

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

**Planeamento Otimizado para Implementação da TDT
Em Cabo Verde: Caso de Estudo Ilha de Santiago**

Felisberto Varela Monteiro

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

Orientador:

Doutor Pedro Joaquim Amaro Sebastião, Professor Auxiliar,
ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa

Coorientador:

Doutor Américo Manuel Carapeto Correia, Professor Catedrático,
ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa

Fevereiro de 2018

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

**Planeamento Otimizado para Implementação da TDT
Em Cabo Verde: Caso de Estudo Ilha de Santiago**

Felisberto Varela Monteiro

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

Orientador:

Doutor Pedro Joaquim Amaro Sebastião, Professor Auxiliar,
ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa

Coorientador:

Doutor Américo Manuel Carapeto Correia, Professor Catedrático,
ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa

Fevereiro de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os que contribuíram para a minha formação académica e pessoal, principalmente a minha família pela força e paciência que tiveram nos momentos que tive de deixá-los para conseguir este grande feito na minha vida.

É dedicado em especial às pessoas a qual sempre confiaram na minha capacidade tanto a nível académico como também profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a Divindade pela vida, saúde e bem-estar que tive durante o meu percurso académico e expesso os meus sinceros agradecimentos ao IP Camões, por ter financiado o meu mestrado e apoiado em todos os momentos de que precisei, dando sempre boas orientações e motivação para caminhar com muita concentração e foco, ao meu orientador professor Dr. Pedro Sebastião e coorientador professor Dr. Américo Correia, pelas suas sugestões, orientações e disponibilidades ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Não poderia terminar sem agradecer a todos os que foram os meus professores de mestrado e os meus colegas de curso e de trabalho pelo grande espírito de partilha que tivemos, pelas aprendizagens que proporcionamos um pelo outro e por todas as dificuldades que ultrapassamos juntos.

Finalmente, gostaria de agradecer a minha família por tudo, o que fizeram por mim ao longo da minha vida.

RESUMO

Ao longo dos tempos, os sistemas de transmissão de televisão beneficiaram de vários avanços tecnológicos e já há cerca de três décadas que a transmissão digital dos sinais televisivos se tornaram uma realidade. Até agora são conhecidas 5 normas da televisão digital, doravante designada de TVD (ATSC, DVB, ISDB, SBTVD e DMB). Vários países já adotaram o sistema da TVD, devido às inúmeras vantagens que esta apresenta, para os *broadcasters*, operadores da televisão, fabricantes de equipamentos, entidades gestoras do espetro radioelétrico e os utilizadores finais, nos mais variados sentidos. A TVD proporcionou uma maior quantidade e qualidade de canais, aparecimento de canais temáticos, variedade de informações e serviços, maior interatividade e facilidade de ligação com os outros meios de comunicação da atualidade. Sendo normas digitais apresentam menos largura de banda por canal, mais robustez à deformação do sinal pelo canal de transmissão e imunidade aos efeitos de múltiplos percursos, além de permitir uma utilização e gestão mais eficiente do espetro de radiofrequência, já que os recursos são limitados e serão muito úteis para vários outros futuros projetos tecnológicos.

Vendo estas infinitas vantagens da transição da televisão analógica para digital, o presente trabalho visa fazer uma análise cuidadosa dos vários sistemas e normas já existentes, das dificuldades nas suas implementações, dos constrangimentos da transmissão, do espetro, e de planejar a implementação da TDT, nomeadamente a norma DVB-T/H, em Cabo Verde, com o caso de estudo da Ilha de Santiago.

Palavras-chave: Televisão Digital Terrestre, DVB-T/H, DVB-T2, Planeamento otimizado.

ABSTRACT

Over time, television broadcasting systems have benefited from many technological advances and the digital broadcasting of TV signals has become a reality for some two decades now. So far 5 Digital Television standards are known, henceforth called DTV (ATSC, DVB, ISDB, SBTVD and DMB). Several countries have already adopted the DTV system, due to the numerous advantages it presents for broadcasters, television operators, equipment manufacturers, radio spectrum managers and end users in a wide range of ways. DTV provides a greater quantity and quality of channels, thematic channel appearances, variety of information and services, greater interactivity and ease of connection with the other media of today. Being digital standards, they have less bandwidth per channel, are more robustness to the deformation of the signal by the transmission channel and immunity to the multi-effects effects, besides allowing a more efficient use and management of radio spectrum, since it is limited and will be very useful for several future technological projects.

Seeing these infinite advantages of the transition from analogue to digital television, the present work aims to make a careful analysis of the various existing systems and norms, the difficulties in their implementations, the constraints of transmission, the frequency spectrum, and to plan the DTV implementation, namely DVB-T/H, in Cape Verde, namely, in the Santiago island.

Keywords: Digital Terrestrial Television, DVB-T/H, DVB-T2, Optimized planning

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

3G	Terceira Geração
ANAC	Agência Nacional das Comunicações
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATSC	Advanced Television System Committee
AVC	Advanced Video Coding
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquengham
BST	Band Segmented Transmission
CABAC	Context Adaptive Binary Arithmetic Coding
CAPEX	Capital Expenditure
CAVLC	Context Adaptive Variable Length Coding
CEDAO	Comunidade Económica dos Estados da África Ocidental
CFI	Canal France International
CIF	Common Intermediate Format
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CRC	Cyclic Redundancy Check
DiBEG	Digital Broadcasting Experts Group
DMB	Digital Multimedia Broadcasting
DTH	Direct To Home
DTT	Digital Terrestrial Television
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-H	Digital Video Broadcasting for Handhelds
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
EIA	Electronic Industries Association
FEF	Future Extension Frame

GSM	Global System for Mobile communications
HDTV	High Definition Television
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMP	Information Module Profile
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
ISDTV	International Standard for Digital Television
JCIC	Joint Committee on InterSociety Coordination
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LDPC	Low Density Parity Check
LDTV	Low Definition Television
LTE	Long Term Evolution
MFN	Multiple Frequency Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
NAB	National Association of Broadcasters
NRT	Non- Real-Time
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPEX	Operational Expenditure
PLP	Physical Layer Pipe
PSK	Phase-shift keying
PSNR	Peak Signal to Noise Ratio
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
RCV	Rádio de Cabo Verde
SBTVD	Sistema Brasileiro de Televisão Digital

SDTV	Standard Definition Television
SFN	Single Frequency Network
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
TCV	Televisão de Cabo Verde
TDS	Time Domain Synchronous
TDT	Televisão Digital Terrestre
TEVEC	Televisão Experimental de Cabo Verde
TIVER	Televisão Independente de Cabo Verde
TNCV	Televisão Nacional de Cabo Verde
TS	Transport Stream
TV	Televisão
TVD	Televisão Digital
UHF	Ultra-High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VCL	Video Coding Layer
VHF	Very High Frequency
VSF	Vestigial Side Band

LISTA DE SIMBOLOS

$d [Km]$	Distância em quilometro
$R[Km]$	Raio em quilometro
E_b/N_0	Relação sinal/ruído
Δ	Intervalo de guarda
$h_m[m]$	Altura da antena recetor em metros
$h_b[m]$	Altura da estação de base em metros (Altitude da localização da antena + Altura da Antena)
$f_c[MHz]$	Frequência da portadora em megahertz
T_U	Tempo útil do símbolo OFDM
T_{SQ}	Duração de um superquadro
T_S	Período da receção de um símbolo OFDM
T_Q	Duração de um quadro T2
T_{FEF}	Duração de um quadro do tipo FEF (<i>Future Extension Frame</i>)
N_{ldpc}	Número de bits do bloco LDPC codificado
N_{T2}	Número de quadros T2
N_{FEF}	Número de quadros do tipo FEF (<i>Future Extension Frame</i>)
L_p	Perdas de Propagação
L_{dB}	Perdas de propagação em dB
K_{bch}	Número de bits do bloco BCH não codificado

INDÍCE GERAL

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	V
LISTA DE SIMBOLOS	VIII
INDÍCE GERAL	IX
LISTA DE TABELAS	XIII
LISTA DE FIGURAS	XIV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Introdução à Televisão Digital Terrestre	1
1.2 Motivação / Enquadramento	3
1.3 Temas de Investigação	4
1.4 Objetivos gerais e específicos.....	5
1.5 Estrutura da Dissertação.....	5
2 ESTADO DA ARTE	7
2.1 A origem da Televisão Digital.....	7
2.2 Arquitetura Básica da TV Digital.....	8
2.3 Norma da Televisão Digital Americana (ATSC)	9
2.4 Norma da Televisão Digital Japonesa (ISDB).....	11
2.5 Norma de Televisão Digital Europeia (DVB)	13
2.6 Norma da Televisão Digital Brasileira (SBTVD ou ISDTV).....	15
2.7 Norma da Televisão Digital Chinesa (DMB)	17
3 NORMA DA TELEVISÃO DIGITAL DVB-T2	18

3.1	Descrição Geral	18
3.2	Arquitetura	19
3.3	Estrutura do pacote T2-MI.....	21
3.4	Canais da camada física	23
3.5	Modulação 256-QAM	25
3.6	Constelações rotacionadas	26
3.7	Códigos de controlo e correção de erros (BCH e LDPC)	27
3.8	Estrutura do super quadro	28
3.9	DVB-H.....	29
3.9.1	Transmitter Parameter Signalling (TPS).....	31
3.9.2	Time Slicing.....	32
3.9.3	Multi-Protocol Encapsulation - Forward Error Correction (MPE-FEC)	33
4	PLANEAMENTO APLICADO AO CASO DE ESTUDO	35
4.1	Estado atual da difusão da TV em Cabo Verde.....	35
4.2	Distribuição atual dos emissores e retransmissores na rede analogica	36
4.2.1	Ligação inter-ilhas	37
4.2.2	Rede atual da distribuição dos sinais de TV da operadora RTC	38
4.2.3	Distribuição atual dos canais das operadoras por ilhas	40
4.3	Previsão da Composição dos multiplexers e ofertas de serviço	42
4.3.1	Utilização de 2 MUXs para oferta atual do serviço em SD	42
4.3.2	Utilização de 3 MUXs para ofertas de serviços atual em SD	43
4.3.3	Utilização de 3 MUXs para ofertas de serviços em SD e HD	43
4.4	Arquitetura da nova rede TDT.....	44
4.4.1	Tamanho da FFT.....	45
4.4.2	Intervalo de Guarda	45
4.4.3	Arquitetura MFN nacional e SFN regional.....	48
4.5	Previsão de alocação de frequência na nova rede TDT	50
4.6	Áreas de Cobertura na Ilha de Santiago.....	52
4.7	Área da cobertura considerando os parâmetros do DVB-H	55

5	CONCLUSÃO	60
5.1	Trabalho Futuro	61
5.2	Dificuldades encontradas	62
	BIBLIOGRAFIA	63
	ANEXO A – Especificações da norma H.264/AVC	66
	Arquitetura da H.264/AVC.....	67
	Compensação de movimento.....	67
	Filtro de desbloqueamento.....	68
	Codificação entrópica	69
	Eficiência da H.264/AVC	69
	ANEXO B - Orografia e Demografia de Cabo Verde	71
	Orografia do terreno.....	71
	Densidade populacional	74
	ANEXO C - Cálculo da área de cobertura mínimo e máximo das antenas TDT da ilha de Santiago.....	76
	Transmissor de Monte Pensamento	76
	Transmissor de Serra Malagueta	76
	Transmissor de Junco.....	77
	Transmissor de Kumbém	78
	Transmissor de Tarrafal	78
	Transmissor de Cidade Velha.....	79
	Transmissor da Ribeira Da Barca /Achada Ponta	79
	Transmissor da Ribeira Da Barca.....	80
	Transmissor de Tomba Touro	81
	Transmissor de Cidade Velha II.....	81
	Transmissor de Monte Mascarenhas.....	82

Planeamento Otimizado para Implementação da TDT, em Cabo Verde

Transmissor de Monte Redondo	83
Transmissor de Chaminé	83
Transmissor de Rincão.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características acrescentadas na norma DVB-T2	19
Tabela 4.1 – Distribuição dos emissores no grupo de ilhas do barlavento	36
Tabela 4.2 - Distribuição dos emissores no grupo de ilhas do sotavento	37
Tabela 4.3 - Número total de canais afetos a cada ilha.....	41
Tabela 4.4 - Área de cobertura mínima e máxima dos transmissores TDT da ilha de Santiago	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Opções das arquiteturas básicas para as normas da TVD	9
Figura 2.2 - Arquitetura básica da norma ATSC	10
Figura 2.3 - Esquema de transmissão da norma ATSC	11
Figura 2.4 - Arquitetura básica da norma ISDB.....	12
Figura 2.5 - Esquema de transmissão da norma ISDB	13
Figura 2.6 - Arquitetura básica da norma DVB	14
Figura 2.7 - Esquema de transmissão da norma DVB	14
Figura 2.8 - Mapa dos países que adotaram o sistema DVB-T ou DVB-T2 para implementação da TDT.....	15
Figura 2.9 - Arquitetura básica da norma ISDTV	16
Figura 2.10 - Arquitetura básica da norma DMB.....	17
Figura 3.1 - Modelo básico da arquitetura da norma DVB-T2	20
Figura 3.2 - Diagrama da arquitetura da norma DVB-T2 dividida em blocos.....	20
Figura 3.3 - Pilhas de protocolo de Transport Stream MPEG para norma DVB-T2	21
Figura 3.4 - Estrutura do pacote T2-MI.....	22
Figura 3.5 - Diagrama de bloco do modelo básico da camada física da norma DVB-T2 (alto nível).....	23
Figura 3.6 - Diagrama de bloco para o tipo de processamento modo A.....	24
Figura 3.7 - Diagrama de bloco para o tipo de processamento modo B	24
Figura 3.8 - Utilização de múltiplos PLPs, com diferentes serviços no sistema T2	24
Figura 3.9 - Taxa de bits máxima para constelação 256-QAM (8 MHz, 32 K, PP7) ...	25
Figura 3.10 - Constelação 256-QAM rotacionada	26
Figura 3.11 - BER para sistemas com(azul) e sem (preto) constelações rotacionadas...	27
Figura 3.12 – Estrutura dos pacotes corretores de erros na norma DVB-T2.....	27

Figura 3.13 - Comparação entre os códigos corretores de erros usados na DVB-T e DVB-T2 Fonte: ETSI TS 102 831 [16]	28
Figura 3.14 - Estrutura do super quadro da norma DVB-T2.....	29
Figura 3.15 - Arquitetura da norma DVB-T/H Fonte: DVB, 2011[21].....	30
Figura 3.16 - Diagrama de blocos de um recetor DVB-H.....	31
Figura 3.17 - Quadro das posições das portadoras pilotos da sinalização.....	31
Figura 3.18 - Composição do quadro de bits de sinalização TPS	31
Figura 3.19 – Multiplexação com a técnica time slicing nas normas DVB-T/H	33
Figura 3.20 – Esquema de funcionamento da técnica Time Slicing	33
Figura 3.21 - Estrutura do quadro MPE-FEC.....	34
Figura 4.1 - Situação atual de emissores de difusão da televisão em Cabo Verde	35
Figura 4.2 - Anel da fibra ótica inter-ilhas da CVTelecom	38
Figura 4.3 - Rede de transmissão dos sinais da TCV nas ilhas de Santiago e Maio.....	38
Figura 4.4 - Rede de transmissão dos sinais da TCV nas ilhas de Fogo e Brava.....	39
Figura 4.5 - Mapa atual da alocação de frequências por ilhas.....	40
Figura 4.6 - Mapa atual do espectro radioelétrico livre em Cabo Verde Fonte: ANAC,2016.....	41
Figura 4.7 - Composição dos multiplexers com oferta atual de serviços SD	42
Figura 4.8 - Possibilidade de utilização de 3 MUX para ofertas de serviços SD.....	43
Figura 4.9 - Possibilidade de utilização de 3 MUX para ofertas de serviços SD e HD..	44
Figura 4.10 - Interferência inter-simbólica causada pela réplica do sinal com atraso	46
Figura 4.11 - Aumento da duração do símbolo pelo intervalo de guarda.....	46
Figura 4.12 - Intervalo de guarda da norma DVB-T2, para largura de banda 8 MHz....	47
Figura 4.13 - Topologia da nova rede TDT	49
Figura 4.14 - Previsão de alocação de frequência com 2 MUXs	50

Figura 4.15 - Previsão de alocação de frequência com 3 MUXs	51
Figura 4.16 - Localização dos transmissores TDT da SFN5 (ilha de Santiago)	52
Figura 4.17 - Mapa da distribuição dos transmissores TDT da ilha de Santiago.....	53
Figura 4.18 - Características do Modo 4K DVB-H	55
Figura 4.19 - Previsão da área de cobertura mínima dos transmissores da TDT da Ilha de Santiago	57
Figura 4.20 - Previsão da área de cobertura máxima dos transmissores da TDT da Ilha de Santiago	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução à Televisão Digital Terrestre

A televisão constitui um meio fundamental de comunicação e é um dos meios mais utilizados para, divulgar culturas, partilhar vivências, fazer marketing e publicidade de negócios e troca de informações. Ela constitui um dos principais meios para o esclarecimento, a formação e a participação cívica e política da população através de programas onde a análise, o comentário, a crítica e os debates, estimulem o confronto saudável de ideias e contribuem para a formação de opiniões dos povos de uma determinada nação. Por vários anos, todas as fases envolvidas na produção de um programa de televisão, (gravação de cenas, edição, acabamento e armazenamento do produto), na transmissão, (geração do vídeo composto, modulação, amplificação e radiodifusão), e na receção, (captação do sinal através da antena, demodulação pelo aparelho recetor e apresentação do vídeo e áudio aos telespectadores), eram feitos utilizando o sistema analógico, ou seja, todos os sinais envolvidos na teledifusão eram reproduzidos e tratados no formato analógico. Com sucessivos estudos e avanços das novas tecnologias os sinais digitais surgiram para colmatar a grande possibilidade da degradação dos sinais analógicos, por meio dos 4 seguintes fenómenos [1], ruído, distorção não linear, interferências e perdas. Com isso o sistema de TVD surgiu como uma evolução natural do sistema de televisão analógico.

A técnica de digitalização veio emergindo ao longo dos anos, proporcionando muitas vantagens no tratamento e distribuição de sinais e na teledifusão. A TVD trata-se de um conjunto de novas tecnologias de transmissão e receção de sinais de televisão. Os sinais são codificados em dígitos binários, proporcionando a possibilidade de criar vias de retorno entre o utilizador e o produtor de conteúdos, criar aplicações interativas e a capacidade de transmitir vários programas no mesmo canal de distribuição. Diferente da televisão analógica, a TVD codifica e transmite os sinais de áudio e de vídeo, separados, de forma a melhorar a qualidade de cada um deles.

A TVD surgiu há cerca de três décadas, e até agora são conhecidas as normas ATSC, DVB, ISDB, SBTVD e DMB [2]. A ATSC, (*Advanced Television Systems Committee*), foi concebida nos EUA, em 1982, a norma europeia da TVD definida como DVB (*Digital Video Broadcasting*), nasceu de um consórcio que contou com vários parceiros internacionais, *broadcasters*, fabricantes, reguladores, produtores de *softwares* e operadores da televisão, a ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*), é a norma

especificada pelos japoneses em 1999, pelo grupo DiBEG (*Digital Broadcasting Experts Group*), a norma SBTVD (Sistema Brasileiro da Televisão Digital), derivada da ISDB e a norma DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*), desenvolvida na china em 2006. Com as diversas evoluções, cada uma delas derivaram de diferentes subsistemas, tendo em conta o modelo de transmissão, receção, codificação ou próprio meio onde são transmitidos conforme será visto no capítulo ESTADO DA ARTE.

Apesar destas tecnologias não serem novas para a maioria dos países do continente Americano e Europeu, elas ainda são algo muito recente para alguns países nomeadamente do continente Africano, como é o caso de Cabo Verde, que há pouco tempo deu seus primeiros passos rumo à implementação da TVD utilizando como meio de transmissão a via terrestre (TDT).

A televisão na sua forma tradicional em Cabo Verde, surgiu em 1984, data em que foi inaugurada a televisão pública, na época designada de TEVEC (Televisão Experimental de Cabo Verde). A TEVEC operava com 22 profissionais e 3 emissões com algumas horas por semanas.

