

INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DO TRABALHO E DA EMPRESA



**Instituto Universitário de Lisboa**

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

**PLANEAMENTO MÓVEL EM REDES 3G – O CASO DE  
CABO VERDE - ILHA DE SANTIAGO - CIDADE DA PRAIA**

**ADILSON MENDES RAMOS**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do Grau de

**Mestre em Engenharia de Telecomunicações e Informática**

Orientador:

Doutor Américo Manuel Carapeto Correia, Prof. Catedrático,  
ISCTE-IUL

**Outubro de 2017**



## SUMÁRIO

O presente trabalho resulta de uma pesquisa sobre o planeamento da rede móvel em Cabo Verde, cujo objetivo é o planeamento de uma rede móvel 3G, sendo o caso de estudo a Ilha de Santiago e a Cidade da Praia. Em termos gerais pretende-se determinar áreas/locais com problemas de comunicações/interferências com base em medidas de campo e aplicar técnicas de planeamento e otimização com vista à resolução dos mesmos.

Para atingir os objetivos, é necessário obedecer um conjunto de procedimentos que visam uma análise criteriosa de vários fatores intervenientes, como, por exemplo, terreno, relevo, edifícios e a vegetação. Esta abordagem prevê a identificação de zonas alvo no processo de planeamento e otimização; avaliação da cobertura de rede existente na área selecionada, de acordo com a ferramenta e o modelo de propagação mais adequado para o cenário em estudo.

Depois de efetuar os cálculos teóricos da cobertura usando dois modelos de propagação diferentes, e de acordo com os dados disponibilizados por uma operadora cabo-verdiana, constatou-se que a Ilha de Santiago dispõe de uma única torre de estação de base localizada praticamente no centro da Ilha, garante efetivamente a cobertura para toda a Ilha.

Constatou-se, igualmente, que a estimacão da potência média recebida na Cidade da Praia, oscila entre um valor máximo de -62.4 dBm, o que corresponde a uma boa qualidade do sinal, e um valor mínimo de -100.4 dBm, o que representa uma fraca qualidade do sinal.

### **Palavras-chave:**

UMTS; Planeamento Móvel; Cobertura; Interferência; Otimização; Simulação.

## **ABSTRACT**

The present work is the result of research on the cellular network planning in Cape Verde, whose objective is the planning of a 3G cellular network, the case study is Santiago Island and Praia City. In general terms, it is intended to determine areas/locations with communication/interference problems based on field measurements and to apply planning and optimization techniques for their resolution.

To achieve the objectives, it is necessary to apply a set of procedures that aim at a careful analysis of several factors, such as terrain, relief, buildings and vegetation. This approach provides the identification of target zones in the planning and optimization process; evaluation of the existing network coverage in the selected area, according to the tool and propagation model more suitable to the scenario being studied.

After performing the theoretical coverage calculations using two different propagation models, and according to data provided by a Cape Verde operator, it was found that the Island of Santiago has a base station tower located practically in the center of the Island, it effectively guarantees coverage for the entire Island.

It was also verified that the estimation of average received power in Praia City ranges from a maximum value of -62.4 dBm, which corresponds to a good signal quality, to a minimum value of -100.4 dBm, which represents a poor quality of the signal.

### **KeyWords:**

UMTS; Cellular Planning; Coverage; Interference; Optimization; Simulation.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que me incentivaram nesta tarefa, sempre árdua, de investigação de um tema que se julga atual e pertinente.

Para além do indispensável suporte familiar, cumpre-me destacar o Professor Doutor Américo Correia, orientador da presente dissertação, pelos apoios e o encorajamento relativamente à escolha do tema, "Planeamento de uma rede móvel 3G, o caso de estudo Cabo Verde, mais concretamente Ilha de Santiago Cidade da Praia". Como já referido, foi privilégio tê-lo como orientador. Meus profundos agradecimentos!

Igualmente expresse o meu agradecimento à operadora cabo-verdiana que disponibilizou informações sem as quais não seria possível o desenvolvimento da presente investigação e, portanto, a elaboração desta dissertação de mestrado.

Por fim, um agradecimento especial a todos os meus colegas e amigos que fizeram parte do meu percurso académico.

Obrigado a todos!

# ÍNDICE

SUMÁRIO.....	i
ABSTRACT .....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE ACRÓNIMOS E NOTAÇÕES.....	viii
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Motivação .....	1
1.3 Objetivos Gerais .....	2
1.4 Objetivos Específicos .....	2
1.5 Método de Investigação.....	3
1.6 Questões de Investigação .....	3
1.7 Estrutura da Dissertação .....	4
CAPÍTULO 2 ESTUDO DA REDE MÓVEL 3G .....	5
2.1 Estado da Arte .....	5
2.2 Rede 3G.....	5
2.3 Rede Universal Mobaile Telecommunication System - UMTS.....	8
2.4 Arquitetura da Rede UMTS.....	13
2.5 Interface Rádio WCDMA.....	15
2.6 Evolução do UMTS .....	17
2.7 Controlo de Potência .....	19
2.8 Estudo de Parâmetros UMTS .....	19
CAPÍTULO 3 ESTUDO DA MÉTRIC.....	23
3.1 Introdução.....	23
3.2 Módulo Tarefas .....	23
3.3 Vista Principal .....	24
3.4 Módulo Arquivos.....	24
3.5 Módulo Mapas.....	25
3.6 Divisão de Tela.....	27
3.7 Fontes do Mapa .....	27
3.8 Células .....	28
3.9 Medições e Eventos.....	28
3.10 Ferramentas de Desenho.....	29
CAPÍTULO 4 PLANEAMENTO MÓVEL 3G EM CABO VEDE.....	30

4.1	Introdução.....	30
4.2	Evolução Histórica da Rede Móvel cabo-verdiana .....	30
4.3	Licenciamento .....	31
4.4	Padrões .....	32
4.5	Serviços .....	32
4.6	Frequências.....	32
4.7	Planeamento .....	33
4.8	Tipos de Células .....	34
4.9	Informação Geográfica de Cabo Verde .....	36
4.10	Modelos de Propagação.....	37
4.11	Modelo COST 231-Hata.....	39
4.12	Modelo COST231 – Walfish-Ikegami .....	41
4.13	Planeamento da Cobertura.....	46
	CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES .....	51
5.1	Principais Conclusões.....	51
5.2	Limitações .....	53
5.3	Trabalhos Futuros .....	54
	ANEXO A .....	56
	Planeamento por Capacidade .....	56
	BIBLIOGRAFIA .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - UMTS Serviços e Aplicações .....	10
Tabela 2- Níveis de Sinal para o mapa de cobertura $E_c$ [7] .....	20
Tabela 3 - Nível de $E_c/I_0$ recomendado .....	20
Tabela 4 - Definição dos tipos de célula [12].....	35
Tabela 5 - Valor de $L_{ori}$ em função do ângulo $\emptyset$ .....	44
Tabela 6 - Dados fornecidos pela operadora Cabo Verdiana .....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da tecnologia GSM [20] .....	6
Figura 2 - Ambiente IMT – 2000 [22].....	9
Figura 3- Evolução Para as Tecnologias 3G [22].....	10
Figura 4- Conexão Modo Iu entre UTRAN e GERAN [22] .....	13
Figura 5 - Diagrama Simplificativo de um sistema WCDMA [5] .....	16
Figura 6 - Vista Principal da Métric [11] .....	24
Figura 7 - Módulo de Arquivo [11].....	25
Figura 8 - Módulo Mapa.....	26
Figura 9 - Módulo Mapa Ilustrando as Ilhas de Cabo Verde [11].....	26
Figura 10 -Módulo de Mapa Filtragem de Informação [11] .....	27
Figura 11- Divisão de Telas [11].....	27
Figura 12 - Fontes do Mapa [11].....	28
Figura 13–Células [11] .....	28
Figura 14 - Medições e Eventos [11] .....	29
Figura 15 - Ferramentas de desenho [11] .....	29
Figura 16 - Espectro de frequências para o IMT-2000 (WARC-92).....	33
Figura 17 - Representação dos vários tipos de células [12] .....	35
Figura 18 Mapa das dez Ilhas de Cabo Verde .....	37
Figura 19- Geometria e parâmetros associados ao modelo COST321 - Walfish-Ikegami[26], [27].....	42
Figura 20– Definição da orientação da via através do ângulo $\phi= 28.2^\circ$ [26], [28] .....	43
Figura 21 - Mapa da Cobertura da Ilha de Santiago.....	47
Figura 22 - Mapa Ilustrativa Capacidade da Propagação .....	49
Figura 23 – Ilustração Vista Satélite da Cidade da Praia .....	50
Figura 24 - Ilustração da área de cobertura da Cidade da Praia .....	50

## LISTA DE ACRÓNIMOS E NOTAÇÕES

<b>AS</b>	<i>Active Set</i>
<b>ANAC</b>	<i>National Communication Authority</i>
<b>APCER</b>	<i>Portuguese Certification Association</i>
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
<b>3G</b>	<i>Third Generation</i>
<b>3GPP</b>	<i>Third Generation Partnership Project</i>
<b>BCCH</b>	<i>Broadcast Control Channel</i>
<b>BS</b>	<i>Base Station</i>
<b>BTS</b>	<i>Base Station</i>
<b>BW</b>	<i>Bandwidth</i>
<b>CDMA</b>	<i>Code Division Multiple Access</i>
<b>CIR</b>	<i>Carrier to Interference Ratio</i>
<b>CN</b>	<i>Core Network</i>
<b>CPICH</b>	<i>Common Pilot Channel</i>
<b>DL</b>	<i>Downlink</i>
<b>DSL</b>	<i>Digital Subscriber Line</i>
<b><math>E_c/N_0</math></b>	<i>Carrier Energy-to-Noise Density Ratio</i>
<b>ERB</b>	<i>Base Radio Station</i>
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
<b>EIRP</b>	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<b>E-UTRA</b>	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i>
<b>E-UTRAN</b>	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
<b>FDD</b>	<i>Frequency Division Duplex</i>
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Service</i>
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>GERAN</b>	<i>GSM EDGE Radio Access Network</i>
<b>GTP</b>	<i>GPRS Tunneling Protocol</i>
<b>GTP-C</b>	<i>GPRS Tunneling Protocol, Control Plane</i>
<b>GTP-UGPRS</b>	<i>Tunnelling Protocol, Multimédia Plane</i>
<b>GW</b>	<i>Gateway</i>

<b>HO</b>	<i>Handover</i>
<b>HSDPA</b>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
<b>HSPA</b>	<i>High Speed Packet Access</i>
<b>HSUPA</b>	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
<b>IMS IP</b>	<i>Multimedia Subsystem</i>
<b>IMT</b>	<i>International Mobile Telecommunications</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>MIMO</b>	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
<b>MIP</b>	<i>Mobile IP</i>
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
<b>OFDMA</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
<b>PC</b>	<i>Power Control</i>
<b>PCC</b>	<i>Policy and Charging Convergence</i>
<b>PCH</b>	<i>Paging Channel</i>
<b>PCM</b>	<i>Pulse Code Modulation</i>
<b>PDN</b>	<i>Packet Data Network</i>
<b>PDSCH</b>	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
<b>PMCH</b>	<i>Physical Multicast Channel</i>
<b>PS</b>	<i>Packet Switched</i>
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>
<b>QPSK</b>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
<b>RAN</b>	<i>Radio Access Network</i>
<b>RAT</b>	<i>Radio Access Technology</i>
<b>RF</b>	<i>Radio Frequency</i>
<b>RT</b>	<i>Real Time</i>
<b>RTT</b>	<i>Round Trip Time</i>
<b>SCs</b>	<i>Scrambling Codes</i>
<b>SC-FDMA</b>	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>
<b>SCTP</b>	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
<b>SMS</b>	<i>Short Message Service</i>
<b>SINR</b>	<i>Signal to Interference and Noise Ratio</i>
<b>SNR</b>	<i>Signal to Noise Ratio</i>
<b>TDD</b>	<i>Time Division Duplex</i>

<b>TD-LTE</b>	<i>Time Division Long Term Evolution</i>
<b>TM</b>	<i>Transparent Mode</i>
<b>TPC</b>	<i>Transmit Power Control</i>
<b>TTI</b>	<i>Transmission Time Interval</i>
<b>UARFCN</b>	<i>Absolute Radio Frequency Channel Number</i>
<b>UDP</b>	<i>Unit Data Protocol</i>
<b>UE</b>	<i>User Equipment</i>
<b>UL</b>	<i>Uplink</i>
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
<b>UHF</b>	<i>Ultra High Frequency</i>
<b>UTRA</b>	<i>Universal Terrestrial Radio Access</i>
<b>UTRAN</b>	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
<b>VoIP</b>	<i>Voice Over IP</i>
<b>VHF</b>	<i>Very High Frequency</i>
<b>WCDMA</b>	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
<b>WAP</b>	<i>Wireless Application Protocol</i>
<b>WARC – 92</b>	<i>World Administrative Radio Conference</i>
<b>WLAN</b>	<i>Wireless Local Area Network</i>
<b>Wi-Fi</b>	<i>Wireless Fidelity</i>
<b>WiMAX</b>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
<b>WRC-2000</b>	<i>World Radio Communication Conference</i>



# CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Introdução

A mobilidade a nível global tornou-se possível com o sistema *Global System for Mobile Communications* (GSM). O crescimento do GSM verificou-se na década de 90, superando todas as expectativas com uma penetração avassaladora nos mercados mundiais.

A rede *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), designada por terceira geração (3G), surgiu na Europa e fez com que a tecnologia *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) entrasse no dia-a-dia de todas as pessoas com o aparecimento de mensagens multimédia, de jogos *online*, de acesso à *web* a partir dos telemóveis, *etc.*

Hoje em dia, os dispositivos móveis, sobretudo, telemóvel, fazem parte do nosso quotidiano e das organizações. Estes dispositivos são utilizados para os mais diferentes propósitos. Desta forma, a sociedade está chegando a um novo patamar de mobilidade na utilização de sistemas, tirando vantagem tanto da mobilidade como da disponibilidade a nível das aplicações e dos recursos. Com o mundo cada vez mais globalizado, Cabo Verde sente também a necessidade de acompanhar os progressos das novas tecnologias de informações e de comunicações.

Os serviços da rede móvel são uma das áreas que mais têm desenvolvido, e para que a mobilidade seja capaz de expandir, são necessárias alterações na rede de transmissão mesmo antes da sua maturidade. Assim, novas gerações vão surgindo, como são os casos da 1G, 2G, 3G e 4G procurando solucionar problemas de conexão que, entretanto, vêm surgindo. E como sabemos, a interferência e os ruídos nas redes, neste caso concreto as redes móveis, têm uma influência negativa na comunicação móvel e tendem a evoluir devido a muitos fatores.

## 1.2 Motivação

Os telemóveis fazem, hoje em dia, parte integrante da nossa vida. Quer seja no trabalho ou nas horas de lazer, na cidade ou em viagem, desejamos estar sempre contactáveis e conectados, e ter sempre uma maneira de contactar os outros, daí que, hoje em dia, o fora do

comum é não possuir um aparelho de comunicação móvel. Neste sentido, surge o interesse em planejar e analisar a cobertura e a interferência em redes móveis da terceira geração (3G), sendo nosso caso de estudo Cabo Verde, mais concretamente a Ilha de Santiago e a Cidade da Praia. A motivação para a realização deste trabalho é muito grande e resultando de vários fatores. Por um lado, tenho um grande interesse pela área de telecomunicações de forma a desenvolver e aprofundar os meus conhecimentos nesta área técnica e tecnológica e, por outro lado, sendo cabo-verdiano pretendo contribuir ativamente no desenvolvimento do meu País, no domínio das novas tecnologias de informação e comunicação, e não só.

### **1.3 Objetivos Gerais**

O objetivo principal deste trabalho é fazer um planeamento de uma rede móvel da 3G, tendo como o caso de estudo Cabo Verde, mais concretamente a Ilha de Santiago e a Cidade da Praia. Em termos gerais pretende-se determinar áreas/locais com problemas de comunicações/interferências com base em medidas de campo e aplicar técnicas de planeamento e otimização com vista à resolução dos mesmos. Para atingir os objetivos, é necessário obedecer a um conjunto de procedimentos que visam uma análise criteriosa. Esta abordagem prevê a identificação de zonas alvo (no caso em estudo a Cidade da Praia) no processo de planeamento e otimização, levantamento da cobertura de rede existente na área selecionada, se possível, com a ferramenta utilizada no caso de estudo.

### **1.4 Objetivos Específicos**

Para o projeto definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- Estudo da tecnologia UMTS, tendo como estudo de caso Cabo Verde, Ilha de Santiago, mais concretamente a Cidade da Praia, no que diz respeito à arquitetura de rede, aos protocolos de comunicação, interface rádio, controlo de potência, código de canal, etc;
- Desenvolvimento de um estudo de caso, se possível, utilizando a ferramenta de planeamento - Métric e os modelos de propagação apropriados para definir a cobertura e zonas com problemas de cobertura;

- Análise dos resultados obtidos no estudo de caso e propor possíveis soluções para otimizar o problema.

### **1.5 Método de Investigação**

A realização deste trabalho teve duas fases: a investigação teórica, isto é, a revisão bibliográfica e documental da tecnologia UMTS. A outra fase, foi a investigação empírica sobre o planeamento com base em informações recolhidas junto da operadora móvel cabo-verdiana.

