Figura 8 - Sistema ILS (adaptado de Niquette, 1996)

3.5.2 - Sistema Localizar

Fornece informação de azimute ou lateral para orientar a aeronave. Opera na banda de frequência VHF, funciona na faixa de rádio durante o seu percurso, é uma continuação do eixo da pista de aterragem, opera entre as faixas de 108 MHz -111.975 MHz, e tem disponível 40 canais, sendo 38 utilizados para a navegação e dois para fins de testes. O mesmo situa-se no topo da pista, á uma distância de 300m do final da pista de aterragem [25].

Para entender este sistema basta imaginar duas antenas com um feixe muito estreito horizontalmente polarizados, um deles emite um sinal modulado em amplitude em 40%

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

com uma onda de 90 Hz, a outra antena é alimentada por um sinal com a mesma portadora, mas com uma onda de 150 Hz senoidal.

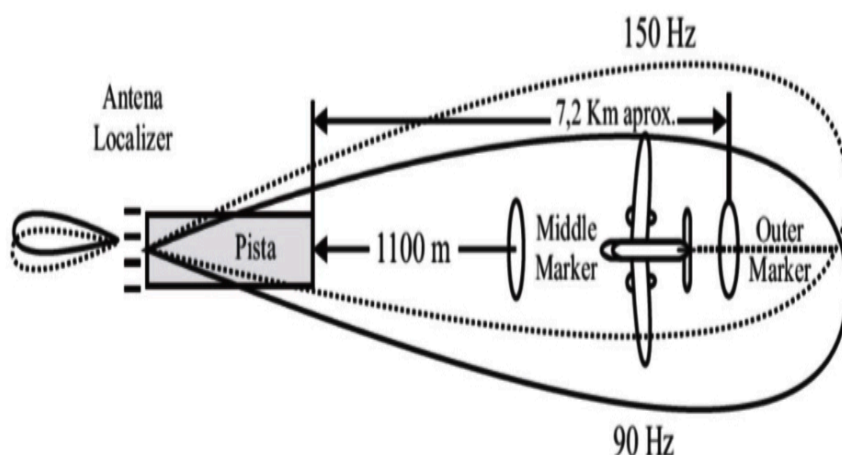


Figura 9 - Feixe de onda do Localizer (fonte: HELFRICK,2007) [26].

O localizer emite um feixe com dois sinais diferentes deslocados de um certo ângulo, o primeiro sinal tem uma modulação de 90Hz e o outro de 150Hz, estes sinais são emitidos em VHF com uma portadora de 108 MHz - 122 MHz, a aeronave deteta os dois sinais com recurso ao DDM (Difference in Depth of Modulation), conseguem determinar a sua posição em relação ao eixo [25].

3.5.3 - Sistema Marker Beacons

É utilizado na aeronave em sistemas de aterragem por instrumento, é transmitida por uma antena diretiva que controla os marcadores internos e externos propagando-se na vertical. O sistema transmite 75MHz, como uma antena direcional orientada pra acima, não existe problema de interferências com outras frequências, porque o feixe de radiação é dirigido verticalmente, e bastante estreito. O sistema corresponde a três distâncias diferentes, o Inner Marker, Middle Marker e o Outer Marker [25].

O sistema normalmente substituído pelo DME (Distance Measuring Equipment), que indica a distância da aeronave em relação à pista, de modo saber permanentemente a sua distância. O Middle Marker e o Outer Marker são mais usados dentro do sistema Market Beacons. A figura 10, demonstra as instruções que o piloto recebe quando passa por um Marker Beacons.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

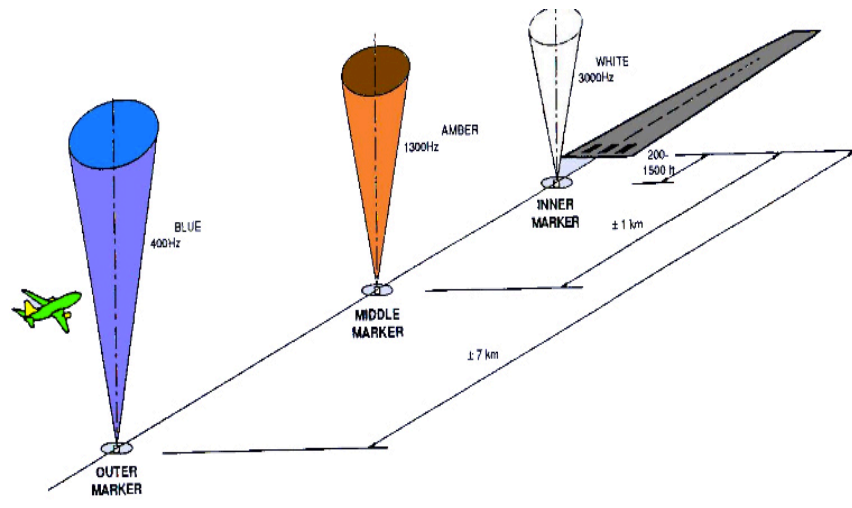


Figura 10 - Marker Beacons [25].

3.5.4 - Sistema VOR

O sistema VOR é um equipamento eletrônico criado depois da segunda guerra mundial (1950), para dar suporte à navegação aérea, é um dos sistemas mais usados na navegação, é constituído por um conjunto de emissores geograficamente distribuídos ao redor da zona de cobertura do aeroporto, é capaz de informar a rota da aeronave, o sinal de referência é emitido a partir de uma antena Omnidirecional que funciona na faixa de 108 MHz -118 MHz, a mesma portadora será modulada AM (Figura 10) por um sinal de 10kHz que por sua vez será modulado por um sinal de 30 Hz [25].

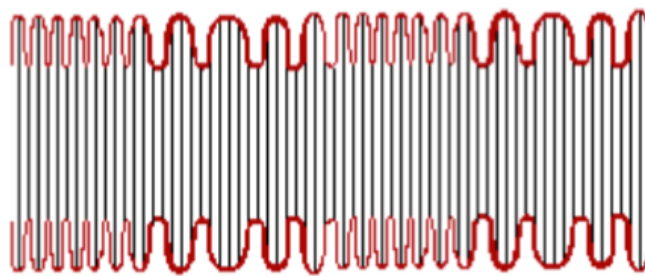


Figura 11 - Sinal de referencia [25]

O sinal variável é criado por um dipolo entre a antena oposta a outra que irá ser modulada em AM, isto porque o sinal emitido pela antena exterior ronda na frequência de 30Hz, fazendo com que o recetor da aeronave veja o sinal modulado em AM conforme mostra a Figura 12.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

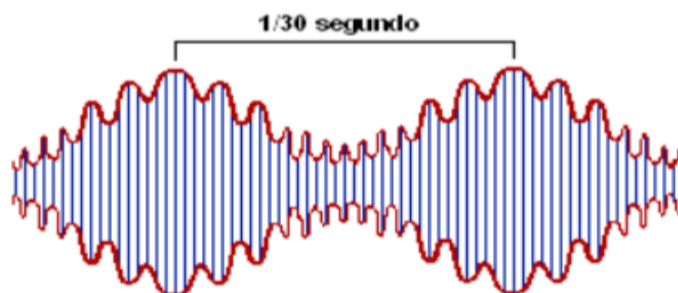


Figura 12 – Sinal variável [25].

No recetor o sinal de referência e o sinal variável aparecem em fase quando a aeronave estiver no norte magnético em relação ao VOR, se o sinal estiver deslocado, então essa diferença de fase é a radial em que aeronave se encontra em relação ao VOR.

A tabela 8, apresenta classes de sistemas de rádio que ajuda a navegação aérea no sistema VOR.

T- (Área Terminal - TMA): quando uma aeronave se aproxima da altitude AGL mínima do voo.

L - (Baixa Altitude): quando uma aeronave se desloca a uma altitude superior á altitude AGL mínimo de voo.

H - (Alta Altitude): quando uma aeronave voa perto da altitude (distancia máximo do voo em relação a terra).

Tabela 9 - Classe do sistema de rádios ajudas á navegação aérea VOR

Classe	Altitude (Pés)	Distância (milhas náuticas)
T	1000-12000	25
L	1000-18000	40
H	1000-14500	40
	14500-60000	100
	18000-45000	130

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

3.5.5 - Sistema Glide Slop

O Glide Slop (GS) (Figura 12), apresenta princípios idênticos ao do localizer, é um emissor que está perto da pista de aterragem emite um feixe VHF indicando a trajetória em relação ao solo. A diferença existente entre o localizer e o GS, reside no facto de o GS ser sensível á reflexões da terra (solo), enquanto que para o localizer este fator não é significativo porque o feixe de onda é igual tanto para esquerda como para direita.

O GS é transmitido em UHF com a portadora de 328.6 MHz - 335.5MHz, e usa a mesma técnica DDM (Difference in Depth of Modulation), usada pra saber se a aeronave está na trajetória correta [23].

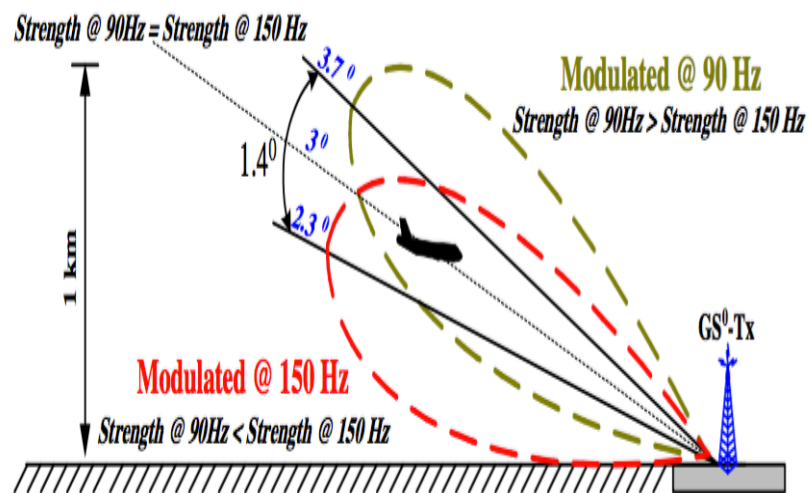


Figura 13 - Feixe de onda de Glide Slope [27].

Antena terrestre do Glide Slop (GS), mostrada na Figura 13, na teoria é um localizer posicionado de forma diferente, com algumas diferenças significantes.



Figura 14 - Antena terrestre do GS [27].

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

3.5.6 - Sistema GPS

O Global Positioning System (GPS), é um sistema espacial de navegação que foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos para fins militares, com o propósito das aeronavais e navios militares puderem saber a sua posição em qualquer circunstância do tempo [28]. Depois de alguns anos passou a ser utilizado de forma mais abrangente no interesse civil e comercial, tanto que hoje tem um conjunto de aplicações incorporadas no sistema [29].

O GPS foi configurado com dois níveis de pressão, o SPS é um serviço de posicionamento padrão que era de uso voluntario, ao contrário do PPS que é um serviço de posicionamento preciso utilizado de forma restrito pelas forças armadas e outros serviços autorizados. O GPS funciona na banda L do grupo de radiofrequências que se estende em 390MHz á 1550MHz. A Figura 14, apresenta o modo de funcionamento de um satélite GPS.

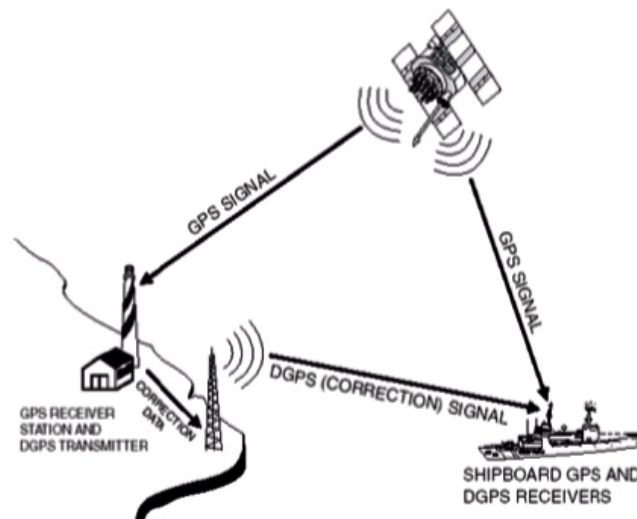


Figura 15 - Funcionamento de um satélite GPS

3.5.7 - Sistema Galileo

A precisão e a confiabilidade das soluções de navegação são importância para uma boa comunicação terrestre, marítima e aérea [30].