Com uma evolução muito lenta, ela passou-se a designar-se por TNCV (Televisão Nacional de Cabo Verde), em junho de 1990, que, por conseguinte, deixara de ser experimental e passou a funcionar como uma estação da televisão pública oficializada. Em 1997 o estado criou a RTC (Radio Televisão Cabo-Verdiana, Empresa, SA), que tem sob sua orgânica a RCV (Rádio de Cabo Verde) e a TCV (Televisão de Cabo Verde), órgãos que perduram até hoje. No mesmo ano da criação da RTC, devido a vários protocolos que o governo de Cabo Verde conseguiu junto dos outros países, como Portugal e França, e a criação da Lei n.º 57/V/98 [3], surgiram também a RTP-Africa, e a CFI (Atualmente TV5 Afrique), que mais tarde viriam juntar a Televisão Record de Cabo Verde, e a Televisão Independente de Cabo Verde (TIVER), ambas em 2007, completando o lote dos 5 operadores de sinal aberto de televisão, existentes atualmente em Cabo Verde.

Com o gradual avanço das novas tecnologias, sensivelmente em 2006, o governo disponibilizou o serviço de TV cabo (IPTV), que permitiu o acesso a televisão telefone e Internet designada de ZAP, através da Cabo Verde Telecom, empresa de telecomunicações (Telefonia Fixa, Móvel e de Internet), de capital lusa cabo-verdiana. No mesmo ano um grupo chinês abriu a empresa BOOM Multimédia, que utiliza a tecnologia DVB-T, para emissão de um conjunto de sinais de diferentes estações televisivas, nacionais e internacionais em algumas cidades do país, através de feixes

digitais com captação por pequenas antenas na casa dos assinantes do serviço, fechando assim o lote dos dois operadores de emissão do sinal em modo condicionado no país.

Conforme determinou a União Internacional de Telecomunicações, Cabo Verde deveria cessar os canais televisivos analógicos desde 27 de junho de 2015 [4], o que até agora, passando mais de dois anos, podemos verificar que cerca de 60 por cento da população ainda permanece com a codificação analógica em casa, isso porque existem grandes desafios a nível socioeconómico, político e principalmente desafios técnicos que precisam ser ultrapassados no sentido da TVD venha a ser uma realidade em Cabo Verde, em toda a sua extensão geográfica.

É neste sentido que este trabalho está contextualizado, fazendo o estudo e planeamento otimizado dos aspetos técnicos, sociais, económicos e políticos, para implementação de serviços da TDT, tendo como caso de estudo o território nacional cabo-verdiano, especificamente a ilha de Santiago, que servirá de exemplo para elaboração dos casos práticos, com o objetivo de contribuir para uma melhor gestão dos recursos raros, nomeadamente espectros radioelétricos e na amenização dos custos de implementação, tanto a nível de CAPEX como a nível de OPEX, para todos os *stakeholders* envolvidos e garantir a máxima qualidade de serviços televisivos aos potenciais utilizadores.

1.2 Motivação / Enquadramento

Devido à falta de recursos e à estrutura geográfica e demográfica, Cabo Verde enfrenta algumas dificuldades na distribuição equitativa da informação aos seus habitantes. Sendo assim a televisão constitui um dos meios mais importantes na nossa sociedade, visto que permite transmitir informações sobre o estado do país (economia, educação, política, cultura, desporto, etc.), com maior frequência e equidade, para todos os cantos do país, e que não exige um conhecimento profundo das novas tecnologias como é o caso da utilização da internet e outros sistemas de comunicação. Só que até agora, o sistema utilizado para transmissão é o sistema analógico que perdura desde a década de 80. Com vista a melhorar essa forma de levar informações a todos os cabo-verdianos e principalmente gerir e liberar o espectro radioelétrico para oferta de novos serviços tecnológicos, o governo encontra-se a reestruturar toda a rede da televisão e projetar o sistema digital de transmissão da televisão, e eu como cabo-verdiano achei oportuno estudar, pesquisar e partilhar este assunto com a sociedade a que pertence, de forma a ajudar na implantação, socialização e de como aproveitar ao máximo esta nova forma de

fazer chegar a informação desde os operadores até aos consumidores finais, evitando a exclusão social e garantir uma melhor qualidade, diversidade de serviços da teledifusão.

1.3 Temas de Investigação

O maior foco deste trabalho é fazer o estudo dos aspetos técnicos do planeamento da transição da televisão analógica para TVD, para um país insular e arquipelágico como é o caso de Cabo Verde, constituído por 9 ilhas habitadas e com uma estrutura geográfica peculiar, que obriga a uma análise cuidadosa e a uma forma mais adequada de fazer cobertura com os sinais da TDT, em todas as ilhas. Sabendo que a maioria do território são zonas rurais e suburbanas, ou seja, com densidade populacional baixa/média, e que as nove ilhas estão separadas por alguns quilómetros através das águas do oceano atlântico, e além disso, existe muita diferença na orografia das ilhas, o que implica necessariamente debater algumas questões tais como:

- A arquitetura da rede a ser implementada (SFN, MFN);
- O sistema de TVD a ser adotado;
- A quantidade de emissores e retransmissores que deverá existir para garantir os serviços mínimos em diferentes ilhas, nomeadamente a ilha de Santiago;
- A localização (Latitude, Longitude, Altitude) das antenas emisoras e retransmissoras;
- O tipo, largura de banda total e potência de cada antena para fazer face as necessidades das ilhas, levando em conta as suas geografias;
- As operadoras existentes atualmente e a possibilidade de aparecimento de novas operadoras nacionais e regionais;
- A distribuição dos canais e frequências por operadoras em cada uma das ilhas,
- A forma como será feita a difusão dos sinais dos centros de produção de conteúdos até chegar a cada uma das ilhas (anel da fibra ótica, feixes hertzianos, ou a conjugação dos dois), em particular o caso da ilha de Santiago.
- A solução para cobertura das zonas de sombra existentes na rede analógica;
- A quantidade, a capacidade dos multiplexers de acordo com a arquitetura implementada e a sua composição (operadores, quantidades de canais e tipos de canais [SD, HD]);
- Previsão da cobertura mínima e máxima, para as ilhas, principalmente a ilha de Santiago.

1.4 Objetivos gerais e específicos

O tema consiste em fazer o estudo e planeamento otimizado para implementação de serviços da TDT em Cabo Verde, na ilha de Santiago, com vista a melhorar a gestão do espetro radioelétrico, melhorar a oferta de serviços da teledifusão nesta ilha onde está o capital do país e minimizar os custos de implementação, tanto a nível de CAPEX como a nível de OPEX, para todos os envolvidos neste projeto. Os objetivos específicos são:

- Fazer o estudo do estado da arte;
- Avaliar a demografia e a orografia do terreno da ilha de Santiago;
- Propor uma arquitetura da rede baseada nas condições geográficas da ilha de Santiago;
- Fazer um levantamento e análise do espetro de frequências utilizado pela antiga rede analógica de televisão e planear a distribuição de canais e frequências para a nova rede TDT;

1.5 Estrutura da Dissertação

Este subcapítulo descreve a composição desta dissertação, nomeadamente quais são os capítulos que o compõe e o que retrata cada um deles. Esta dissertação encontra-se dividida em cinco (5) capítulos distintos.

O primeiro capítulo (INTRODUÇÃO), faz uma pequena introdução e o enquadramento do tema desta dissertação, apresenta a motivação que levou à escolha e ao desenvolvimento deste tema, as questões e metodologias de investigação e define ainda os objetivos a serem alcançados no final deste estudo.

O segundo capítulo (ESTADO DA ARTE), dedica-se ao estudo e investigação do que já existe a nível da TVD. Visa descrever as normas da TVD terrestres já existentes, as tecnologias que cada uma delas utiliza para codificação de sinais de áudio e de vídeo e as tecnologias da codificação do meio que utilizam para difundir os sinais da TVD.

O terceiro capítulo (NORMA DA TELEVISÃO DIGITAL DVB-T2), descreve de forma mais detalhada a segunda geração da TVD terrestre da norma DVB, visto que é a norma que Cabo Verde adotou em conjunto com os outros países da CEDEAO e em conformidade com as recomendações da UIT.

O quarto capítulo (PLANEAMENTO APLICADO AO CASO DE ESTUDO), aborda a questão que deu origem a esta dissertação. Neste capítulo será feito o planeamento da arquitetura da rede, da área de cobertura da rede TDT e as frequências a

serem utilizadas, dos multiplexer's a serem utilizados e dos tipos de serviços a serem fornecidos com a nova rede da TDT, e a apresentação dos resultados.

No quinto capítulo (CONCLUSÕES), apresenta-se as conclusões e trabalhos futuros, indicando algumas possíveis melhorias que poderão ser feitas no sistema de transmissão da TDT em Cabo Verde, mais concretamente na ilha de Santiago.

Foram ainda introduzidos as referencias bibliográficas usadas para o desenvolvimento desta dissertação e alguns anexos para complementar algumas ideias, informações, termos e tecnologias faladas nesta dissertação.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 A origem da Televisão Digital

Televisão numa definição básica é a transmissão, codificada ou não, de imagens não permanentes, com ou sem som, através de uma rede de comunicações eletrónicas, destinada à receção em simultâneo pelo público em geral. Ela é sem dúvida um dos melhores meios de comunicação social inventado até hoje. Desde o seu aparecimento até agora, sofreu várias evoluções, à custa da pressão exercida pelos diversos *players* do mercado, entre eles, os grandes estúdios de produção, as estações de difusão, os académicos, os fabricantes de equipamentos, as entidades de regulação entre outros, no sentido de melhorar esta tecnologia em todos os sentidos, principalmente na redução do espectro radioelétrico utilizado na sua transmissão, redução de custos e por fim melhoria da qualidade de serviço para os utilizadores finais.

Ao longo de várias décadas, a transmissão dos sinais da televisão assentou em tecnologia analógica. Contudo, devido a várias características do sinal analógico e perante o meio em que a TV é transmitida, ela encontra-se sujeita a um conjunto de fatores que podem causar a sua degradação e causar problemas na receção no destinatário final. Estas degradações podem ser classificadas em 4 categorias fundamentais [1] :

- **Ruído:** aleatório, cumulativo, inerente aos processos físicos envolvidos na circulação dos sinais elétricos;
- **Distorção não-linear:** presente em todos os elementos ativos de circuitos, amplificadores, processadores, etc.;
- **Interferências:** introdução de sinais indesejados, geralmente de origem conhecida, eventualmente identificáveis, porém de difícil ou impossível eliminação;
- **Perdas:** atenuação, limitação de resposta em frequência, dispersão temporal, desfasagem, e outras degradações decorrentes da função de transferência do canal de comunicação

Além destas degradações, os sinais analógicos requerem uma grande capacidade de armazenamento e altas taxas de bits para a sua transmissão, e ainda assim, sem a garantia de que chegariam ao destino de forma íntegro. A digitalização, surgiu como resposta para esses problemas.

O evento mais notável que está na origem da TVD foi a fundação da norma JPEG, (*Joint Photographic Experts Group*), para a compressão de molduras. Foi aqui utilizado

pela primeira vez a transformada discreta do cosseno (DCT), para comprimir quadros fixos até o final dos anos 80.

O DCT tornou-se no algoritmo básico para o MPEG, que desenvolveu o padrão MPEG-1 (ISO/IEC 11172-1), até 1993, com o objetivo de reproduzir imagens em movimentos com a taxa de dados de até 1,44Mbit/s utilizando o CD como meio de dados. A norma MPEG-2 (ISO/IEC 13818) foi desenvolvida aproximadamente em 1995, que se tornou a norma base para a TVD em todo mundo.

Na norma MPEG-2, foi descrita a estrutura de dados MPEG (ISO/IEC 13818-1), um método para a compressão de dados em movimento total (ISO/IEC 13818-2) e um método para compressão de áudio (ISO/IEC 13818-3), que são usados agora a nível mundial nos sistemas da TVD. As descrições destas normas permitiram que os sinais da TVD originalmente de 270 Mbit/s sejam comprimidos para cerca de 2 a 7 Mbit/s, e a taxa de um sinal de áudio estéreo não comprimido de cerca de 1,5 Mbit/s para uma taxa de cerca de 10 a 400 Kbit/s.

Estas elevadas taxas de compressão de sinais tanto de vídeo como de áudio, geraram a possibilidade de combinar inúmeros programas, e serem transmitidos num único canal com bandas aproximadamente de 6, 7 e 8 MHz, onde são difundidos os sinais da TVD [5].

2.2 Arquitetura Básica da TV Digital

Todas as normas da TVD conhecidas até agora assentam sobre uma arquitetura básica, sendo as diferenças impostas pelas opções disponíveis para a codificação de áudio e vídeo, o sistema de modulação para a sua transmissão, e o *middleware* utilizado [2], conforme se ilustra na Figura 2.1.

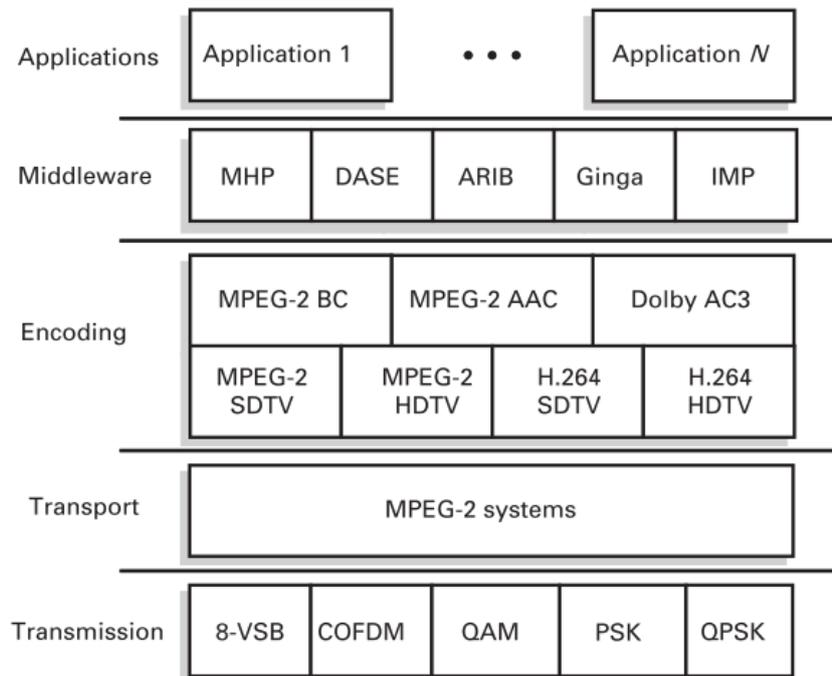


Figura 2.1 - Opções das arquiteturas básicas para as normas da TVD
 Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

Nos próximos subcapítulos serão detalhados cada uma das 5 normas de TVD existentes atualmente (ATSC, ISDB, DVB, SBTVD ou ISDTV e a DTBM), as suas características e suas arquiteturas.

2.3 Norma da Televisão Digital Americana (ATSC)

A norma *ATSC*, (*Advanced Television Systems Committee*), foi concebida nos EUA, em 1982 pelos membros das organizações *Joint Committee on InterSociety Coordination (JCIC)*, *Electronic Industries Association (EIA)*, *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*, *National Association of Broadcasters (NAB)*, *National Cable Telecommunications Association (NCTA)*, e *Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE)*.

Atualmente, existem aproximadamente cerca de 150 membros que representam as indústrias de transmissão, entre os quais produtores de equipamentos, filmes, eletrónica de consumo, computadores, cabos, satélites e semicondutores.

As normas da TVD ATSC incluem TVD de alta definição (HDTV), televisão de definição padrão (SDTV), transmissão de dados, áudio de som multicanal e transmissão por satélite direto para as casas dos utilizadores.

As normas ATSC descrevem um sistema projetado para transmitir vídeo e áudio de alta qualidade e dados auxiliares em um único canal de 6 MHz. A norma ATSC

original, ATSC 1.0, descrita em A/53 [6], utiliza o sistema 8VSB (*Vestigial Side Band* com 8 níveis), para modular os seus canais de transmissão e pode fornecer o fluxo de transporte MPEG-2 com 19,39 Mbit/s de *throughput* em um canal de transmissão terrestre de 6 MHz, conforme ilustra a Figura 2.2.

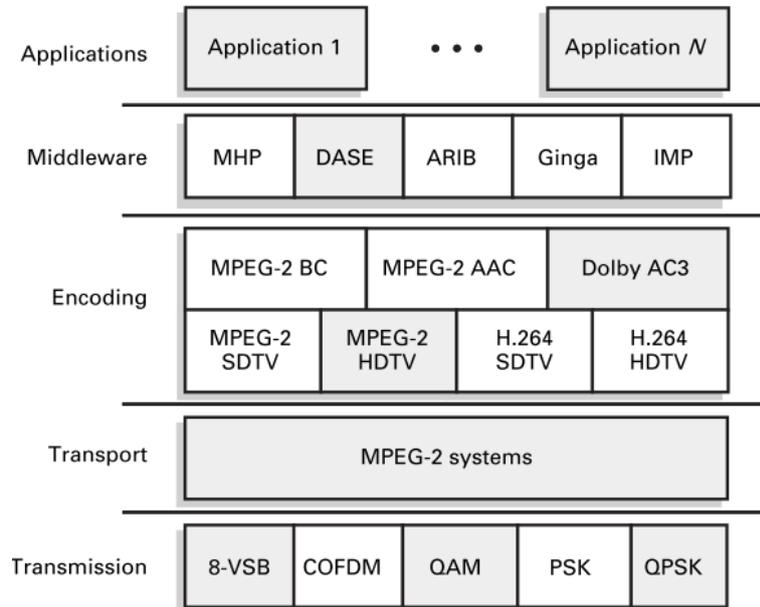


Figura 2.2 - Arquitetura básica da norma ATSC

Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

A norma ATSC, conta também com as vias de transmissão cabo e satélite. Para a transmissão via cabo, a norma ATSC usa o sistema 64-QAM para modulação de canais enquanto que na transmissão via satélite, usa o sistema QPSK para modular os canais visto que via satélite o meio de transmissão estará mais exposto a ruídos, interferências e multipercursos, devido às distâncias que o sinal tem de percorrer até os equipamentos recetores. Para o vídeo usa a codificação MPEG-2, criada pelo *Moving Picture Experts Group* (MPEG), e para a codificação do áudio segue o sistema DolbyAC-3, versão da norma usado nos cinemas e em equipamentos de som de alta qualidade. A Figura 2.3, mostra um esquema de transmissão simplificado da norma ATSC.

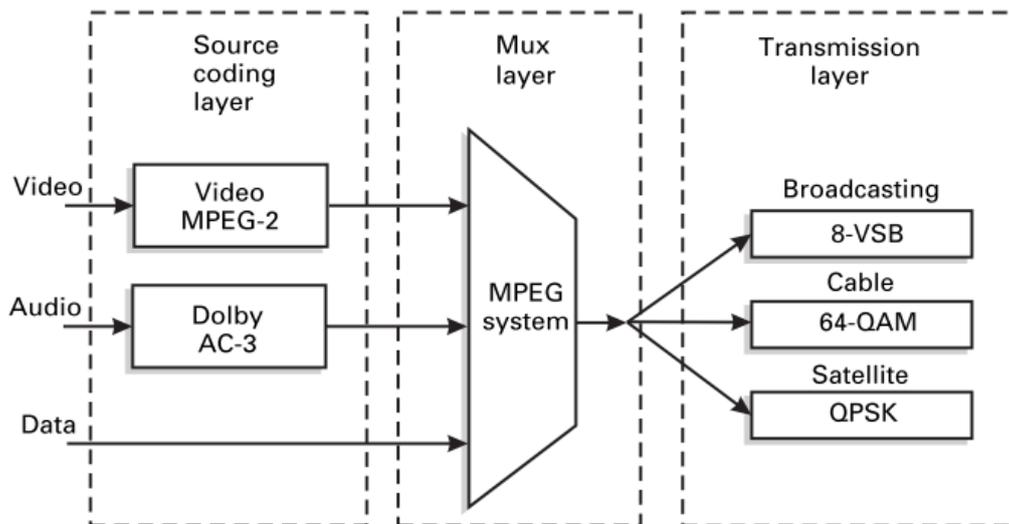


Figura 2.3 - Esquema de transmissão da norma ATSC

Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

Embora os subsistemas de transmissão ATSC tenham sido projetados especificamente para aplicações terrestres e de transmissão por cabo, o objetivo é que os subsistemas de transmissão de vídeo, áudio e serviços de multiplexação e transporte possam ser úteis em outras aplicações. Para a entrega de conteúdo de TVD nos dispositivos móveis ou portáteis, a ATSC suporta uma extensão designada ATSC-M/H¹. Uma extensão adicional ao padrão ATSC, chamado ATSC 2.0, fornece a entrega de conteúdo baseado em arquivos, (NRT - *Non-Real-Time*), incluindo programas e vídeos tanto para recetores fixos quanto para recetores móveis. A ATSC 2.0 [7] também fornece serviços interativos, permitindo que as emissoras transmitam programas com serviços adicionais. Atualmente, a ATSC já dispõe de uma nova versão, intitulada ATSC 3.0 descrita no documento A/300 [8]. Este sistema usa COFDM para melhorar a recepção móvel e a multiplexação/transporte basearam no protocolo IP ao invés de usar o fluxo de transporte MPEG.