Utilizando-se uma importante ferramenta de planeamento e gerenciamento de redes de telecomunicações, chamada Métric, no qual vão ser abordadas as principais funcionalidades desta aplicação.

Faz-se a recolha e análise dos resultados, com base em medidas de campo, e aplicar técnicas de planeamento e otimização com o intuito de averiguar regiões com problemas de cobertura/interferência e, definir políticas e/ou técnicas para resolver esses mesmos problemas. Apresenta-se a conclusão dos resultados obtidos na investigação, apresentando algumas sugestões para outras pesquisas futuras.

### **1.6 Questões de Investigação**

- 1- Qual a área/lugar, de acordo com objetivo definido com a maior interferência?
- 2- Qual a área/lugar, de acordo com objetivo definido que apresenta melhor qualidade de sinal?
- 3- Que políticas/técnicas devem ser implementadas para solucionar problemas em áreas/lugares com menor cobertura?

## **1.7 Estrutura da Dissertação**

O presente trabalho, apresenta uma estrutura formada por cinco capítulos e anexos:

O capítulo 1 é a introdução do trabalho efetuado, apresentando a contextualização teórica, ou seja, definem-se os objetivos, a metodologia, e tenta-se explicar a importância, finalidade e os motivos que levaram à escolha do tema.

O capítulo 2 consiste na análise do estado da arte da rede móvel da 3G, isto é, a estrutura básica de rede, protocolos, interface rádio WCDMA, e as características gerais da tecnologia UMTS.

No capítulo 3, vai-se utilizar uma valiosa ferramenta de planeamento e gestão de redes de telecomunicações, Métric, no qual, vão ser abordadas as principais características e funcionalidades desta aplicação.

No capítulo 4, pretende-se fazer um estudo de caso, de acordo com o objetivo definido, no qual tenciona-se estudar e analisar a cobertura, capacidade e interferência em redes móveis da 3G em Cabo Verde, com o enfoque na Ilha de Santiago e mais concretamente na Cidade da Praia. Da mesma forma, pretende-se, também, perceber um pouco da evolução histórica da rede móvel cabo-verdiana.

E, por último, no capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões deste trabalho, indicando ainda, futuros trabalhos que, eventualmente, poderão passar pelo planeamento de redes móveis da 4G em Cabo Verde, levando em conta que ainda não existem. E no final deste trabalho inclui-se um anexo sobre planeamento por capacidade, com o propósito de tornar o trabalho mais integrado e suportado.

## **CAPÍTULO 2 ESTUDO DA REDE MÓVEL 3G**

### **2.1 Estado da Arte**

Neste capítulo, inicialmente será apresentada uma breve introdução da rede 3G, bem como a estrutura básica de rede, os protocolos e as características gerais, nomeadamente a arquitetura, a interface rádio, tipos de canais utilizados e também os aspetos teóricos da tecnologia UMTS.

### **2.2 Rede 3G**

Antes de falar da rede 3G, vai-se fazer um breve historial dos seus antecessores. A evolução das redes móveis foi categorizada em “gerações”, que representam um salto nas tecnologias utilizadas. Em seguida, são apresentadas as várias gerações de redes móveis e as principais características e evoluções.

O mundo das telecomunicações entrou numa nova era com a introdução de novas gerações de redes de comunicações móveis em vários países do mundo. As redes móveis de primeira geração (1G) eram bastante limitadas em termos de oferta de serviços, tendo sido desenvolvidas no início dos anos 80. Eram redes analógicas bastante suscetíveis a ruídos e interferências, e as conversas eram facilmente intercetadas. Nas redes móveis 1G o único serviço existente era o de voz e, além disso, devido à inexistência de normalização, cada país criou o seu próprio sistema. [16]

Com o objetivo de melhorar os aspetos técnicos e de normalização das redes móveis da primeira geração (1G) foram desenvolvidas as redes de comunicações móveis de segunda geração (2G) constituídas por sistemas completamente digitais. O recurso à codificação digital da voz e as técnicas de modulação digitais permitiram um aumento da eficiência espectral três vezes maior que nas redes analógicas de 1G. E dada a normalização dos padrões, com a 2G passou a ser possível efetuar *roaming* internacional, e tornou-se possível a disponibilização de um conjunto de serviços de voz e dados. A evolução tecnológica permitiu a existência de terminais móveis de maior portabilidade e a custos mais atrativos.

Entre os sistemas de segunda geração desenvolvidos emergiu o GSM (*Global System for Mobile Communication*). O principal objetivo do GSM foi definir um sistema único de comunicações móveis na Europa. O GSM é atualmente o mais popular sistema *standard* para telemóveis em todo o mundo, cujos terminais são utilizados por mais de mil milhões de pessoas. [16]

Com o avanço da Internet, o aumento dos serviços multimédia e a necessidade de ter acesso a estes serviços, enquanto estamos em movimento, o que passa a exigir, ao mesmo tempo e, cada vez mais, uma maior largura de banda. Esta exigência revelou as limitações do GSM, sendo a taxa de transmissão de dados demasiada baixa (9.6 kbps), como são os casos da GPRS e da EDGE. Respondendo as exigências do mercado, em termos de serviços com elevadas taxas de transmissão, começou assim, a evolução das redes GSM, conforme representada na figura 1. [16]

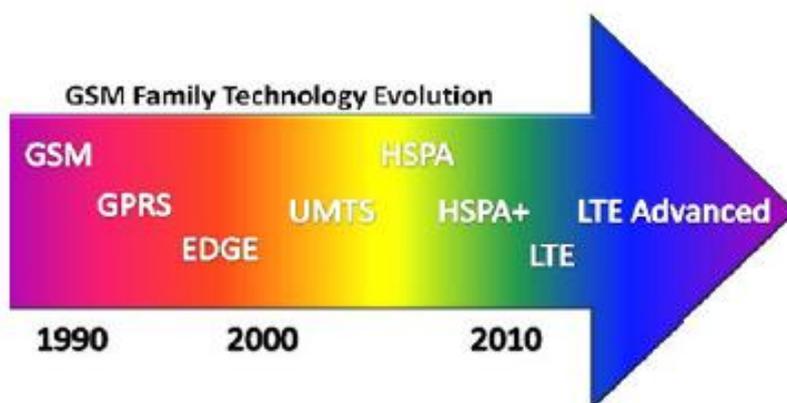


Figura 1 - Evolução da tecnologia GSM [20]

A terceira geração da tecnologia móvel, ocorre em 1999, quando a União Internacional de Comunicações (UIT) criou o IMT-2000, um padrão global para o 3G com o objetivo de facilitar o crescimento, aumento da banda e suporte a aplicações diversas. Para conseguir evoluir para a nova tecnologia, as operadoras precisaram realizar grandes upgrade em suas redes pré-existentes, o que levou ao estabelecimento de duas famílias distintas da tecnologia 3G: a 3GPP e a 3GPP 2. [18]

A 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) é uma colaboração entre grupos e associações de telecomunicações, formada em 1998 para fomentar a implantação de redes 3G que descendem do GSM. Essa tecnologia evoluiu da seguinte forma: [18]

- GPRS – oferecia velocidades de até 144 Kbps;

- EDGE – atingia até 384 Kbps;
- UMTS Wideband CDMA (WCDMA) – com velocidades de até 1,92 Mbps;
- HSPDA – catapultou a velocidade máxima em até 14 Mbps;
- LTE – pode chegar até 100 Mbps (considerada de quarta geração).

A implantação da tecnologia GPRS começou no ano 2000, seguido pela EDGE em 2003. Embora essas duas tecnologias sejam definidas como 3G pelo padrão IMT-2000, às vezes são chamadas de “2,5G” porque não trocam uma grande quantidade de dados. A tecnologia EDGE ainda está sendo substituída pela tecnologia HSPDA em nosso país, ou seja, Cabo Verde. Quem usa internet móvel 3G em Cabo Verde já deve ter reparado que o indicador da conexão oscila entre duas letras: H e E, ou seja, HSPDA (em locais com cobertura 3G) e EDGE (onde ainda permanece a tecnologia 2G). [18]

A tecnologia LTE é o próximo passo na evolução da rede móvel baseada na tecnologia GSM, em Cabo Verde. Uma das várias padronizações da tecnologia 3GPP é o formato multimídia. Por esta razão, muitos vídeos gravados por telemóveis são salvos no formato 3GPP (ou apenas 3GP).

## **3GPP2**

A 3GPP2 foi formada para ajudar as operadoras norte-americanas e asiáticas que usam o CDMA a evoluírem para o 3G. A evolução da tecnologia aconteceu da seguinte forma: [18]

- 1xRTT – com velocidade de até 144 Kbps;
- EV-DO – aumentou a velocidade para 2,4 Mbps;
- EV-DO Rev. A – com velocidade de até 3,1 Mbps;
- EV-DO Rev. B – atingia velocidades de até 4,9 Mbps;
- UMB – programada para chegar a 288 Mbps (considerada de quarta geração).

A 1xRTT foi lançada em 2002, seguida pela EV-DO em 2004. A 1xRTT também é conhecida como “2,5G” por ser uma transição para a EV-DO. A EV-DO Rev. A surgiu em

2006 e agora está sendo sucedida pela EV-DO Rev. B. A UMB é a próxima geração da tecnologia, mas as operadoras acreditam que o serviço não irá “pegar”, e, por isso, estão pensando em evoluir para a LTE em seu lugar.

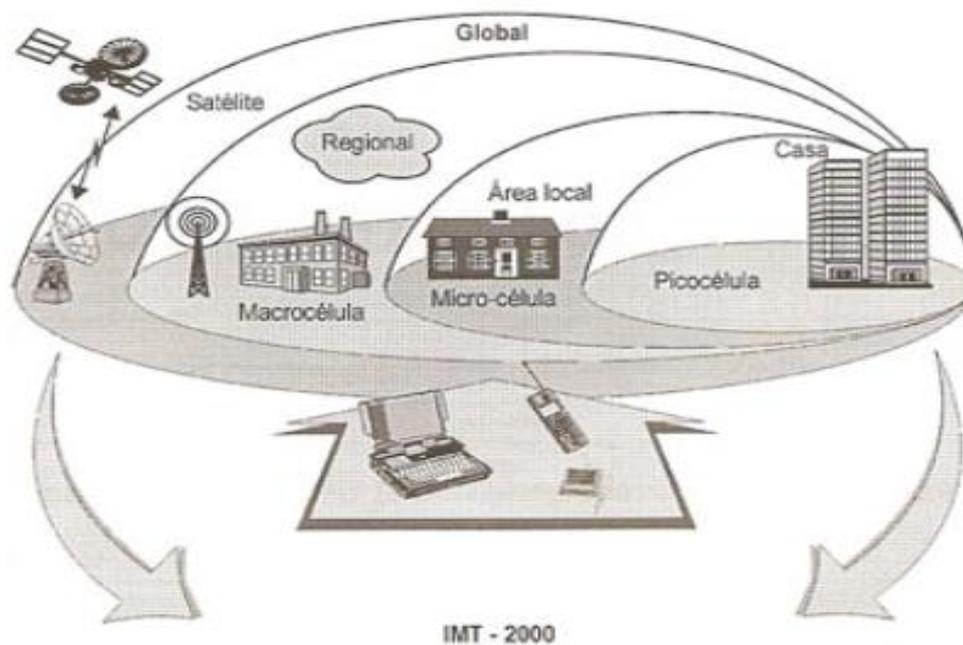
Paralelamente à evolução tecnológica destes sistemas, o constante avanço das tecnologias de hardware e software tem, cada vez mais, conseguido fazer chegar a informação (via telefone, TV por cabo, satélite, Internet de alta velocidade, etc.) para onde o utilizador se encontra, fazendo emergir novos serviços de conteúdos multimédia que incentivam a perspectiva de um novo mercado de dados móveis.

Perante as perspectivas de evolução do mercado de comunicações móveis e com ascensão da tecnologia rádio WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*), os sistemas da terceira geração (3G) têm vindo a vingar, oferecendo mobilidade global, maior capacidade (canais com maior largura de banda) e permitindo a integração de multi-serviços de voz, dados, imagens e vídeo, com ritmos de transmissão elevados.

No caso específico de Cabo Verde, a introdução de tecnologias 3G permitiu, não só às atuais operadoras GSM ter uma redução expressiva nos custos de implementação de novos serviços, como também disponibilizar uma oferta alternativa aos consumidores de acesso à internet de banda larga (banda larga móvel). Também permite a reutilização de infraestruturas já existentes, pelo uso de estações dual-mode e da mesma plataforma central de rede.

### **2.3 Rede Universal Mobaile Telecommunication System - UMTS**

Em 1989, a União Internacional de Telecomunicações - ITU divulgou, através de um documento, a visão para os sistemas de telemóveis futuros, chamados de terceira geração, 3G. Essa visão chamou-se IMT-2000 (*International Mobile Telephony 2000*) e, após ser divulgada, deu início a uma corrida para que fosse projetado um sistema que atingisse as suas necessidades. Um aspeto interessante do IMT-2000 é a divisão de ambientes para a operação do sistema, de forma hierárquica. A figura 2 mostra essa divisão. [18]



**Figura 2 - Ambiente IMT – 2000 [22]**

A rede UMTS, fornece teleserviços (como voz e SMS) e serviços de transporte (Bearer Services) que permitem a transferência de informação entre pontos de acesso. É possível negociar as características dos serviços de transporte na fase de estabelecimento da conexão ou sessão e também no decorrer das mesmas. Podem existir serviços orientados à conexão ou não, e comunicações nas configurações ponto a ponto e ponto a multiponto. [16]

Aos serviços estão associados parâmetros de qualidade de serviço, salientando-se, entre outros, o atraso máximo de transferência, a variação do atraso de transferência, os débitos máximos e garantidos e a taxa de erros de bit. Dado que existem vários tipos de serviços, com qualidades de serviços distintos que são suportados pela rede, optou-se pela definição de quatro classes de tráfego que permitem que a rede forneça aos serviços a qualidade negociada. A distinção principal entre as classes é estarem associadas ou não a serviços de tempo-real, como se indica na tabela 1. [16]

Traffic class	Conversational class Real Time	Streaming class Real Time	Interactive class Best Effort	Background class Best Effort
Fundamental characteristics	Preserve time relation (variation) between information entities of the stream; Conversational pattern (stringent and low delay).	Preserve time relation (variation) between information entities of the stream.	Request response Pattern; Preserve payload content.	Destination is not expecting the data within a certain time; Preserve payload Content.
Example of the Application	Voice	Streaming video	Web browsing	Telemetry, Emails

Tabela 1 - UMTS Serviços e Aplicações

O IMT-2000 exigiu uma nova alocação do espectro de frequências. As diversas propostas foram então desenvolvidas para atender aos requisitos do IMT-2000. As propostas UTRA (*Universal Terrestrial Radio Access*) e WCDMA (*Wideband CDMA*) foram as selecionadas, junto com a CDMA2000. As propostas UTRA e WCDMA estão unificadas na mesma especificação, chamada UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). [23]

O objetivo era migrar os sistemas de móveis de segunda geração para os de terceira geração. O sistema GSM tem a evolução natural para UMTS, enquanto o sistema CDMA IS-95 evolui naturalmente para o CDMA 2000. A figura 3 mostra a evolução histórica resumida dos sistemas móveis. [23]

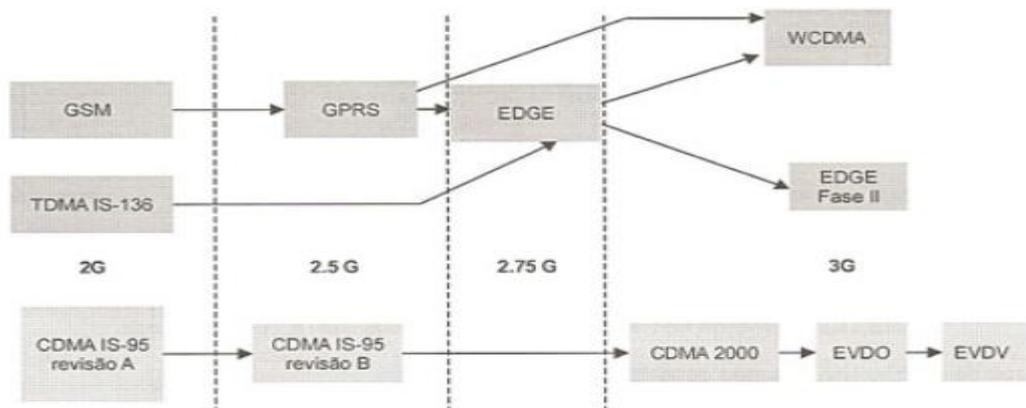


Figura 3- Evolução Para as Tecnologias 3G [22]

O objetivo de sistemas de terceira geração é proporcionar serviços multimédia aos utilizadores móveis. A introdução de elementos de rede PS e de melhorias nos esquemas de modulação rádio proporcionaram às redes UMTS elevados débitos que permitem o suporte de serviços PS.