O sistema Galileo (Figura 15) é um sistema de navegação por satélite da união europeia foi criado para uso civil, diferente do GPS criado pelos Americanos e o Glonass pelos Russos, que são de origem militar [31]

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Vantagens do sistema Galileo:

- Maior precisão na segurança, (possibilidade de transmitir e confirmar pedidos de ajuda em casos de emergência);
- Menor probabilidade de ocorrência de problemas (o sistema tem a capacidade de testar a sua integridade automaticamente);
- Permite um excelente controlo de tráfego aéreo;
- Possuem dados de posicionamento mais consistentes para comboios e navios.
- Tem uma gestão de frotas mais atualizada;

Serviços suportados pelo sistema Galileo:

- Open Service (OS);
- Safety of Life (SOL);
- Commercial Service (CS);
- Public Regulated Service (PRS);
- Search and Rescue Service (SAR);
- Open Service (OS), é um Serviço aberto, disponível para qualquer utilizador, encontra-se distribuído em dois modos: frequência única através dos sinais E1, E5a ou E5b, e uma frequência dupla através dos sinais E1, B&C com uma das bandas E5a ou E5b. As frequências para a difusão destes serviços nas bandas E5a+E5b são 1164-1215MHz e L1 1559-1592MHz[31].
- O Safety of Life (SoL), serviço aberto de precisão garantido para o uso em receptores de frequência única, fornecido através de cada um dos sinais E1, B&C e E5b. As frequências destes serviços são bandas ARNS alocadas para o GNSS, a transmissão e proteção fornecidas nas bandas ARNS são as duas características importantes deste serviço[31].;
- Commercial Service (CS), serviço disponível mediante pagamentos destinados a aplicações de grande precisão e para aumento da mesma pelos sinais do sistema OS com o sinal E6, B&C, emite sinais nas bandas de E6 1260-1300 MHz e L1 1559-1592 MHz [31].;
- Public Regulated Service (PRS), Serviço de acesso restrito, com controlo governamental destinado a forças de segurança. Este serviço será fornecido pelos sinais E1A e E6, onde estes irão utilizar códigos encriptados, dados de navegação e sub-portadoras que irão melhorar os desempenhos do processamento de sinal [31].;

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- Search and Rescue Service (SAR), serviço de busca e salvamento capaz de detetar e localizar sinais de emergências em qualquer parte do mundo, e retransmiti-los para centros dedicados através da banda destinada a emergências L6. As mensagens de socorro SAR serão detetadas pelos satélites de Galileo na banda 401 a 401.1 MHz e posteriormente transmitidas para as estações terrestres
- para o efeito nas bandas 1544 a 1545 MHz, designado por L6 [31].

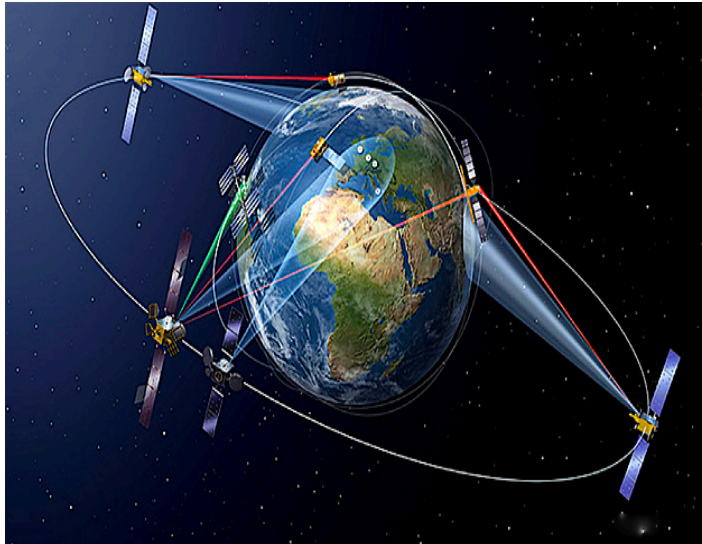


Figura 16 - Sistema Galileo

3.5.8 - Sistema MLS

O MLS é um sistema de aterragem de precisão que permite localizar uma aeronave com uma trajetória pré-programada em azimute, elevação e distância da pista, foi desenvolvido nos Anos 70 com o objetivo de substituir o ILS. O sistema tem as seguintes limitações:

- Tinha 40 canais disponíveis que limitava à distribuição de frequências.
- Ausência de procedimentos específicos na aeronave, mas lentas.
- Limitações de relevo: o ILS não pode ser instalado em áreas montanhosas, e requer grande extensão de terreno plano e distribuído de modo a minimizar as interferências com os feixes do localizar, o que é praticamente impossível nos centros urbanos. Por estes e outros fatores surgiu o MLS para melhor o funcionamento do ILS, com as seguintes características:
 - Tem 200 canais disponíveis;
 - A velocidade de varrimento da faixa é de 20°segundo;
 - A potência de transmissão é inferior á 300Watt;

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- O alcance operacional é de 20 a 30nm (náuticas milhas);
- Existe um sistema secundário que fornece orientação lateral às aeronaves durante a decolagem e aproximação.
- Opera em SHF (Super Frequência) na faixa de 5031MHz à 5090MHz, o que torna possível a sua identificação em áreas de relevo acentuada
- O MLS tem o DME incorporado, e é compatível com os sistemas convencionais.

Capítulo IV

O capítulo IV do trabalho, foi dedicado a componente pratica que envolveu uma série de medições na zona de cobertura de aeroporto de Lisboa, e na zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda, e à análise dos dados obtidos.

IV - Medições e análise dos resultados obtidos

O presente capítulo envolve a componente pratica do trabalho com dois cenários diferente. O primeiro cenário ilustrado na Figura 17, é uma imagem satélite da zona de cobertura do aeroporto de Lisboa (Portugal), onde se fez uma bateria de testes para análise das possíveis interferências existentes nos sistemas de radiodifusão da aeronave. No segundo cenário realizou- se uma bateria de testes na zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda (Angola), com o mesmo objetivo do primeiro cenário. A figura 18, apresenta uma imagem satélite da zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda.

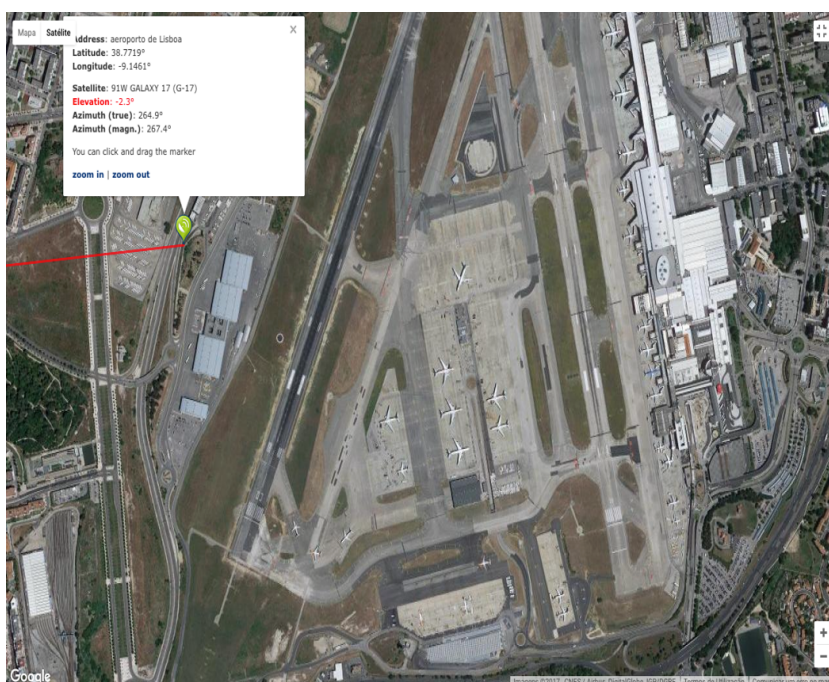


Figura 17 - Imagem aérea do aeroporto de Lisboa

-.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda



Figura 18 - Imagem aérea da zona de cobertura do novo aeroporto de Luanda

Feita as medições nos cenários apresentados passamos a apresentar os resultados obtidos para cada cenário;

4.1- Primeiro Cenário

Análise dos Resultados obtidos das Medições feitas no Aeroporto Huberto Delegado em Lisboa.

Para este cenário foi usado equipamento do fabricante ROHDER & SCHWARZ de modelo FSH3, o mesmo foi detalhado o seu modo de funcionamento no capítulo II.

A Figura 19, descreve o modo de operação de um sistema que funciona na banda UHF num dos pontos da zona de cobertura do aeroporto de Lisboa, a frequência central do espectro é 1.75GHz, a largura de banda é 2.5GHz. A frequência 1.9583GHz é de um sistema global para comunicações móveis via satélite (GMPCS), no canal utilizam a tecnologia UMTS, a potência do sinal é -39dBm. O sistema opera nesta faixa sem interferência de um outro sistema na banda de frequência analisada. Portanto os sistemas que funcionam na banda UHF, utilizam diferentes serviços como por exemplo: Televisão Digital Terrestre (TDT), Bluetooth, Wi-Fi e Redes de Telefones.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

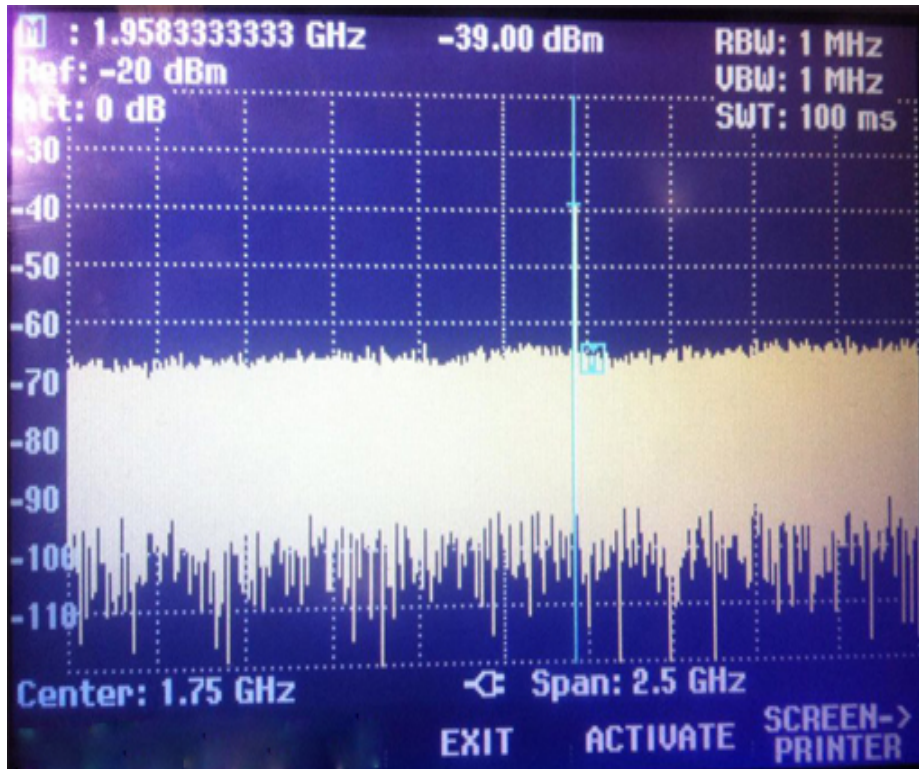


Figura 19 - Espectro de um sistema na zona de cobertura do aeroporto de Lisboa

A figura 20 demonstra as bandas VHF, a frequência inicial do espectro é 84.7333MHz, e a final é de 94.73333MHz. Os sistemas na banda VHF utilizam diversos serviços como por exemplo a estação de radio FM, as comunicações aeronáuticas e marítimas.