2.4 Norma da Televisão Digital Japonesa (ISDB)

A ISDB (*Integrated Services Digital Broadcasting*), é a norma especificada pelos japoneses em 1999, pelo grupo DiBEG (*Digital Broadcasting Experts Group*). Foi desenvolvida para permitir execuções e transmissão dos sinais da televisão de alta definição, HDTV, em diferentes tipos de recetores fixos, assim como para dispositivos móveis com baixa definição de imagens.

¹ Ver Report ITU-R BT.2049-6

Ela utiliza MPEG-2 para compressão de vídeo e áudio, e QAM/PSK/COFDM para a modulação e ARIB, (*Association of Radio Industries and Businesses*) como *middleware*.

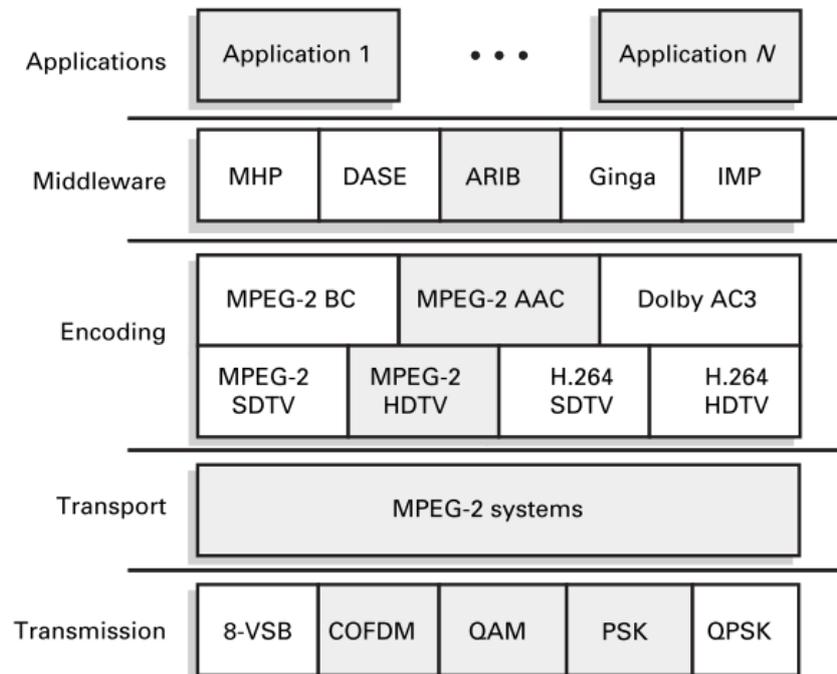


Figura 2.4 - Arquitetura básica da norma ISDB

Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

A norma ISDB para transmissão terrestre descrita no documento ARIB STD-B31[9] opera em canais de 6, 7 e/ou 8 MHz, usa multiplexação COFDM com variações e codificação de carga de sinal com MPEG-2. A proteção contra erros é fornecida pelo código Reed-Solomon combinado com o código convolucional. Concebida para sistemas hierárquicos com múltiplos níveis, ISDB-T atinge uma taxa de transmissão que varia entre 3,65 e 23,23 Mbit/s. Para a transmissão via cabo, faz uso do sistema de modulação 64-QAM, enquanto a transmissão por satélite usa a modulação 8-PSK, como mostra a Figura 2.5.

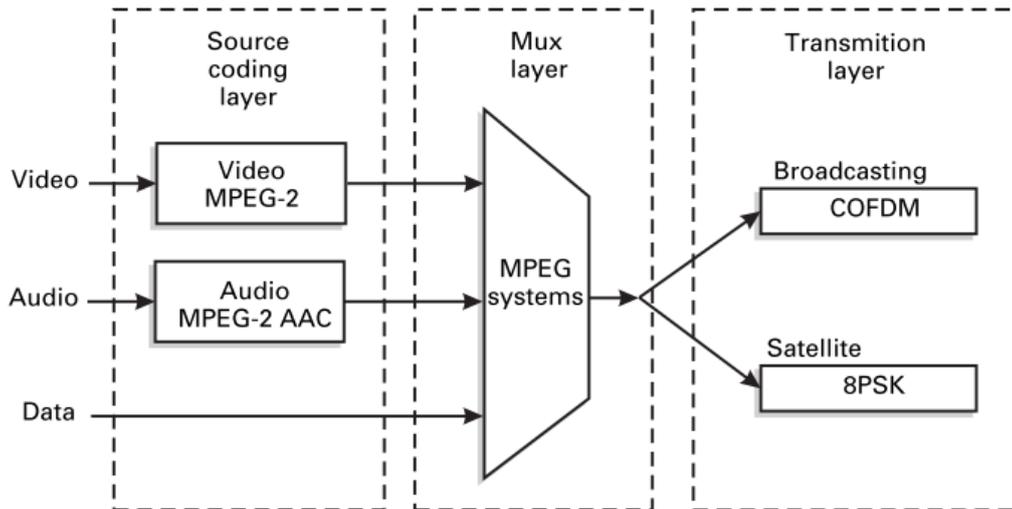


Figura 2.5 - Esquema de transmissão da norma ISDB

Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

A norma ISDB conta com algumas das principais características como transmissão de vídeos HDTV, SDTV, LDTV, transmissão de múltiplos programas, serviços interativos e multimídia de alta qualidade para recetores móveis e convencionais, e entre outros. Conforme uma pesquisa publicada no *site* <https://www.dibeg.org>, em 2017 contam-se 19 países, os que já adotaram a norma japonesa da TVD.

2.5 Norma de Televisão Digital Europeia (DVB)

A norma europeia da TVD definida como DVB (*Digital Video Broadcasting*), nasceu de um consórcio que contou com vários parceiros internacionais, *broadcasters*, fabricantes, reguladores, produtores de *softwares* e operadores da televisão. Em 2010, a norma já contava com cerca de 280 entidades internacionais envolvidas. A interatividade da norma europeia é proporcionada pela implementação das especificações do *middleware* MHP (*Multimedia Home Platform*). Além disso o sistema usa as normas MPEG-2 BC e MPEG-2 SDTV para codificação de áudio e vídeo respetivamente e o sistema MPEG-2 para a codificação dos canais de transmissão, conforme ilustra a sua arquitetura básica, representada na Figura 2.6.

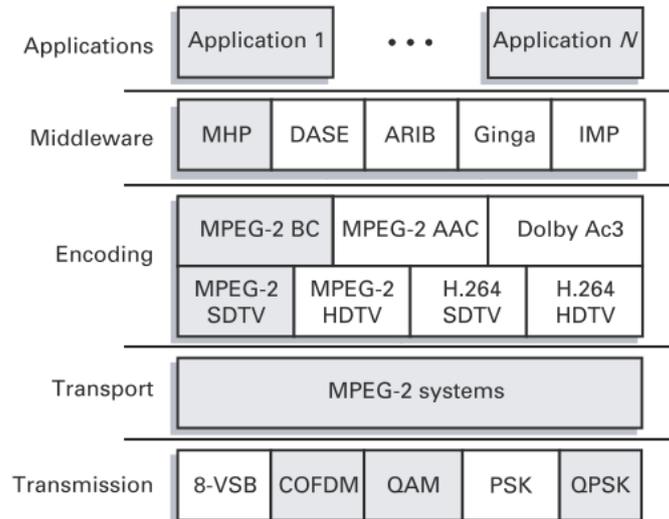


Figura 2.6 - Arquitetura básica da norma DVB
 Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

A norma DVB-T descrito no documento EN 300 744 [10], foi desenvolvida para atender às diversas e diferentes necessidades de vários países, e por esse motivo, é uma norma flexível em relação aos modos de configuração (aproximadamente 126 configurações possíveis). Ela opera em canais de 6, 7 ou 8 MHz, com multiplexação COFDM, em 1705 portadoras, (sistema 2K) ou 6817 portadoras, (sistema 8K). As suas taxas de transmissão podem variar entre 5 a 31,7 Mbit/s.

Ainda em termos de modulação, a DVB-C, descrita em EN 300 429 [11], usa a modulação 64-QAM, com seis bits de dados por símbolo e DVB-S, descrita em EN 300 421 [12], usa a modulação QPSK, conforme ilustra a Figura 2.7.

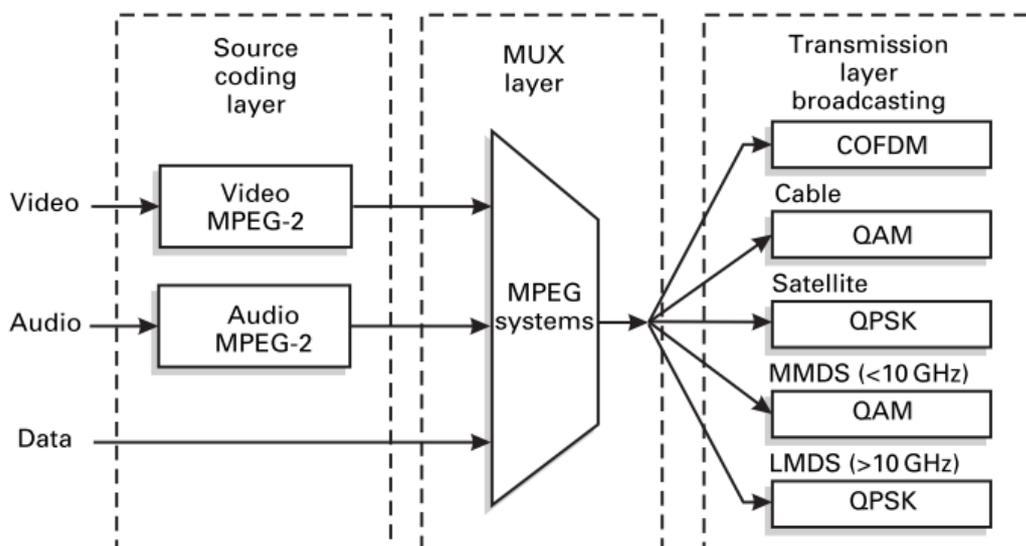


Figura 2.7 - Esquema de transmissão da norma DVB
 Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

Entre 2009 e 2011 surgiu a segunda geração da norma europeia e segundo anunciado no *site* oficial da DVB [13], os serviços da TVD que utilizam as normas DVB, estão disponíveis em todos os continentes com mais de 1 bilhão de recetores DVB implantados e que já são aproximadamente 166 países, os que adotaram ou que já implantaram DVB-T ou DVB-T2 (Figura 2.8).

O primeiro serviço DVB-T2 foi lançado no Reino Unido em março de 2010. Suécia e Finlândia seguiram em breve e quase todos os países europeus agora têm planos avançados para mudar de DVB-T para DVB-T2. Em África, os serviços de televisão por assinatura DVB-T2 foram lançados na Zâmbia, Namíbia, Nigéria, Quênia e Uganda e desde então, muitos outros países do continente optaram por esta opção como é o caso dos países da CEDA O que inclui o arquipélago de Cabo Verde. Por esta ser a norma adotada no país na qual fica a ilha que vai servir do caso de estudo neste trabalho, ela será destacada de forma mais detalhada no capítulo 3.

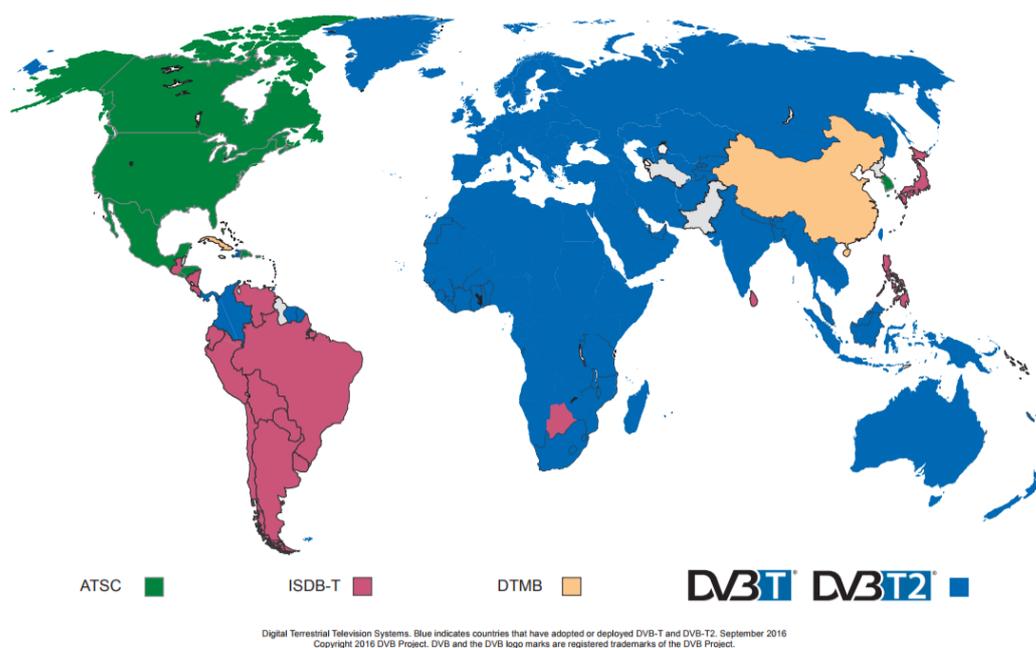


Figura 2.8 - Mapa dos países que adotaram o sistema DVB-T ou DVB-T2 para implementação da TDT

Fonte: DVB [13]

2.6 Norma da Televisão Digital Brasileira (SBTVD ou ISDTV)

As primeiras ações para implementar a TVD no Brasil começaram no final da década de 90 com o trabalho da Comissão Brasileira de Comunicações da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). De novembro de 1998 a maio de 2000, foram

realizados amplos testes de campo e laboratório com as normas da TVD disponíveis naquele momento. O projeto para o desenvolvimento do Sistema Brasileiro de TVD (SBTVT), que mais tarde passou a ser chamada de *International System Digital Television* (ISDTV), foi lançada em novembro de 2003. Mais de uma centena de instituições estiveram envolvidas no projeto ISDTV, incluindo indústrias, universidades, centros de pesquisa e empresas de radiodifusão [2]. A norma ISDTV usa uma tecnologia para codificação e modulação de sinais, semelhante à da norma japonesa ISDB-T. Os sinais são transmitidos usando a técnica de transmissão segmentada de banda (BST) e multiplexação por divisão de frequências ortogonais (OFDM). A Figura 2.9 ilustra a arquitetura básica da norma ISDTV.

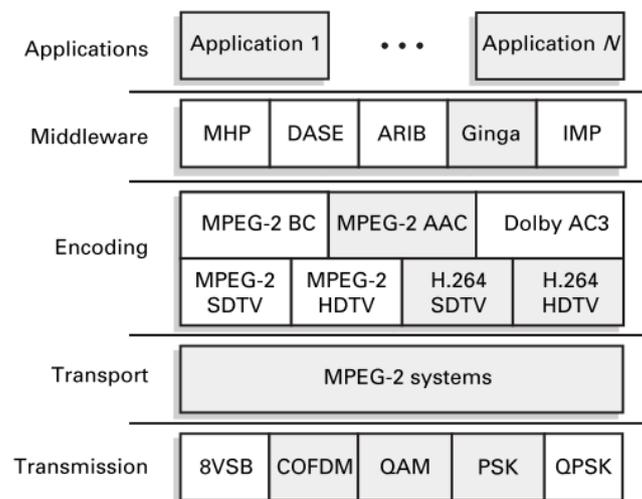


Figura 2.9 - Arquitetura básica da norma ISDTV
 Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

O comitê ISDTV aprovou H.264 como a norma de compressão de vídeo. A norma é usada para codificar vídeo de alta definição, bem como vídeos de resolução reduzida para recetores móveis ou portáteis. A adoção do H.264 foi uma inovação chave em relação a todos as outras normas de TVD existentes naquela época.

A norma ISDTV usa o *middleware* Ginga. A arquitetura, aplicações e especificações do ginga foram projetadas para funcionar em recetores de TVD de radiodifusão terrestre, mas também podem ser usadas para outros sistemas, como sistemas de TV via satélite ou por cabo. Para dar suporte a interatividade e ao canal de retorno, foram estudadas uma série de tecnologias. A análise favoreceu a tecnologia WiMAX, em particular, a tecnologia WiMAX-700. A tecnologia opera na banda de frequência primária de 400-900 MHz (UHF) e, opcionalmente, de 54 MHz a 400 MHz como banda secundária (VHF).

2.7 Norma da Televisão Digital Chinesa (DMB)

Existe ainda a norma DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*), desenvolvida na china em 2006. A modulação do sistema DMB foi baseada nos erros e acertos das normas europeia e Norte Americana, e usa também a *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM), para a transmissão dos sinais. A tolerância às falhas que existia nos sistemas DVB e ATSC, levaram à utilização do TDS (*Time Domain Synchronous*), que evita a perda da potência do sinal de forma significativa devido a necessidade de emissão dos sinais a longas distâncias. Ela também oferece uma alta resiliência à interferência ao longo da sua transmissão. O surgimento da norma deve-se a necessidade de transmissões de imagens em SDTV e HDTV, e funciona tanto para os aparelhos fixos como para dispositivos móveis. A norma suporta ainda implementações de redes MFN (*Multiple Frequency Network*) e SFN (*Single Frequency Network*) [14]. A DMB usa como *middleware* o software IMP (*Information Module Profile*), MPEG-2 AAC para codificação de áudio, MPEG-2 SDTV e MPEG-2 HDTV para codificação do vídeo e o sistema MPEG-2 para codificação dos canais de transmissão, conforme ilustra a Figura 2.10.

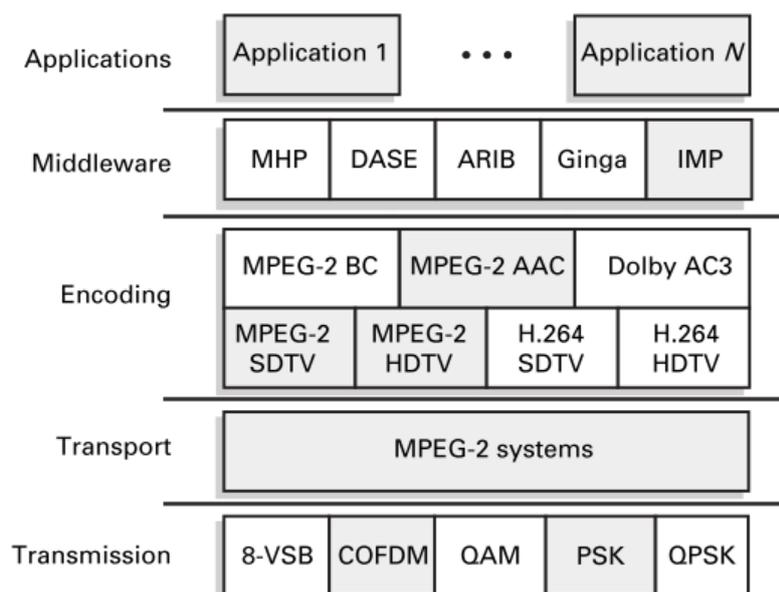


Figura 2.10 - Arquitetura básica da norma DMB

Fonte: M. Alencar, 2009 [2]

3 NORMA DA TELEVISÃO DIGITAL DVB-T2

3.1 Descrição Geral

A norma DVB-T (*Digital Video Broadcast - Terrestrial*) é uma norma projetada especificamente, para serviços de TVD terrestre que funciona na banda de frequências VHF e UHF. Devido ao desligamento analógico europeu e ao aumento da escassez de espectro, a DVB elaborou requisitos comerciais para uma norma mais eficiente e atualizada em termos da eficiência de espectro e melhoria de outras características, originando a DVB-T2. A norma DVB-T2 é a evolução natural da norma DVB-T, registando diversas melhorias, quer em termos de subportadoras COFDM (32k), quer dos intervalos de guarda, quer ainda de esquemas de modulações (256-QAM) que permitem débitos binários mais elevados, o que se traduzem no aumento da capacidade de cada multiplexer, podendo passar a disponibilizar, em determinadas circunstâncias, o dobro da capacidade da DVB-T. A introdução de códigos corretores de erros mais robustos LDPC (*Low Density Parity Check*) e BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquengham*), assim como da técnica de rotação da constelação 256-QAM, também representam um salto qualitativo na preservação da integridade do conteúdo transmitido e conferem maior resiliência face à receção multipercurso. Ela é uma das normas da TVD mais avançadas do mundo, oferecendo maior robustez, flexibilidade e pelo menos 50% de eficiência, maior do que qualquer outra norma TDT. Ela suporta SD, HD, UHD, TV móvel ou qualquer combinação destas. A DVB-T2, não visa apenas o acesso dos sinais digitais da TDT, através das antenas de telhado e set-top-boxes, mas também permite aos utilizadores terem acesso e usufruírem dos sinais da TVD difundidos através dos seus computadores pessoais, portáteis, rádios, telefones inteligentes, recetores em movimentos, nomeadamente os embarcados em transportes terrestres (carros, comboios, entre outros), e toda uma gama de outros dispositivos recetores inovadores [13]. Nela foi incorporada um conjunto de novas tecnologias como por exemplo:

- Múltiplos canais de camada física, que permitem um ajuste separado da robustez de cada serviço entregue dentro de um canal para atender às condições de receção necessárias (por exemplo, antena na porta ou no telhado). Os múltiplos canais permitem também, que os recetores economizem energia decodificando apenas um serviço único, em vez de todo serviço do multiplex;
- Codificação de *Alamouti*, que é um método de diversidade de transmissão que melhora a cobertura em redes de frequência única em pequenas escalas;

- Rotação da constelação, que fornece robustez adicional para constelações de baixa ordem;
- Quadros de extensão futura (*Future Extension Frames*), que permitem que a norma seja aprimorada a nível da eficácia e eficiência.