O UMTS é o sistema tecnológico sucessor do GSM para a 3ª Geração de telemóveis. Esta tecnologia ultrapassa a segunda geração em termos de capacidade e de qualidade, permitindo o acesso a informação altamente móvel, especialmente multimédia. Foi standarizada pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) [1], entidade responsável por promover e especificar funcionalidades, que permitam a evolução das comunicações móveis 3G. O UMTS resultou de um projeto que criou um *standard* móvel, possível de ser utilizado universalmente (ao contrário da 2G, cujos sistemas americano e europeu são incompatíveis), alterando a forma como os telemóveis têm vindo a ser utilizados, ao disponibilizar uma grande variedade de serviços, especialmente relacionados com as tecnologias multimédia de elevado ritmo binário. [2]

Segundo o ETSI, os serviços UMTS possuem as seguintes características. [2]

- Capacidade multimédia e mobilidade global; alta velocidade e acesso ilimitado à Internet;
- Portabilidade entre os vários ambientes UMTS (permitindo o acesso às redes UMTS terrestre e de satélite); e
- Compatibilidade entre o sistema GSM e o UMTS, devendo os terminais possuir banda dupla ou poderem funcionar em ambos os sistemas.

Algumas das principais características dos sistemas UMTS são: [5]

- Interface rádio mais evoluída - WCDMA, com grande flexibilidade na utilização e multiplexagem dos serviços tradicionais;
- Planeamento de recursos rádio, tendo em consideração a multiplicidade de serviços oferecida e as exigências ao nível da qualidade de serviço, distintas para cada serviço, que devem ser tidas em conta no dimensionamento do sistema;

- Tecnologia de transmissão adaptativa e flexível, tendo vários níveis de codificação, maior robustez na operação com a presença de interferências, e grande eficiência espectral; e
- Maior eficiência no suporte de serviços baseados em pacotes.

A ideia principal da tecnologia usando redes 3G é fazer com que os utilizadores possam ter acesso móvel à internet com qualidade similar às conexões fixas de banda larga, de forma a conseguir aproveitar recursos como *streaming* de vídeo, aplicações de áudio, mensagens multimídia, entre outros. Não por menos, as operadoras começaram inclusive a comercializar os chamados "modems 3G", dispositivos equipados com cartões SIM desenvolvidos para permitir acesso à internet via redes 3G em note-books e desktops. [14]

Segundo Gouveia, a rede 3G surgiu em meados de 2001 prometendo interatividade via internet móvel no seu telemóvel. A rede 3G possui cobertura com qualidade superior a suas antecessoras. Com o advento dessa tecnologia novos serviços foram desenvolvidos. Passou a ser, assim, possível a realização de videoconferência, *download* de vídeos, jogos interativos e Voz sobre IP, tudo isso na tela do telemóvel e *tablet*. E as funções estão disponíveis em qualquer lugar, desde que haja cobertura da sua operadora. Resta então pormenorizar as vantagens introduzidas pela tecnologia 3G relativamente às anteriores: melhor qualidade de voz e a transmissão de informação muito mais rápida, sendo esta a principal vantagem da 3G, uma vez que a velocidade máxima teórica de transmissão de dados disparou para os 2 Mbits/s;

Afirma ainda o Gouveia, que os serviços multimédia com o aumento da velocidade e largura de banda, aumentam também a facilidade e simplicidade da troca de conteúdos multimédia, sejam vídeos, fotos ou músicas; Compatibilidade: outra característica importante da 3G é que os terminais que suportam esta tecnologia são totalmente compatíveis com as redes de tecnologias anteriores; Segurança: as ligações por 3G além de mais rápidas serão também mais seguras, o que abre portas para serviços empresariais que necessitem elevada segurança.

## 2.4 Arquitetura da Rede UMTS

Em termos de arquitetura as redes UMTS usam o mesmo núcleo que a GSM e a GPRS (CS). Contudo, no sentido de suportar PS é necessária uma evolução desta arquitetura e, para isso, foram adicionados novos elementos de rede, criando dois domínios distintos no núcleo da rede, PS e CS. [16]

A interface rádio é baseada em CDMA de banda larga (WCDMA), em que cada canal utiliza toda a banda de frequências disponível, sendo a separação de canais efetuada pela utilização de diferentes códigos. Os sinais codificados em CDMA ocupam uma banda de 3,84 MHz da banda total do canal (5 MHz), que é totalmente reutilizável. Para que seja suportado o tráfego heterogêneo e os diferentes débitos binários são utilizados OVSFs. A tecnologia UMTS suporta ainda funcionalidades como controlo de potência, micro e macro diversidade, diversidade nos sistemas de antenas de emissão, receção, controlo de acessos e de carga. [16]

A figura 1 ilustra a arquitetura do sistema UMTS. [1]

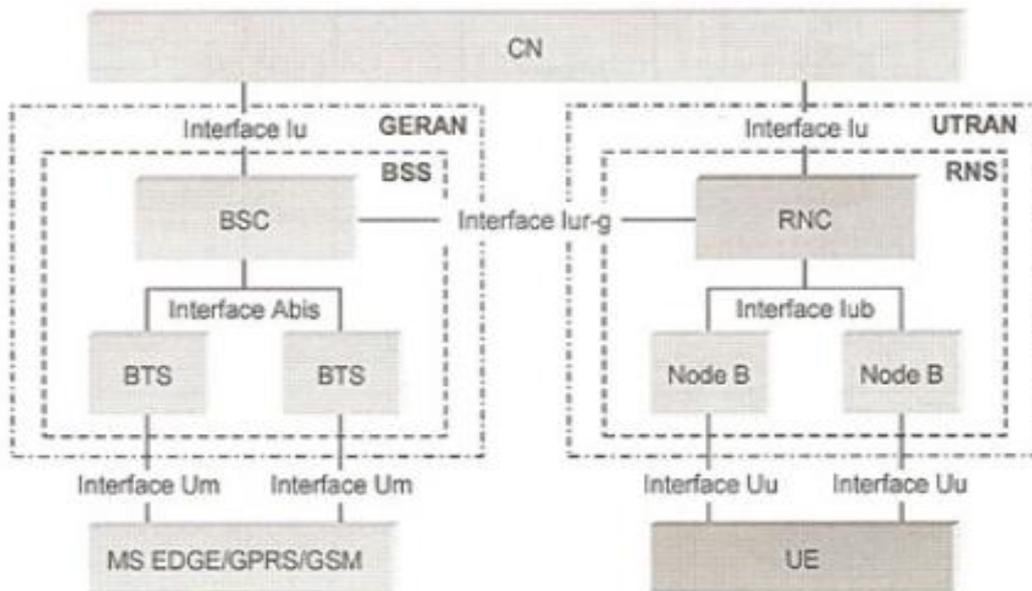


Figura 4- Conexão Modo Iu entre UTRAN e GERAN [22]

A arquitetura UMTS é formada pelos seguintes elementos: [1]

- UE (*User Equipment*);
- O UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*);

- O CN (*Core Network*).

O UE é o equipamento do utilizador, que inclui funcionalidades de transmissão rádio e as aplicações disponibilizadas aos utilizadores. O UE do UMTS baseia-se nos mesmos princípios do MS (*Mobile Station*) do GSM, isto é, na separação entre o equipamento móvel e o cartão USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*). O USIM contém dados do utilizador procedimentos e suporte de segurança relativos aos dados do utilizador e à rede; ME (*Mobile Equipment*), responsável pela transmissão rádio e pelas correspondentes aplicações.

A arquitetura UTRAN é formada por subsistemas de rede de RF (*Rádio Network Subsystem – RNS*), conectados à rede de suporte (CN). Essa conexão é feita pela interface Iu. Os subsistemas RNS integram os canais de RF UMTS à rede. Para implementar isso, existe a rede de suporte (CN). O subsistema RNS é formado por dois elementos:

O controlador da rede de RF (*Rádio Network Controller – RNC*): responsável por gerenciar recursos de radiofrequência, controlar os nós B, localizar o equipamento de utilizador (EU) e gerenciar a mobilidade do utilizador; Nó B (*Node B*): conecta a interface aérea com a infraestrutura móvel. É responsável por controlar os sinais de RF, realizar o espalhamento espectral dos códigos WCDMA, controlar os canais físicos e mapeá-los na portadora de RF. [1]

Em UMTS também são definidos vários canais lógicos associados ao tráfego do utilizador ou a informação de controlo. Os canais lógicos são mapeados em canais de transporte e estes, por sua vez, são mapeados em canais físicos da interface rádio. Os canais lógicos Broadcast Control Channel (BCCH), Paging Control Channel (PCCH) e Common Traffic Channel (CTCH) são unidirecionais enquanto e os canais Dedicated Control Channel (DCCH), Common Control Channel (CCCH) e Dedicated Traffic Channel (DTCH) são bidirecionais. [1]

O RNC se conecta com a rede de suporte (CN) através da interface Iu, com outro RNC através da interface Iur e, possivelmente, com outras BSCs da rede GERAN pela interface Iur-g. A rede GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*) é a rede até a geração 2.75, que inclui, portanto, GSM, GPRS e EDGE.

**Interface Uu-** Interface rádio do WCDMA entre o UE e o Nó B. A sua implementação é realizada mediante a utilização de WCDMA e o mapeamento dos canais de transporte em canais físicos.

**Interface Iu-** Conecta CN e UTRAN. Suas principais funções são:  
Interconectar o subsistema RNS com os pontos de acesso à rede CN dentro de uma PLMN, independente do fabricante desses componentes; suportar todos os serviços UMTS; permitir o interfuncionamento com o sistema GSM.

**Interface Iub** - situada entre um RNC e um Nó B. E utilizada pelo RNC para controlar o Nó B, que pode servir uma ou mais células.

**Interface Iur** - Permite a troca de informação de sinalização entre RNCs dentro de uma mesma UTRAN. Seus objetivos são: suportar interconexões de RNCs de diferentes fabricantes; separar as funcionalidades entre redes de RF e de transporte, para que novas tecnologias possam implementar mudanças nos dois aspetos de forma específica; realizar o interfuncionamento entre as redes UTRAN e GERAN.

## 2.5 Interface Rádio WCDMA

A tecnologia ao nível da interface rádio adotada para o UMTS é designada de WCDMA. O WCDMA é um padrão de interface rádio, entre o terminal móvel e a estação base, um sistema de banda larga que tem como base a tecnologia CDMA. A base de qualquer tecnologia de comunicações móveis é a sua interface rádio, pois esta será o suporte à comunicação e mobilidade dos respetivos utilizadores.

A Figura abaixo apresenta o sistema WCDMA, que contempla vários tipos de dispositivos de comunicação móvel denominados UE, que comunicam através de Nós B e redes de encaminhamento de dados, para outros telemóveis, telefones públicos, ou para a Internet via CN. Este diagrama evidencia ainda a divisão da CN em sistemas de voz (comutação de circuitos) e pacotes de dados (comutação de pacotes) e, como o sistema WCDMA é compatível com a banda dos 5 MHz do canal rádio WCDMA, com a banda dos 200 KHz dos canais GSM. [5]

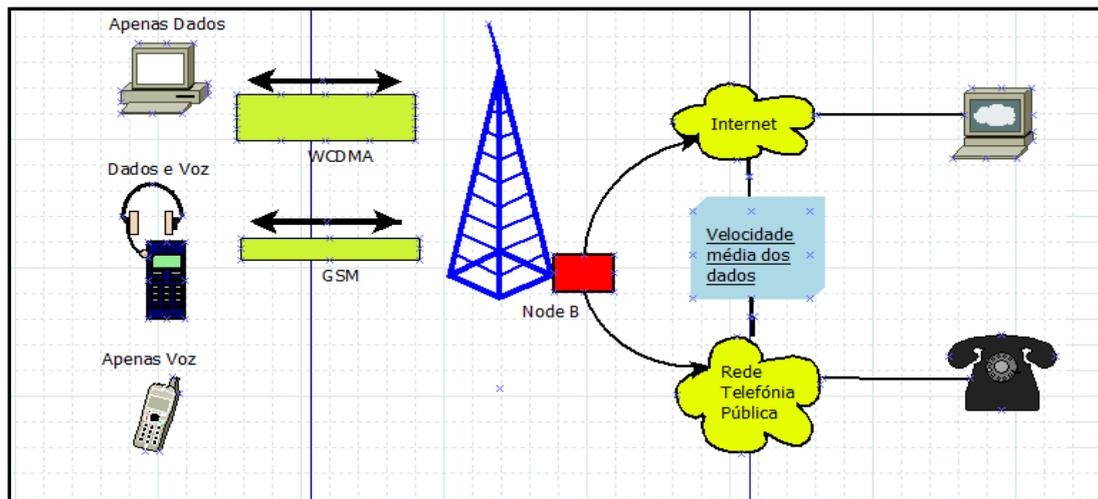


Figura 5 - Diagrama Simplificativo de um sistema WCDMA [5]

Tal como já foi mencionado anteriormente, a interface rádio Uu entre o terminal do utilizador e a UTRAN é baseada no WCDMA. O WCDMA utiliza como método de acesso múltiplo o DS-CDMA (*Direct Sequence Code Division Multiple Access*), com os vários terminais partilhando uma mesma banda de frequências, mas utilizando códigos diferentes de espalhamento espectral, funcionando em canais rádio com 5 MHz. Estes canais de rádio podem proporcionar vantagens significativas, inclusive maior diversidade de frequência e gestão flexível da capacidade entre serviços de voz e de dados.

O WCDMA possui dois modos básicos de operação: o TDD (*Time Division Duplex*) e o FDD (*Frequency Division Duplex*). No modo TDD, o uplink (comunicação no sentido do terminal móvel para a BS) e o downlink (comunicação no sentido da BS para o terminal móvel) partilham a mesma portadora em intervalos de tempo diferentes. O FDD utiliza frequências diferentes para o uplink e o downlink, separadas por uma frequência de 190 MHz.

As vantagens da utilização das redes 3G, nomeadamente da tecnologia de acesso rádio WCDMA, poderão basear-se em dois planos [5]: (i) no plano do utilizador, o sistema possibilita a introdução de novas facilidades e potencialidades na utilização de serviços de comunicações, e, (ii) segundo o plano do operador, oferece benefícios através de uma maximização da eficiência na utilização dos recursos rádio. Nesse contexto, o WCDMA surge como a principal solução para a interface rádio da 3ª Geração.

## 2.6 Evolução do UMTS

As especificações do UMTS estão em desenvolvimento pelo organismo de normalização 3GPP que lança releases acrescentando novas funcionalidades às anteriores. [6]

- A 3GPP Release 99 é a primeira versão do 3GPP e contém as especificações dos serviços básicos, da nova interface rádio WCDMA e da nova rede de acesso rádio UTRAN;
- A 3GPP Release 4, no fim 2001 corresponde a uma melhoria da anterior, introduzindo algumas correções ao nível da CN e da RAN (*Radio Access Network*);
- A 3GPP Release 5, no fim de 2002, as melhorias surgem ao nível da tecnologia de transporte, passando este a ser e estar baseado em IP (*Internet Protocol*) em vez de ATM, ao nível dos serviços de localização e de posição, bem como da integração de subredes de circuitos e pacotes. Definição de uma nova entidade a IMS (*IP Multimedia Subsystem*), uma plataforma de serviços para aplicações multimédia que teve como fundamento a independência da tecnologia de acesso tornando-se uma peça fundamental da convergência de redes. Nesta release também se referem os avanços realizados no domínio do PS, introduzindo-se para a ligação descendente o HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*).
- A 3GPP Release 6, terminada em 2005, veio melhorar as funcionalidades e serviços existentes, como a QoS, o LCS (*Location Services*), o MMS (*Multimedia Messaging Service*), a segurança, a GERAN (*GSM EDGE Radio Access Network*), a interface rádio e a gestão dos recursos rádio. Nesta fase, as principais alterações passaram pela atualização do IMS (*IP Multimedia System*) e pela interligação entre o UMTS e outras tecnologias do acesso rádio, tais como o WLAN (*Wireless LAN*). Para além disso, desenvolveu-se uma nova tecnologia que permitiu aumentar as taxas de transmissão na direção ascendente (até aos 10 Mbps), semelhante ao HSDPA, denominado HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*). Os desenvolvimentos do HSDPA (Release 05) e do HSUPA (Release 06) definiram uma nova interface para envio de dados com a introdução de canais HS - *high-speed*, permitindo transmissões de dados a velocidades até 14,4 Mbits.
- A 3GPP Release 7 mantém o progresso do UMTS, considerando a atualização das funcionalidades das releases anteriores. Com os avanços na área de padrões

tecnológicos entre 2006 e 2007, dá-se a evolução HSPA para Release 7 ou HSPA+. Esta etapa de padronização pretende prover velocidades e capacidades maiores, oferecendo melhor suporte para serviços interativos e de conversação em tempo real (e.g. VoIP, jogos interactivos e push-to-talk para telemóveis). Melhorias incluem recursos como a utilização de sistemas de antenas MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) para a interface rádio, gerando taxas de transmissão máximas teóricas acima dos 14 Mbps disponíveis hoje, aumentando também a eficiência espectral da interface rádio. Inclui também avanços do RAN, como conectividade contínua, redução de latência, melhorias de Rede Nuclear e IMS relacionadas à telefonia multimédia, suporte para continuidade de chamadas de voz, e Convergência de Cobrança e Políticas (*Policy and Charging Convergence - PCC*).