Na mesma figura observa-se vários picos de frequência uns próximos aos outros mais não interferem na comunicação do sistema analisado. O objetivo desta figura é analisar o pico do ponto **M** e **D**. No pico **M** o sistema opera na faixa de 89.399MHz, é um sistema de radiodifusão sonoro (RAD), a potência de sinal é -69dBm. O pico **D** é um sistema de radionavegação aeronáutica, utiliza serviços de sistemas sem fio para aplicações medicas que funcionam nas faixas de 315kHz - 600kHz. As principais aplicações de sistemas que operam nestas faixas são o radiofarol não diretivo (NDB), serviços de radio navegação aeronáutica (RVA). O sistema na faixa de 3.833MHz o ganho da potência do sinal é 6.10dB, a largura de banda do espectro é 89.73332 MHz.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

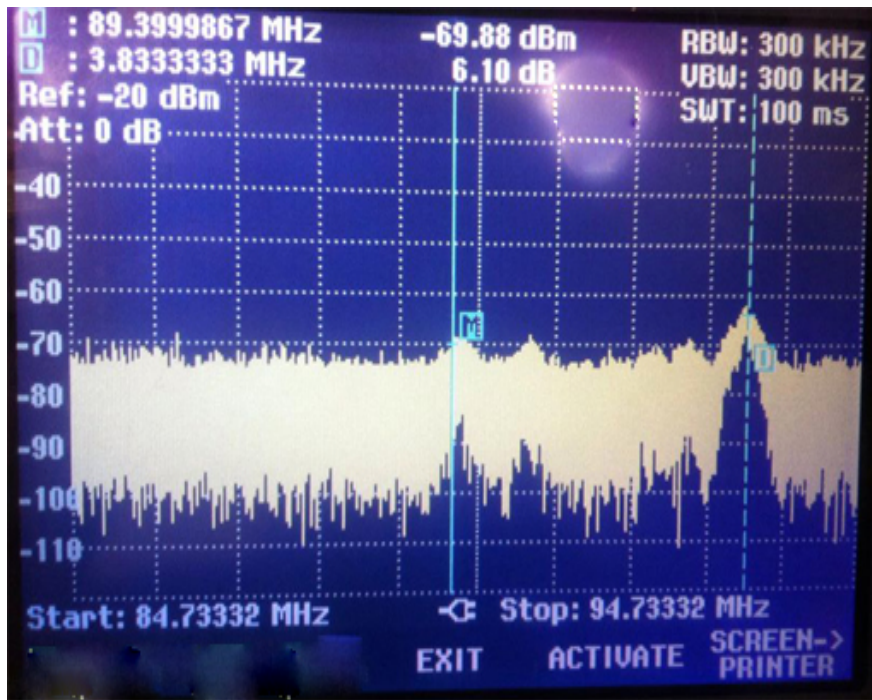


Figura 20 - Sistema radio FM na zona de cobertura do aeroporto de Lisboa

A figura 21, descreve o modo de funcionamento de sistemas que funcionam na banda VHF, estes sistemas utilizam diferente serviços como exemplo a estações de radio FM, e as comunicações aeronáuticas e marítimas. A frequência central do esperto é 96.5 MHz, a largura de banda é 12 MHz. O sistema analisado está marcado no ponto M na faixa de 100.18 MHz, a potência do sinal é -74.89dBm, o mesmo utiliza serviço de radiodifusão sonora (RAD), e sistema de radio sem fio (SRD).



Figura 21 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 100.18MH

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

A figura 22, descreve o modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 1.835GHz. Os sistemas na banda UHF, o comprimento de onda varia de 1000-100 mm, estes sistemas utilizam serviços diferentes como por exemplo da televisão digital terrestre (TDT,) Bluetooth, Wi-Fi e redes de telefones. A frequência central do espectro é 1.835 GHz, a potência do sinal é - 42.56 dBm, a largura de banda é 100 MHz, o sistema utiliza no canal a tecnologia de comunicação GSM e UMTS.



Figura 22 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 1.835GHz

A figura 23, descreve o modo funcionamento de sistemas que funcionam na banda UHF, o comprimento de onda desta banda de frequência varia de 1000-100mm. O sistema analisado funciona na faixa 943.699MHz, a potência do sinal é - 42.38dBm, a frequência central do espectro é 943.360MHz, a largura de banda do espectro é 1MHz. Os sistemas que funcionam na banda UHF utilização serviços de Televisão digital terrestre (TDT,) Bluetooth, Wi-Fi e redes de telefones. O sistema analisado utiliza comunicações móveis terrestres digitais excepto o móvel aeronáutico, no canal utiliza a tecnologia de comunicação móvel GSM.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

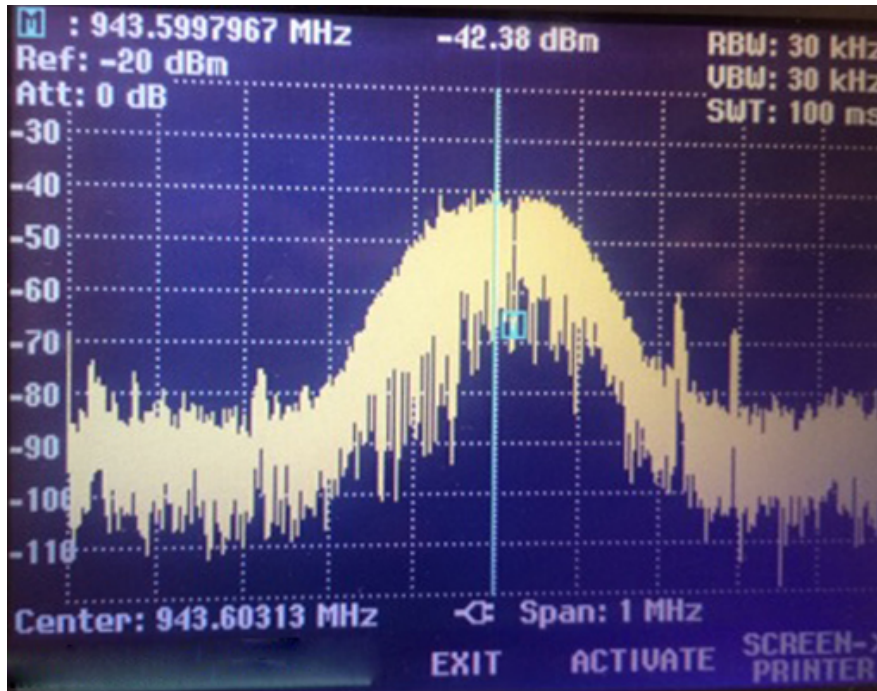


Figura 23 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa 943.5997MHz

A figura 24, descreve modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa 2.1376GHz. Os sistemas na banda UHF o comprimento de onda varia de 1000-100mm, e utilizam serviços da televisão digital terrestre, Bluetooth, Wi-Fi e Redes de móveis. O ponto **M** representa o sistema analisado com a faixa de 2.137GHz, a potência do sinal é -39.63dBm, e largura de banda de 10MHz, a tecnologia usada num canal de comunicação é UMTS.

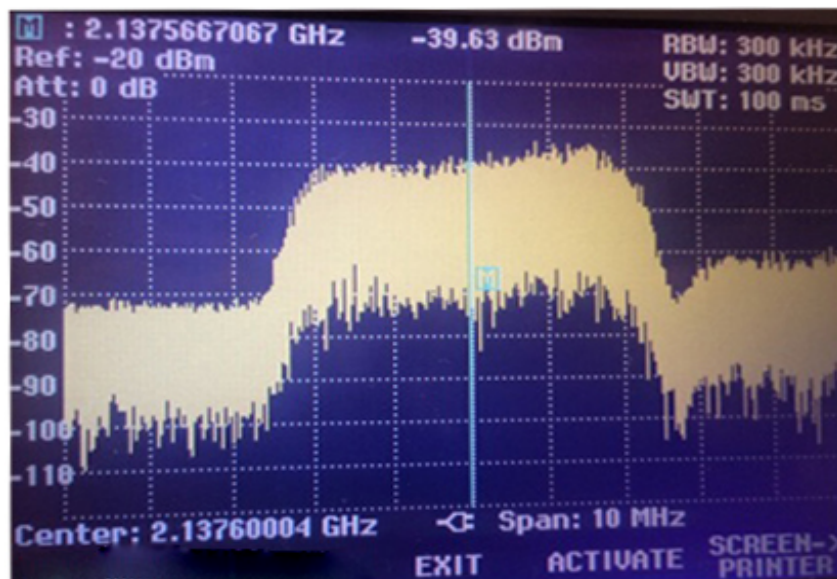


Figura 24 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa 2.137566GHz

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

A figura 25, descreve modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 122MHz. Os sistemas na banda UHF, o comprimento de onda varia de 1000-100mm, estes sistemas utilizam serviços da televisão digital terrestre, Bluetooth, Wi-Fi e Redes de telefones. A frequência inicial do espectro é 37.66689MHz, a final de 137.66689MHz, a largura de banda do espectro é 100MHz, a frequência central do espectro é 87.667MHz. O sistema em análise opera na faixa 122MHz, a potência do sinal é -64,58dBm é um sistema de radionavegação aeronáutico (RVA), utiliza serviços de radio ajudas dos sistemas VOR, Localizer e ILS.

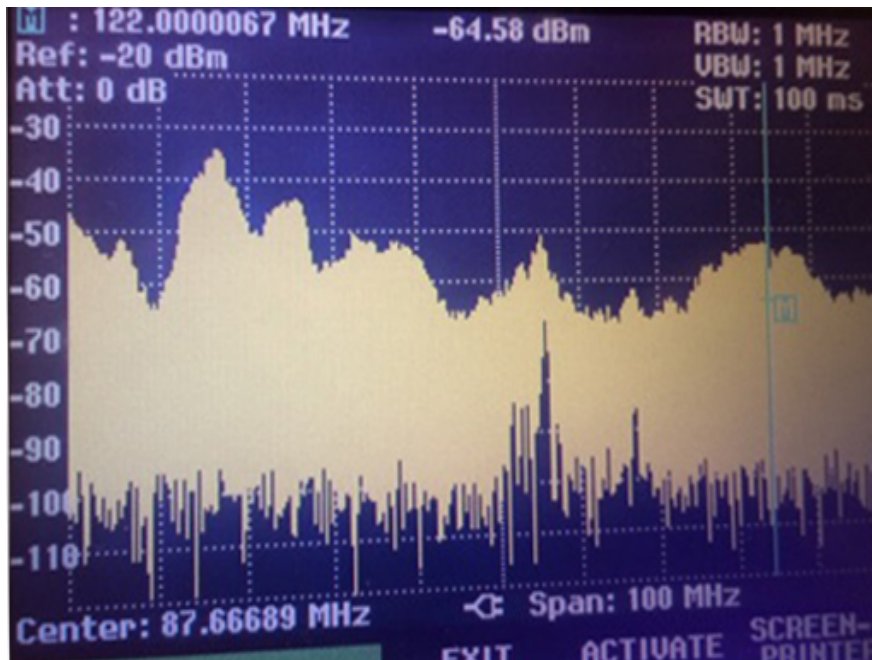


Figura 25 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 122.00MHz

Z

A Figura 26, descreve modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 113.616MHz. Os sistemas na banda VHF, o comprimento de onda varia de 10-1m, estes sistemas utilizam serviços da estação de radio FM, comunicações aeronáuticas e marítimas. A frequência inicial do espectro é 67.616MHz, a final é 167.61591MHz, a largura de banda do espectro é 196,026 MHz a frequência central do espectro é 117.61591MHz. O sistema em análise a frequência é 113.616MHz, a potência do sinal é -39dBm, é um sistema de radionavegação aeronáutico utiliza serviços radio ajudas dos sistemas VOR, Localizer e ILS.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

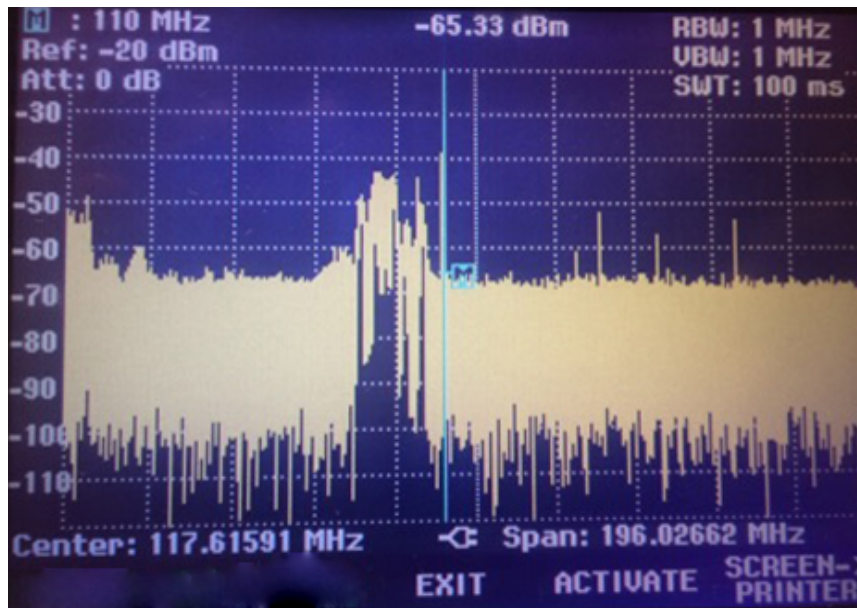


Figura 26 - Modo de funcionamento de um sistema que opera na faixa de 113.61591MHz.