A Tabela 3.1, demonstra as características que foram acrescentadas, na norma DVB-T2.

Tabela 3.1 - Características acrescentadas na norma DVB-T2

Características	DVB-T	DVBT-2
Corretores de Erros (FEC)	Reed-Solomon e Convolutacional 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5 , 2/3, 3/4, 4/5 e 5/6
Constelações	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Intervalos de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/128 , 1/8, 19/256 , 1/16, 1/32, 1/128
Tamanhos do FFT	2k, 8k	1k , 2k, 4k , 8k, 16k , 32k
Port. Pilotos dispersos	8% do total	1% , 2% , 4% , 8% do total
Port. Pilotos Contínuos	2.0% do total	0,4% - 2,4% (0,4% -0,8% em 8K-32K)
Largura de banda	6, 7, 8 MHz	1,7 , 5 , 6, 7, 8, 10 MHz
Taxa de bits	31.7 Mb/s (Canal de 8 MHz)	45,5 Mbit/s (Canal de 8 MHz)

Fonte: Baseada no quadro da descrição da norma DVB-T2[13]

3.2 Arquitetura

Assim como nos vários aspetos anteriormente referidos, houve também uma atualização no modelo/arquitetura da segunda geração da TVD, da norma DVB-T. Esta atualização consistiu fundamentalmente na adição, dos 5 *gateway*'s ou interfaces entre os componentes do sistema, como mostra a Figura 3.1. Na norma DVB-T, os *gateway*'s eram opcionais enquanto que na norma DVB-T2 são obrigatórios. Eles fornecem todas as informações necessárias para os transmissores, para que eles possam criar corretamente os sinais de RF para garantir a operação correta nas redes SFN's e outros serviços fundamentais no processo de transmissão.

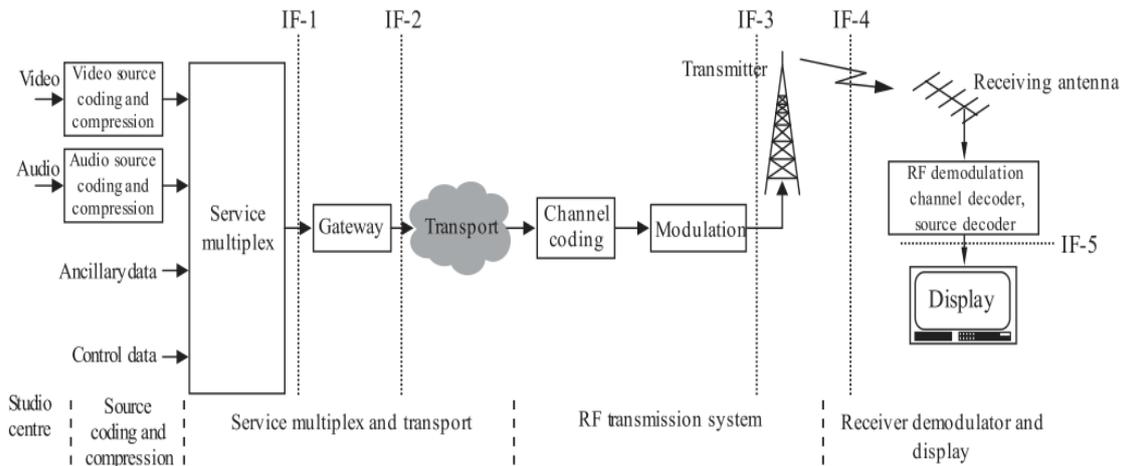


Figura 3.1 - Modelo básico da arquitetura da norma DVB-T2
 Fonte: O. Regula (2016) [15]

A arquitetura da norma DVB-T2 está subdividida em cinco partes, três subsistemas no lado da transmissão (SS1, SS2 e SS3) e dois subsistemas no lado da receção (SS4 e SS5), conforme indica a Figura 3.2.

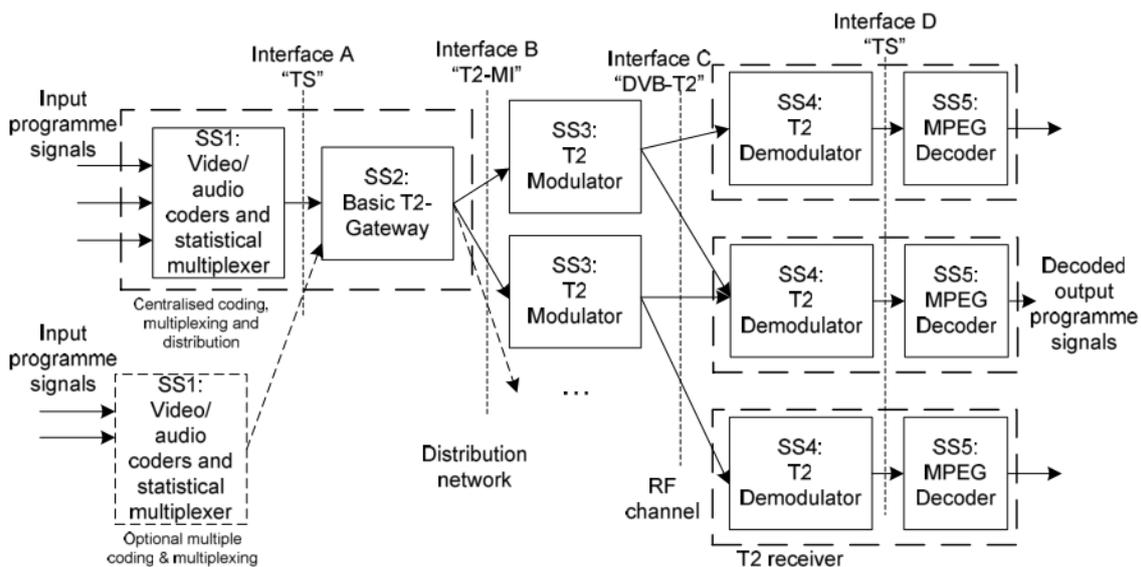


Figura 3.2 - Diagrama da arquitetura da norma DVB-T2 dividida em blocos
 Fonte: ETSI TS 102 831 [16]

Cada um dos blocos desempenham um papel fundamental no processo da transmissão, conforme será descrito a seguir:

- O bloco SS1 (*Video/áudio coders and statistical multiplexer*) é responsável pela codificação e multiplexação dos sinais e na geração do TS (*Transport Stream*) ou GS (*Generic Stream*).
- SS2 (*Basic T2 Gateway*), responsabiliza-se pelo encapsulamento das informações provindas do SS1, dentro de um novo pacote chamado T2-MI. Acrescentando a

sinalização L1, o vetor IQ para dados auxiliares, condições de sincronização DVB-T2 e uma parte para quadros do tipo FEF (*Future Extension Frame*).

- SS3 (*T2 Modulator*), insere as informações providas do *frame* T2-MI nas subportadoras, utilizando o sistema de codificação COFDM, e depois serão disponibilizadas aos transmissores em seu tempo exato para a sua sincronização.
- SS4 (*T2 Demodulator*), receberá um ou mais sinais (no caso de uma rede SFN) e colocará na saída um TS (*Transport Stream*) correspondente. O *output* do subsistema SS4 para o subsistema SS5, na *interface* D, será igual à *output* do subsistema SS1 para o subsistema SS2 na *interface* A, ou seja, ambos conterão o mesmo pacote TS, conforme ilustra a linha horizontal vermelha na representação dos subsistemas em forma de camada na Figura 3.3.
- SS5 (*MPEG Decoder*) - Este subsistema receberá o TS e decodificará em vídeo e áudio ou dados para cada programa.

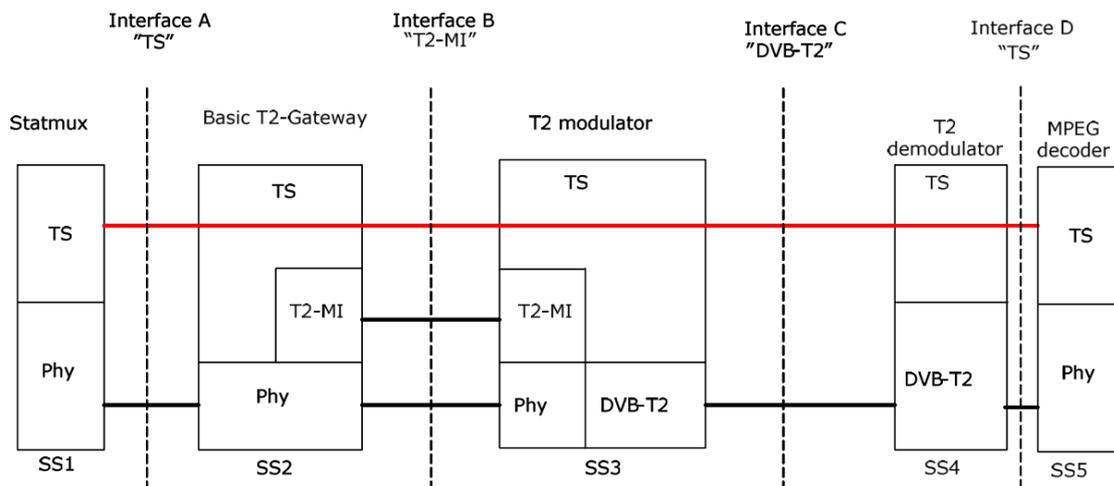


Figura 3.3 - Pilhas de protocolo de *Transport Stream* MPEG para norma DVB-T2

Fonte: ETSI TS 102 831 [16]

3.3 Estrutura do pacote T2-MI

Na norma DVB-T2 foi implementada um novo pacote de dados, que será enviado entre o *Basic T2 Gateway* e o *T2 Modulator*, designado de T2-MI [17], como foi ilustrada anteriormente na Figura 3.3. O pacote T2-MI transporta todas as informações da entrada do sistema (MPEG-2). Desde informações de sinalização (L1) [18], para ajudar na construção do *frame* pelo modulador, o vetor IQ [18], as condições utilizadas na sincronização do sistema e a FEF.

Todas estas informações são transmitidas, exceto as condições de sincronização, que serão utilizadas pelo modulador para determinar o exato momento em que foi emitido o sinal DVB-T2.

A Figura 3.4 ilustra o pacote T2-MI, formado por um cabeçalho de 6 bytes, um payload de tamanho variável, um *pad*, também de tamanho variável e um CRC (*Cyclic Redundancy Check*) de 32 bits para verificação de erros.

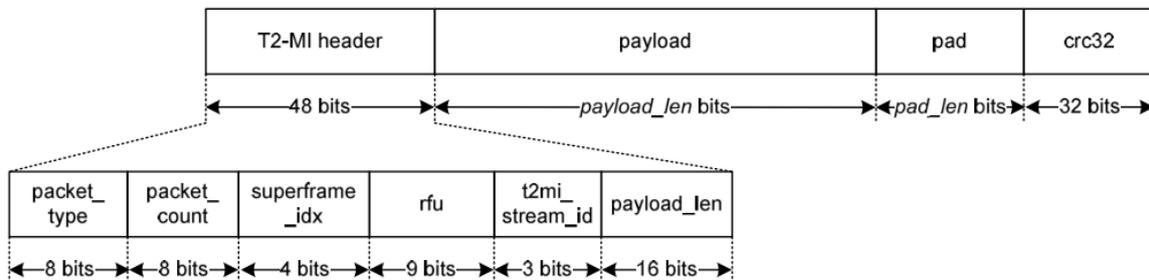


Figura 3.4 - Estrutura do pacote T2-MI

Fonte: ETSI TS 102 773 [17]

O cabeçalho do pacote T2-MI subdivide em 6 partes distintas:

- **Tipo de pacote (*Packet_Type*)**, que indica o tipo de *payload* que é carregado pelo T2-MI.
- **Contagem de pacote (*Packet_Count*)**, que faz a identificação do pacote através de um número único. Este valor é incrementado para cada pacote enviado.
- **Superframe_idx** deve ser constante para todos os pacotes T2-MI que transportam dados pertencentes a um super quadro T2 e deve ser incrementado para cada super quadro seguinte.
- **Rfu** constitui um número reservado para usos futuros, e deve sempre ser colocado em 0.
- **T2mi_stream_id** é utilizado para identificar um fluxo de T2-MI em um modulador. Pode ser usado tanto para fluxos compostos como simples. No caso do simples deve-se utilizar o valor 0 na base 2 (binária). No caso de composto, obrigatoriamente, cada fluxo deve apresentar um valor diferente de ID.
- **Payload_len**, indica o tamanho do *payload* em bits.

O *payload* carrega o pacote que vai variar de acordo com o tipo de T2-MI, o *pad* deve ser completado com 0 (bin) para que o *payload* do T2-MI mais o *pad* completem um número inteiro múltiplo de 8, e o *crc32* deve ser calculado de acordo com o cabeçalho, *payload* e *pad* que tem como função, a identificação dos erros no pacote [17].

3.4 Canais da camada física

O diagrama do modelo básico da camada física da norma DVB-T2 (*T2 System*), encontra-se representado na Figura 3.5.

A entrada do sistema (*T2 System*), pode ser um ou mais *Transport Streams* (TS) MPEG e/ou um ou mais *Generic Streams* (GS). Os *streams* podem ser modificados, quando necessário, pelo pré-processamento no *Gateway T2* da pilha de protocolos ilustrada na Figura 3.3, de modo que, neste ponto da cadeia, as entradas de fluxo têm uma correspondência ponto-a-ponto com os canais de dados no modulador, que são chamados de *Physical Layer Pipes* (PLPs).

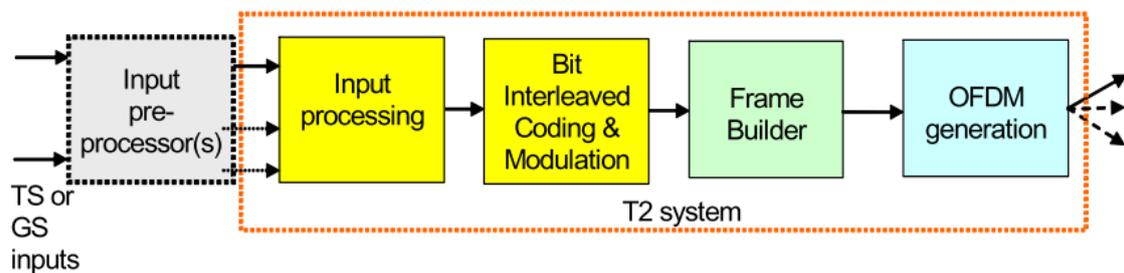


Figura 3.5 - Diagrama de bloco do modelo básico da camada física da norma DVB-T2 (alto nível)

Fonte: ETSI EN 302 755 [18]

Este sistema possui uma codificação de canal bastante flexível, centrado no conceito de *Physical Layer Pipes* (PLPs), que são camadas de transporte de serviços distintos, cada uma com taxa de bits, correção de erros, sinalização e modulação próprias, podendo transportar pacotes MPEG-2 ou fluxos genéricos de bits.

A norma DVB-T2 possui dois modos da configuração de PLPs:

- **Modo A** - Com esta configuração o sistema concentra todos os seus recursos apenas num único PLP, aumentando assim a taxa de processamento naquele PLP, assim como mostra a Figura 3.6. Como o resultado do output da camada física T2, teremos um sinal de RF em um único canal RF. Por opção, o sinal pode ser dividido ainda em segundo sinal RF, para ser transportado para uma segunda antena, tipicamente em outro site do transmissor, para o modo de transmissão MISO, usando uma forma modificada da codificação de *Alamouti*. No que diz respeito à camada física, o modo A é simplesmente um caso degenerado do modo B, a sinalização dinâmica é de fato estática, com o único PLP sempre mapeado para os mesmos endereços.

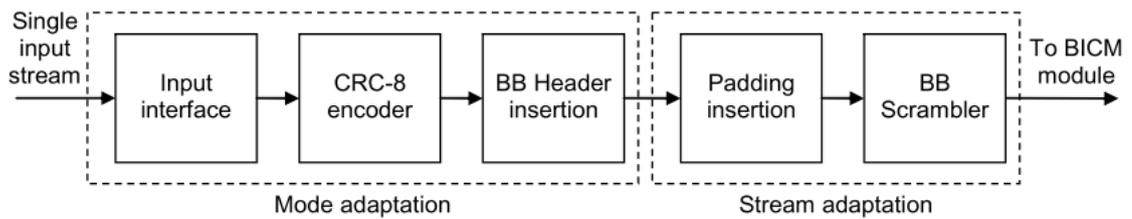


Figura 3.6 - Diagrama de bloco para o tipo de processamento modo A
 Fonte: ETSI EN 302 755 [18]

- Modo B** – Neste modo o sistema T2 contém mais de um fluxo de entrada, que podem incluir *Transport Streams* e *Generic Streams*. Cada fluxo é transportado por um único PLP separado, onde pode haver multiplexação estatística entre os PLPs para que a taxa de bits de um PLP individual seja variável, de acordo com o tipo de serviço ou dados transportados no PLP. A Figura 3.7 mostra o diagrama de bloco, para a configuração do modo B, do sistema T2.

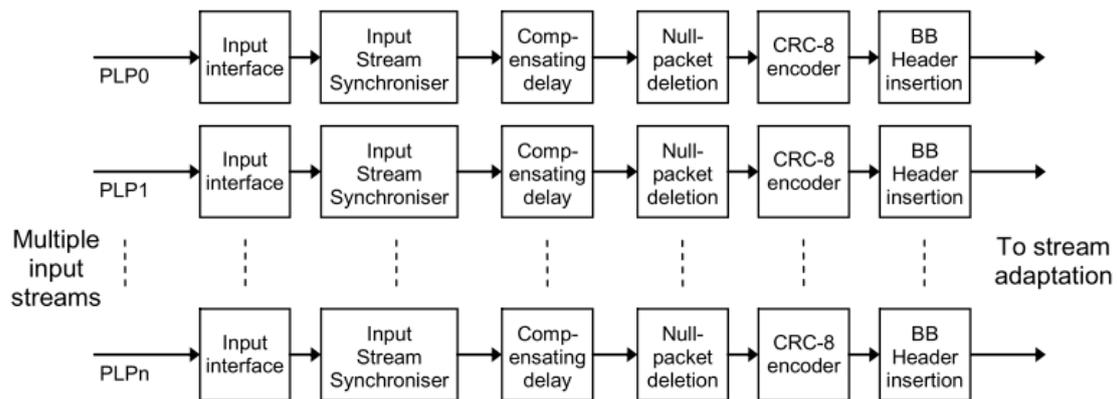


Figura 3.7 - Diagrama de bloco para o tipo de processamento modo B
 Fonte: ETSI EN 302 755 [18]

Cada um destes múltiplos PLPs diferenciam-se em períodos de tempo, sendo que cada um deles podem ter taxas de bits, correção de erros, sinalização e modulação próprias e podem ainda transportar tipos de informações completamente distintas, como indicado na Figura 3.8.