- A Rel-7 padroniza a Evolved EDGE e deve melhorar a experiência do utilizador em todos os serviços de dados, reduzindo a latência, aumentando as taxas de transferência de dados em todos os serviços, melhorando a eficiência no uso do espectro e expandindo a área de cobertura. A evolução da tecnologia EDGE, com o desenvolvimento contínuo to Release 8, permite garantir a transparência entre EDGE e HSPA, além de serviços futuros baseados em LTE.
- Atualmente, o 3GPP está a desenvolver um projeto focado na evolução de longo prazo LTE (*Long Term Evolution*) da EUTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*) ou a Air-Interface Evolution, cujas especificações foram aprovadas em janeiro de 2008 e farão parte do Release 8 do 3GPP. Pretende desenvolver uma estrutura otimizada para pacotes baseada numa tecnologia de acesso via rádio. O LTE utiliza a tecnologia OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) no downlink e SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) no uplink, oferecerá velocidades de downlink de 100 Mbits e 50 Mbps no uplink, ambos com uma banda de 20 MHz, operações nos modos FDD e TDD e uso de antenas MIMO.

Com o exposto, a UMTS e a sua evolução, a longo prazo, devem atender às novas necessidades dos utilizadores, nomeadamente a crescente procura por serviços de dados de alta velocidade nos próximos anos.

## 2.7 Controlo de Potência

O controle de potência é uma característica essencial ao funcionamento do sistema WCDMA. Ele melhora o desempenho da rede móvel como um todo, influenciando na capacidade de cada célula, que está diretamente ligada com o nível de interferência. Seu objetivo principal é ajustar a potência de cada transmissor de modo que o sinal recebido permaneça em um nível mínimo aceitável para ser decodificado e interfira o quanto menos nos outros transmissores, o que melhora também a eficiência espectral. Temos um controle de potência para downlink e para uplink.

O controle de potência é realizado a uma frequência de 1500 Hz. Existem dois mecanismos de controlo de potência: controlo em malha aberta e controlo rápido em malha fechada.

- Controlo em malha aberta  
É usado para especificar as potências iniciais transmitidas na fase em que o equipamento móvel está a aceder à rede;
- Controlo rápido em malha fechada  
Corresponde à capacidade do equipamento móvel ajustar a sua potência transmitida no uplink em resposta a comandos recebidos no downlink, por forma a que se mantenha no Nó B uma relação objetiva entre as potências do sinal e dos canais interferentes (*Signal-to-Interference Ratio – SIR*).

## 2.8 Estudo de Parâmetros UMTS

De modo a realizar um estudo eficiente para o planeamento de uma rede UMTS, torna-se necessário ter a noção de alguns parâmetros de medida. Segue-se a descrição dos principais parâmetros. [7]

O CPICH (*Common Pilot Channel*) representa o canal piloto ao qual se efetua a sincronização enquanto se dá a procura por uma estação base apropriada. O canal piloto é transmitido continuamente num canal de rádio e serve, principalmente, como referência para identificação da estação rádio base (ERB) que melhor serve o UE. O parâmetro  $E_c$  corresponde ao nível de potência recebido no CPICH. Pode ser definido como nível de

sinal em termos de energia por chip. A Tabela 2 apresenta os valores relativos aos níveis de  $E_c$  para o estudo da cobertura.

<b>Tipo de cobertura</b>	<b>Nível de Sinal</b>
<b>Boa cobertura indoor</b>	-77 a -70 dBm
<b>Cobertura razoável indoor e boa cobertura outdoor</b>	-82 a -77 dBm
<b>Cobertura outdoor razoável e fraca cobertura indoor</b>	-90 a -82 dBm
<b>Fraca cobertura outdoor e má cobertura indoor</b>	-100 a -90 dBm
<b>Má cobertura outdoor e indoor (podendo mesmo ser inexistente)</b>	-160 a -100 dBm

**Tabela 2- Níveis de Sinal para o mapa de cobertura  $E_c$  [7]**

O parâmetro  $I_o$  representa a densidade espectral de potência equivalente do ruído térmico e interferência. Por sua vez, o parâmetro  $E_c/I_o$ , representa a relação entre a energia transmitida por chip num canal escolhido e a densidade espectral da potência total transmitida na estação de base. Define-se como um parâmetro associado à avaliação da qualidade de um sinal CDMA, pois equivale à taxa de erro prevista nos sistemas CDMA e significa a razão entre o nível de sinal e o ruído em banda.

Para estimar a qualidade de transmissão, é necessário ter presente que para uma boa receção, recomenda-se um nível de  $E_c/I_o$ (dB) para o canal piloto dentro deste intervalo:

<b>Meta Operacional Adotado</b>
Min: $-3 < E_c/I_o < 0$ Máx:

**Tabela 3 - Nível de  $E_c/I_o$  recomendado**

Na prática, o nível de  $E_c/I_o$  nunca apresentará o valor 0, pois, tal significaria ausência total de ruído. Representando este parâmetro, a relação entre a energia de chip do SC analisado e a soma de todas as energias presentes no canal, apresentará valores negativos. Isto deve-se ao fato de a soma de todas as energias presentes no canal incluir a própria energia do SC analisado, logo a  $I_o$  é sempre superior a  $E_c$ . O valor ideal de  $E_c/I_o$  encontra-se na ordem dos -3 dB.

Em sistemas de acesso WCDMA, múltiplos utilizadores tentam comunicar constantemente com o Nó B utilizando a mesma banda de frequência, sendo apenas reconhecidos através do uso de códigos ortogonais entre si, que os identificam univocamente [8]. Todos os utilizadores partilham os mesmos recursos rádio, sendo identificados através de códigos únicos, em que cada utilizador aparenta ser ruído branco para os outros utilizadores do sistema, emitindo apenas a potência estritamente necessária. [9]

A estação "escuta" simultaneamente as várias tentativas de acesso, sendo essencial existir controlo de potência para o correto funcionamento de uma rede WCDMA. Este procedimento, denominado controlo de potência, pode ser descrito como o mecanismo através do qual a potência de emissão de cada utilizador é controlada de modo a que a potência recebida na estação base seja igual para todos os utilizadores do sistema [8]. Este mecanismo é imprescindível, pois, aumenta a estabilidade da rede e previne o efeito designado por próximo-longe (near-far), permitindo, desta forma, que os utilizadores mais distantes possam emitir com maior potência (a fim de minimizar a interferência), enquanto que os mais próximos emitem com menor potência. [13]

Este procedimento contribui ainda para melhorar o desempenho global, uma vez que o nível de potência transmitido por cada móvel é controlado de modo a que, na estação base, seja mínima a relação potência de sinal/potência de interferência ( $E_c/I_o$  médio passa a ser menor). Deste modo, é garantido que todos os utilizadores sejam escutados pelo Nó B em igualdade teórica de condições, bem como que o nível de ruído fixo da rede adicionado pelos diversos utilizadores seja o mínimo possível. Tanto a capacidade como a qualidade do sistema WCDMA são limitadas pela interferência existente, consequência da perda de ortogonalidade entre códigos que possa existir, devido ao fenómeno de multipercurso associado à propagação radioelétrica do sinal pelos demais acessos provenientes dos utilizadores da rede. [13]

O parâmetro Active Set (AS) define-se como o conjunto de scrambling codes (SCs) associados com canais que são atribuídos a uma unidade de assinante, isto é, o conjunto de estações base, Nós B, ao qual o terminal móvel está simultaneamente conectado. No downlink, os SCs permitem diferenciar cada célula/sector. Um SC é considerado como um possível membro do AS se for suficientemente forte comparativamente ao SC mais forte. Se a diferença (em módulo) entre a potência de código do SC mais forte e a potência de

código de um SC, for menor que um valor padrão (em dB), este passa a ser aceite efetivamente no AS. [13]

Um AS pode conter vários SCs associados, fazendo esta parte do mesmo canal UARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*), ou de canais distintos. Em condições ideais, o AS é composto por um conjunto de SC pertencentes a canais diferentes ou apenas um SC de um determinado canal. A existência de mais do que um SC por UARFCN pertencente ao AS, provoca aumento da interferência e desperdício de recursos rádio. No entanto, é desejável que se verifique esta situação quando o utilizador se desloca entre células, captando SCs do mesmo canal proveniente de diferentes N<sup>o</sup> Bs, pois, somente assim estão reunidas as condições para que se processe o soft-handover. Nos sistemas WCDMA, todos os móveis repartem o mesmo canal em cada célula. Neste caso, o handover não significa uma mudança física no canal atribuído, mas apenas que outra estação base passa a manipular a tarefa de controlar o canal. [15]

O MSC monitoriza os sinais recebidos em várias estações base, emitidos pelo mesmo móvel e decide qual a versão do sinal do móvel é a melhor. A esta capacidade de seleccionar entre sinais recebidos instantâneos provenientes de uma variedade de estações base, designa-se por soft-handover. [15]

Os códigos de scrambling usados em UMTS permitem fazer a racionalização dos recursos de rádio em particular a nível móvel e a nível do terminal, isto é, são responsáveis pela separação dos terminais (uplink) e dos setores/células downlink. Os SCs não afetam a largura de banda necessária, pois são essencialmente códigos longos de 38400 chips no caso do downlink e a sua utilização é espaçada no tempo (10ms). Existem 512 opções diferentes de códigos utilizáveis, o que possibilita um planeamento simples. [15]

## **CAPÍTULO 3 ESTUDO DA MÉTRIC**

### **3.1 Introdução**

Metric é uma ferramenta/aplicação de gerenciamento de redes de telecomunicações, no qual dispõe de um ambiente de trabalho integrado e colaborativo, permitindo aos utilizadores compartilhamento de dados, relatórios, mapas e rastrear problemas de rede em fluxo de trabalho escalável. Uma das grandes vantagens da Metric é que os projetos são compartilhados. Ligam pessoas, dados e processos num único lugar, juntando equipas para um trabalho mais produtivo.

### **3.2 Módulo Tarefas**

Com a evolução das novas tecnologias de informação e de comunicação – TIC, trabalhar em conjunto acabou por ser mais fácil. Como foi frisado anteriormente, a Metric permite gerenciar tarefas e compartilhar informações entre equipas e indivíduos.

A Metric foi projetada para ajudar pessoas envolvidas em um projeto comum para alcançar objetivos, isto é, mostra aos membros da equipa o que precisam fazer, identificar ações críticas e acompanha a informação em constante mudança do projeto. Poder-se-á definir em conjunto fluxos de trabalho de amostra que podem orientar em função do objetivo definido e da meta que se pretende atingir.

#### **Fluxos de trabalhos**

Na definição dos fluxos de trabalhos, há que levar em consideração os seguintes procedimentos:

- Título do fluxo de trabalho;
- Passos e/ou sequências de um Fluxos de trabalho, desde que seja uma sequência linear; cada passo será o status da tarefa;
- O papel atribuído aos indivíduos para cada tarefas.

### 3.3 Vista Principal

A figura 6 mostra a interface gráfica da tela principal da Metric, com a ilustração da legenda das principais funcionalidades.

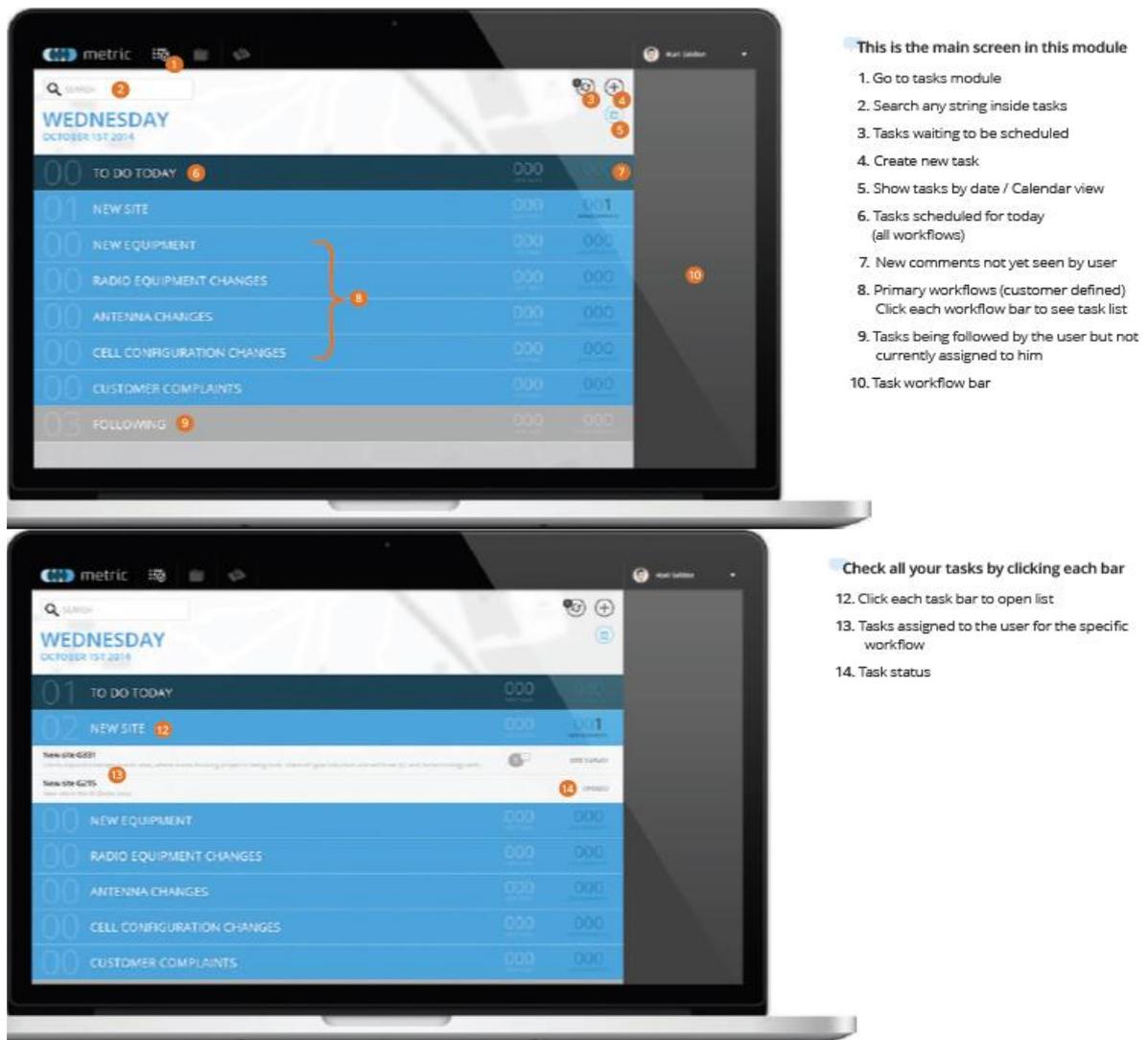


Figura 6 - Vista Principal da Métric [11]

### 3.4 Módulo Arquivos

Com o desenvolvimento das TIC tornou-se mais fácil fazer o gerenciamento dos arquivos. A Metric permite aos utilizadores compartilhar e pesquisar logs de testes de unidades de catálogos, topologia de rede e estatística usando tags e palavra-chave.

O design da interface do utilizador, combinado com a forte capacidade de pesquisa e relatórios, fornece uma maneira mais confortável de lidar com grandes quantidades de dados, organizar arquivos e simplifica a maneira de trabalhar. Ao nível dos arquivos, são

organizados por data, bem como por tags definidas pelo utilizador. Relativamente à pesquisa está disponível para ambos os casos, por nome do arquivo e também por tags definidos pelo utilizador. O upload dos arquivos é feito facilmente arrastando e soltando o mesmo.

A figura 7 faz a Ilustração do módulo arquivo da ferramenta Metric e a respetiva legenda.