4.2 - Segundo cenário

Análise dos resultados das medições feitas no novo aeroporto de Luanda (Angola).

Na realização do nosso trabalho em Angola tivemos o apoio do INACOM (Instituto de Telecomunicações de Angola), neste cenário de medições utilizou-se o analisador de espectro da NARDA ID2, o modo de funcionamento do aparelho foi detalhado no capítulo II. As imagens apresentadas na Figura 26, são antenas moveis que foram utilizadas na realização do trabalho em Luanda (Angola).



a) 9k Hz á 30 MHz



b) 200 MHz á 500 MHz



c) 400 MHz á 6GHz

Figura 27 - Antenas usadas na análise do espectro no novo aeroporto de Luanda

A figura 27, ilustra o espectro de frequências de sistemas que funcionam na banda VLF, o comprimento de onda nesta banda varia de 100-10km. Os sistemas que operam nesta

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

banda utilizam serviços de comunicação entre Submarinos, detetores de metais e exploração geológica.

Na Figura 28 observa-se vários picos de frequências, onde a sua frequência inicial é 9kHz e a final é 30MHz, a frequência do sistema em análise é 0.944MHz, a intensidade do campo elétrico é 74.22dB μ V/m, este sistema utiliza serviços de rádio fixo, aplicações indutivas na faixa dos 148,5kHz-5MHz, o sistema usa no canal as tecnologias de Rádio Medium Wave (MW), Long Wave (LW), Short Wave (SW). A tabela 9 apresenta o tipo de tecnologia usadas no canal.

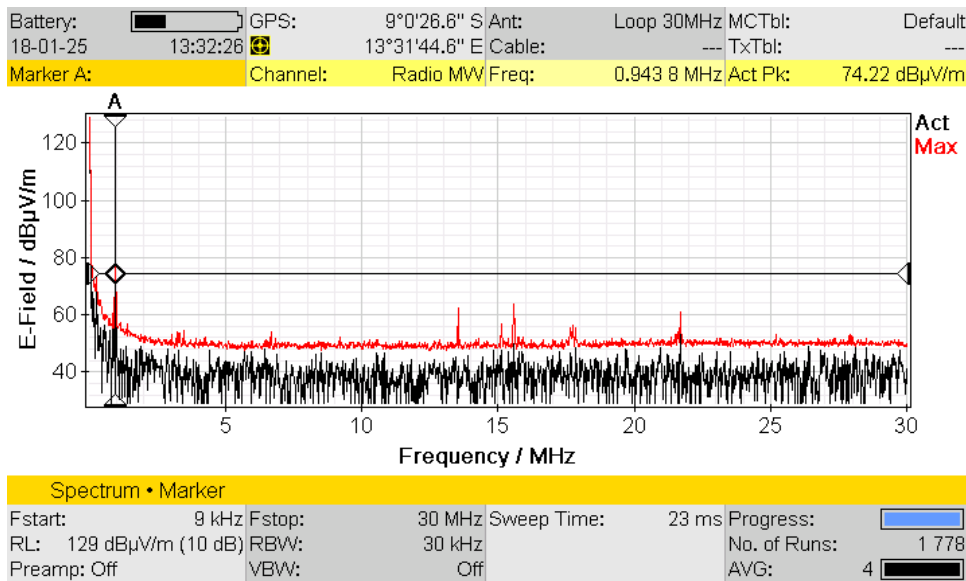


Figura 28 - Espetro de frequência de sistemas que operam nas faixas de 9kHz a 30MHz

Tabela 10 - Frequências do espectro e tipo de tecnologias usadas no canal

Battery:	18-01-25	13:33:02	GPS:	9°0'26.6" S	Ant:	13°31'44.6" E	Cable:	Loop 30MHz	MCTbl:	Default
Peak Table										
Index	Frequency	Channel	Act	Max						
1	0.112 287 MHz		64.86 dB μ V/m	16.94 dB						
2	0.172 290 MHz	Radio LW	63.15 dB μ V/m	6.90 dB						
3	0.948 683 MHz	Radio MW	60.23 dB μ V/m	16.60 dB						
4	0.260 376 MHz	Radio LW	59.52 dB μ V/m	13.51 dB						
5	0.448 503 MHz		55.83 dB μ V/m	6.52 dB						
6	0.492 645 MHz		54.53 dB μ V/m	6.12 dB						
7	0.361 773 MHz		54.51 dB μ V/m	10.43 dB						
8	15.586 506 MHz	Radio SW	53.45 dB μ V/m	14.60 dB						
9	0.568 820 MHz	Radio MW	51.65 dB μ V/m	6.81 dB						
10	0.751 253 MHz	Radio MW	50.90 dB μ V/m	6.99 dB						
11	1.382 271 MHz	Radio MW	50.74 dB μ V/m	5.79 dB						

Spectrum • Peak Table

Fstart:	9 kHz	Fstop:	30 MHz	Sweep Time:	20 ms	Progress:	
RL:	129 dB μ V/m (10 dB)	RBW:	30 kHz	No. of Runs:	3 374		
Preamp:	Off	VBW:	Off	AVG:	4		

A Figura 29, apresenta o espectro de frequências de sistemas que funcionam na banda UHF, o comprimento de onda varia de 1000-100mm. A banda UHF utiliza alguns

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

serviços como da televisão digital terrestre (TDT), Bluetooth, Wi-Fi e redes de telefones.

A frequência inicial do espectro é 380.2 MHz, a final é 522.2MHz, o sistema analisado situa-se no ponto **A** com a frequência marcada em 386,291MHz, a intensidade do campo elétrico é -31.97 dB μ V/m, esta faixa é usada para a comunicação móvel por satélite.

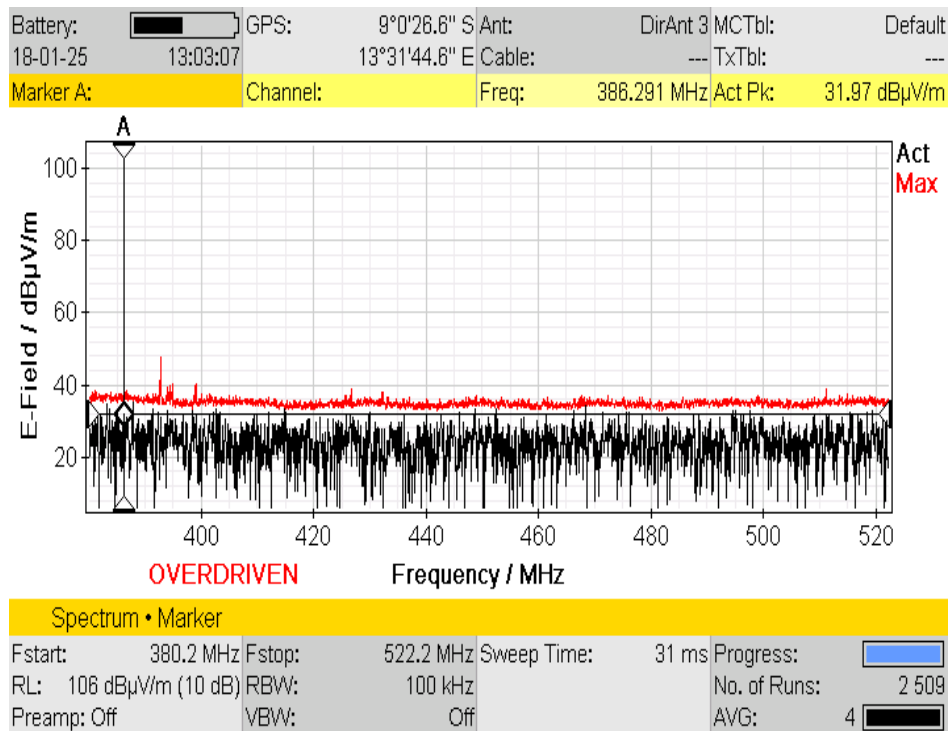


Figura 29 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas faixas dos 380.2MHz á 520.2MHz

A Figura 30, apresenta o espectro de frequências de sistemas que operam na banda de frequência UHF, o comprimento de onda nesta banda varia de 1000-100m, nesta banda os sistemas utilizam diversos serviços por exemplo á televisão digital terrestre (TDT), Bluetooth, Wi-Fi e redes de telefones.

A frequência inicial do espectro é 1GHz, a final é 2GHz, o sistema analisado está marcado no ponto **A** com frequência de 1872.054MHz, a intensidade do campo elétrico é 54.18 dB μ V/m, utiliza no canal a tecnologia de comunicação móvel GSM.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

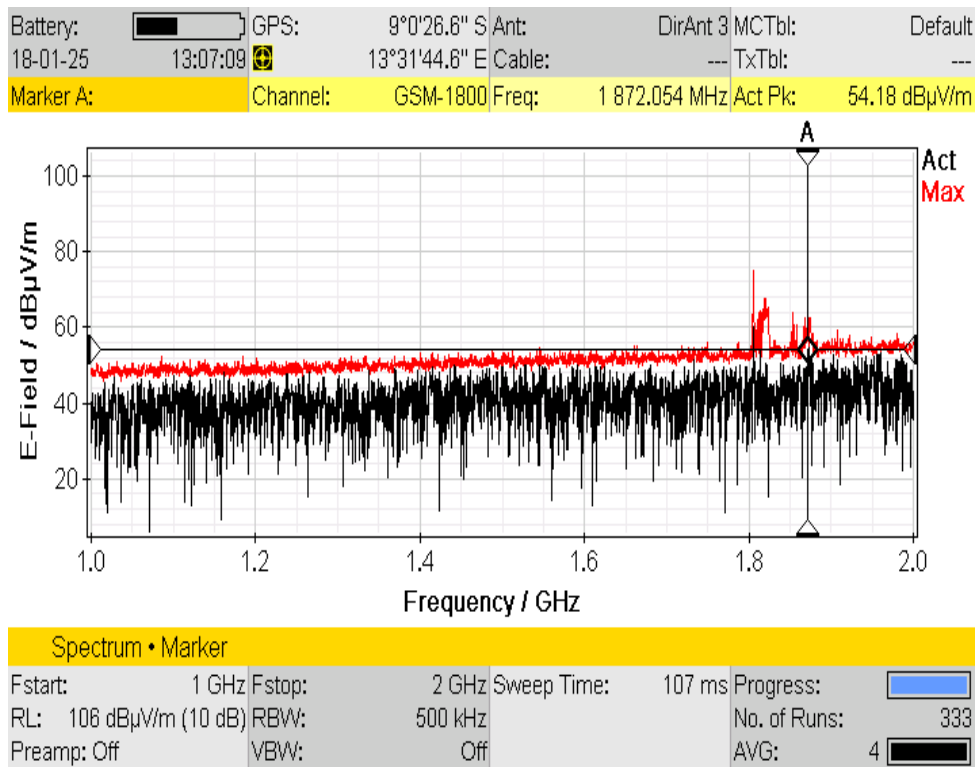


Figura 30 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas faixas de 1GHz á 2GHz

As tabelas 11-14, apresentadas fazem parte da figura 30, neste caso é fácil verificar nas tabelas a frequência de cada pico e os tipos de tecnologias usadas na comunicação, e intensidade do campo elétrico para cada pico de frequência.