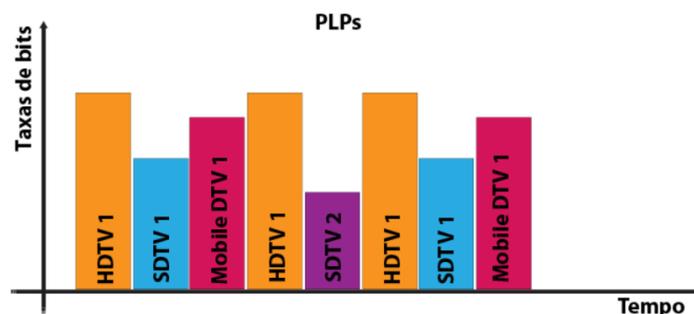


Figura 3.8 - Utilização de múltiplos PLPs, com diferentes serviços no sistema T2
 Fonte: Baseado no ITU-R BT.2254 [19]

3.5 Modulação 256-QAM

Como visto na Tabela 3.1, a modulação de máxima eficiência espectral na norma DVB-T era o 64-QAM. Por sua vez, a norma DVB-T2, veio acrescentar a modulação 256-QAM, para atender aos diferentes requisitos em termos de eficiência espectral e da confiabilidade do serviço de transmissão. A modulação determina o número de bits que são carregados ao mesmo tempo em cada subportadora. Podem ser carregados 2 bits (QPSK), 4 bits (16-QAM), 6 bits (64-QAM) ou ainda 8 bits (256-QAM), o que significa um aumento de 33% na eficiência espectral e na capacidade da subportadora em relação ao DVB-T, (ver Figura 3.9). Além disso, a modulação tem um impacto importante no desempenho em uma rede SFN, pois a escolha da modulação também determina a tolerância ao ruído. Sendo assim uma escolha de 256-QAM em vez de 64-QAM, exige uma relação C/N significativamente maior para a operadora (4 a 5 dB maior, dependendo do canal e da taxa de bits). Isso ocorre porque a distância euclidiana entre dois pontos de constelação vizinhos é aproximadamente a metade do 64-QAM, portanto, a recepção é mais sensível ao ruído. Contudo, com a robustez dos códigos LDPC [18] obtém-se um C/N equivalente para a modulação 256-QAM na DVB-T2 em comparação com a modulação 64-QAM na DVB-T.

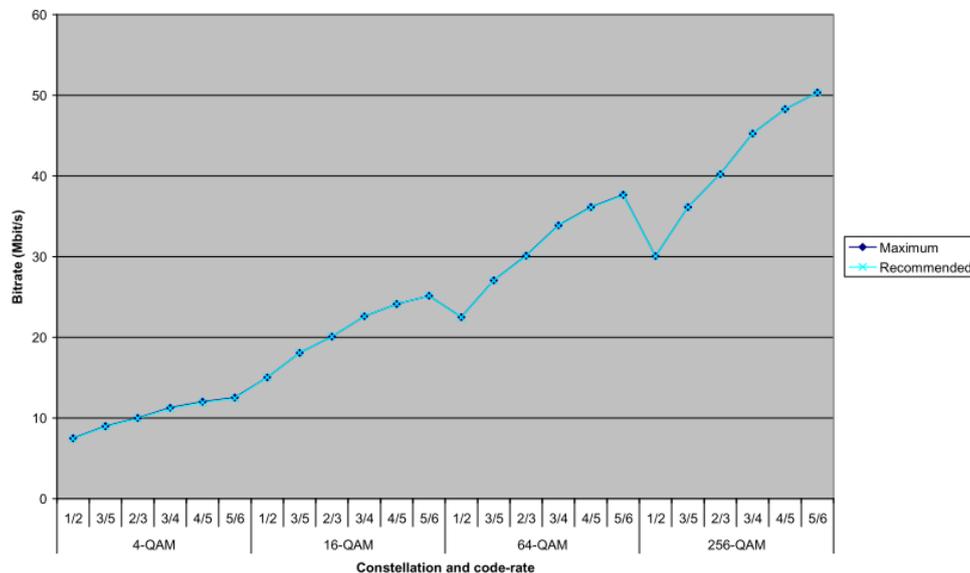


Figura 3.9 - Taxa de bits máxima para constelação 256-QAM (8 MHz, 32 K, PP7)

Fonte: ETSI TS 102 831[16]

3.6 Constelações rotacionadas

Além de aumentar a máxima eficiência espectral da modulação a norma DVB-T2 adotou também a tecnologia da constelação rotacionada. Devido à diferença de valor entre os eixos cartesianos para o mesmo ponto da constelação e ao *delay* na componente Q introduzido na transmissão, a receção obtém uma informação redundante de cada ponto da constelação (ver Figura 3.10). A partir daí, os componentes I e Q estarão separados pelo processo de entrelaçamento para que, no geral, eles viajem em diferentes frequências e em momentos diferentes. Se o canal destruir um dos componentes, o outro componente pode ser usado para recuperar a informação destruída.

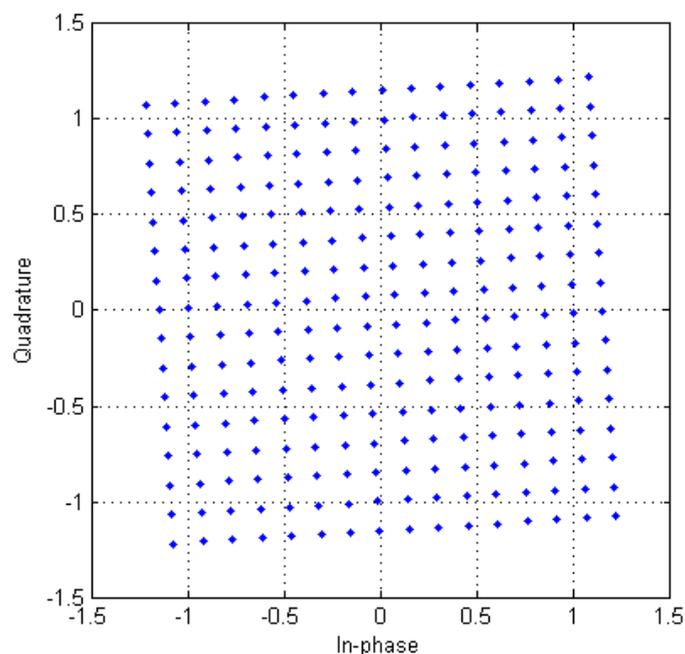


Figura 3.10 - Constelação 256-QAM rotacionada
Fonte: Wikipédia, 2017 [20]

Assim, os efeitos degenerativos dos vários modelos de canais afetarão de forma menos destrutiva o sinal, conseqüentemente, obtém-se um melhor valor de BER (Bit Error Rate) para a mesma relação E_b/N_0 . A Figura 3.11, ilustra um gráfico de BER versus E_b/N_0 onde observa-se um ganho de até 7.6 dB pelo facto da utilização desta nova tecnologia na norma DVBT-2.

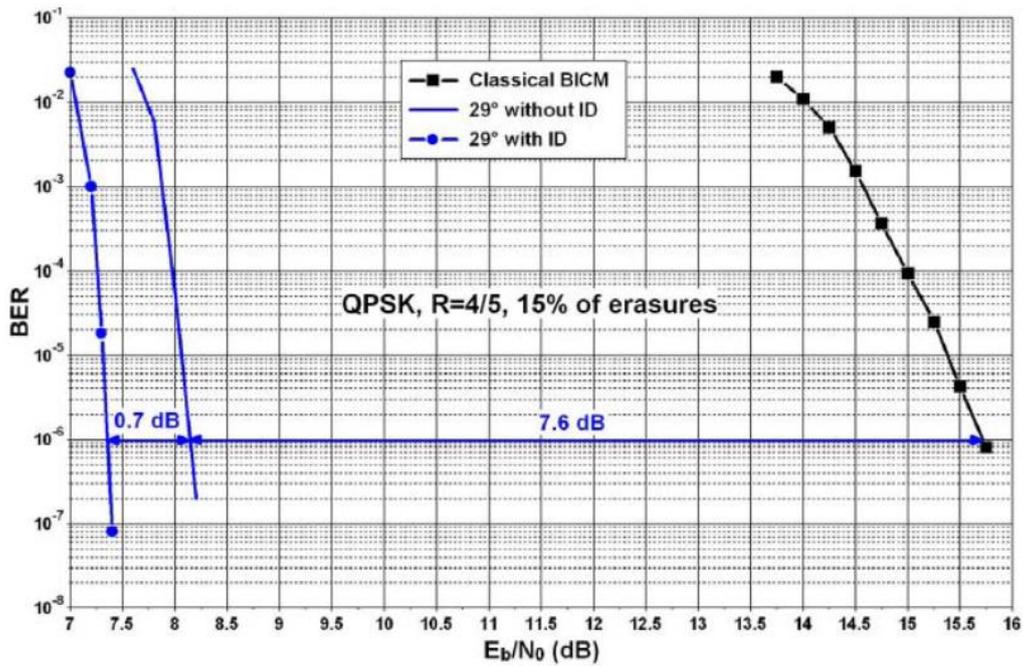


Figura 3.11 - BER para sistemas com (azul) e sem (preto) constelações rotacionadas
 Fonte: ETSI TS 102 831 [16]

3.7 Códigos de controlo e correção de erros (BCH e LDPC)

Os códigos de correção de erros usados na norma DVB-T2, são BCH e LDPC. O subsistema de controlo e correção de erros deve executar codificação externa (BCH), codificação interna (LDPC) e intercalação de bits. O fluxo de entrada deve ser composto de BBFRAMEs e o fluxo de saída de FECFRAMEs. Cada BBFRAME (K_{bch} bits) deve ser processado pelo subsistema de codificação FEC, para gerar um FECFRAME (N_{ldpc} bits). Os bits de verificação de paridade (BCHFEC) do código externo sistemático do BCH devem ser anexados após o BBFRAME e os bits de verificação de paridade (LDPCFEC) do codificador interno LDPC devem ser anexados após o campo BCHFEC, conforme ilustra a Figura 3.12.

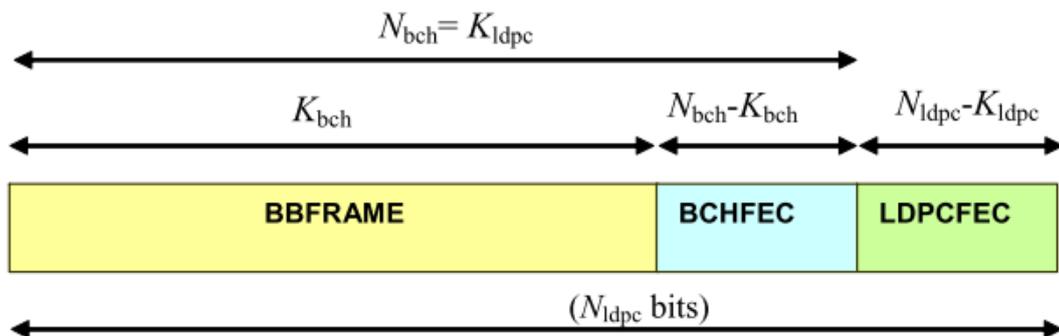


Figura 3.12 – Estrutura dos pacotes corretores de erros na norma DVB-T2
 Fonte: ETSI EN 302 755 [18]

Os códigos corretores de erros LDPC e BCH oferecem uma maior proteção à informação enviada, o que viabiliza um transporte de mais informações por canal. A Figura 3.13, ilustra um gráfico com a relação E_b/N_0 e BER para os antigos códigos utilizados no DVB-T (Reed-Solomon e Convolutacional) e os novos códigos utilizados na norma DVB-T2.

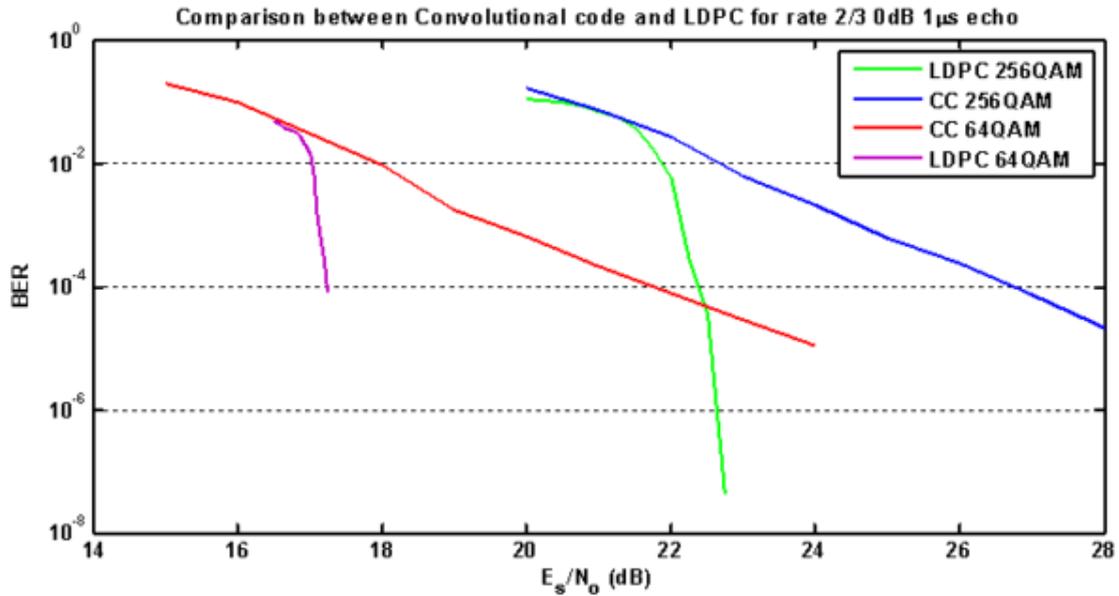


Figura 3.13 - Comparação entre os códigos corretores de erros usados na DVB-T e DVB-T2 Fonte: ETSI TS 102 831 [16]

Nota-se que para a mesma modulação (64-QAM), há um ganho de 5 dB na E_b/N_0 para um BER de 10^{-4} , ou seja, isto indica que o sistema apresenta uma grande robustez. Este valor de BER é considerado praticamente um sistema sem erro para a comunicação digital terrestre.

3.8 Estrutura do super quadro

A nova entidade da norma DVB-T2 é o super quadro. Dentro desta entidade podem ser carregados até 255 quadros T2, e caso necessário 0 a 255 FEF (*Future Extension Frame*) no final de cada quadro T2. A duração máxima de um quadro T2 é de 250 ms e a duração máximo de um componente FEF é também de 250 ms. Todos os quadros T2 têm igual duração dentro de um mesmo super quadro. No entanto os quadros T2 podem ter uma duração diferente dos componentes FEF. Se os componentes FEF forem usados, os super quadros terminarão sempre com uma parte do FEF, assim como mostra a Figura 3.14. A duração de um super quadro T_{SQ} é dado por:

$$T_{SQ} = N_{T2} * T_Q + N_{FEF} * T_{FEF}$$

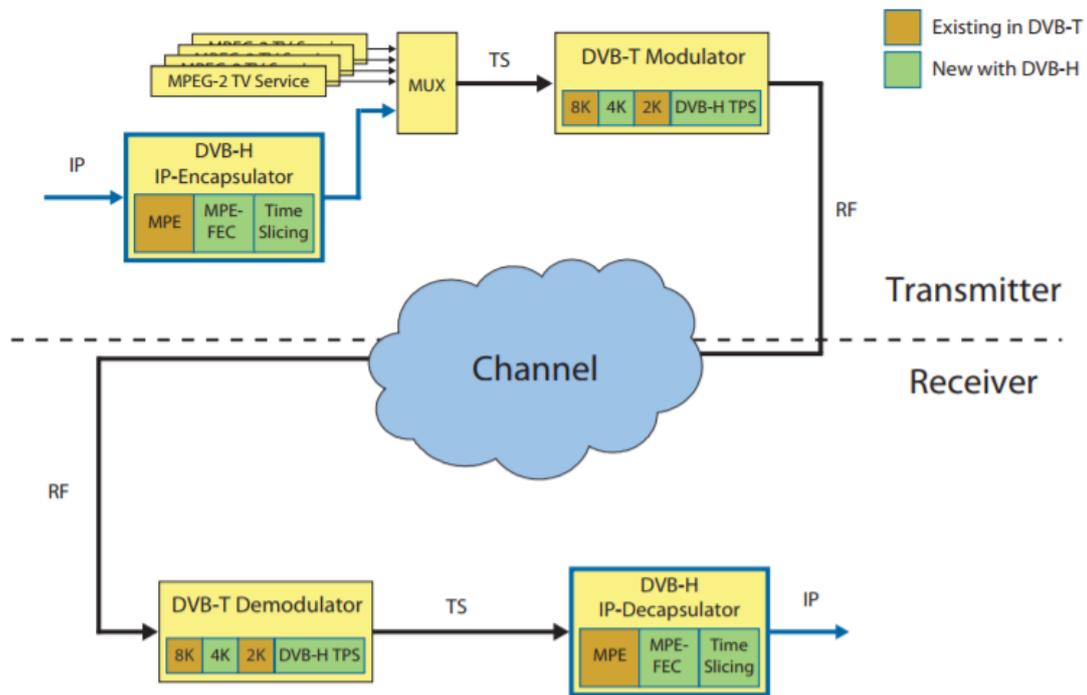


Figura 3.15 - Arquitetura da norma DVB-T/H Fonte: DVB, 2011[21]

As diferenças entre os terminais de receção fixa e móvel podiam perfeitamente originar dois canais de transmissão distintos, mas devido a uma capacidade de adaptação da camada física da DVB-H com a da DVB-T e da necessidade da gestão de espectro radioelétrico, um recurso muito raro, foi possível integrar os dois sistemas (MPEG-2 e IP) num único MUX. (Ver Figura 3.15). Isso deve-se à implementação de um mecanismo designado por encapsulamento multi-protocolo (MPE)², que possibilita o transporte de protocolos de redes de dados dentro dos fluxos *transport streams* (TS) do MPEG-2. Para que houvesse esta integração, foi necessário a introdução de novos conceitos na arquitetura dos terminais de receção móvel, nomeadamente, *Transmitter Parameter Signalling* (TPS), *Time Slicing*, *Multi-Protocol Encapsulation-Forward Error Correction* (MPE-FEC), entre outros conforme ilustra a Figura 3.16.

² Encontra-se descrito no documento “Specification for Data Broadcasting”, ETSI EN 301 192 v.1.4.1

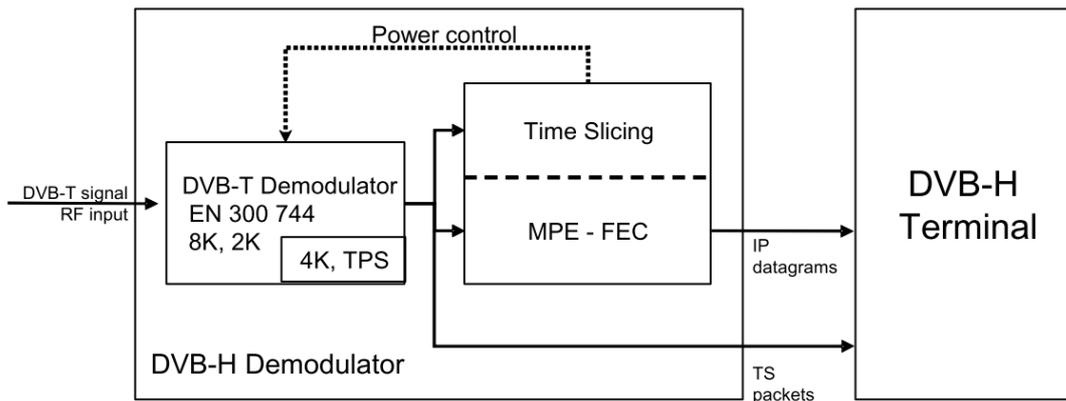


Figura 3.16 - Diagrama de blocos de um recetor DVB-H
 Fonte: ETSI EN 302 304 [22]

3.9.1 Transmitter Parameter Signalling (TPS)

As portadoras de TPS são usadas com a finalidade de sinalizar parâmetros relacionados com o esquema de transmissão, isto é, codificação de canal e modulação. Os bits TPS são transmitidos em paralelo em que cada símbolo OFDM, a qual possui 17 subportadoras de sinalização para o modo 2k, e 68 subportadoras de sinalização para o modo 8k. A mesma informação é transmitida em todas as portadoras pilotos de sinalização dentro de cada símbolo OFDM, conforme ilustra o quadro na Figura 3.17

2K mode					8K mode							
34	50	209	346	413	34	50	209	346	413	569	595	688
569	595	688	790	901	790	901	1 073	1 219	1 262	1 286	1 469	1 594
1 073	1 219	1 262	1 286	1 469	1 687	1 738	1 754	1 913	2 050	2 117	2 273	2 299
1 594	1 687				2 392	2 494	2 605	2 777	2 923	2 966	2 990	3 173
					3 298	3 391	3 442	3 458	3 617	3 754	3 821	3 977
					4 003	4 096	4 198	4 309	4 481	4 627	4 670	4 694
					4 877	5 002	5 095	5 146	5 162	5 321	5 458	5 525
					5 681	5 707	5 800	5 902	6 013	6 185	6 331	6 374
					6 398	6 581	6 706	6 799				

Figura 3.17 - Quadro das posições das portadoras pilotos da sinalização
 Fonte: ETSI EN 300 744 [10]

Cada símbolo OFDM transmite um bit TPS e cada bloco TPS, correspondente a um símbolo OFDM é composto por 68 bits, sendo 1 bit referente a inicialização, 16 bits de sincronização, 37 bits de informação, 14 bits de redundância para proteção contra erros, conforme se mostra na Figura 3.18.