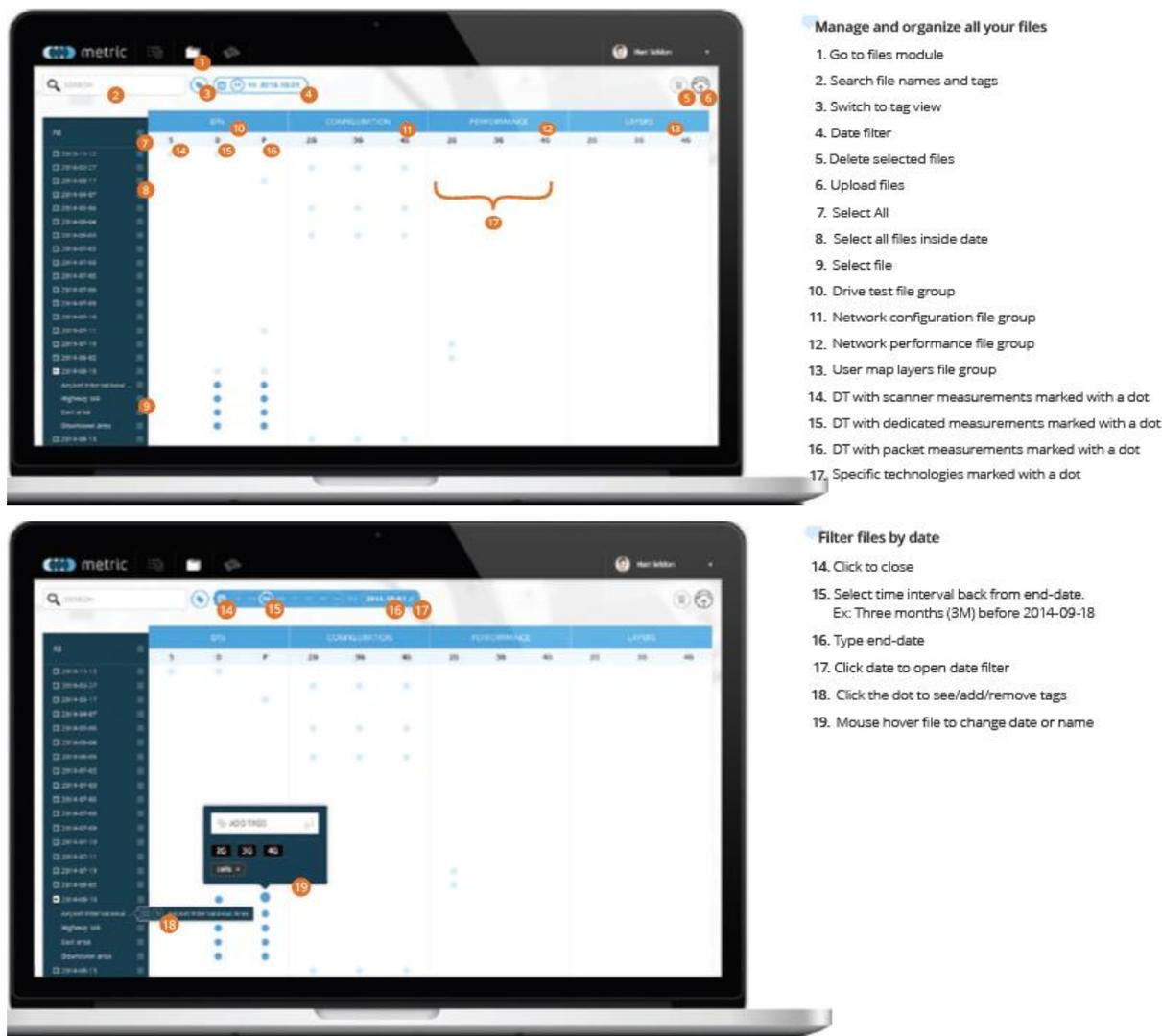
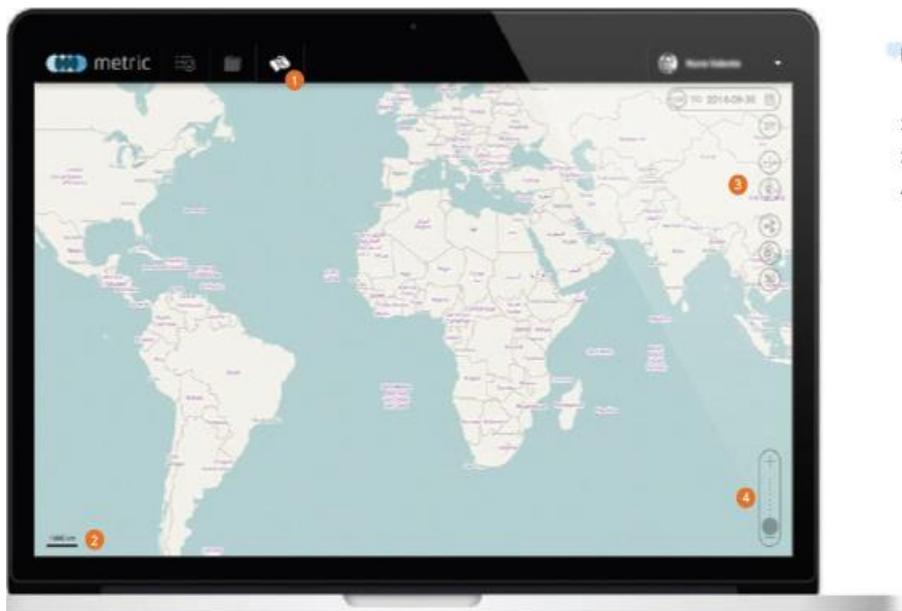


Figura 7 - Módulo de Arquivo [11]

### 3.5 Módulo Mapas

Hoje em dia, a localização dos dados passou a ser muito mais fácil e eficiente. O mapeamento melhora a análise dos dados de teste de unidade, tornando mais fácil a visualização e solucionar problemas de desempenho da rede. As conclusões e resultados alcançados com menos esforço e de forma mais eficiente. Ainda relativamente ao módulo mapas da Métric pode-se pesquisar, mostrar e fazer a comparação dos dados.



#### Locate your data

1. Go to maps module
2. Scale
3. Map tools
4. Zoom slider or shift+click on the map to zoom into a specific area.

**Figura 8 - Módulo Mapa**



#### Locate your data

1. Show Metric bar
2. Date filter
3. File filter
4. Split screen
5. Choose map/satellite source (Open street maps or google maps)
6. Show/hide cells
7. Show/hide drive-test Measurements/Events
8. Draw rectangles, lines, paths or add markers

**Figura 9 - Módulo Mapa Ilustrando as Ilhas de Cabo Verde [11]**

Em módulo mapa, pode-se usar os filtros de data e arquivos para filtrar as informações a serem coletadas do banco de dados de teste de unidade. Sempre existe um filtro ativo, o filtro das coordenadas. Todos os dados são sempre filtrados para a janela visível, independentemente dos filtros de arquivo ou data.



Figura 10 -Módulo de Mapa Filtragem de Informação [11]

### 3.6 Divisão de Tela

Pode-se usar o botão de tela dividida para comparar, lado a lado, diferentes medições da mesma rota ou rotas diferentes da mesma área.



Figura 11- Divisão de Telas [11]

### 3.7 Fontes do Mapa

Tem a possibilidade de escolher entre duas fontes diferentes de mapas e satélites, Open Street Maps e Google Earth. Ainda para destacar os seus dados, também pode visualizar o fundo do mapa em escala de cinza.



Figura 12 - Fontes do Mapa [11]

### 3.8 Células

O Botão das células mostra as células mais recentes relacionadas ao filtro de data carregado no banco de dados da Metric. Ao clicar novamente nas células elas ficam ocultas. As cores das células identificam a banda/frequência, em que o light purple para GMS, roxo para DCS, amarelo claro para o primeiro transportador UMTS, amarelo para o segundo transportador UMTS.



Figura 13–Células [11]

### 3.9 Medições e Eventos

Pode-se mostrar uma medida e um máximo de cinco eventos em uma visualização de mapa; pode igualmente, escolher entre medidas dedicadas de pacotes ou varreduras e de medições 2G, 3G ou 4G.



Figura 14 - Medições e Eventos [11]

### 3.10 Ferramentas de Desenho

O objetivo principal de desenhar no mapa da metric é o seguinte: medir a distância, obter o número de pontos, valor máximo, médio e mínimo de uma medida dentro de um retângulo, criar tarefas em marcadores, linhas, caminhos e retângulos.



Figura 15 - Ferramentas de desenho [11]

Como vimos na descrição desta aplicação, a Metric é uma ferramenta muito importante para fazer a gestão das redes de telecomunicações, com uma enorme vantagem de trabalhar num ambiente integrado e colaborativo, compartilhamento de dados, mapas e rastrear problemas de rede em fluxo de trabalho escalável.

## **CAPÍTULO 4 PLANEAMENTO MÓVEL 3G EM CABO VEDE**

### **4.1 Introdução**

Com o avanço da Internet, o aumento dos serviços multimédia e a necessidade de ter acesso a estes serviços, enquanto estamos em movimento e exigindo ao mesmo tempo, cada vez mais uma maior largura de banda. Esta exigência revelou as limitações do GSM, a taxa de transmissão de dados é demasiado baixa (9.6 kbps), como é o caso da GPRS e EDGE. Respondendo às exigências do mercado, em termos de serviços com elevadas taxas de transmissão, começou, assim, a evolução das redes GSM.

No caso específico de Cabo Verde, a introdução de tecnologias 3G permitirá não só as atuais operadoras GSM uma redução expressiva nos custos de implementação de novos serviços, bem como oferta alternativa aos consumidores de acesso à internet de banda larga (banda larga móvel). Também permite a reutilização de infraestruturas já existentes, pelo uso de estações dual-mode e da mesma plataforma central de rede. Hoje, dada a necessidade de fornecer de forma simultânea os serviços multimédia, com qualidade necessária aos utilizadores, estão a ser desenvolvidas as redes 4G.

### **4.2 Evolução Histórica da Rede Móvel cabo-verdiana**

A operadora caboverdiana CVTelecom, nasceu da cisão dos CTT-EP em 1994, originando a separação dos negócios correios e telecomunicações, resultando na criação da sociedade anónima, a Cabo Verde Telecom. Seguiu-se, em 1995, a privatização da CVTelecom com a entrada do parceiro estratégico, a Portugal Telecom. Graças à CVTelecom, Cabo Verde possui hoje, uma infraestruturas de telecomunicações apoiada nos conceitos de segurança, qualidade, e digitalização com uma base de clientes, ultrapassando os 60 mil clientes com acesso telefónico. [21]

A CVTelecom é líder no sector, oferecendo aos seus clientes uma grande diversidade de serviços e soluções que se estende aos serviços da rede fixa, comunicações de dados, circuitos alugados, videoconferência e cartões Pré-Pagos. Atenta às necessidades do seu mercado, o serviço da rede fixa assegura as comunicações no país, e do país para além-fronteiras e proporciona aos clientes os mais modernos meios de comunicação como instrumentos de acesso à sociedade de informação. Para as empresas e outros clientes com

interesses profissionais, a CVTelecom oferece as soluções ideais que procuram rentabilizar o negócio e potenciar as capacidades de comunicação. Consubstanciando na sua promessa de marca performance e proximidade, para além da modernização tecnológica, a CVTelecom procura a interação constante com o mercado e a prestação de um serviço de elevada qualidade. E é assim que desde 2007 a CVTelecom é uma empresa certificada a nível de Qualidade no Processo de Apoio ao Cliente e, em 2008, no âmbito do "Serviço ao Cliente" pela APCER - Associação Portuguesa de Certificação. A valorização da qualidade torna-se elemento crítico de excelência e de melhoria contínua de satisfação dos clientes, pela CVTelecom. [21]

A primeira chamada móvel em Cabo Verde foi efetuada a 15 de dezembro de 1997 através da operadora CVMóvel que era a única operadora do país na altura. Em finais de outubro de 2006, a CVMóvel já operava em todas as ilhas do arquipélago usando o standard GSM 900MHz/1800 MHz e contava com mais de 100 mil assinantes na sua base de clientes. Os terminais desta tecnologia já efetuavam, para além de comunicação de voz, a transmissão de dados *Short Message Service* (sms) que surgiu no ano 2000 em Cabo Verde. [21]

No ano de 2008, a CVMóvel alcançou o número de 250.000 clientes, ao mesmo tempo que inovava e lançava no mercado a sua rede de dados GPRS/EDGE, disponibilizava ao público o seu portal *Wireless Application Protocol* (WAP) e o primeiro serviço nacional de internet móvel. Em finais de 2010, foi lançado o serviço 3G. Com as necessidades dos utilizadores num futuro próximo, vai ser precisa a implementação do serviço 4G, o que neste momento já se encontra em estudo.

### **4.3 Licenciamento**

Em Cabo Verde estão atualmente licenciadas duas operadoras do serviço móvel terrestre. Ambas as operadoras utilizam redes GSM (2G) nas faixas de 900 MHz e 1800 MHz. Habitualmente, a atribuição de direitos de utilização de frequências para o serviço móvel terrestre é feita através de concurso público ou leilão.

Tanto na realização do concurso público como no leilão os direitos de utilização de frequências podem ser adquiridos por qualquer operador móvel que esteja interessado em

operar no mercado cabo-verdiano, abrindo a possibilidade de entrada de um novo operador no mercado, uma vez que o espectro foi planejado para três operadores móveis. Caso venha a entrar no mercado um novo operador móvel, coloca-se em questão o prazo a ser dado aos operadores para iniciar as suas atividades comerciais, uma vez que um novo operador provavelmente precisará de um prazo maior para o início normal da sua atividade comercial. [20]

#### **4.4 Padrões**

A UIT definiu seis padrões para as redes 3G. Na Europa onde o padrão GSM é o dominante a maioria dos operadores optaram pela W-CDMA (UMTS), mantendo a vantagem de se ter um padrão homogêneo o que facilita o *roaming* nacional e internacional. Tendo em conta que ambos os operadores existentes no mercado cabo-verdiano usam o padrão GSM, a ANAC poderia definir um padrão a ser usado por todos os operadores 3G de forma a garantir uma maior harmonização, o que facilitaria a interoperabilidade entre as redes. [20]

#### **4.5 Serviços**

As redes 3G diferenciam-se das redes 2G pela grande diversidade de serviços que podem proporcionar aos seus utilizadores. Hoje em dia qualquer utilizador da rede móvel espera ter no seu terminal móvel todo o tipo de serviço (voz, dados e imagens) que lhe é facultada noutras redes de comunicações, a uma grande velocidade (banda larga) e com a qualidade garantida, a um preço acessível.

#### **4.6 Frequências**

O espectro de frequências para sistemas 3G foi primeiramente definido pela UIT em 1992 na WARC – 92 (*World Administrative Rádio Conference*). Nesta conferência aos padrões 3G foram dados a designação de IMT-2000. A UIT designou as bandas de frequências 1885 – 2025 MHz e 2110 – 2200 MHz para o IMT 2000 conforme pode ver na figura 15 abaixo indicada. [20]

Na WRC-2000 (*World Radio Communication Conference*) foram designadas bandas de frequências adicionais para o IMT-2000, 806-960 MHz, 1710 – 1885 MHz e 2500-2690 MHz para serviços móveis terrestres e por satélite (MSS). A ANAC propõe a utilização

das faixas de 1885 – 2025 MHz, 2110 – 2200 MHz e parte da faixa de 1710-1885 MHz para 3G em Cabo Verde. O espectro para 3G móvel terrestre está dividido em faixas emparelhadas (FDD) e faixas não emparelhadas (TDD). FDD é mais recomendado para amplas zonas e TDD para áreas de grande densidade. [20]

Spectrum allocation for IMT-2000 sa designated by the IUT at WARC-92

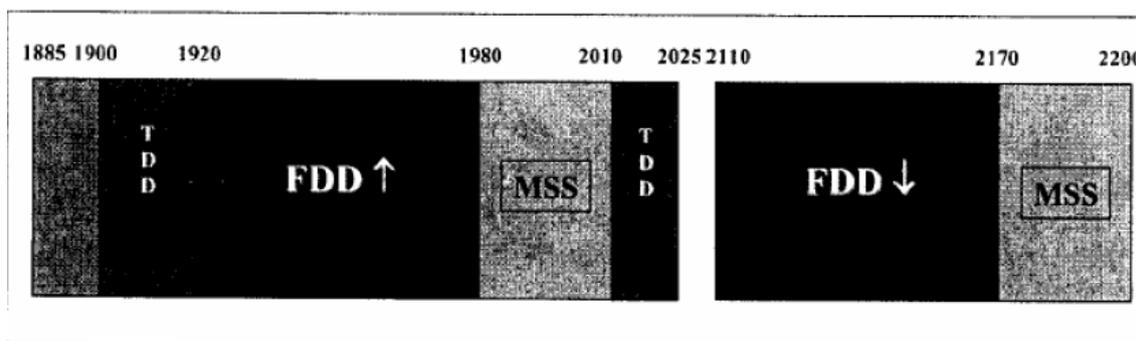


Figura 16 - Espectro de frequências para o IMT-2000 (WARC-92) [20]

#### 4.7 Planeamento

O planeamento de um sistema móvel consiste no desenvolvimento otimizado de 3 (três) procedimentos de cálculo distintos: área de cobertura, capacidade de tráfego e reuso de frequência. Na estimativa da área de cobertura devem ser utilizados modelos de propagação adequados a cada situação. Fundamentalmente, tais modelos estão associados ao posicionamento e altura da ERB relativamente à altura média dos prédios. Em geral, no caso de células grandes ou pequenas, as antenas devem ser posicionadas acima desta média, de modo a minimizar o efeito de bloqueio pelas construções mais próximas. Por outro lado, nas micro-células, a cobertura, intencionalmente limitada para facilitar o reuso de frequência, sugere que a localização seja feita em uma altura da ordem de grandeza da correspondente aos postes de iluminação das ruas.

No caso de pico-células, o posicionamento das ERBs depende fortemente das características geométricas específicas da área a ser coberta. Relativamente à capacidade de tráfego, a avaliação do número de utilizadores por célula requer uma cuidadosa análise socioeconómica da área em estudo. Entretanto, tomando por base a experiência acumulada pelas empresas operadoras, é possível estabelecer valores típicos que definem o tráfego por área em função das características da área considerada. Dispondo-se deste dado e calculado

o raio de cobertura, obtém-se o tráfego por célula. A partir deste ponto, fazendo-se uso mais uma vez de dados típicos que permitam definir o tráfego médio por utilizadores, fixando-se o grau de serviço e com o auxílio da fórmula de Erlang [19], chega-se, finalmente, ao número necessário de canais em cada célula. A seguir, em função do número de canais por célula, procura-se ajustar a estrutura de reuso a ser empregada, onde, por exemplo, os conjuntos 4/12 e 7/21 são os mais utilizados em sistemas FDMA e TDMA. Conforme comentado acima, os resultados obtidos nos três procedimentos descritos devem ser compatíveis, caso contrário, o processo deverá ser refeito, alterando-se os valores dos parâmetros considerados mais sensíveis.

Cumprido destacar que a altura da ERB constitui um importante parâmetro de ajuste, permitindo modificar o raio de cobertura da célula e, conseqüentemente, a capacidade de tráfego e a distância de reuso. Obviamente, existem outros parâmetros que permitem atingir este objetivo, como, por exemplo, a potência de transmissão e o ganho das antenas. Entretanto, são parâmetros que dependem das especificações fixadas pelos fabricantes de equipamento, não possuindo a flexibilidade apresentada pela altura da antena da ERB.