No espectro de frequências nota-se a existência de sistemas que usam no canal as mesmas tecnologias na comunicação móvel, e outros com tecnologias diferentes na comunicação. Por exemplo sistemas que utilizam no canal tecnologias de comunicação diferente do GSM, é o caso de sistemas que se encontram na faixa de 1880.494MHz e 1881.081MHz usa a tecnologia DECT, esta tecnologia é usada para a comunicação digital sem fio.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 11 - Frequências de sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz

Battery:		GPS:	9°0'26.8" S	Ant:	DirAnt 3	MCTbl:	Default
18-01-25	13:07:48		13°31'44.6" E	Cable:	---	TxTbl:	---
Peak Table							
Index	Frequency	Channel	Max	Act			
1	1 805.394 781 MHz	GSM-1800	75.40 dBµV/m	64.63 dBµV/m			
2	1 811.369 990 MHz	GSM-1800	72.78 dBµV/m	45.85 dBµV/m			
3	1 813.134 719 MHz	GSM-1800	72.73 dBµV/m	49.70 dBµV/m			
4	1 815.851 601 MHz	GSM-1800	68.87 dBµV/m	49.05 dBµV/m			
5	1 819.897 181 MHz	GSM-1800	68.21 dBµV/m	53.64 dBµV/m			
6	1 823.502 229 MHz	GSM-1800	68.02 dBµV/m	39.16 dBµV/m			
7	1 818.209 477 MHz	GSM-1800	67.66 dBµV/m	46.82 dBµV/m			
8	1 820.984 850 MHz	GSM-1800	67.33 dBµV/m	55.29 dBµV/m			
9	1 822.755 213 MHz	GSM-1800	67.26 dBµV/m	50.61 dBµV/m			
10	1 819.253 609 MHz	GSM-1800	66.11 dBµV/m	54.55 dBµV/m			
11	1 823.909 269 MHz	GSM-1800	65.90 dBµV/m	44.51 dBµV/m			

Spectrum • Peak Table							
Fstart:	1 GHz	Fstop:	2 GHz	Sweep Time:	104 ms	Progress:	
RL:	106 dBµV/m (10 dB)	RBW:	500 kHz	No. of Runs:	690	AVG:	4
Preamp:	Off	VBW:	Off				

Tabela 12 – Frequências de sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz

Battery:		GPS:	9°0'26.8" S	Ant:	DirAnt 3	MCTbl:	Default
18-01-25	13:08:27		13°31'44.8" E	Cable:	---	TxTbl:	---
Peak Table							
Index	Frequency	Channel	Max	Act			
1	1 805.394 781 MHz	GSM-1800	75.40 dBµV/m	71.00 dBµV/m			
2	1 811.369 990 MHz	GSM-1800	72.78 dBµV/m	42.16 dBµV/m			
3	1 813.134 719 MHz	GSM-1800	72.73 dBµV/m	23.91 dBµV/m			
4	1 815.851 601 MHz	GSM-1800	68.87 dBµV/m	48.29 dBµV/m			
5	1 809.787 224 MHz	GSM-1800	68.37 dBµV/m	32.25 dBµV/m			
6	1 819.897 181 MHz	GSM-1800	68.21 dBµV/m	33.50 dBµV/m			
7	1 823.502 229 MHz	GSM-1800	68.02 dBµV/m	39.28 dBµV/m			
8	1 818.209 477 MHz	GSM-1800	67.66 dBµV/m	41.46 dBµV/m			
9	1 820.984 850 MHz	GSM-1800	67.33 dBµV/m	48.65 dBµV/m			
10	1 822.755 213 MHz	GSM-1800	67.26 dBµV/m	43.72 dBµV/m			
11	1 814.173 940 MHz	GSM-1800	66.90 dBµV/m	49.49 dBµV/m			

Spectrum • Peak Table							
Fstart:	1 GHz	Fstop:	2 GHz	Sweep Time:	104 ms	Progress:	
RL:	106 dBµV/m (10 dB)	RBW:	500 kHz	No. of Runs:	1 049	AVG:	4
Preamp:	Off	VBW:	Off				

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 13 - Frequências de sistemas que operam nas bandas de 1GHz a 2GHz

Battery: 18-01-25		GPS: 13:09:11	9°0'26.6" S 13°31'44.6" E	Ant: Cable: ---	DirAnt 3	MCTbl: Default	TxTbl: ---
Peak Table							
Index	Frequency	Channel	Act	Max			
1	1 805.525 776 MHz	GSM-1800	61.98 dBµV/m	74.81 dBµV/m			
2	1 816.824 568 MHz	GSM-1800	56.43 dBµV/m	64.55 dBµV/m			
3	1 824.370 138 MHz	GSM-1800	55.69 dBµV/m	63.23 dBµV/m			
4	1 853.644 664 MHz	GSM-1800	55.46 dBµV/m	63.94 dBµV/m			
5	1 982.523 997 MHz		55.16 dBµV/m	55.55 dBµV/m			
6	1 823.432 352 MHz	GSM-1800	54.69 dBµV/m	67.83 dBµV/m			
7	1 881.081 106 MHz	DECT	54.34 dBµV/m	54.18 dBµV/m			
8	1 963.871 765 MHz		54.05 dBµV/m	55.54 dBµV/m			
9	1 910.860 056 MHz		53.21 dBµV/m	59.96 dBµV/m			
10	1 820.657 281 MHz	GSM-1800	53.18 dBµV/m	66.63 dBµV/m			
11	1 947.855 386 MHz		53.15 dBµV/m	55.50 dBµV/m			

Spectrum • Peak Table							
Fstart: 1 GHz	Fstop: 2 GHz	Sweep Time: 103 ms	Progress:				
RL: 106 dBµV/m (10 dB)	RBW: 500 kHz		No. of Runs: 1 477				
Preamp: Off	VBW: Off		AVG: 4				

Tabela 14 - frequências de Sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 1 GHz a 2 GHz.

Battery: 18-01-25		GPS: 13:09:17	9°0'26.6" S 13°31'44.6" E	Ant: Cable: ---	DirAnt 3	MCTbl: Default	TxTbl: ---
Peak Table							
Index	Frequency	Channel	Act	Max			
1	1 805.521 552 MHz	GSM-1800	59.96 dBµV/m	74.85 dBµV/m			
2	1 993.116 791 MHz		55.49 dBµV/m	55.20 dBµV/m			
3	1 880.493 769 MHz	DECT	54.76 dBµV/m	56.29 dBµV/m			
4	1 831.651 938 MHz	GSM-1800	54.72 dBµV/m	55.29 dBµV/m			
5	1 850.422 059 MHz	GSM-1800	54.40 dBµV/m	56.19 dBµV/m			
6	1 958.154 879 MHz		54.29 dBµV/m	55.08 dBµV/m			
7	1 697.005 712 MHz		53.92 dBµV/m	53.91 dBµV/m			
8	1 930.643 376 MHz		53.63 dBµV/m	55.22 dBµV/m			
9	1 783.100 779 MHz		53.59 dBµV/m	54.84 dBµV/m			
10	1 962.362 702 MHz		53.31 dBµV/m	55.45 dBµV/m			
11	1 948.374 351 MHz		53.18 dBµV/m	54.72 dBµV/m			

Spectrum • Peak Table							
Fstart: 1 GHz	Fstop: 2 GHz	Sweep Time: 107 ms	Progress:				
RL: 106 dBµV/m (10 dB)	RBW: 500 kHz		No. of Runs: 1 527				
Preamp: Off	VBW: Off		AVG: 4				

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

A Figura 31, apresenta o espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de frequência UHF e SHF, os sistemas UHF o comprimento de onda varia de 1000-100m, ao passo que os sistemas SHF o comprimento de onda varia 100-10mm. Os sistemas que funcionam na banda UHF utiliza diversos serviços como da televisão digital terrestre (TDT), Bluetooth, Wi-Fi e redes de telefones.

Os da banda SHF utilizam serviços de Controle e Vigilância do Trafico aéreo e monitorização meteorológica. O sistema analisado está centrado na faixa de 2111MHz, o sistema utiliza o serviço de telecomunicações de móveis internacional, utiliza no canal a tecnologia de comunicação móvel WCDMA(UMTS), a intensidade do campo elétrico é 67,94dB μ V/m, a frequência central do espectro é 3GHz, e 2GHz corresponde a frequência inicial do espectro ao passo que 4GHz é a frequência final do espectro.

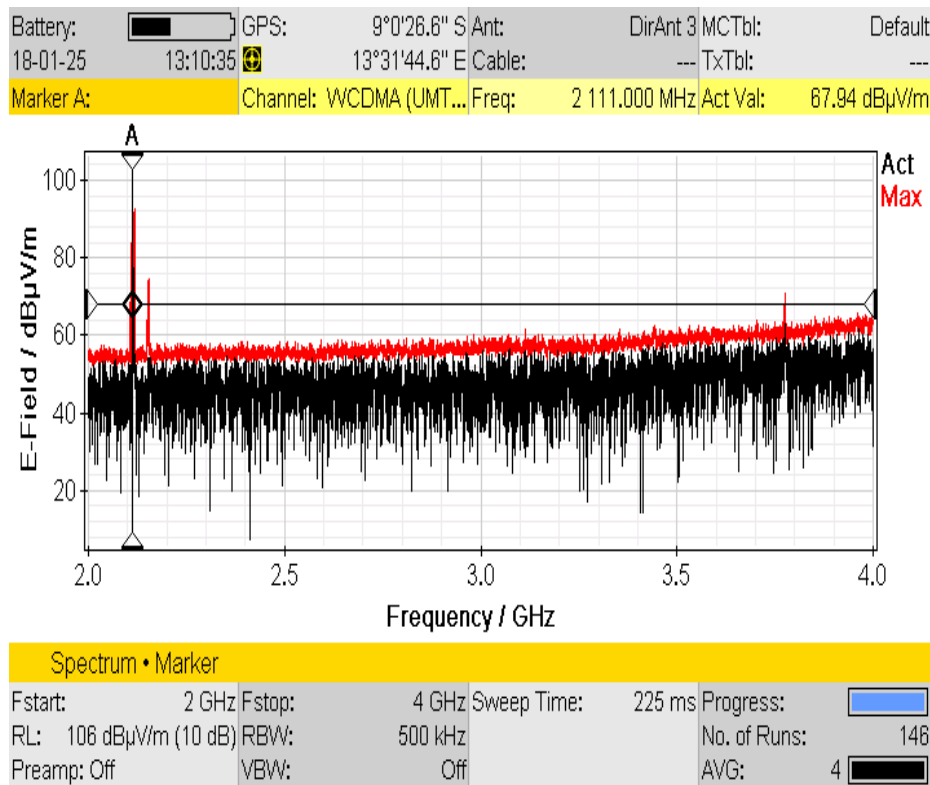


Figura 31 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 2GHz á 4GHz

As tabelas 14-16, fazem parte da figura 30, ilustram as frequências do espectro e os tipos de tecnologias usadas na comunicação móvel no espectro.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 15 - Frequências e tecnologias que funcionam nas bandas de 2 GHz a 4 GHz.