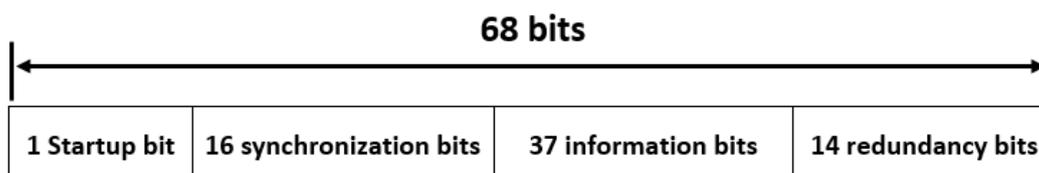


Figura 3.18 - Composição do quadro de bits de sinalização TPS

A introdução dos bits de sinalização na norma DVB-H é de implementação obrigatória e permite não só indicar a presença de serviços DVB-H (identificação da célula), como também permite indicar, o uso do mecanismo opcional MPE-FEC. Esta sinalização permite melhorar significativamente o desempenho do sistema, ao permitir a rápida descoberta dos serviços DVB-H e ao facilitar as situações de *handover* do terminal recetor. Além das tecnologias já vistas anteriormente, a norma DVB-H veio acrescentar ainda a nível da camada física o novo modo de transmissão OFDM 4K com um total de 4096 subportadoras, de implementação opcional, que surge como um método complementar aos modos 2K e 8K já existentes na norma DVB-T. Este novo modo de transmissão oferece um equilíbrio entre a mobilidade e a dimensão das células SFN (*Single Frequency Networks*), relativamente aos modos já existentes, permitindo assim uma maior flexibilidade no planeamento da rede. É de evidenciar, que a utilização deste modo 4K implica a utilização de redes DVB-H dedicadas, uma vez que as normas DVB-T existentes anteriormente, não suportavam este novo modo.

A norma DVB-H suporta não só as larguras de banda 6 MHz, 7 MHz e 8 MHz em VHF/UHF oferecidas pelo sistema DVB-T, mas também um canal de 5 MHz, que permite a receção móvel dos sinais da TVD em situações e ambientes diferentes dos convencionais conhecidos.

3.9.2 Time Slicing

Em qualquer dispositivo portátil, a duração da bateria é extremamente importante. A valorização destes dispositivos deve-se muito pelo facto dos seus utilizadores poderem operar durante o dia todo, e as vezes vários dias sem precisar recarregar o dispositivo. Para reduzir a quantidade de energia consumida por um dispositivo portátil, o DVB-H introduziu o conceito de *Time Slicing*. Esta tecnologia é baseada em TDM (*Time Division Multiplexing*) e o seu objetivo passa pela divisão e envio de informação em pequenas rajadas (*time slices*), de débito maior do que no sistema convencional, com intervalos de tempo (Δt) previamente escalados e indicados ao recetor na primeira rajada consoante se mostra na Figura 3.19.

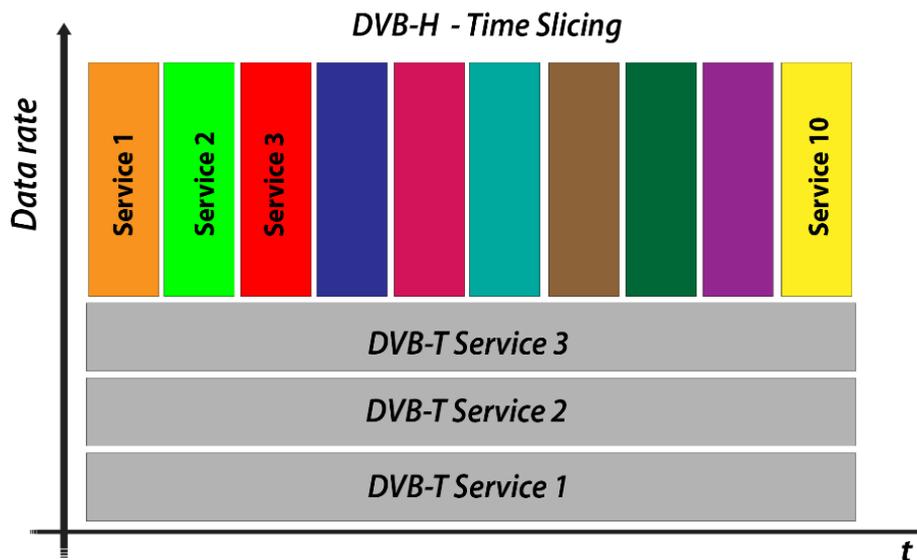


Figura 3.19 – Multiplexação com a técnica *time slicing* nas normas DVB-T/H

Durante intervalo de tempo (Δt), o recetor fica em estado *standby*, e não recebe dados, ficando apenas com a função de monitorização das células vizinhas para reagir em caso de uma possível necessidade de fazer *handover*. Isso faz com que o sistema economize cerca de 90% da energia, visto que está a maior parte do tempo no estado *off-time*, conforme se ilustra na Figura 3.20.

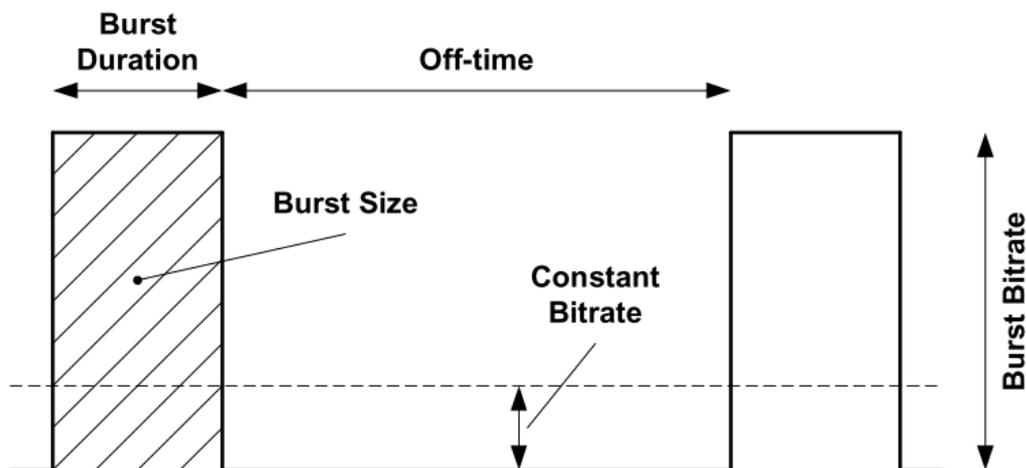


Figura 3.20 – Esquema de funcionamento da técnica Time Slicing
 Fonte: ETSI TR 102 377 [23]

3.9.3 Multi-Protocol Encapsulation - Forward Error Correction (MPE-FEC)

Os dispositivos móveis estão sujeitos a perdas de pacotes durante a receção, por operarem em ambientes que apresentam condições muito críticas, como por exemplo movimentos em alta velocidade e ambientes indoor. Para colmatar estas perdas de pacotes

IPs durante a receção, foi introduzido o mecanismo designado de *Multi-Protocol Encapsulation-Forward Error Correction* (MPE-FEC). O mecanismo MPE-FEC preocupa-se em proteger os pacotes IPs da secção MPE através dos algoritmos correctores de erros Reed-Solomon [22]. Para este efeito são criados quadros MPE-FEC divididos em 255 colunas e um número variável de linhas limitadas a um máximo de 1024. O quadro é também dividido em uma tabela de dados da aplicação (*Application Data Table*) com 191 colunas, e uma tabela de dados Reed-Solomon (*Reed-Solomon Data Table*) com 64 colunas conforme se ilustra a Figura 3.21.

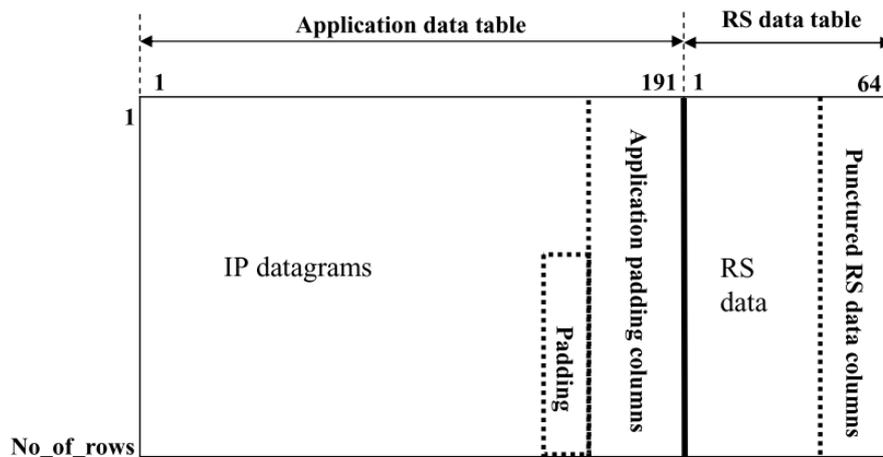


Figura 3.21 - Estrutura do quadro MPE-FEC
 Fonte: ETSI TR 102 377 [23]

A tabela de dados da aplicação é preenchida com os pacotes IPs e algum *padding* adicional e de seguida, é calculado o código Reed-Solomon e preenchida a tabela de dados Reed-Solomon. Depois disso será transmitido o quadro MPE-FEC imediatamente após à última secção MPE de um *burst*, resultando num efeito de intercalação de bits, que permite uma protecção de erro, ainda maior, durante a transmissão, através dos bits redundantes da tabela de dados Reed-Solomon. O uso do MPE-FEC não é obrigatório na norma DVB-H, embora fortemente recomendado [24]. Os recetores que não são capazes de decodificar os dados FEC podem ignorar a parte dos dados Reed-Solomon do quadro, o que torna a MPE-FEC uma tecnologia que é totalmente compatível com versões anteriores, para recetores que não a suportam.

4 PLANEAMENTO APLICADO AO CASO DE ESTUDO

4.1 Estado atual da difusão da TV em Cabo Verde

Segundo consta no site da direção geral da comunicação social em Cabo Verde [25], atualmente existe dois segmentos a nível das operadoras da televisão no país. Operadoras de sinal aberto ou *free-to-air* (RTC - Rádio Televisão de Cabo Verde, RTP Africa – Rádio Televisão Portuguesa Africana, TIVER – Televisão Independente de Cabo Verde e TV5 Afrique) e as operadoras de sinal condicionado (CV Multimédia e a BOOM Multimédia TV).

As operadoras de acesso aberto, difundem os seus conteúdos até agora analógicos, através dos vários emissores e retransmissores distribuídos em todas as ilhas do arquipélago e com graus de cobertura distintas, conforme ilustra a Figura 4.1.

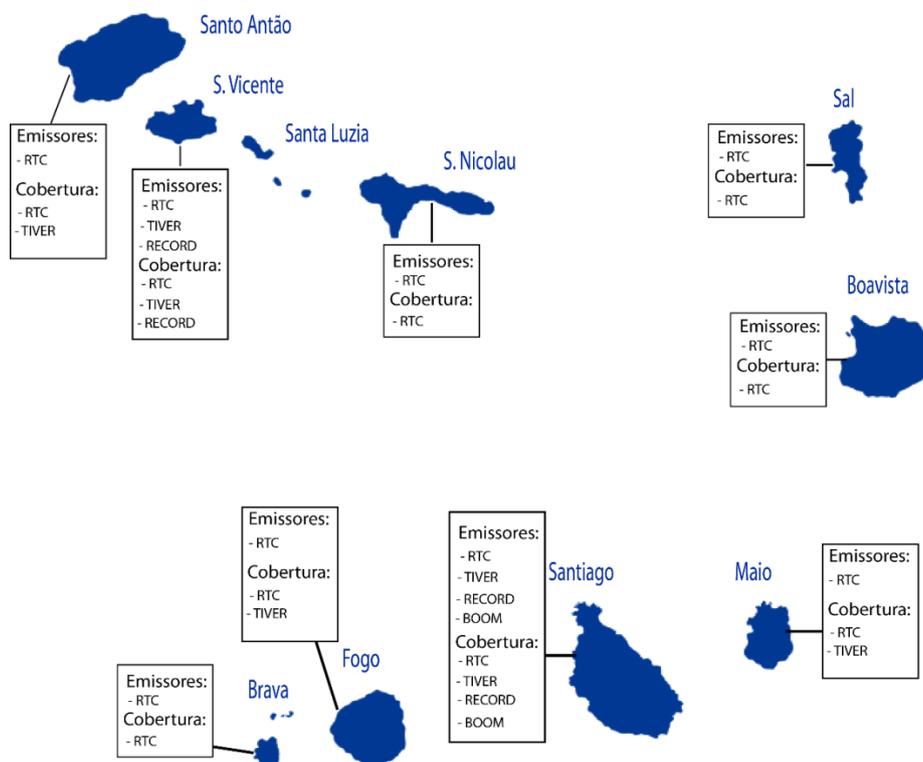


Figura 4.1 - Situação atual de emissores de difusão da televisão em Cabo Verde

Fonte: ANAC, 2016

Das operadoras de sinal condicionado, a BOOM TV, que utiliza a norma DVB-T, também difunde os seus conteúdos através dos feixes hertzianos. Por último a CV multimédia que é uma empresa do grupo CV Telecom que é praticamente dona de toda infraestrutura das redes de telecomunicações em Cabo Verde, inclusive do cabo da fibra ótica que faz a ligação entre ilhas, como mostra a Figura 4.2, difunde os seus conteúdos através da tecnologia IP TV.

A CV Multimédia está presente em todas as ilhas através da rede fixa, e a BOOM TV está a emitir somente na ilha de Santiago. Além das plataformas descritas acima, há que considerar a existência da difusão por satélite e a rede de retransmissão dos municípios, o que será uma situação a levar em consideração porque algumas transmissões são feitas de forma clandestinas, sem qualquer autorização das entidades responsáveis e muitas vezes até causam problemas de interferências com os serviços devidamente legalizados.

4.2 Distribuição atual dos emissores e retransmissores na rede analogica

Cabo Verde dispõe atualmente de uma infraestrutura com 50 emissores e 27 retransmissores nas diversas redes licenciadas, distribuídos pelas ilhas de barlavento e sotavento, da seguinte forma:

No barlavento estão 18 emissores primários licenciados, dos quais 16 encontram-se operacionais e 2 estão temporariamente desativados, 18 retransmissores licenciados, dos quais 17 encontram-se operacionais e 1 inativo. Eles estão distribuídos conforme se mostra na Tabela 4.1, onde os **E's** representam os emissores e os **R's** os retransmissores.

Tabela 4.1 – Distribuição dos emissores no grupo de ilhas do barlavento

Ilhas do Barlavento	OPERADORES												
	RTC		RTPA		TIVER		RECORD		TV5		BOOM		
	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	
Santo Antão	2	7	1										
S. Vicente	1	1	1		1		1		1				
S. Nicolau	2	9	2	1									
Sal	2						1						
Boa Vista	2		1										
TOTAL	9	17	5	1	1		2		1				

Fonte: ANAC – Levantamento das estações da rede analógica (2015)

Nas ilhas do grupo sotavento, encontram-se 32 emissores primários licenciados, dos quais 25 encontram-se operacionais, 6 por entrar em funcionamento, e 1 encontra-se licenciado, mas inativo, encontram-se ainda nestas ilhas, 9 retransmissores licenciados todos operacionais. A distribuição destes emissores/retransmissores por ilhas encontra-se na Tabela 4.2, onde uma vez mais os **E's** representam os emissores e os **R's** os retransmissores.

Tabela 4.2 - Distribuição dos emissores no grupo de ilhas do sotavento

Ilhas do Barlavento	OPERADORES											
	RTC		RTPA		TIVER		RECORD		TV5		BOOM	
	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R	E	R
Maio		2										
Santiago	9	5	3		2		3		1		12	
Fogo	1	1	1									
Brava		1										
TOTAL	10	9	4		2		3		1		12	

Fonte: ANAC – Levantamento das estações da rede analógica (2015)

Todos os emissores, tanto no grupo barlavento como sotavento, operam na banda UHF, exceto um que opera na banda VHF. Em relação aos retransmissores, 6 apresentam receção e emissão em UHF e 3 apresentam receção em VHF e emissão em UHF.

Além da utilização dos feixes hertzianos para transporte de sinais desde os centros de produção, até às estações emissoras, é também utilizada a rede da fibra ótica que faz a ligação inter-ilhas.

4.2.1 Ligação inter-ilhas

Cabo Verde dispõe de uma rede de fibra ótica, que liga todas as ilhas (redes inter-ilhas) e de redes internas (rede intra-ilhas) em diversas ilhas. Atualmente a CV Telecom, dona da rede, disponibiliza interface IP-MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*), para todas as ilhas do arquipélago, pelo que é possível estabelecer tráfego IP de e para todas as ilhas através do serviço IP-MPLS. Este facto permite equacionar a possibilidade de utilização destas redes concessionadas e geridas pela CV Telecom para distribuição primária da futura rede da TDT, como mostra o esquema na Figura 4.2.

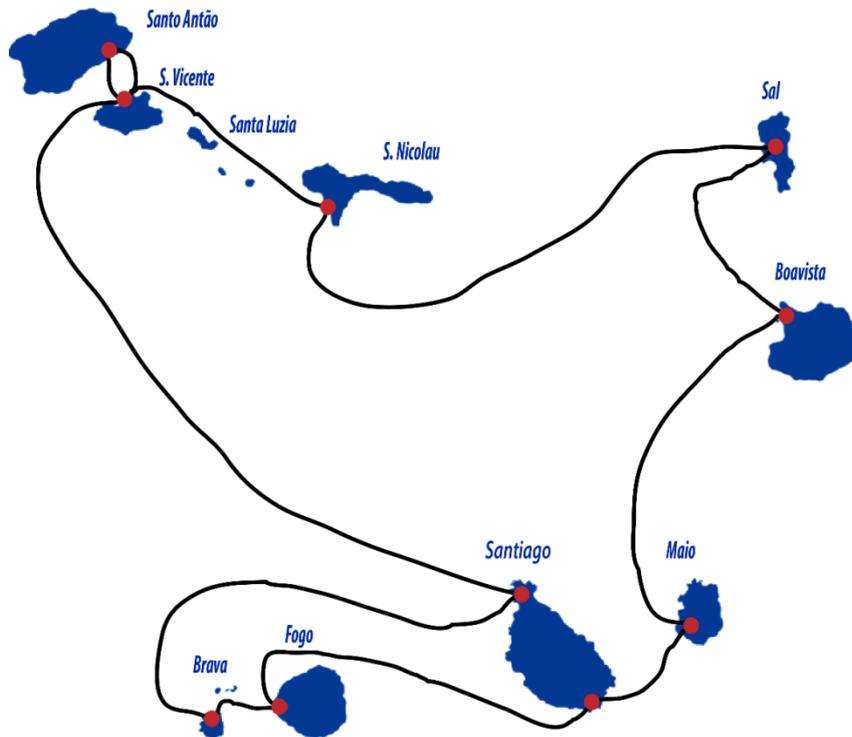


Figura 4.2 - Anel da fibra ótica inter-ilhas da CVTelecom
 Fonte: CVTelecom, 2010 [25]

4.2.2 Rede atual da distribuição dos sinais de TV da operadora RTC

A RTC, é a operadora pública da rádio e televisão cabo-verdiana, com maior área de cobertura a nível nacional. Por este motivo torna-se uma das operadoras fundamentais no planeamento da futura rede da TDT. A Figura 4.3 e a Figura 4.4 ilustram os diagramas de blocos da distribuição dos sinais da TCV para as ilhas de Santiago, Maio, Fogo e Brava.