#### **4.8 Tipos de Células**

Nos serviços de radiodifusão pretende-se servir a maior área possível. Nos serviços móveis já se pretende que a cobertura do emissor não ultrapasse os limites de uma certa área, designada por célula. Esta célula tem uma dimensão pré-estabelecida, assegurando que a mesma frequência pode ser reutilizada noutra célula próxima, mantendo a interferência co-canal a um nível controlado. As células podem ser classificadas, tendo em conta o tamanho, segundo quatro classes: a macro-célula, pequena macro-célula, micro-célula e pico-célula. Estas classes acabam por mostrar várias diferenças no ambiente de propagação, para além do tamanho. Esta definição de células não é única na literatura, sendo que estes tipos são comparados na tabela 4. [12]

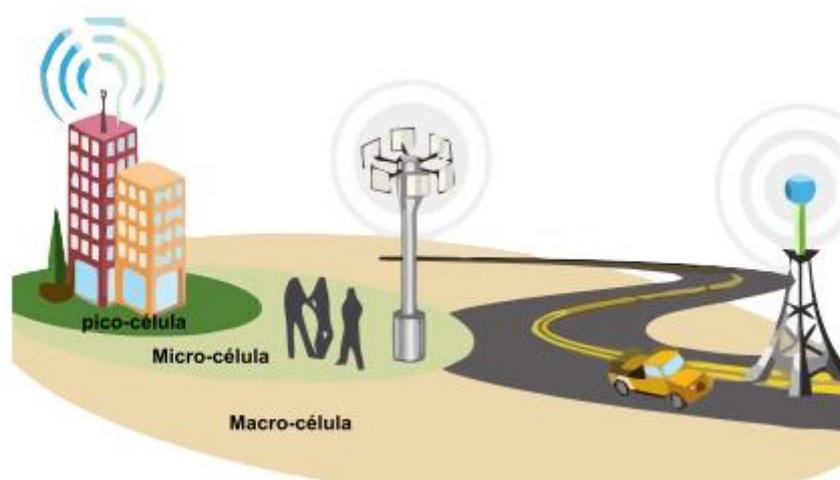


Figura 17 - Representação dos vários tipos de células [12]

As zonas designadas por macro-células têm cobertura com dimensões que podem chegar até trinta quilómetros, em que as antenas da estação emissora encontram-se tipicamente a uma altura superior ao topo dos edifícios, enquanto que a antena de receção se encontra na zona de sombra dos obstáculos. As frequências de operação são em geral VHF/UHF. As pequenas macro-células têm cobertura com dimensões que podem chegar até dois ou três quilómetros e a altura de alguns edifícios pode estar acima da estação base. [12]

As micro-células têm cobertura com dimensões na ordem de centenas de metros, onde a antena recetora e emissora estão, em geral, em linha de vista e abaixo do topo dos edifícios. Normalmente, esta célula é uma rua, com a antena emissora colocada no poste de iluminação ou no topo de um edifício, de modo a cobrir a rua. Em geral operam em frequências acima de 1-2 Ghz e é característico do sistema UMTS. Para o caso de ambientes interiores, têm-se as pico-células, que dependendo do serviço podem ter frequências de operação nos GHz. [12]

Tipo	Raio	Posição da antena base
<b>Macro-célula</b>	1 a 30 km	Exterior; Base montada acima da média dos edifícios, com uma altura superior a todos os edifícios;
<b>Pequena</b>	0.5 a 3 km	Exterior; Base montada acima da média dos edifícios, com uma altura inferior a alguns edifícios;
<b>Micro-célula</b>	até 1 km	Exterior; Base montada abaixo da média dos edifícios;
<b>Pico-célula</b>	até 500 m	Interior; Base montada abaixo dos edifícios;

Tabela 4 - Definição dos tipos de célula [12]

#### **4.9 Informação Geográfica de Cabo Verde**

Cabo Verde é um país situado, a cerca de 570 quilómetros da costa da África Ocidental, perto do Senegal e da Mauritânia e, situando-se em pleno oceano atlântico. Terá sido descoberto no século XV, em 1460 por navegadores portugueses que iniciaram de imediato o seu povoamento e colonização no ano 1462.

É um país composto por dez ilhas vulcânicas ocupando a área total de aproximadamente 4000 quilómetros quadrado. De acordo com a projeção demográfica de 2016 possui cerca de 539.560 habitantes, distribuído por nove ilhas: Santo Antão, São Vicente, São Nicolau, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava. A ilha de Santa Luzia não é habitada. Possui 22 municípios e 32 freguesias, sendo que a cidade capital chama-se Praia e fica na ilha de Santiago, a maior ilha tanto em termos geográficos, populacionais e económicos.

O país foi designado por Cabo Verde porque, na altura da descoberta, quando os portugueses encontraram as dez ilhas espelhadas no meio do oceano, ficavam localizadas perto do Cabo Verde do Senegal, por isso deram-lhes exatamente o mesmo nome. Do ponto de vista demográfico, o povo cabo-verdiano é descendente de africanos e de europeus, sendo estes, na sua maioria, portugueses, mas também italianos, franceses, de entre outros povos europeus. Por isso, o povo cabo-verdiano é considerado como sendo mestiço.

O país apresenta alta taxa de desemprego, sendo fundamentalmente estrutural, encontrando-se ligado à fraqueza de base produtiva e às próprias características da economia. A estrutura produtiva não consegue gerar emprego suficiente para absorver a mão-de-obra disponível. Há uma elevada taxa de fecundidade que está acima das reais possibilidades do país, com consequências negativas nas condições de vida das populações. Por isso, Cabo Verde é um país fortemente marcado pela emigração, isto é, cabo-verdianos que vão para outros países à procura de melhoria nas condições de vida, principalmente para os Estados Unidos, Portugal e França. Consta que há mais cabo-verdianos a residir no estrangeiro do que no próprio país.

A nível religioso o povo cabo-verdiano é na sua maioria católico, totalizando cerca de 85% da população religiosa. A língua oficial dos cabo-verdianos é o português, usado nas escolas, na administração pública, na imprensa e nas publicações. No entanto, a nível

nacional, ou seja, a língua do povo é o crioulo cabo-verdiano. Do ponto de vista económico, é um país em que se aposta muito no turismo e nos investimentos estrangeiros, que usufruem do clima quente durante o ano todo, da paisagem diversificada e da riqueza cultural, especialmente na música (bataque, funaná, morna e coladeira).

Quase não chove, sendo que a época considerada de chuva são os meses de julho, agosto e setembro. Politicamente, vigora no país o regime democrático com muita estabilidade política. Mas já teve os seus tempos de sufoco. O povo cabo-verdiano desde a sua descoberta em 1460 foi colónia de Portugal, tendo sido vítima de escravatura. Em 1975 deu-se a sua independência, passando a ser governado por um partido único (PAIGG/CV) durante quinze anos.

Em 1990 muda-se o sistema e o regime político, instalando-se a democracia multipartidária. No dia 13 de janeiro de 1991 foram realizadas as primeiras eleições pluralistas em Cabo Verde e até hoje predomina o regime democrático e com uma certa estabilidade política.



Figura 18 Mapa das dez Ilhas de Cabo Verde

#### 4.10 Modelos de Propagação

O planeamento de sistemas de comunicação em redes móveis 3G, baseia-se na necessidade de se estimar o raio de cobertura de uma célula através das características do transmissor

(servidor), do recetor (cliente) e do ambiente geográfico (percurso). A predição da área de cobertura é feita através de modelos matemáticos que descrevem a atenuação do sinal (perda média de percurso) para uma determinada distância entre o transmissor e o recetor. Estes modelos matemáticos são chamados de Modelos de Propagação.

### **VANTAGENS DOS MODELOS DE PROPAGAÇÃO**

Normalmente, os modelos de propagação determinam as perdas com base na utilização de diversos parâmetros relacionados com ambiente onde o sinal se propaga. Podem ser levados em conta, por exemplo, a presença de árvores, prédios, montanhas e outros obstáculos considerados candidatos potencialmente influentes na atenuação do sinal em uma determinada faixa de frequência. Apesar de serem encontradas na literatura diversas classificações para a variedade de modelos de propagação existentes, os mesmos podem ser divididos em dois grandes grupos: Modelos Teóricos e Empíricos.

### **MODELOS TEÓRICOS**

Modelos de propagação teóricos, como o próprio nome indica, são modelos baseados em formulações teóricas, fundamentadas em suposições originadas em dados coletados em medições, ou, em leis físicas. Alguns tipos de modelos teóricos não se tornam viáveis para o planeamento de redes móveis, por não levarem em consideração as características específicas do ambiente em estudo. Outros tipos de modelos baseiam-se na aquisição de bases de dados que descrevem detalhadamente as características do meio, e, na teoria de propagação de ondas eletromagnéticas, como é o caso da técnica Ray-Tracing [25]. Porém, em termos de projeto pode não ser praticável, tendo em vista que os modelos que descrevem detalhadamente as características de propagação do meio exigem grande esforço computacional e representam apenas as características de propagação de um local específico.

### **MODELOS EMPÍRICOS**

Os modelos de propagação empíricos são baseados na realização de diversas medições e observações em ambientes reais de propagação. A equação que rege um modelo empírico é criada de tal maneira para se ajustar da melhor forma possível aos dados medidos. Para que

um modelo empírico possa representar com eficiência as perdas de propagação num determinado ambiente, o mesmo deve ter os seus parâmetros derivados das características dos locais estudados, vinculados com a frequência de operação do sistema e alturas efetivas das antenas utilizadas para transmissão e receção dos sinais [24].

Como foi referenciado anteriormente existem vários modelos de propagação, no caso em estudo vai ser utilizado, o modelo Cost231- Hata e o modelo COST231 – Walfish-Ikegami, pois são considerados como sendo os mais apropriados para a realização deste trabalho.

#### 4.11 Modelo COST 231-Hata

Este modelo é uma extensão do modelo Okumura-Hata, feito para abranger as bandas de frequência entre 1500 MHz e 2000 MHz. A perda de propagação para este modelo é dada pela equação abaixo:

$$L = 46,3 + 39,9 \log(f) - 13,82 \log(hb) - a(hm) + (44,9 - 6,55 \log(hb)) \log(d) + Cm$$

Onde:

$d$  – Distância, quilómetros;

$f$  – Frequência, MHz;

$hb$  – Altura da estação base, metros;

$hm$  – Altura do telemóvel, metros;

$Cm = 0$  dB para áreas urbanas médias e suburbanas;

$Cm = 3$  dB para centros urbanos metropolitanos.

Vai-se proceder a um exemplo do cálculo da perda de propagação usando o modelo acima referenciado (COST 231-Hata) considerando a antena da estação de base localizada no interior da Ilha de Santiago, concretamente na Cidade de São Lourenço dos Órgãos, cuja latitude é de 15,037499°N e a longitude é de -23,623079°W. É de salientar, ainda, que esta antena está situada no meio da Ilha e no ponto mais alto de Santiago; com emissores muito potentes (60Watts), que garantem uma boa cobertura de praticamente toda a Ilha de Santiago. De seguida, vão ser apresentados cálculos, de dois cenários diferentes para calcular as perdas de propagação usando este modelo COST231-Hata:

Dados do primeiro cenário:

$$hb = 100 \text{ m}$$

$$hm = 10 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ km}$$

$$f = 2152,4 \text{ MHz}$$

$$L = 46,3 + 33,9 \log 2152,4 - 13,82 \log 100 - a(10)$$

$$+ (44,9 - 6,55 \log 100) \log 20$$

$$a(10) = (1,1 \log 2152,4 - 0,7)10 - (1,56 \log 2152,4 - 0,8) = 25,3 \text{ dB}$$

$$L = 46,3 + 113,0 - 27,6 - 25,3 + 41,3 = 147,7 \text{ dB}$$

De acordo com o modelo COST231, calculou-se a perda da propagação com os dados acima referenciados, isto é, altura da estação de base 100m, altura do móvel 10m e a distância de 20 km. Neste caso a perda da propagação é de 147,7 dB.

Para o segundo cenário vão ser usados os dados reais aplicados à Ilha de Santiago considerando a distância média de 20 km entre a Cidade da Praia e a altura das antenas do local onde se situa a estação de base 1050m:

$$hb = 1050 \text{ m}$$

$$hm = 10 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ km}$$

$$f = 2152,4 \text{ MHz}$$

$$L = 46,3 + 33,9 \log 2152,4 - 13,82 \log 1050 - a(10)$$

$$+ (44,9 - 6,55 \log 1050) \log 20$$

$$a(10) = (1,1 \log 2152,4 - 0,7)10 - (1,56 \log 2152,4 - 0,8) = 25,3 \text{ dB}$$

$$L = 46,3 + 113,0 - 41,8 - 25,3 + 32,7 = 124,9 \text{ dB}$$

A perda da propagação no segundo cenário real desce para 124,9 dB. O que nos permite concluir que a perda da propagação é inversamente proporcional à altura das antenas da

estação de base. Isto é, quanto maior for a altura das antenas da estação de base, menor serão as perdas de propagação.

#### 4.12 Modelo COST231 – Walfish-Ikegami

Este modelo surge no seguimento da combinação dos modelos de Ikegami e Walfish, como resultado de diversas contribuições no âmbito do COST231 e é mais preciso do que o modelo anterior.

A figura 19 ilustra a geometria associada ao modelo, assim como os parâmetros de entrada, que são:

- Altura média  $h_r$  dos edifícios, em metros;
- A largura média  $b$  de via, em metros;
- A separação média  $w$  dos edifícios, em metros;
- A orientação da via em relação ao percurso direto, dada pelo ângulo  $\phi$  em graus. A figura 20 ilustra como este ângulo é obtido;
- A separação horizontal entre o emissor e o recetor, em quilómetros;
- A frequência  $f$  em MHz e as alturas  $h_b$  e  $h_m$  das antenas do emissor (estação de base) e do recetor (pedestre ou móvel), respetivamente, em metros;

Em radiofrequência, um dos conceitos importantes de propagação é a existência ou não de linha de vista entre emissor e recetor. No modelo COST231 – Walfish-Ikegami as perdas de propagação são calculadas de dois modos diferentes, consoante exista ou não linha de vista entre o recetor e o emissor. Caso exista linha de vista, condição LOS, as perdas são calculadas da seguinte forma:

$$L_{los} = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f) \text{ dB}$$

Caso não exista linha de vista, condição NLOS, as perdas são determinadas através da fórmula:

$$L_{nlos} = L_0 + L_{rts} + L_{msd}$$

Onde:

- $L_0$  - atenuação no espaço livre, em dB; em que  $L_0 = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$ ;
- $L_{rts}$  - atenuação devida à difração nos telhados, em dB;
- $L_{msd}$  - atenuação devida à difração múltipla, em dB.

A figura 19 ilustra a geometria e os parâmetros associados ao modelo Walfish-Ikegami na Cidade da Praia, com os dados de um cenário real, ou seja, alturas das antenas, dos telhados, largura das ruas, etc. Onde altura média dos edifícios  $h_r = 11 \text{ m}$ , largura média de via  $b = 50 \text{ m}$ , a separação média dos edifícios  $w = \frac{b}{2} = 25 \text{ m}$ , pessoa no cimo de prédio  $h_m = 10 \text{ m}$ , altura da antena de estação de base  $h_b = 1050 \text{ m}$ , a uma distância  $d = 20 \text{ km}$ .