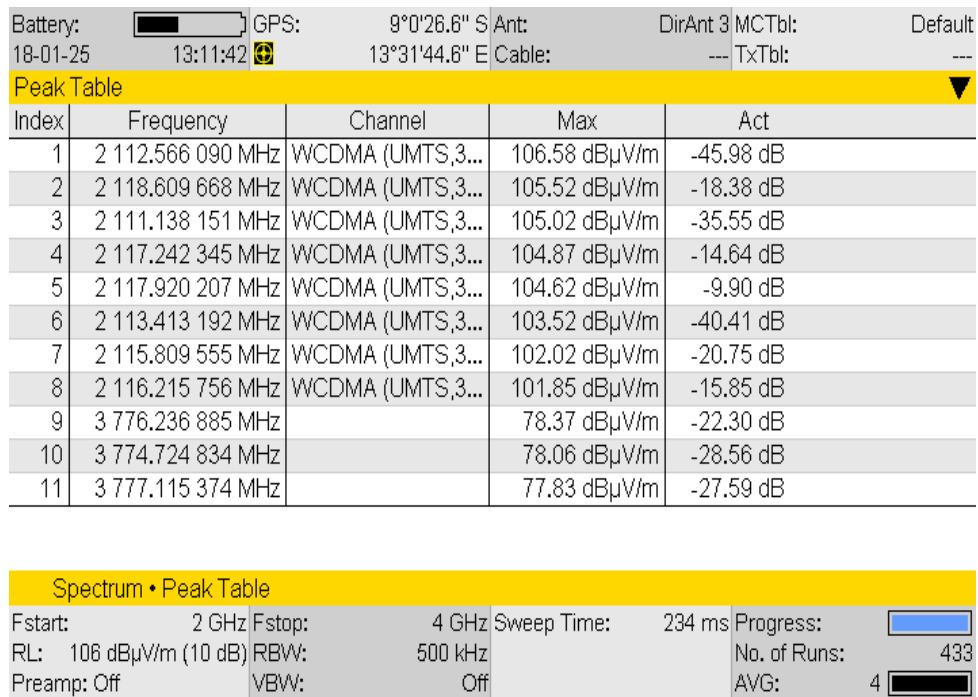
Battery: 18-01-25		GPS: 13:11:16	9°0'26,6" S	Ant: 13°31'44,6" E	Cable: ---	DirAnt 3	MCTbl: ---	TxTbl: ---	Default
Peak Table									
Index	Frequency	Channel	Act	Max					
1	2 116.175 306 MHz	WCDMA (UMTS,3...	76.93 dBµV/m	14.35 dB					
2	2 119.197 169 MHz	WCDMA (UMTS,3...	75.57 dBµV/m	15.52 dB					
3	3 774.753 314 MHz		74.76 dBµV/m	2.10 dB					
4	2 117.131 782 MHz	WCDMA (UMTS,3...	71.53 dBµV/m	18.45 dB					
5	2 110.457 842 MHz	WCDMA (UMTS,3...	69.87 dBµV/m	17.59 dB					
6	3 777.620 112 MHz		67.01 dBµV/m	6.57 dB					
7	2 113.868 454 MHz	WCDMA (UMTS,3...	66.94 dBµV/m	24.63 dB					
8	2 111.673 345 MHz	WCDMA (UMTS,3...	66.71 dBµV/m	26.92 dB					
9	2 113.246 645 MHz	WCDMA (UMTS,3...	66.28 dBµV/m	24.62 dB					
10	3 776.242 932 MHz		64.86 dBµV/m	12.55 dB					
11	3 953.662 005 MHz		63.37 dBµV/m	0.00 dB					
Spectrum • Peak Table									
Fstart:	2 GHz	Fstop:	4 GHz	Sweep Time:	218 ms	Progress:			
RL:	106 dBµV/m (10 dB)	RBW:	500 kHz			No. of Runs:	333		
Preamp:	Off	VBW:	Off			AVG:	4		

Tabela 16 - Frequências e tecnologias que funcionam nas bandas de 2GHz a 4GHz

Battery: 18-01-25		GPS: 13:11:28	9°0'26,6" S	Ant: 13°31'44,6" E	Cable: ---	DirAnt 3	MCTbl: ---	TxTbl: ---	Default
Peak Table									
Index	Frequency	Channel	Act	Max					
1	2 111.750 720 MHz	WCDMA (UMTS,3...	93.47 dBµV/m	-0.00 dB					
2	2 117.210 181 MHz	WCDMA (UMTS,3...	92.41 dBµV/m	-0.21 dB					
3	2 116.500 000 MHz	WCDMA (UMTS,3...	92.18 dBµV/m	0.00 dB					
4	2 110.942 300 MHz	WCDMA (UMTS,3...	92.11 dBµV/m	-0.07 dB					
5	2 113.729 631 MHz	WCDMA (UMTS,3...	88.92 dBµV/m	3.80 dB					
6	2 117.979 505 MHz	WCDMA (UMTS,3...	88.72 dBµV/m	4.09 dB					
7	2 115.611 079 MHz	WCDMA (UMTS,3...	88.66 dBµV/m	1.50 dB					
8	2 112.941 755 MHz	WCDMA (UMTS,3...	87.93 dBµV/m	1.92 dB					
9	2 119.052 718 MHz	WCDMA (UMTS,3...	82.32 dBµV/m	9.43 dB					
10	2 119.466 716 MHz	WCDMA (UMTS,3...	81.63 dBµV/m	4.32 dB					
11	2 114.624 177 MHz	WCDMA (UMTS,3...	75.58 dBµV/m	7.44 dB					
Spectrum • Peak Table									
Fstart:	2 GHz	Fstop:	4 GHz	Sweep Time:	226 ms	Progress:			
RL:	106 dBµV/m (10 dB)	RBW:	500 kHz			No. of Runs:	379		
Preamp:	Off	VBW:	Off			AVG:	4		

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Tabela 17 - Sistemas e tecnologias que operam nas bandas de 2GHz a 4GHz



A Figura 32, apresenta o espectro de frequências de sistemas que operaram na banda SHF, o seu comprimento de onda varia 100-10mm. A frequência inicial é 3GHz, e 4GHz é a frequência final do espectro.

Os sistemas na banda SHF utilizam serviços do Controle e Vigilância do Tráfego aéreo e monitorização meteorológica. Nesta figura vamos analisar os dois picos de frequências **A** e **B**, como esta ilustrado no gráfico da Figura 32.

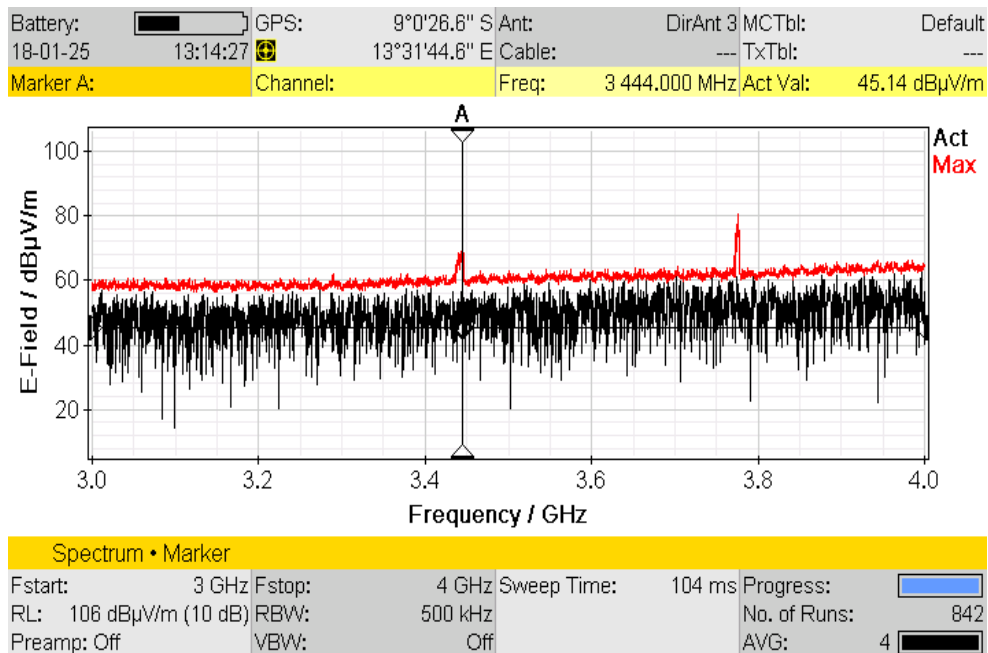


Figura 32 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 3GHz a 4GHz

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

O primeiro pico esta marcada no ponto *A* com frequência de 3.444MHz, a intensidade do campo elétrico é 45.14dB μ V/m.

O sinal esta a ser emitido por uma antena omnidirecional que é utilizado para comunicação fixa por satélite (espaço terra), sinal emitido interfere com os sistemas de acesso fixo via radio (FWA), e sinais de acesso de banda larga via radio (BWA) da aeronave, a largura de banda ocupada pelo sinal interferente é 9.475 MHz, o ganho de potencia é 9.23 dB, a intensidade do campo elétrico é 69.19 dB μ V/m. No entanto implica dizer que o sinal interferente emite uma radiação forte que pode causar interferência nos sistemas que funcionam nesta faixa do espectro. O sinal foi detetado com uma antena direcional que cobre toda a comunicação móvel do espectro, as Figuras 33 e 34, apresentam as caraterísticas do sinal interferente.

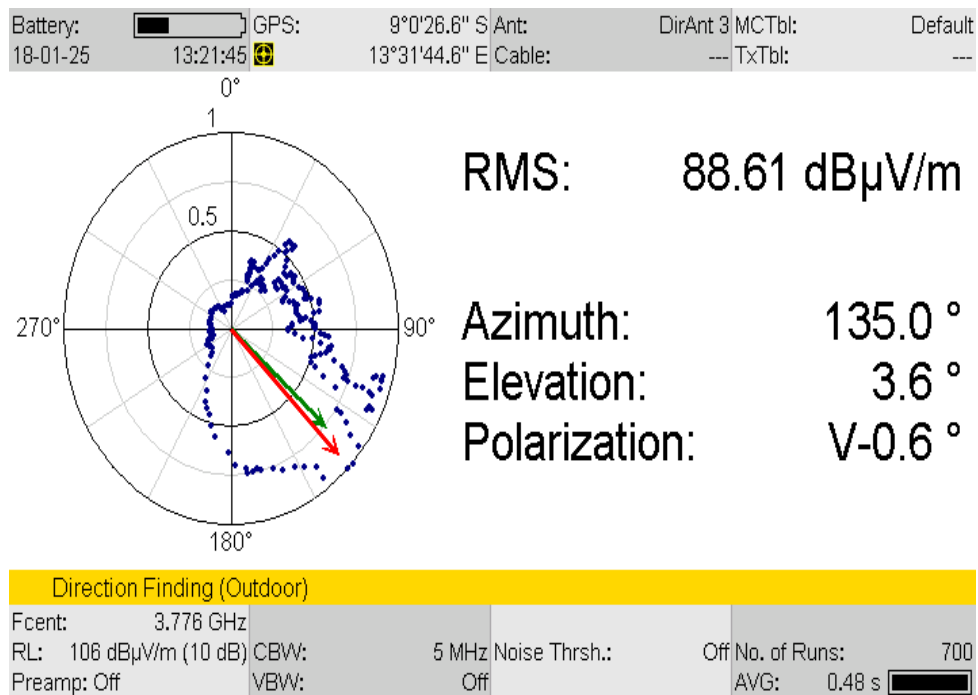


Figura 33 - Características do sinal interferente

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

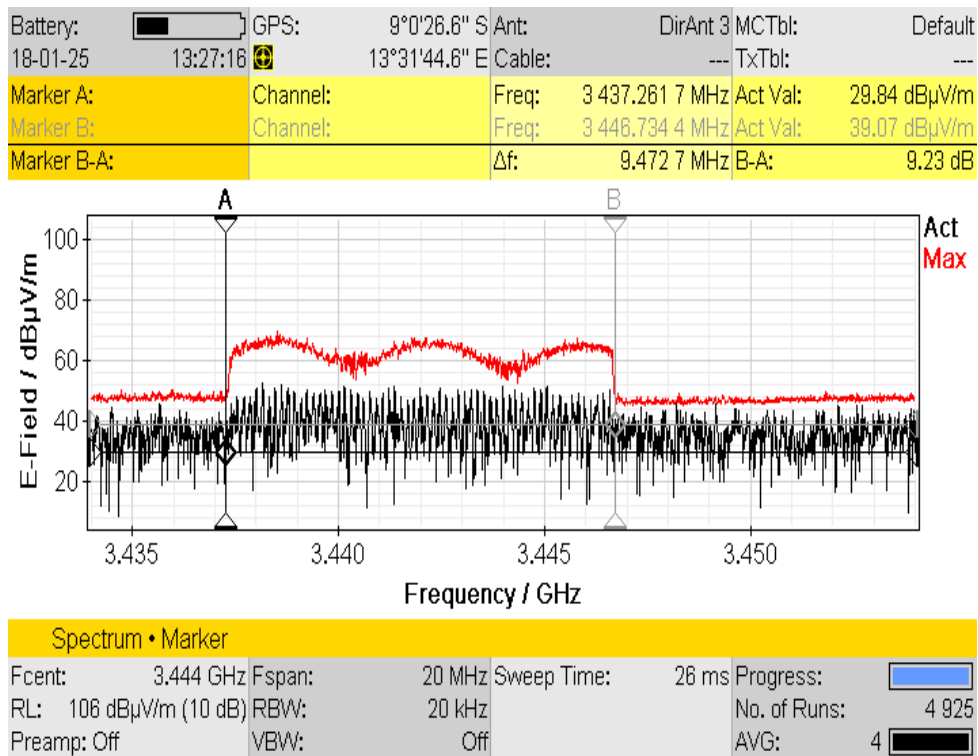


Figura 34 - Características do sinal interferente

A frequência do segundo pico no espectro da Figura 32, é 3 773MHz, a intensidade do campo elétrico é 47.70dB μ V/m. A faixa analisada está a ser emitido um sinal com uma antena omnidirecional com intensidade do campo elétrica de 80.03dB μ V/m, o sinal ocupa uma largura de banda de 5.303MHz, a atenuação do sinal é -5.37dB. O sinal emitido interferir com os sistemas de comunicação fixa por satélite (FWA), e com os sinais de acesso de banda larga via radio (BWA) da aeronave.