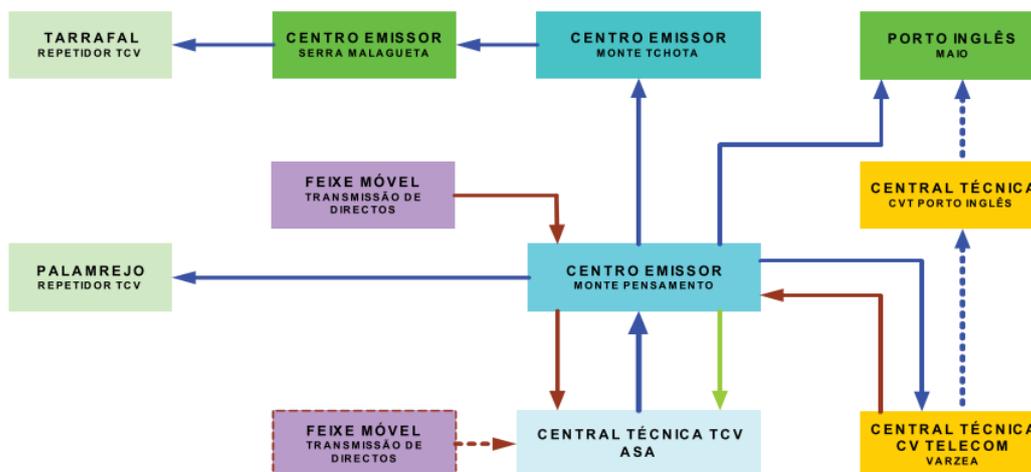


Figura 4.3 - Rede de transmissão dos sinais da TCV nas ilhas de Santiago e Maio
 Fonte: Gabinete de Estudos e Direção Técnica da RTC, 2015

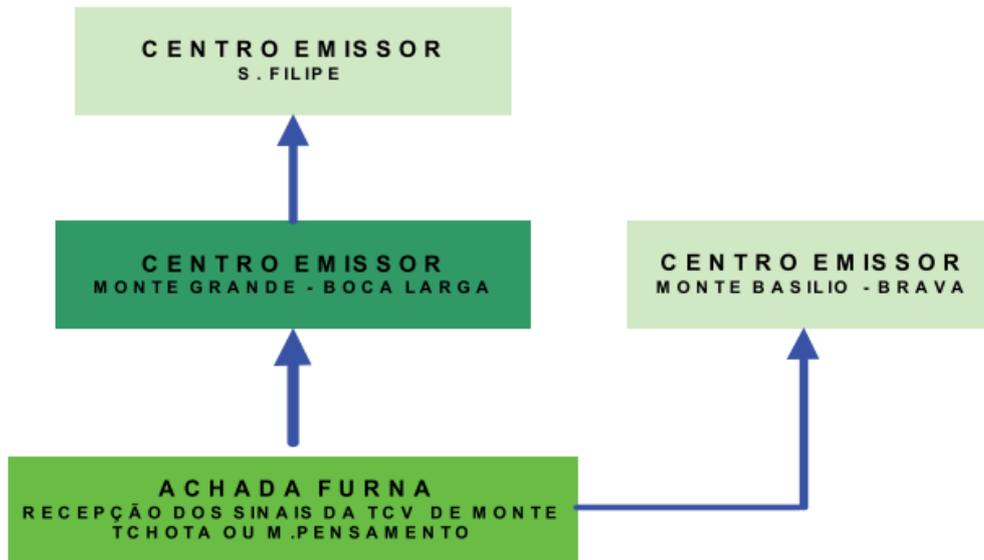


Figura 4.4 - Rede de transmissão dos sinais da TCV nas ilhas de Fogo e Brava
Fonte: Gabinete de Estudos e Direção Técnica da RTC, 2015

As setas de cor azul ilustradas na Figura 4.3 e Figura 4.4, representam o circuito ponto a ponto, assegurado por feixes hertzianos analógicos e que transportam os sinais de áudio e vídeo para emissores e retransmissores da RTC situados naquelas ilhas e as setas vermelhas representam a ligação dos pontos móveis de transmissão de diretos para os centros de emissões.

Já a Tiver e a Record, na cidade da praia, emitem a partir de sites localizados junto aos seus edifícios ou sede, utilizando respetivamente uma torre da CV Telecom, e torre própria. O transporte de sinal entre a cidade da Praia e o Monte Tchota é efetuado com recursos a feixes hertzianos analógicos próprios e o transporte do sinal para os emissores de S. Vicente é efetuado com a rede de distribuição de conteúdos sobre ADSL, da CV Multimédia. Nos *sites* em S. Vicente é utilizado uma set-top-box para o acesso aos sinais de áudio e vídeo que são posteriormente injetados nos moduladores dos emissores. A BOOM TV faz o *downlink* dos seus canais do satélite, modula os sinais para o DVB-T e injeta os seus conteúdos na sua rede de transmissão com aproximadamente 12 emissores espalhados por todos os concelhos da ilha de Santiago.

4.2.3 Distribuição atual dos canais das operadoras por ilhas

Um dos principais focos da transição da televisão analógica para TVD, centraliza-se numa melhoria da gestão do espetro radioelétrico e na libertação de alguns canais para o planeamento da oferta de outras futuras tecnologias. Por este motivo torna-se necessário debruçar sobre como se encontra atualmente a distribuição dos canais para as operadoras da televisão em cada ilha.

A ocupação atual de canais destinados à radiodifusão televisiva, na banda UHF, em Cabo Verde, encontra-se estruturada de forma que cada um destes canais tem uma frequência alocada em cada ilha conforme representado na Figura 4.5.

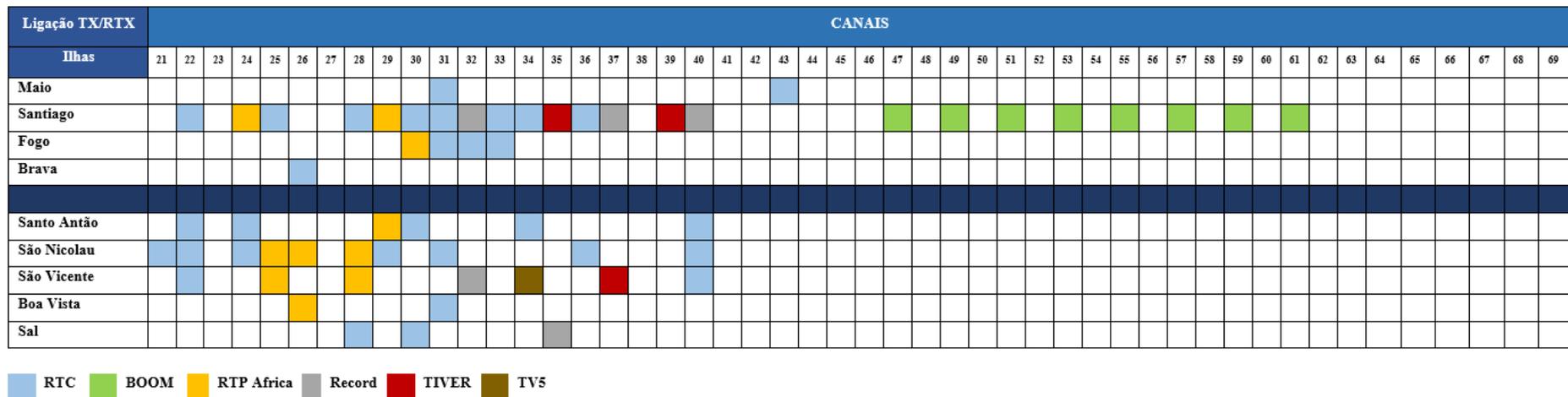


Figura 4.5 - Mapa atual da alocação de frequências por ilhas

Fonte: ANAC, 2016

Como é de notar a RTC, tem maior números de canais afetos, distribuídas em diferentes ilhas, logo a seguir surge a RTP Africa, a Record, e com menor número de canais afeto aparece a TV5, com apenas um canal. O caso da BOOM TV é particular, visto que só opera ainda na ilha de Santiago, onde lhe é atribuído 8 canais.

Sendo assim, a Tabela 4.3, contabiliza a alocação dos canais para o conjunto das operadoras, distribuída pelas diversas ilhas do arquipélago.

4.3 Previsão da Composição dos multiplexers e ofertas de serviço

4.3.1 Utilização de 2 MUXs para oferta atual do serviço em SD

A oferta atual de serviços de acesso livre de televisão (*free-to-air*), conta com 5 operadores (RTC, RTP Africa, Record, TIVER, TV5) e o serviço pago de televisão por sua vez conta com 1 operador que usa feixes hertzianos para transmissão dos seus conteúdos, a Boom TV. Tendo em conta que cada MUX, tem uma capacidade de 37 Mbits/s e que cada canal SD, ocupa aproximadamente 1.8 Mbits/s e HD aproximadamente 6.4 Mbits/s, então pode-se dizer que os serviços de televisão atualmente existentes, podem ser acomodados em 2 multiplexers (A e B), com reserva de espaço para 2 canais *free-to-air* e 5 canais *pay-tv* conforme se ilustra na Figura 4.7.

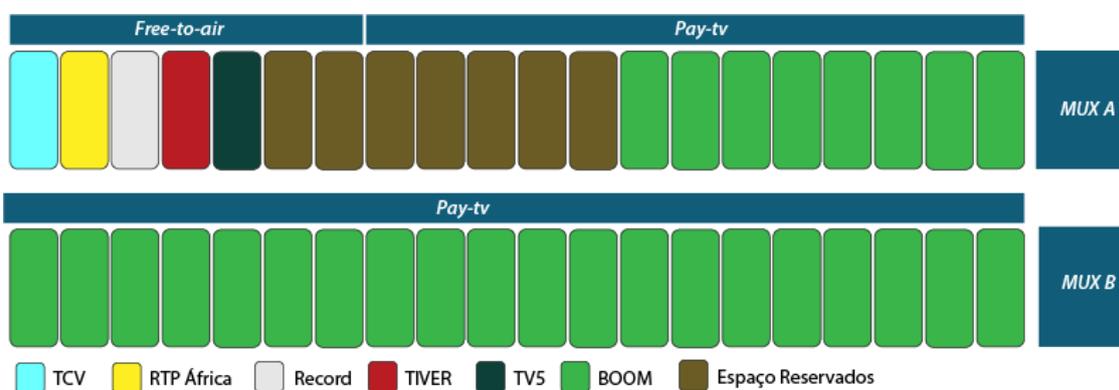


Figura 4.7 - Composição dos multiplexers com oferta atual de serviços SD

Fonte: ANAC,2017

No âmbito do projeto TDT e seguindo as condições atuais da oferta em SD equacionou-se a agregação de conteúdos em dois multiplexers, com a seguinte disponibilidade de serviços:

- Manutenção da atual oferta de canais de acesso livre (*free-to-air*);
- Manutenção da oferta dos 28 canais de acesso condicionado (*pay-tv*), pela Boom.

Esta opção permite que se mantenha disponível espaço para uma oferta adicional de 7 canais, 2 de livre acesso e 5 de acesso condicionado. No entanto uma nova operadora de televisão, a STV (encontra-se na fase experimental), e a Boom detêm direitos para difusão de 7 e 2 canais adicionais respetivamente, embora ainda sem utilização. Segundo o regulamento da ANAC, tal facto impõe que a STV e a Boom terão que rever ou renegociar as suas licenças para que as suas ofertas futuras possam vir a ser acomodada nos 7 canais disponíveis.

4.3.2 Utilização de 3 MUXs para ofertas de serviços atual em SD

Atualmente, a tecnologia de gestão repartida dos sistemas, permite equacionar a oferta de serviços de mais do que uma operadora de serviços *pay-tv* e a combinação desta com a *free-to-air*, num mesmo MUX, pelo que existe a hipótese de reagrupar os canais de acordo com o cenário na Figura 4.8.

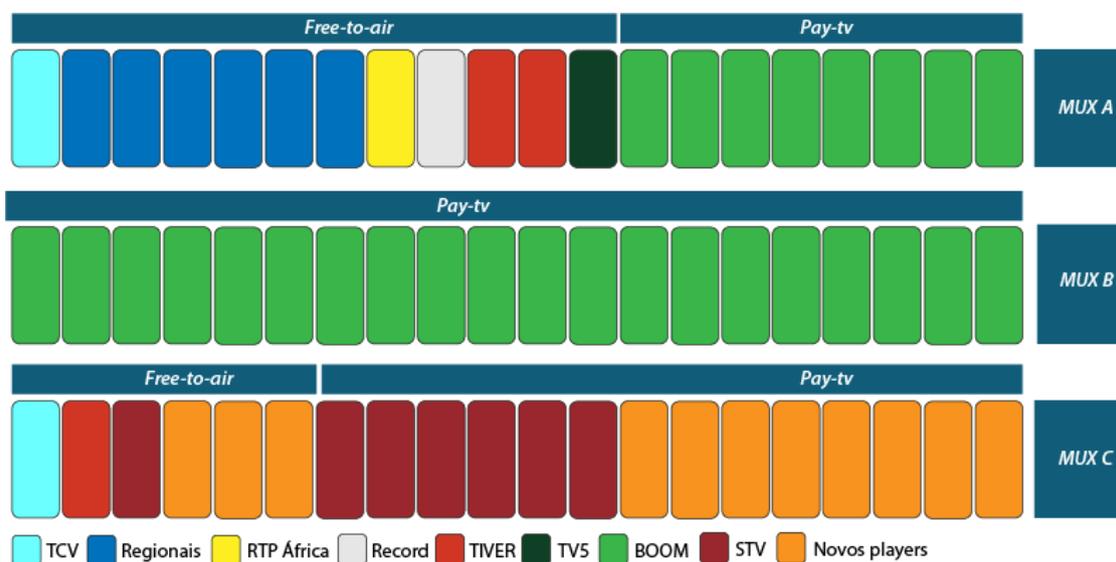


Figura 4.8 - Possibilidade de utilização de 3 MUX para ofertas de serviços SD

Fonte: ANAC,2017

No âmbito deste cenário, dar-se-ia a composição de 3 MUX para oferta de serviços SD, dos quais 2 MUX contemplariam os atuais canais de ofertas *free-to-air*, com a possibilidade de reserva de 6 canais para potenciais aparecimentos de canais de transmissões regionais, também *free-to-air*, e os 28 canais da Boom. O terceiro MUX integraria 2 canais adicionais *free-to-air*, 1 para a TCV e outra para a operadora TIVER, integração de 1 canal *free-to-air* e 6 canais *pay-tv* para a operadora STV, restando os canais disponíveis para eventuais operadores que venham surgir no mercado.

4.3.3 Utilização de 3 MUXs para ofertas de serviços em SD e HD

A oferta dos canais HD, não constitui uma obrigatoriedade, na fase inicial da implementação do projeto TDT em Cabo Verde, contudo no futuro a oferta de serviços SD e HD deverá ser equacionada em função da capacidade disponível nos MUXs e do dinamismo do mercado. A Figura 4.9, prevê um cenário de composição dos MUXs com ofertas de serviços em SD e HD.

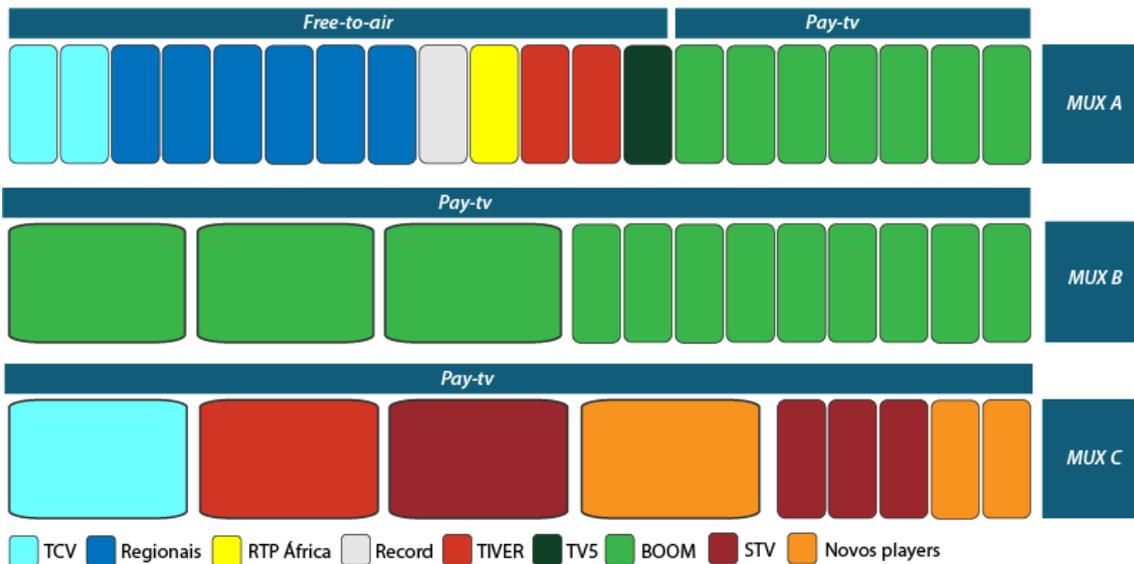


Figura 4.9 - Possibilidade de utilização de 3 MUX para ofertas de serviços SD e HD
 Fonte: ANAC, 2017

Segundo consta no regulamento da ANAC, para uma melhor gestão dos MUXs e qualidade de serviços, a difusão dos serviços da TDT deverá ser centralizada. Ou seja, a agregação dos diversos serviços a oferecer aos utilizadores, na mesma entidade, permitirá obter ganhos significativos de eficiência na gestão da capacidade dos MUXs. O regulamento refere ainda que nestes casos a opção por multiplexagem estatística⁴, assumirá uma importância muito relevante na gestão da composição dos MUXs, permitindo maximizar a qualidade dos serviços oferecidos. Prevê-se também que a multiplexagem estatística irá ter como condicionantes a capacidade global do MUX e não um *data rate* mínimo para cada serviço, podendo este ser variável em função das exigências de qualidade inerentes ao conteúdo audiovisual.

4.4 Arquitetura da nova rede TDT

A estratégia da definição da arquitetura da nova rede TDT em Cabo Verde, tem como base a maximização do aproveitamento dos recursos herdados da antiga rede analógica. Ou seja, a nova arquitetura da rede TDT, será projetada de forma a aproveitar toda infraestrutura e respetivos *sites* da rede analógica existente, com ênfase para a rede da RTC (a maior do país). Além disso, para que haja um bom planeamento da arquitetura, deve-se levar em consideração o estudo das opções de escolha dos vários parâmetros e as

⁴ Também conhecido como *Statistical Time Division Multiplexing* (STDM) é uma forma de multiplexação por divisão de tempo no qual um dado *stream* de dados pode obter mais ou menos banda dinamicamente, baseada em suas necessidades e na demanda de outros *streams* de dados.

suas devidas configurações, de acordo com as características oferecidas pelas tecnologias adotadas, e sem pôr em causa as normas definidas tanto pelos órgãos nacionais como pelos internacionais.

A norma DVB-T2, adotada para implementação da TDT em Cabo Verde, agrega uma grande variedade de configurações dos seus parâmetros, que são aspetos fundamentais na definição da arquitetura da rede (MFN ou SFN), parâmetros esses, tais como, a largura de banda, número de subportadora, tamanho da FFT e principalmente os intervalos de guarda.

4.4.1 Tamanho da FFT

Os sistemas OFDM utilizam um esquema de multiplexação por divisão de frequência como um método de modulação multiportadora digital. Um grande número de sinais de subportadora ortogonal muito espaçados são usados para transportar dados em vários fluxos de dados paralelos. O tamanho do *Fast Fourier Transform* (FFT) especifica o número de portadoras. Quanto maior for o tamanho da FFT permitido, maior será o intervalo de guarda permitido, o que traduz na construção de redes SFNs com maiores áreas de abrangência. Por outro lado, as FFTs de tamanhos maiores apresentam uma maior vulnerabilidade aos canais de variações rápidas no tempo, ou seja, apresentam desempenho Doppler mais baixo. Na norma DVB-T2 foram adicionados os tamanhos de FFT **1k, 4k, 16k, 32k** [27], além dos **2k e 8k** que já existiam na norma DVB-T.