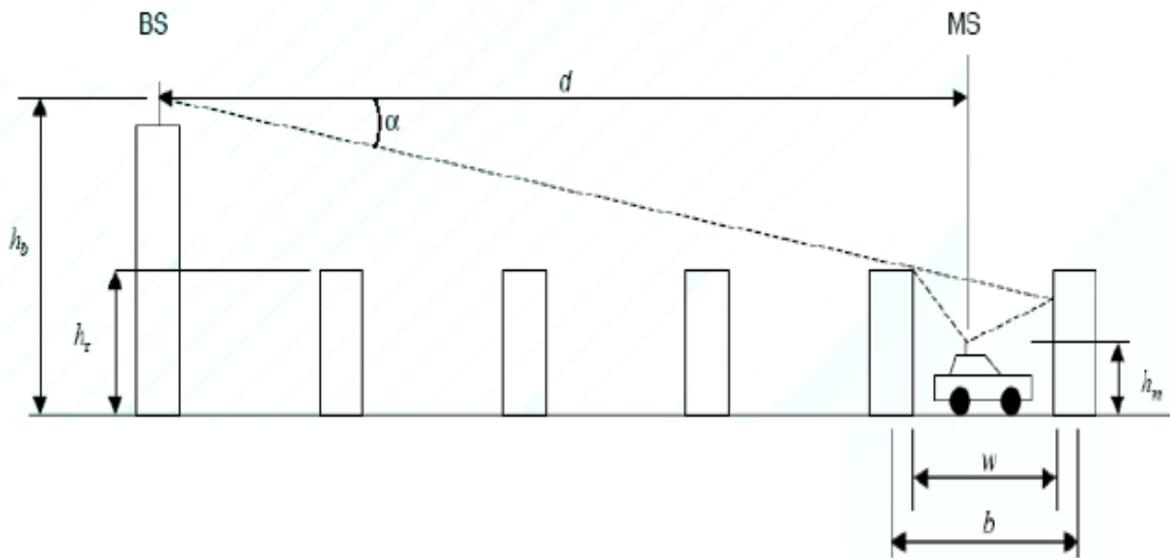


Figura 19 - Geometria e parâmetros associados ao modelo COST321 - Walfish-Ikegami[26], [27]

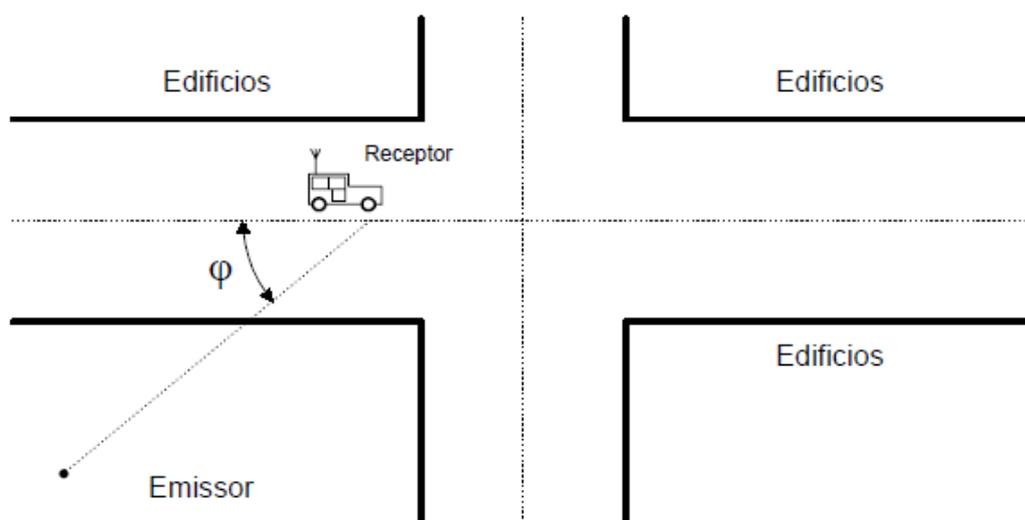


Figura 20– Definição da orientação da via através do ângulo  $\varphi= 28.2^\circ$ [26], [28]

De acordo com o modelo COST231 – Walfish-Ikegami, procede-se ao cálculo das perdas de propagação em função dos dados abaixo referenciados.

Dados e cálculos:

$$b = 50 \text{ m}$$

$$w = \frac{b}{2} = 25 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ km}$$

$$hb = 1050 \text{ m}$$

$$hr = 11 \text{ m}$$

$$hr - hm = 11 - 2 = 9 \text{ m}$$

$$hm = 10 \text{ m (Pessoa no cimo do Prédio)}$$

$$hm = 2 \text{ m (Pessoa/Carro no chão)}$$

$$f = 2152,4 \text{ MHz}$$

$$lbsh = -18 \log(1 + hb - hr) = -54.3 \text{ dB}$$

$$ka = 54 \text{ dB}$$

$$kd = 18$$

$$kf = -4 + 0.7 \left( \frac{f}{925} \right) = -3.1 \text{ dB}$$

$$Lmsd = -54.3 + 54 + 23.4 - 10.2 - 15.3 = -2.4 \text{ dB}$$

$$L_0 = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f) = 125.1 \text{ dB}$$

$$L_0 + Lmsd = 125.1 - 2.4 = 122.7 \text{ dB}$$

Falta agora considerar as perdas devidas ao termo  $Lrts$ .

$$Lrts = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log(hr - hm) + Lori \text{ para } hr > hm$$

No caso da pessoa estar no cimo do prédio e com  $Lori = 0 \text{ dB}$ , então:

$$hm = 10 \text{ m};$$

$$hr - hm = 11 - 10 = 1 \text{ m};$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 0 + 0 = 2.4 \text{ dB}$$

No caso da pessoa estar no chão (ou carro) e  $Lori = 0 \text{ dB}$ , então:

$$hm = 2 \text{ m};$$

$$hr - hm = 11 - 2 = 9 \text{ m};$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 19 + 0 = 21.4 \text{ dB}$$

A tabela seguinte ilustra os dados que definem  $Lori (\emptyset)$ , que vão desde um valor mínimo de  $-10 \text{ dB}$  e um máximo de  $9.13 \text{ dB}$  em função do ângulo  $\emptyset$ . Se  $\emptyset$  for igual a  $0^\circ$ , o valor do  $Lori$  é igual a  $-10 \text{ dB}$ ; para  $\emptyset$  igual a  $28.2^\circ$ , o valor do  $Lori$  é igual a  $0 \text{ dB}$ ; e quando  $\emptyset$  for igual a  $90^\circ$ , o valor do  $Lori$  é de  $9.13 \text{ dB}$ .

<b>Lori</b>	<b>Range for <math>\emptyset</math></b>
<b><math>-10 + 0.354 \emptyset</math></b>	$0 \leq \emptyset < 35^\circ$
<b><math>2.5 + 0.075 (\emptyset - 35)</math></b>	$35 \leq \emptyset < 55^\circ$
<b><math>4.0 + 0.114 (\emptyset - 55)</math></b>	$55 \leq \emptyset \leq 90^\circ$

**Tabela 5 - Valor de Lori em função do ângulo  $\emptyset$**

De acordo com a tabela 5, calcula-se, de seguida, as perdas da propagação para os valores mais importantes do ângulo  $\emptyset$ . É de salientar, ainda, que são calculadas as perdas de propagação nos dois cenários, isto é, pessoa no cimo do edifício ou prédio e também carros ou pessoas no chão.

$$hm = 10 \text{ m}$$

$$hr - hm = 11 - 10 = 1 \text{ m};$$

$$Lori = -10 \text{ dB};$$

$$\emptyset = 0^\circ$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 0 - 10 = -7.6 \text{ dB}$$

$$Lnlos = 122.7 - 7.6 = 115.1 \text{ dB}$$

$$hm = 2 \text{ m};$$

$$hr - hm = 11 - 2 = 9 \text{ m};$$

$$Lori = -10 \text{ dB};$$

$$\emptyset = 0^\circ$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 19 - 10 = 11.4 \text{ dB}$$

$$Lnlos = 122.7 + 11.4 = 134.1 \text{ dB}$$

Cálculo de propagação para  $Lori$  igual a 9.13 dB e com ângulo de  $90^\circ$ .

$$hm = 10 \text{ m}$$

$$hr - hm = 11 - 10 = 1 \text{ m};$$

$$Lori = 9.13 \text{ dB};$$

$$\emptyset = 90^\circ$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 0 + 9.13 = 11.53 \text{ dB}$$

$$Lnlos = 122.7 + 11.5 = 134.2 \text{ dB}$$

$$hm = 2 \text{ m};$$

$$hr - hm = 11 - 2 = 9 \text{ m};$$

$$Lori = 9.13 \text{ dB};$$

$$\emptyset = 90^\circ$$

$$Lrts = -16.9 - 14 + 33.3 + 19 + 9.13 = 30.53 \text{ dB}$$

$$Lnlos = 122.7 + 30.5 = 153.2 \text{ dB}$$

Pode então concluir-se que as perdas de propagação médias variam em função do ângulo  $\emptyset$ , i.e., ângulo entre a direção de propagação do sinal transmitido e a direção da rua em estudo. Depende igualmente da posição da pessoa, se esta está no passeio ou se está no cimo dos edifícios. Obteve-se o valor máximo de perdas de 153.2 dB para as ruas transversais à direção de propagação do sinal para pedestres nos passeios e o valor mínimo de 115.2 dB para ruas paralelas à direção da onda eletromagnética transmitida e pedestres no cimo dos prédios.

#### **4.13 Planeamento da Cobertura**

Para determinar a cobertura de uma célula é necessário fixar as características dos equipamentos a serem utilizados, assim como definir o modelo de propagação mais apropriado. O procedimento adotado para esta finalidade será desenvolvido em detalhe onde serão apresentados os cálculos a serem observados em cada situação e fornecidos valores típicos dos equipamentos correspondentes a cada padrão móvel digital.

A figura 21 ilustra o mapa da Ilha de Santiago. A ilha de Santiago dispõe de um dos montes mais alto de Cabo Verde, o Monte Chota localizado no interior da ilha, mais especificamente concelho de São Lourenço dos Órgãos. A CVtelecom instalou uma torre no Monte Chota, que se situa praticamente no centro da Ilha, no qual o setor cujo azimute é de  $40^\circ$  dá a cobertura para toda região norte da Ilha e o outro setor com o azimute  $135^\circ$  tem a direção voltada para o centro da cidade da Praia, cobre toda região sul da Ilha.



Figura 21 - Mapa da Cobertura da Ilha de Santiago

A tabela 6 mostra os dados de *site* fornecido pela operadora cabo-verdiana da torre instalada em Monte Chota, no qual proporciona uma cobertura praticamente para toda a ilha de Santiago.

SiteName	CellName	LAT(°)	LONG (°)	REFERENCE	POL	HBW (°)	AZIM UTH	TxPower (dBm)	CPICH Power (dBm)
Site B	Sector 1U	15.037499	-23.623079	K80010681	X	64	40	46.0	36.0
Site B	Sector 2U	15.037058	-23.622604	K80010681	X	64	135	47.7	37.7

Tabela 6 - Dados fornecidos pela operadora Cabo Verdiana

Para efeitos do planeamento da cobertura vai-se considerar como referência a potência de transmissão do canal CPICH (*Common Pilot Channel*). É através da potência recebida deste canal que os pedestres ou móveis se interligam à rede do operador. Vai considerar-se o uso de antenas típicas tri-setoriais com largura de feixe a -3dB de 64° (ver tabela 6) cujo

ganho típico é de 17.5dB. Vai-se subtrair as perdas nos cabos que ligam o emissor à antena de 2.5 dB. Deste modo vai-se admitir que a EIRP de transmissão é de:

$$EIRP = 37.7 + 17.5 - 2.5 = 52.7 \text{ dBm}$$

A potência recebida em dBm é dada por:

$$Pr = EIRP - Lnlos \text{ dBm}$$

No caso da potência recebida na Cidade da Praia ela deverá oscilar entre um valor máximo de:

$$Prmax = 52.7 - 115.1 = -62.4 \text{ dBm}$$

e um valor mínimo de:

$$Prmin = 52.7 - 153.2 = -100.5 \text{ dBm}$$

Estes dois valores ainda não levam em conta qualquer perda devida a efeitos de sombra radioelétrica (shadowing).

A figura 22 ilustra a potência recebida em dBm das diferentes zonas da Ilha de Santiago, através da torre instalada no Monte Chota, que fica localizada praticamente no centro da Ilha. Em função da ilustração (ver a figura 22) pode dizer-se que nas zonas circunscritas com uma potência de - 60dBm o sinal é muito forte, isto é, o sinal chega ao terminal móvel com uma boa qualidade. Enquanto que, nas zonas cobertas com uma potência inferior a - 90dBm o sinal é bem mais fraco, ou seja, o sinal chega ao terminal móvel com menor qualidade, normalmente essas zonas situam-se nas bordas da ilha de Santiago, incluindo a parte da Cidade da Praia situada junto às praias.

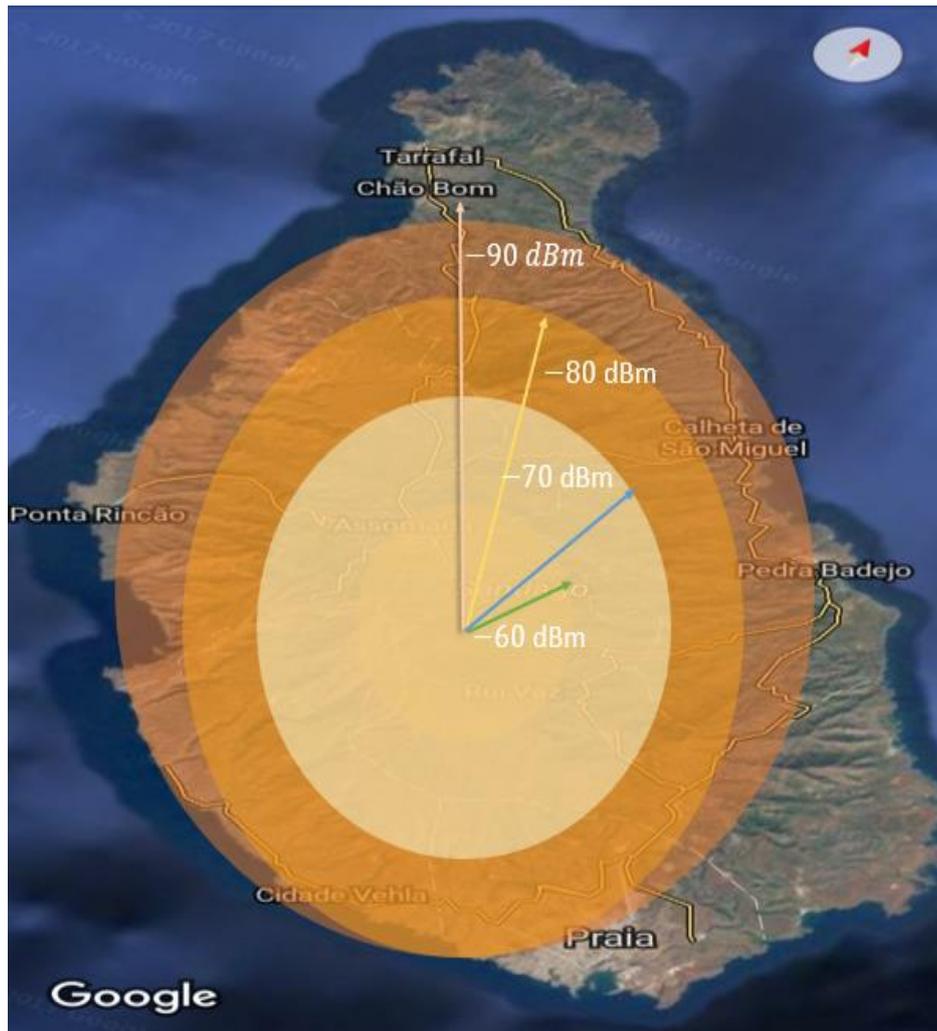


Figura 22 - Mapa Ilustrativo Capacidade da Propagação

A figura 23 ilustra o mapa da Cidade da Praia, a qual é objeto de estudo, vista através do satélite. Nesta figura está indicada a direção da chegada do sinal radioelétrico proveniente do azimute de  $135^\circ$ , isto é, da estação de base e está igualmente representada a direção perpendicular a esta. Pode daqui deduzir-se quais são as ruas cuja orientação proporciona um sinal recebido mais forte e quais são as ruas cuja orientação degrada a qualidade do sinal recebido.



Figura 23 – Ilustração Vista Satélite da Cidade da Praia

O mapa seguinte consiste na estimação das áreas de cobertura garantidas pela torre instalada no Monte Chota em que as zonas a vermelho correspondem a um sinal forte e as zonas a azul indicam um sinal fraco.

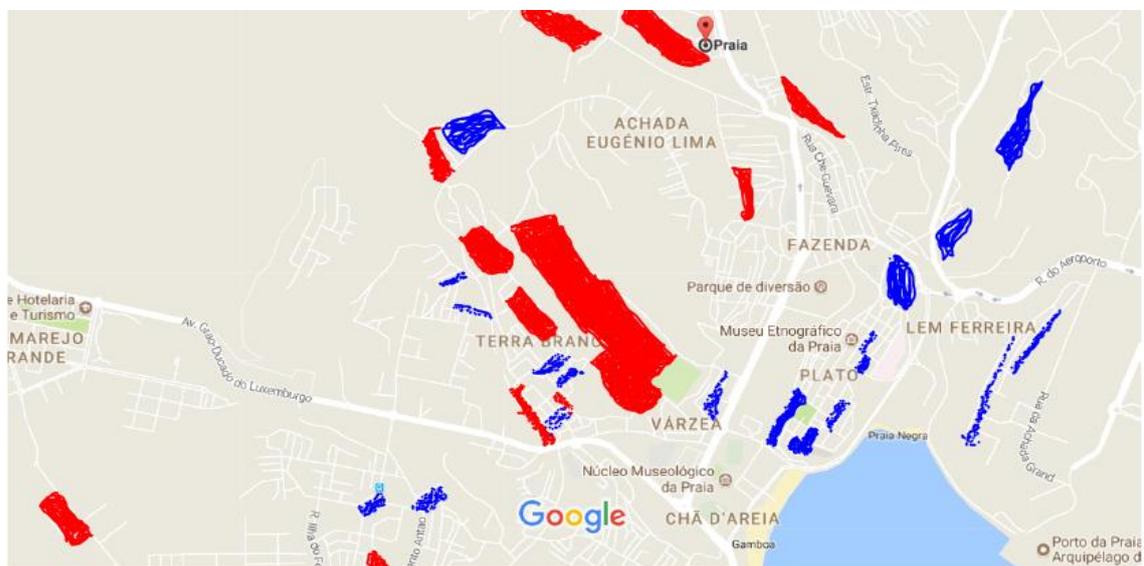


Figura 24 - Ilustração da área de cobertura da Cidade da Praia

A existência de zonas cobertas por um nível de sinal mais fraco, para todos os utentes, deve-se também à existência de possíveis irregularidades no terreno, desníveis e pequenas colinas dentro da cidade que fazem sombra radioelétrica pelo que aí o nível do sinal tende a decrescer significativamente.

## CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Principais Conclusões

A nível mundial, o uso do telemóvel tornou-se uma rotina, facilitando a comunicação entre as pessoas, empresas e países. Com isso, pode-se afirmar que uma das consequências disto é o alargamento das fronteiras, isto é, através deste pequeno dispositivo torna-se possível a proximidade entre as pessoas independentemente do lugar onde se encontram, e Cabo Verde não foge à regra. Em Cabo Verde, o uso do telemóvel foi um *input* significativo, isto porque é um país onde a maior parte da população reside no estrangeiro e o fator comunicação é permanente, o que faz com que uma má ou boa qualidade de sinal marca toda a diferença.

O objetivo principal desta dissertação foi realizar um planeamento de rede 3G em Cabo Verde, estudando o caso de estudo Ilha de Santiago, mais concretamente a Cidade da Praia. Em termos gerais, pretendeu-se determinar áreas/locais com problemas de comunicações/interferências com base em medidas de campo e aplicar técnicas de planeamento e otimização com vista à resolução dos mesmos. Para atingir os objetivos, foi necessário obedecer a um conjunto de procedimentos que visam uma análise criteriosa de vários fatores como, por exemplo, terreno, relevo, edifícios, vegetação. Esta abordagem previa a identificação de zonas alvo (Cidade da Praia) no processo de planeamento e otimização, levantamento da cobertura de rede existente na área selecionada, de acordo com a ferramenta e modelo de propagação mais adequada para o cenário em estudo.

Nos primeiros capítulos apresentou-se o estado da arte da rede móvel da terceira geração, ou seja, a estrutura básica de rede UMTS, os protocolos e as características gerais desta tecnologia.

Descreveu-se uma valiosa ferramenta de planeamento e gestão de redes de telecomunicações, a Métric, que só não chegou a ser usado nesta dissertação por falta de dados do operador de comunicações móveis cabo-verdiana.

De seguida fez-se um estudo de caso, estudando-se e analisando-se a cobertura em redes móveis da 3G em Cabo Verde, com o enfoque na Ilha de Santiago Cidade da Praia.

Na determinação da cobertura da célula, foi necessário fixar as características dos equipamentos a serem utilizados, assim como a escolha do modelo da propagação de acordo com o projeto em estudo.

Começou-se por utilizar o modelo COST231 no cálculo das perdas de propagação, por ser o modelo mais simples, mas válido para o caso em estudo. Apresentaram-se dois cálculos com dados ligeiramente diferentes: o primeiro com a antena da estação de base a uma altura de 100m, a perda de propagação foi de 147.7 dB para uma distância de 20 km. No segundo cálculo com os dados reais da altura da antena da estação de base a 1050m de altura, a perda de propagação diminuiu para 124.9 dB mantendo a distância de 20km. Pode-se concluir que a perda de propagação é inversamente proporcional, isto é, quanto maior é a altura das antenas da estação de base, menores são as perdas de propagação.

Passou-se a analisar o modelo COST231 – Walfish-Ikegami, mais complexo e preciso que o anterior e que também pode ser aplicado com os parâmetros da ilha de Santiago. As perdas de propagação médias variam em função do ângulo  $\theta$ , i.e., ângulo entre a direção de propagação do sinal transmitido e a direção da rua em estudo. Dependem, igualmente, da posição da pessoa, se ela está no passeio ou no cimo dos edifícios. Obteve-se o valor máximo de perdas de propagação de 153.2 dB para as ruas transversais à direção de propagação do sinal para pedestres nos passeios e o valor mínimo de 115.2 dB para ruas paralelas à direção da onda eletromagnética transmitida e pedestres no cimo dos prédios. A distância considerada manteve-se sempre em 20 km.

Associado ao modelo de propagação Walfish-Ikegami aplicado neste projeto, identificou-se diferentes zonas da Ilha de Santiago, em que a potência recebida do canal piloto CPICH é recebida com uma potência de -60 dBm, i.e., o sinal é muito forte. O que significa que o sinal chega ao terminal móvel com uma boa qualidade. Há zonas cobertas com uma potência inferior a -90dBm, o sinal chega ao terminal móvel com menor qualidade. É de salientar ainda, que normalmente essas zonas situam-se nas bordas da Ilha, incluindo a Cidade da Praia.

Segundo os dados/informações fornecidos por uma operadora cabo-verdiana, e em função dos testes/cálculos realizados, constatou-se que a direção da chegada do sinal radioelétrico

à Cidade da Praia é proveniente do azimute 135°, ou seja, da estação de base. Desta forma, pode-se deduzir quais são as ruas cuja orientação proporciona um sinal recebido mais forte e quais as ruas cuja orientação perpendicular degrada a qualidade de sinal recebido. Relativamente a potência média recebida na cidade da Praia ela deverá oscilar entre um valor máximo de -62.4 dBm, que significa uma boa qualidade de sinal e um valor mínimo de -100.5 dBm má qualidade de sinal.

## **5.2 Limitações**

Fazer este trabalho, foi para mim um motivo de muita satisfação, pois há muito que queria entender esse tema e tive o privilégio de fazê-lo nesta dissertação. Como cabo-verdiano, constatei que a comunicação na Cidade da Praia tem algumas limitações conforme referenciado ao longo do trabalho. Não obstante esse facto, tive algumas dificuldades na realização do mesmo, na medida em que, no mundo informático a informação é o valor acrescentado para as organizações. Isso faz com que, as entidades queiram proteger as informações de dispõem e que muitas vezes estão relacionadas com áreas sensíveis, nomeadamente, tribunais, ensino, empresas, saúde, registos cíveis e criminais, etc.

Nessa linha de pensamento, tive que me deslocar ao meu país recentemente para entrar em contato direto com a realidade social e fazer-me entender na íntegra sobre o planeamento 3G em Cabo Verde - Ilha de Santiago, mais concretamente na Cidade da Praia. Digo que não foi fácil obter informações, tanto é que depois de solicitar à empresa o pedido formal das informações explicando que é no âmbito de uma investigação científica, na qual, eventualmente poderá vir a dar uma contribuição para uma melhor qualidade das comunicações móveis na Cidade da Praia, disponibilizaram algumas informações que, no entanto, não se mostraram suficientes. Outras informações que seriam uma mais valia para o trabalho, não foram disponibilizadas, argumentando-se que são informações confidenciais à empresa.

Concordo que as informações podem ser confidenciais, mas as investigações científicas também são relevantes no processo de desenvolvimento do país. Por isso, devia-se ter pensado numa forma de conciliar as duas dimensões.

### **5.3 Trabalhos Futuros**

No âmbito de desenvolvimento deste trabalho pretendeu-se fazer uma simulação com a ferramenta Metric (ver capítulo 3), sobre o planeamento móvel 3G em Cabo Verde, com o intuito de identificar melhor as áreas locais com forte ou fraca cobertura de rede móvel. A simulação não foi possível de se realizar pela ausência da necessária informação que o operador deveria proporcionar, sobretudo dados de tráfego, número de utentes, equipamentos usados, etc. Mas, pode ser que no futuro isto seja possível.

Outro estudo futuro será fazer o planeamento por capacidade, descrito no anexo A, na ilha de Santiago associado com o planeamento de cobertura já feito no capítulo 4.

O futuro da comunicação móvel em Cabo Verde passa pelo planeamento de rede móvel da quarta geração (4G) que neste momento se encontra num processo de implementação por outro operador, que não foi considerado neste estudo. Outro trabalho futuro será o planeamento da rede móvel na ilha de Santiago, com tecnologia LTE.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### Planeamento por Capacidade

No planeamento orientado pela capacidade, pretende-se projetar uma rede capaz de garantir ao utilizador desempenho, performance e disponibilidade. A análise da capacidade tem como principal objetivo suportar as necessidades de serviço, de utilizadores, distribuída pela área pretendida, mas garantindo a qualidade. O planeamento de uma rede, no caso concreto rede móvel 3G, tendo por base uma análise à capacidade, envolve um vasto conjunto de aspetos, tais como; parâmetros tecnológicos (*e.g.*, opções de configuração), prevenção de interferências (*e.g.*, gestão do espetro), configuração dos elementos físicos (*e.g.*, estações base e estações móveis), disponibilidade do serviço, mobilidade de utilizador.

No planeamento por capacidade, além de uma análise de cobertura implícita, é feita uma caracterização da distribuição das necessidades de tráfego. Portanto, a principal métrica utilizada no planeamento orientado à capacidade é a densidade de débito, expressa em *bps* por área. O planeamento segundo esta abordagem requer dois tipos de mapas em relação à área, o geográfico e o demográfico.

Dada uma região demográfica, determinar a densidade de débito é um processo que envolve vários passos, tais como, classificar os utilizadores do sistema em diferentes categorias. Esta classificação depende da carga exercida na rede. Por sua vez, a carga exercida na rede pode ser quantificada de acordo com os requisitos das aplicações envolvidas (*e.g.*, serviço Web, VoIP, vídeo, *etc.*). Caracterizados os modos de utilização e a distribuição dos diferentes utilizadores, consegue-se obter a respetiva densidade de tráfego. O objetivo do planeamento por capacidade é a quantificação de uma infraestrutura que suporte esta densidade de tráfego, considerando parâmetros tais como, fatores de simultaneidade e relação *downlink/uplink* para o esquema *TDD*.

A capacidade de célula na rede 3G é também afetada por outros fatores, como por exemplo, configuração de antenas de célula, portanto um bom planeamento da cobertura implica um bom resultado em termos da capacidade e de qualidade do serviço.

De seguida, apresentam-se as fórmulas que permitem prever a capacidade da rede móvel nas ligações descendente e ascendente em função da carga dessa rede  $\eta$ . O  $L_j$  é o fator de

carga,  $R_j$  diz respeito ao ritmo binário do serviço em causa, por exemplo, a voz em 3G é transmitida ao ritmo de 12.2kbps.  $\alpha=0.9$  e  $\alpha=0.6$  são valores dos fatores de ortogonalidade para pedestres e móveis respetivamente.  $(E_b/N_o)$  é a relação entre a energia de bit e a densidade espectral da potência do ruído térmico e depende do serviço.  $W=3.84\text{Mcps}$  é o ritmo de chip do UMTS e é uma constante deste sistema.  $v_j$  é a atividade do serviço sendo sempre igual a 1 para dados, a única exceção é o serviço de voz igual a 2/3.  $i_j=0.55$  é um valor típico da relação entre a interferência das outras células sobre a interferência da própria célula.  $N_u$  é o número de utentes ativos da rede associado a um mesmo ritmo binário.

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^{N_U} L_j = \sum_{j=1}^{N_U} \frac{(E_b / N_o)_j R_j v_j [(1 - \alpha)_j + i_j]}{W}$$

$$\eta_{UL} = (1 + i) \sum_{j=1}^{N_U} L_j = \sum_{j=1}^{N_U} \frac{1 + i}{1 + \frac{W}{(E_b / N_o)_j R_j v_j}}$$

Aumentando-se o ritmo binário resulta numa diminuição da área de cobertura do serviço devido a um correspondente aumento da sensibilidade do recetor.

Na figura A1 considerou-se a mesma carga da rede e nela ilustram-se diferentes ritmos binários de serviços típicos do UMTS e as correspondentes zonas de cobertura assim como os números de utentes ativos típicos para cada serviço.

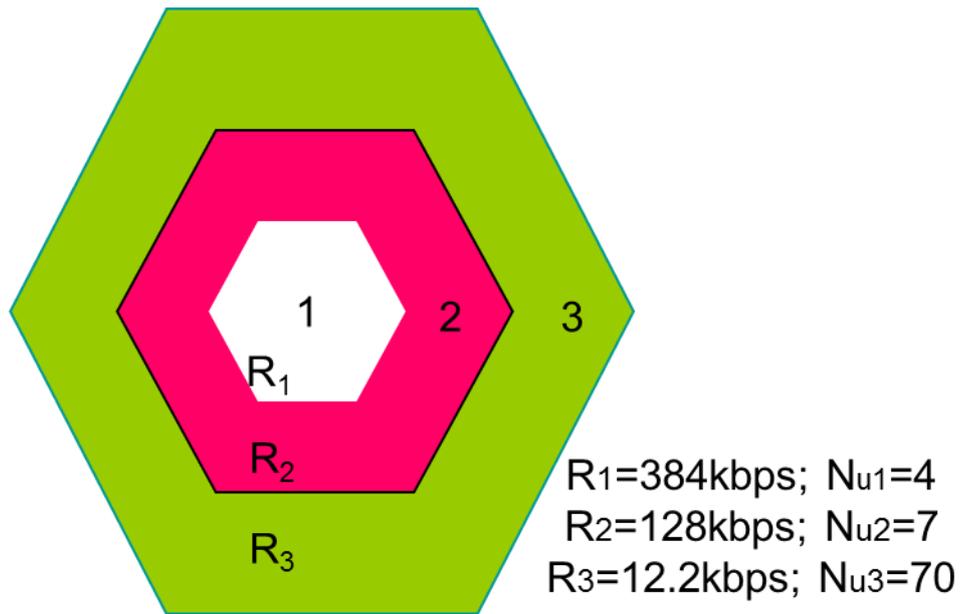


Figura A1- Zonas de cobertura de diferentes ritmos binários associados

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Quadros A., Schmid U. – “UMTS - Universal Mobile Telecommunication System” disponível em <http://www.gta.ufrj.br/rezende/cursos/eelST9/trabalhos/umts/index.html>;
- [2] Caetano, L., Marques, M. e Serrador, A. - "Otimização celular em UMTS-FDD", ISEL-DEETC.
- [3] Silva, H. R. (2004) - "Estimação de Tráfego 3G". Projeto Final de Curso, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa - Departamento de Engenharia de Eletrónica e Telecomunicações e Computadores;
- [4] Vieira, P., "Planeamento e Otimização de Redes Celulares Móveis" - Textos de Apoio, ISEL, disponível em <http://www.deetc.isel.ipl.pt/sistemastele/PORclvI/>;
- [5] Boal, A. B. (2007) - "Estrutura Hierárquica de Células para Transmissão MBMS". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior das Ciências do Trabalho e da Empresa, Lisboa;
- [6] <http://www.3gameric.as.org> e <http://www.UMTSworld.com/index.Shtml>;
- [7] Tems Investigation WCDMA 3.0 User's Manual;
- [8] Laiho, Jaana and Wacker, Achim and Novosad, Tomás (2001) - "Radio Network Planning and Optimisation for UMTS", Wiley;
- [9] Yang, Samuel C. (1998) - "CDMA RF System Engineering", Artech House;
- [10] Laiho, Jaana (2002) - "Radio Network Planning and Optimisation for WCDMA", Wiley;
- [11] Manual de Utilizador Métric– [www.metric.pt](http://www.metric.pt), acedido em setembro de 2017;

- [12] Tom Callahan. "The network of tomorrow takes shape". Disponível em <http://mwrf.com/commercial/network-tomorrow-takes-shape>, acedido em setembro 2017;
- [13] Jonathffi, P. Castro (2001) - "The UMTS Network and Radio Access Technology", Wiley;
- [14] José Gouveia, A. M. (2013). Redes de Computadores, Lisboa;
- [15] Américo, C., Apontamentos de SRCMN - Sistemas e Redes de Comunicação Móveis e Nómadas, 3º ano de Engenharia de Telecomunicações e Informática, ISCTE;
- [16] D. Ng, Curso: GSM and UMTS Radio System Design," ed, 2009;
- [18] IMT-2000 Project. What is IMT-2000.ITU presentation on International Mobile Telecommunication 2000 (IMT-2000) Systems. Geneva 2001-2002. Disponível: [http://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What\\_is\\_IMT2000-2.pdf](http://www.itu.int/osg/imt-project/docs/What_is_IMT2000-2.pdf), acedido em setembro de 2017;
- [19] JAKES, W. Microwave mobile communications. 1. ed. Nova Iorque, NY, USA: John Willey & Sons, Inc, 1974;
- [20] Consulta Pública ANAC Redes 3G & 4G em Cabo Verde, 2009 - 2010 [www.anac.cv](http://www.anac.cv), acedido em setembro 2017;
- [21] CVMóvel, Operadora de Telecomunicações cabo-verdiano, [www.cvmovel.cv](http://www.cvmovel.cv), acedido em setembro 2017;
- [22] Luís Henrique C., e Carlos Muniz B. D., Redes de Computadores II – 2008.2;
- [23] SVERZUT, J.R. - "Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS – Uma evolução a caminho da terceira geração (3G)", Ed Érica, 2005;

[24] S.R. Saunders, "Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems", New York, John Wiley & Sons, 1999.

[25] K.R. Schaubach, N.J. Davis, T.S. Rappaport, "A ray tracing method for predicting path loss and delay spread in microcellular environments", IEEE 42nd Vehicular Technology Conference", Vol. 2, pp. 932-935, Maio 1992.

[26] COST231, "Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems - COST 231 Final Report", 1999. Disponível em [www.lx.it.pt/cost231/final\\_report.htm](http://www.lx.it.pt/cost231/final_report.htm)

[27] Joram Walfisch, Henry L. Bertoni, "A theoretical model of UHF propagation in urban environments", IEEE transaction on Antennas and Propagation, Volume 36, Number 12, pp. 1788-1796, December 1988.

[28] Fumio Ikegami, Susumu Yoshida, Tsutomu Takeuchi, Masahiro Umehira, "Propagation factors controlling mean field strength on urban streets", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume 32, Number 8, pp. 822-829, August 1984.