O sinal foi detetado com uma antena direcional que cobre todo o espectro da comunicação móvel na área de estudo. As Figuras 35 - 37, apresentam as caraterísticas do sinal analisado do segundo pico.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

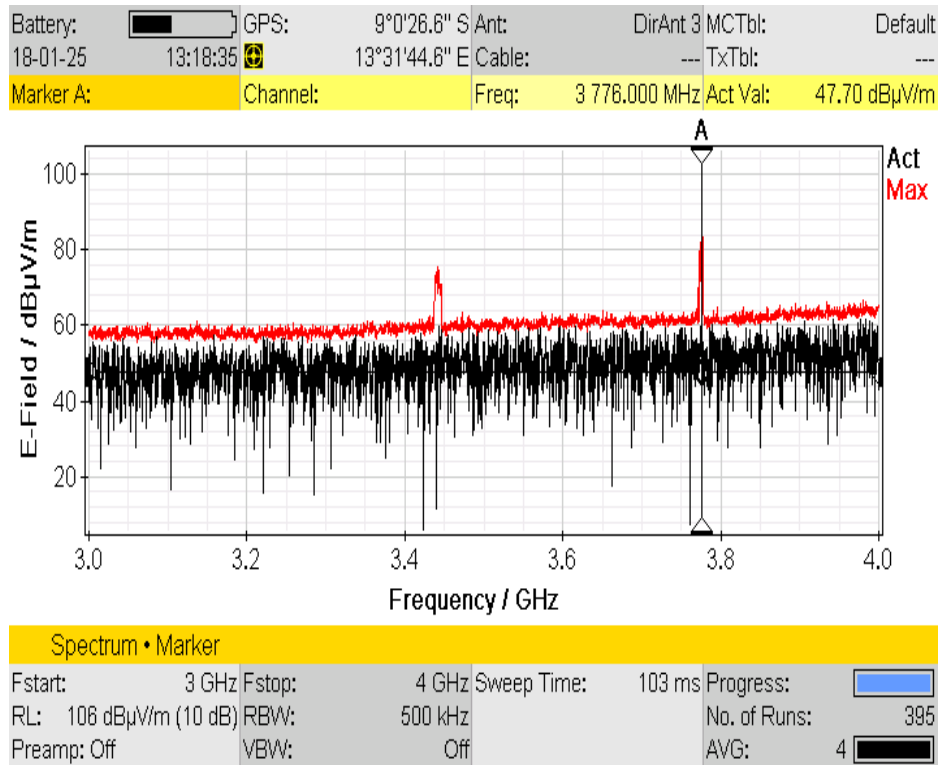


Figura 35 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 3GHz a 4GHz

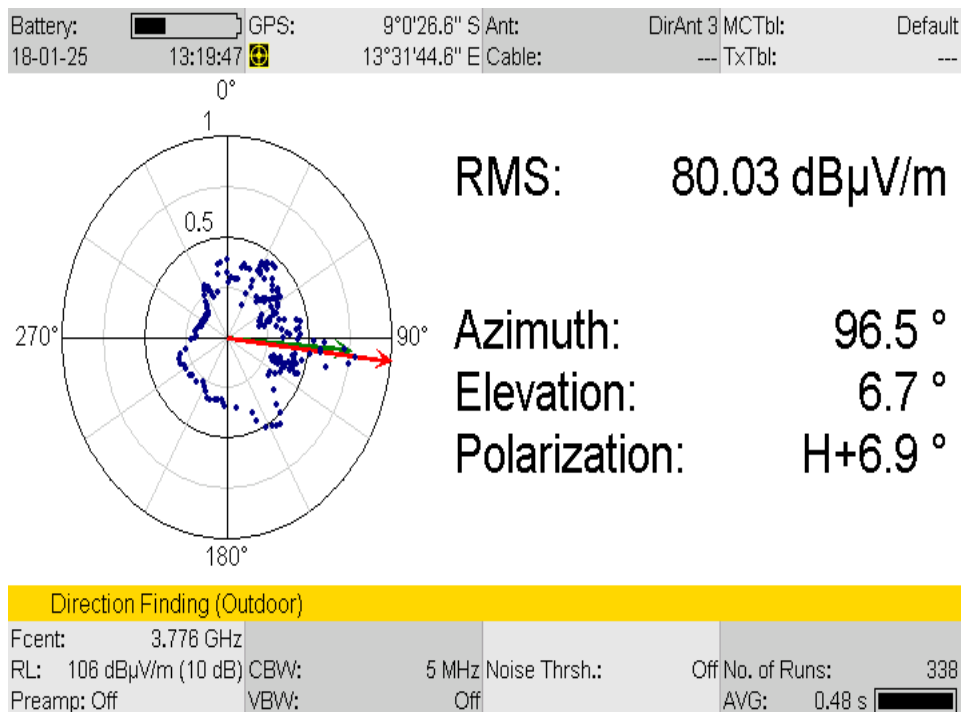


Figura 36 - Características do sinal do segundo pico

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

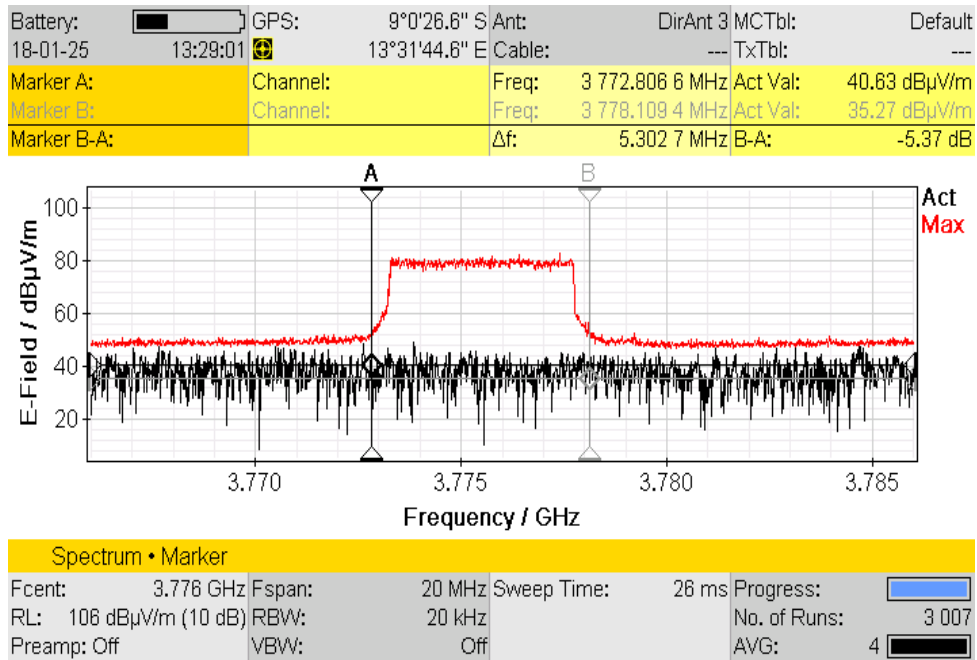


Figura 37 - Largura de banda do sinal do segundo pico

A Figura 38, apresenta o espectro de frequências de sistemas que operaram na banda de frequência SHF, o comprimento de onda desta banda varia de 100-10mm, os sistemas que operam na banda SHF utilizam serviços de Controle e Vigilância do Tráfego aéreo e monitorização meteorológica.

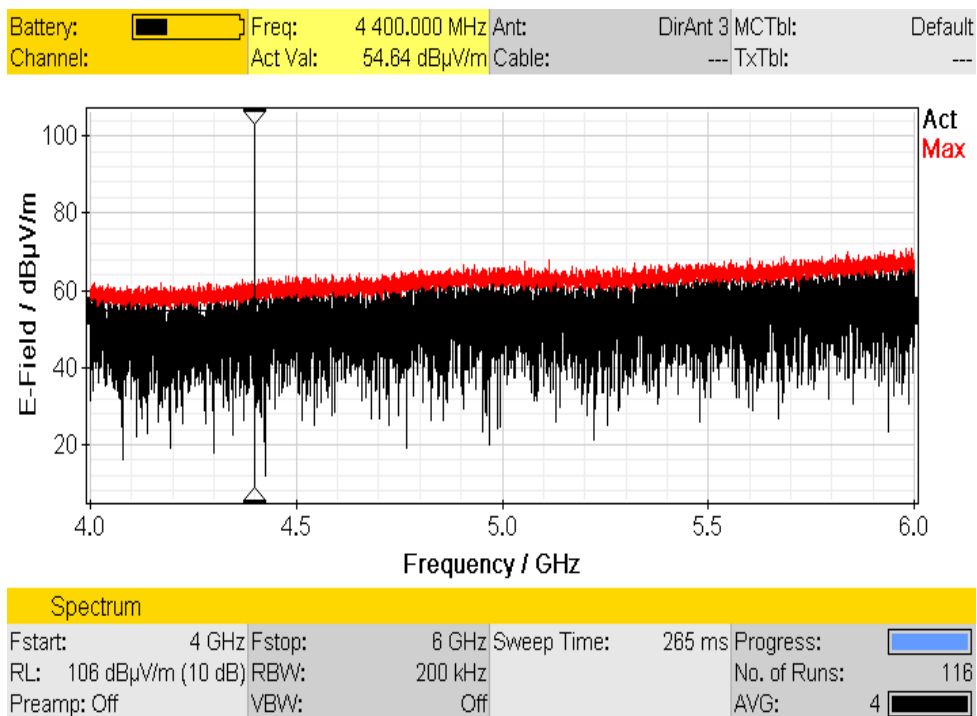


Figura 38 - Espectro de frequências de sistemas que operam nas bandas de 4GHz a 6GHz

Capítulo V

Conclusões Gerais

O capítulo V é dedicado às principais conclusões, com base nas medições e na análise dos resultados.

- 1- Das medições feitas em Lisboa notou-se que os sistemas de radiodifusão da aeronave na zona de cobertura do aeroporto funcionam sem interferências de outros sistemas que atuam próximos das faixas analisadas. Portanto concluímos que no espectro de frequências da análise feita no aeroporto de Lisboa não existem interferências prejudiciais que podem dificultar a comunicação com os sistemas da aeronave.

- 2- No cenário 2, das medições feitas em Luanda (Angola), notou-se a existência de dois sinais intermitentes de um operador que podem interferir com os sistemas de radiodifusão da aeronave. Apesar da presença do sinal intermitente interferente, pode-se dizer que o espectro naquela zona é praticamente limpo.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Trabalho Futuro

No desenvolvimento da dissertação após as medições de campo, nomeadamente, no segundo cenário das medições realizadas em Luanda, feitas com o apoio do Instituto Nacional de comunicações (INACOM), foi indicado por este Instituto a existência de algumas lacunas na avaliação de outros possíveis níveis de interferências em determinadas zonas.

Dai que tenha surgido a ideia de avançar com este trabalho, provavelmente integrado numa tese de doutoramento centrada na análise cognitiva do espetro. O objetivo é desenvolver um sistema inteligente para análise de interferências com recurso a sensores radioelétricos de modo a permitir a reutilização do espetro por sistemas secundários além dos primários.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Apêndice I - Monitorização do Espectro

As interferências são as atividades principais e as mais complexas do centro de monitorização do espectro, sendo que, é importante garantir a comunicação sem interferência. No passado, com utilização de sistemas analógicos os primeiros equipamentos de receção nos centros de monitorização e controlo do espectro já apresentava sistemas preparados para a análise espectral. Mais com o passar do tempo surgiu a necessidade criar estações móveis de monitoramento que funcionam como centro de controle de monitoramento do espectro, estas estações surgiram para monitorar e controlar os locais onde os centros de monitoramento e as estações remotas não conseguem receber sinal. As estações moveis possuem capacidade elevadas semelhantes aos centros de monitorização do espectro.

As estações moveis são também utilizadas para avaliar o nível de interferências em determinadas zonas, elas são em geral compostas por uma serei de equipamentos que possibilitam estabelecer a comunicação.

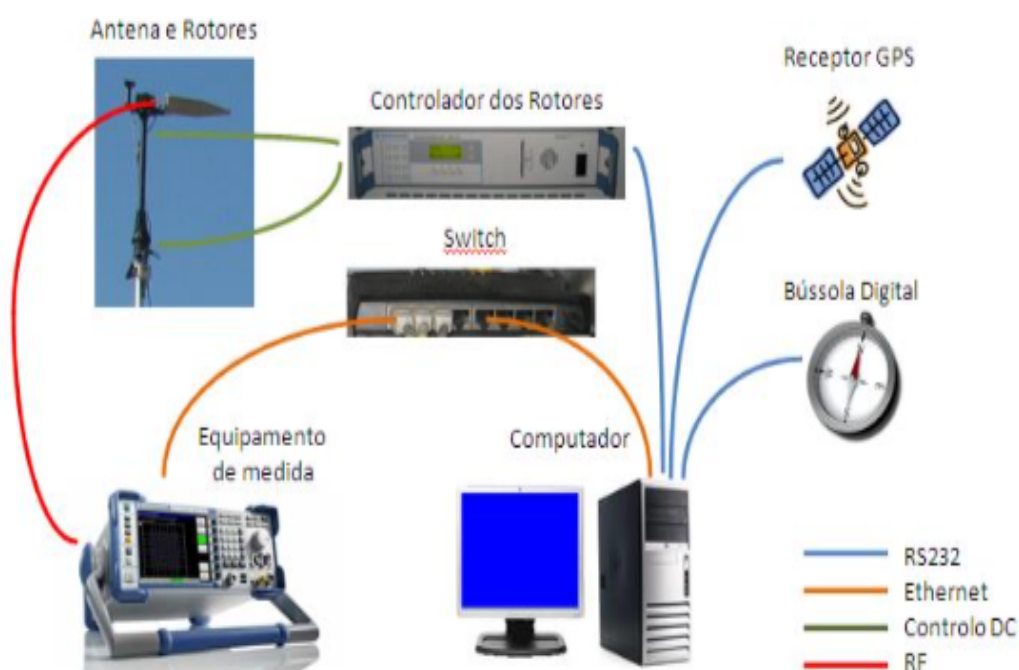


Figura 39 - Estação móvel

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Apêndice II- Sistema Inteligente para Análise de Interferências com Recurso a Sensores Radioelétricos.

No desenvolvimento da dissertação já foi explicado como é feita a avaliação dos níveis de interferências numa determinada zona. No entanto, o sistema proposto é também uma forma de avaliar os níveis de interferências em determinadas zonas com recurso a sensores radioelétricos. No entanto, sendo o modelo analítico uma apresentação de uma construção necessária para a análise de um projeto estrutural, a Figura 2 representa a arquitetura do modelo proposto.

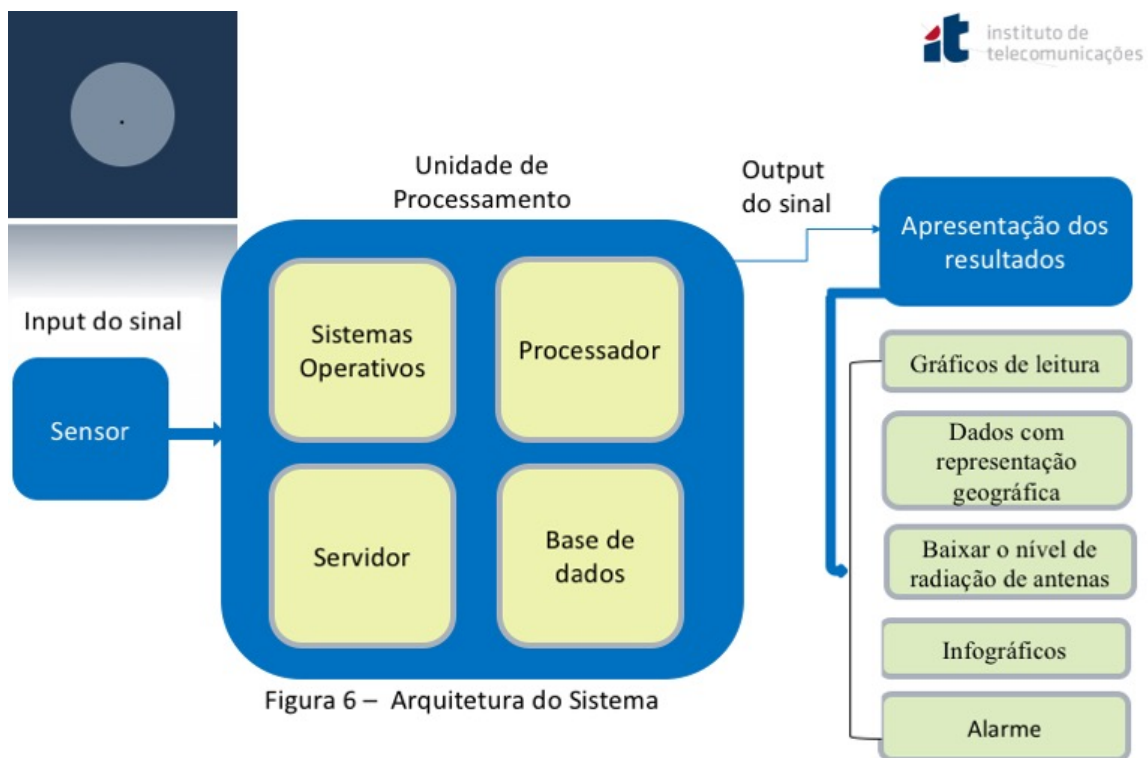


Figura 40 - Arquitetura do modelo proposto

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

Bibliografia

- [1] J. P. Borrego, «Novos desafios à monitorização e controlo do espectro, na perspetiva dos sistemas de medida», p. 6.
- [2] R. Jain, F. Templin, e Kwong-Sang Yin, «Analysis of L-Band Digital Aeronautical Communication Systems: L-DACS1 and L-DACS2», 2011, pp. 1–10.
- [3] F. Capa, «A Revolução das Comunicações Móveis», p. 20.
- [4] «teleco.com.br». [Em linha]. Disponível em: http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialintlte/pagina_2.asp. [Acedido: 03-Mai-2018].
- [5] A. J. V. Barbosa, «Previsão de Desempenho para Redes Móveis LTE e UMTS baseadas em Redes GSM Co-localizadas», p. 119.
- [6] Y.-S. Wang, Y. Chang, e C.-Y. Tsai, «Third-generation mobile services in Taiwan: A conceptual framework and theoretical propositions», em *2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA)*, Tainan, Taiwan, 2010, pp. 125–128.
- [7] J. Wu, Y. Cheng, K. Wang, e J. Du, «A GEO satellite mobile telecommunications system architecture design based on UMTS/S-UMTS», em *2009 International Conference on Wireless Communications & Signal Processing*, Nanjing, China, 2009, pp. 1–5.
- [8] H. I. B. Mateus, «UMTS VERSUS DVB-SH NA TRANSMISSÃO DE SINAIS DE VÍDEO», p. 138.
- [9] Suna Choi e Seungkeun Park, «Analysis of interference signal from LTE phone on sound systems», em *2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, JEJU ISLAND, Korea (South), 2013, pp. 826–830.
- [10] «LTE». [Em linha]. Disponível em: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. [Acedido: 26-Mar-2019].
- [11] «LTE». [Em linha]. Disponível em: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>. [Acedido: 26-Mar-2019].
- [12] Z. Tabakovic, S. Grgic, e M. Grgic, «Dynamic spectrum access in cognitive radio», p. 4, 2009.
- [13] V. Valenta, Z. Fedra, R. Marsalek, G. Baudoin, e M. Villegas, «Towards cognitive radio networks: Spectrum utilization measurements in suburb environment», em

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- 2009 *IEEE Radio and Wireless Symposium*, San Diego, CA, USA, 2009, pp. 352–355.
- [14] M. J. Marcus, «Spectrum Policy for Radio Spectrum Access», *Proc. IEEE*, vol. 100, n. Special Centennial Issue, pp. 1685–1691, Mai. 2012.
- [15] R. M. Leão, «Rádio interferência proveniente de linhas de alta tensão», p. 147.
- [16] «R&S®FSH3 Spectrum Analyzer | Visão geral | Rohde & Schwarz». [Em linha]. Disponível em: https://www.rohde-schwarz.com/br/produto/fsh3-6-18-pagina-inicial-de-produtos_63493-358532.html. [Acedido: 04-Mai-2018].
- [17] «O DECIBEL INTRODUÇÃO TEÓRICA - PDF». [Em linha]. Disponível em: <https://docplayer.com.br/36026400-O-decibel-introducao-teorica.html>. [Acedido: 02-Abr-2019].
- [18] «Corrente, tensão e potência - Entendendo as unidades elétricas (ART598)». [Em linha]. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/4334-art598.html>. [Acedido: 04-Mai-2018].
- [19] «Decibel – Wikipédia, a enciclopédia livre». [Em linha]. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Decibel>. [Acedido: 02-Abr-2019].
- [20] H. Tsuji e Y. Fujino, «Interference evaluation of terrestrial mobile terminals and base stations using an aircraft for sharing satellite and terrestrial mobile communication system», p. 5.
- [21] L. Matabishi, «Theoretical Implementation of Antenna Polarization to Improve the Reduction of Co-channel Interference in Mobile Cellular Systems», em *2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, Beijing, China, 2005, vol. 1, pp. 431–433.
- [22] P. K. Tiwary, N. Maskey, S. Khakurel, e G. Sachdeva, «Effects of Co-channel Interference in WLAN and Cognitive Radio Based Approach to Minimize It», em *2010 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, Kottayam, India, 2010, pp. 158–160.
- [23] E. Hall, J. Budinger, R. Dimond, J. Wilson, e R. Apaza, «Aeronautical mobile airport communications system development status», 2010, pp. A4-1-A4-15.
- [24] J. M. e E. Hall, «Aeronautical Mobile Airport Communications System (AeroMACS)», em *Future Aeronautical Communications*, S. Plass, Ed. InTech, 2011.

Análise de Interferências no novo Aeroporto de Luanda

- [25] L. B. D. CARVALHO, «INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS AVIÔNICOS DE RÁDIO NAVEGAÇÃO», p. 50, 2015.
- [26] «Abdulla et al. - AVIONICS MADE SIMPLE.pdf». .
- [27] M. Abdulla, J. V. Svoboda, e L. Rodrigues, «AVIONICS MADE SIMPLE», p. 173.
- [28] K. OíKeefe, «Availability and Reliability Advantages of GPS/Galileo Integration», p. 10, 2001.
- [29] Z. Li, R. Wang, J. Gao, e J. Wang, «An Approach to Improve the Positioning Performance of GPS/INS/UWB Integrated System with Two-Step Filter», *Remote Sens.*, vol. 10, n. 2, p. 19, Dez. 2017.
- [30] H. L. Trautenberg, T. Weber, e C. Schäfer, «GALILEO system overview», *Acta Astronaut.*, vol. 55, n. 3–9, pp. 643–647, Ago. 2004.
- [31] G. W. Hein *et al.*, «Status of Galileo Frequency and Signal Design», p. 13.