Os FFTs de tamanhos menores, e com maior espaçamento entre as portadoras, permite uma maior mudança de Doppler e conseqüentemente maior velocidade de receção, em comparação com os FFTs de tamanhos maiores.

Para receção fixa geralmente, é escolhido um tamanho mais alto do FFT. Se a receção móvel em alta velocidade for um requisito importante, justifica-se a implementação de um tamanho menor de FFT, no entanto, a operação numa rede SFN, pode ser restrita nesse caso devido ao intervalo de guarda relativamente curto.

4.4.2 Intervalo de Guarda

A ortogonalidade dos sub-canais no OFDM pode ser mantida, e os canais individuais completamente separados, no recetor, pelo mecanismo de FFT quando não existe a interferência inter-simbólica (ISI). No entanto a modulação OFDM é muito conhecida pela sua importante característica, nomeadamente a sua robustez em relação à

propagação multipercurso, com o envio de várias réplicas do mesmo sinal com atrasos muito diferentes. Isso faz com que o sinal que chega diretamente do emissor, mais as respetivas réplicas atrasadas somam-se no recetor, provocando interferência entre símbolos adjacentes (ISI)⁵. A Figura 4.10, representa o sinal recebido diretamente do emissor e uma réplica com atraso, no caso em que o atraso é inferior à duração do símbolo.

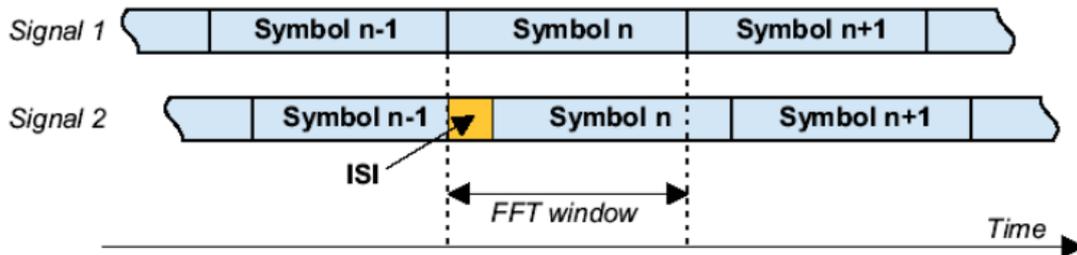


Figura 4.10 - Interferência inter-simbólica causada pela réplica do sinal com atraso
 Fonte: ITU-R BT.2386-0 [28]

Os problemas da ISI no início do símbolo devido aos ecos dos sinais que chegam com diferentes atrasos são solucionados com a introdução de um intervalo de guarda (Δ) antes do período de duração útil (T_U), de cada símbolo resultando no novo tempo para transmissão do símbolo (T_S), conforme ilustra a Figura 4.11. De modo a manter a ortogonalidade entre as portadoras, o sinal introduzido durante o intervalo de guarda é uma cópia da última parte do símbolo OFDM, daí que também tenha a designação de prefixo cíclico.

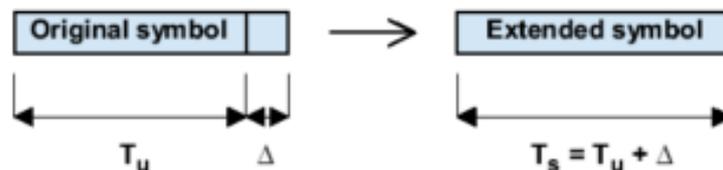


Figura 4.11 - Aumento da duração do símbolo pelo intervalo de guarda
 Fonte: ITU-R BT.2386-0 [28]

Como se pode verificar na Figura 4.11, o intervalo de guarda é parte integrante do símbolo correspondente, pelo que a sua utilização resulta num período de símbolo superior ao período útil, ou seja, $T_S = T_U + \Delta$.

A grande vantagem da utilização do intervalo de guarda consiste em eliminar a ISI durante o período de receção do símbolo OFDM (T_U), eliminando assim os erros que daí resultariam. Deste modo o recetor apenas inicia a receção de cada símbolo após terminar o intervalo de guarda. Assim se os sinais refletidos chegarem ao recetor com um atraso máximo inferior a Δ , então a ISI ocorre apenas durante o intervalo de guarda.

⁵ Ver Report ITU-R BT.2386-0

Para garantir a eliminação da ISI durante o período de receção dos símbolos, a duração do intervalo de guarda deve ser superior ao atraso máximo do canal de transmissão.

No caso dos canais com múltiplos percursos, o atraso máximo⁶ corresponde ao percurso mais longo que o sinal percorre entre o emissor e o recetor. Note-se que a introdução do intervalo de guarda corresponde a uma perda de capacidade de transmissão de modo semelhante à redundância introduzida pelos códigos de correção de erros. Ao aumentar o período da duração dos símbolos para criar o intervalo de guarda, diminui-se o débito binário e conseqüentemente o *throughput* de dados. Na norma DVB-T2, foram incrementadas várias combinações adequadas entre o tamanho do símbolo (Tamanho da FFT) e a fração de intervalo de guarda (GIF), permitindo a minimização da sobrecarga implícita pelo intervalo de guarda (ver o quadro da Figura 4.12).

		GI-Fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
FFT	T_U (ms)	GI (μ s)						
32k	3.584	28	112	224	266	448	532	n/a
16k	1.792	14	56	112	133	224	266	448
8k	0.896	7	28	56	66.5	112	133	224
4k	0.448	n/a	14	28	n/a	56	n/a	112
2k	0.224	n/a	7	14	n/a	28	n/a	56
1k	0.112	n/a	n/a	7	n/a	14	n/a	28

Figura 4.12 - Intervalo de guarda da norma DVB-T2, para largura de banda 8 MHz
 Fonte: ITU-R BT.2254-3 [29]

A arquitetura de uma rede SFN é muito conhecida pela sua característica da sincronização por sistemas GPS, visto que todos os emissores apesar de estarem em distâncias diferentes em relação aos recetores, devem transmitir na mesma frequência. Para que a sincronização seja feita de forma adequada é fundamental definir a distância entre os emissores adjacentes. Segundo consta na descrição ETSI EN 300 744 [10], o intervalo de guarda máximo permitido na norma DVB-T é de 224 μ s, o que traduz numa distância máxima entre transmissores de 67.2 km, e segundo a descrição ETSI EN 300 755 [18], o intervalo de guarda máximo permitido na norma DVB-T2 é de 532 μ s, que corresponde a uma distância máxima entre transmissores de 159.5 km.

⁶ O atraso de multicaminho está associado aos diferentes caminhos de propagação (isto é, o atraso que uma informação pode sofrer ao percorrer diferentes caminhos de transmissão no canal)

Existe ainda um outro fator que contribui na definição da arquitetura da rede de transmissão da TVD. Segundo o meteorologista William R. Hepburn as condições e variações atmosféricas, como a temperatura, pressão, humidade, podem provocar alterações consideráveis no alcance dos sinais rádios transmitidos nas faixas VHF e UHF. Ele até desenvolveu um algoritmo⁷ que mostra as condições de propagação perante a mudança dessas variáveis. Com isso teríamos algum problema na definição da distância entre os transmissores adjacentes de uma rede SFN, porque estas variáveis possuem fortes influências no alcance dos sinais e conseqüentemente podem causar problemas de sincronização nos terminais recetores.

4.4.3 Arquitetura MFN nacional e SFN regional

Visto que Cabo Verde é um país arquipelágico, com condições climáticas muito instáveis, decidiu-se que a arquitetura da rede a adotar deverá ser uma híbrida, composta por uma (1) rede MFN nacional e seis (6) sub-redes SFN regionais (ilustrada na Figura 4.13), cujo objetivo prioritário consiste no alcance da cobertura mínima alinhado com a expansão da rede elétrica e que deverá ser equacionada a adoção de uma solução para cobertura complementar, particularmente em zonas de difícil acesso e onde o rácio entre o investimento e a população coberta seja muito elevado.

⁷ O algoritmo chama-se Worldwide Tropospheric Ducting Forecast e encontra-se disponível no site do autor, no endereço: http://www.dxinfocentre.com/tropo_eur.html (Último acesso em 21-11-2017).

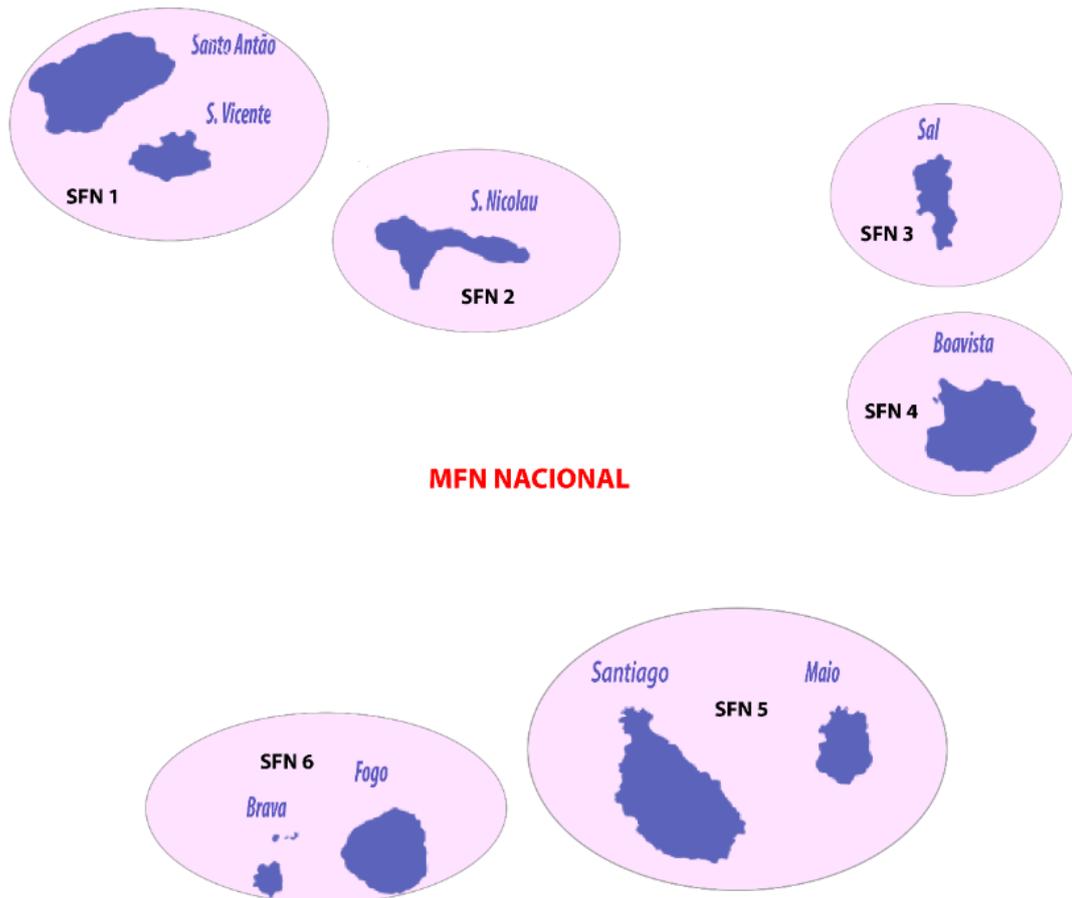


Figura 4.13 - Topologia da nova rede TDT

Fonte: baseado numa entrevista à comissão instaladora da TDT em Cabo Verde

A definição desta arquitetura supre um conjunto de necessidades e resolve um conjunto de questões fundamentais do processo de planeamento da TDT para Cabo Verde, tais como:

- Dificuldade extrema de planeamento de espectro num ambiente MFN, a nível nacional;
- Necessidade de libertação do espectro para utilização em futuras aplicações, no âmbito do dividendo digital;
- Complexidades e riscos ao nível da estabilidade das condições de propagação da arquitetura SFN para planear rede nacional;
- A arquitetura SFN nas maiores ilhas oferece vantagens na gestão de espectro e apresenta menor risco técnico;
- É vantajoso agregar grupos de ilhas em que as distâncias entre os emissores não ultrapassam 67 km, como por exemplo SFN1, SFN5 e SFN6, representados na Figura 4.13.

4.6 Áreas de Cobertura na Ilha de Santiago

A ilha de Santiago que serve do caso de estudo nesta dissertação, ficou contemplada na rede SFN5, infraestruturada com 14 transmissores a emitir na faixa de frequência 514 MHz, como mostra a tabela na Figura 4.16.

SFN - 5, Transmissores da Ilha de Santiago								
Local	Latitude	Longitude	Altitude(M)	Altitude + Alt Est Base	Potência (W)	Potencia (dBm)	Comentários	Canais UHF
Monte Mascarenhas	15.115306 ° N	23.690431 ° W	681.24 m	711.24 m	5.00 W	36.99 dBm	TDT	26
Monte Redondo	15.188472 ° N	23.691094 ° W	769.63 m	799.63 m	5.00 W	36.99 dBm	TDT	26
Cidade Velha II	14.939253 ° N	23.670075 ° W	41.45 m	71.45 m	5.00 W	36.99 dBm	TDT	26
Kumbem	15.086364 ° N	23.669617 ° W	557.18 m	587.18 m	30.00 W	44.77 dBm	TDT	30/26
Monte Pensamento	14.931128 ° N	23.520958 ° W	53.04 m	83.04 m	50.00 W	46.99 dBm	TDT	22/26
Monte Tchota	15.037103 ° N	23.622825 ° W	1020.72 m	1050.72 m	200.00 W	53.01 dBm	TDT	34/26
Chaminé	15.036314 ° N	23.536792 ° W	665.08 m	695.08 m	5.00 W	36.99 dBm	TDT	26
Cidade Velha	14.917225 ° N	23.606211 ° W	75.90 m	105.90 m	10.00 W	40.00 dBm	TDT	31
Junco	15.072122 ° N	23.640519 ° W	647.10 m	677.10 m	50.00 W	46.99 dBm	TDT	25/26
R. da Barca	15.137939 ° N	23.758208 ° W	16.46 m	46.46 m	10.00 W	40.00 dBm	TAT	31
R. da Barca/Ach Ponta	15.148281 ° N	23.726931 ° W	382.22 m	412.22 m	10.00 W	40.00 dBm	TDT	26
Rincão	15.0633 ° N	23.763619 ° W	66.14 m	96.14 m	10.00 W	40.00 dBm	TAT	31
Rincão TDT	15.064697 ° N	23.76555 ° W	74.68 m	104.68 m	5.00 W	36.99 dBm	TDT	26
Serra Malagueta	15.185942 ° N	23.667711 ° W	950.68 m	980.68 m	50.00 W	46.99 dBm	TDT	26
Tarafal	15.276692 ° N	23.743558 ° W	64.62 m	94.62 m	30.00 W	44.77 dBm	TDT	36/26
Tombatouro	15.103783 ° N	23.718456 ° W	315.78 m	345.78 m	10.00 W	40.00 dBm	TDT	33/26

Figura 4.16 - Localização dos transmissores TDT da SFN5 (ilha de Santiago)

Fonte: ANAC (2016)

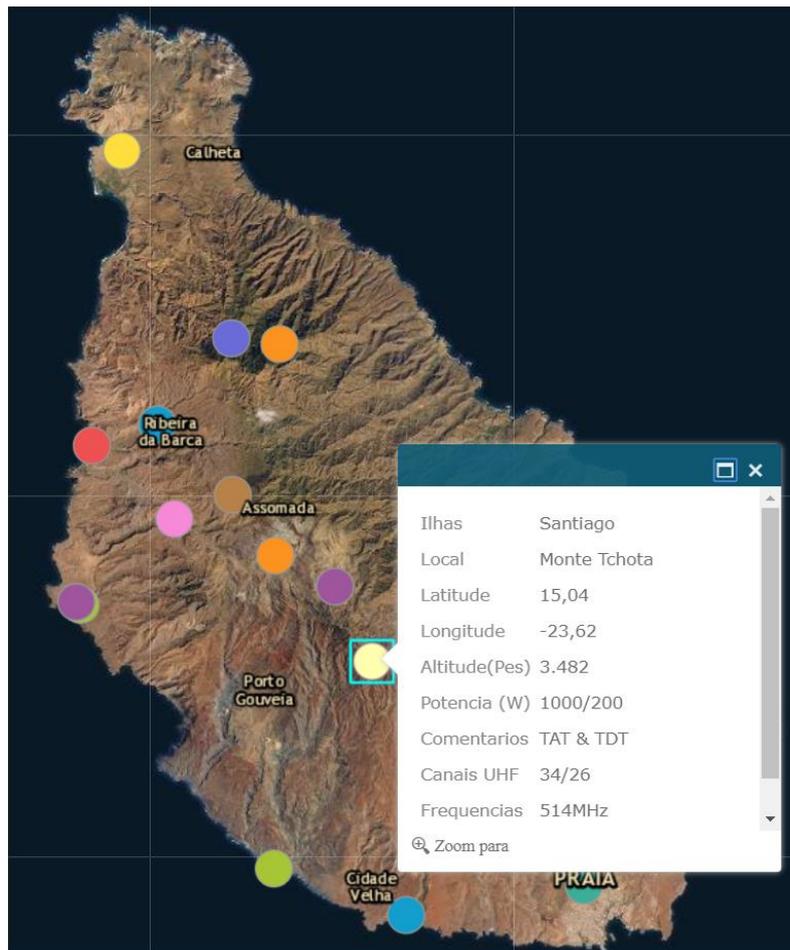


Figura 4.17 - Mapa da distribuição dos transmissores TDT da ilha de Santiago
 Fonte: baseado na tabela da Figura 4.16.

Dos vários transmissores que ficam na ilha de Santiago, existe um localizado no Monte Tchota, com latitude $15.037103^{\circ}\text{N}$ e longitude $23.622825^{\circ}\text{W}$, com uma potência de 1000W para transmissão analógica e 200W para transmissão digital, segundo consta no mapa da distribuição na Figura 4.17. Baseado nestes dados, serão efetuados alguns cálculos de propagação dos sinais TDT, para averiguar se os níveis de sinais recebidos, e as respetivas áreas de cobertura, são adequadas para o sistema DVB-H, que é mais exigente do que o DVB-T2. Toma-se como referência para calcular as perdas de propagação o modelo de propagação Okumura-Hata. O cálculo das perdas de propagação com o modelo Okumura-Hata, é feito de acordo com o tipo de ambiente de propagação, (áreas urbanas, suburbanas e em espaço livre) e dependem de um conjunto de parâmetros como altura da antena do recetor no solo ($h_m[m]$), a distância do recetor à antena da estação de base ($d [Km]$), frequência da portadora ($f_c [MHz]$), a altura efetiva da antena da estação de base ($h_b[m]$), e a distância máxima circular entre a estação de base e o

recetor ($R[Km]$). As fórmulas para o cálculo da sensibilidade estão representadas nas equações (1), (2) e (3).

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - E \quad (1)$$

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - C \quad (2)$$

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - D \quad (3)$$

Para as áreas urbanas deve-se usar a equação (1), para as áreas suburbanas a equação (2) e para a propagação em espaço livre a equação (3), Onde:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (f_c) - 13.82 \log_{10}(h_b);$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b);$$

$$C = 2 \left(\log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right)^2 + 5.4;$$

$$D = 4.78 (\log_{10} (f_c))^2 + 18.33 \log_{10}(f_c) + 40.94;$$

O valor do parâmetro E , da equação (1), depende do tipo de área urbana e da frequência da portadora (f_c) pelo que:

- Para cidades grandes com $f_c \geq 400MHz$, temos:

$$E = 3.2 (\log_{10} (11.7554 h_m))^2 - 4.97;$$

- Para cidades pequenas e médias, temos:

$$E = (1.1 \log_{10}(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \log_{10}(f_c) - 0.8);$$

O modelo Okumura-Hata inicialmente foi definido para:

- Faixas de frequência $f \in [150, 1\ 500]$ MHz
- Distância $d \in [1, 20]$ km
- Altura efetiva da antena da estação de base $h_b \in [30, 200]$ m
- E altura da antena do recetor $h_m \in [1, 10]$ m,

Agora vai-se tomar como referência o transmissor do Monte Tchota, indicado na Figura 4.17, para calcular as perdas de propagação de dois recetores, um localizado a uma distância de 10 Km (zona suburbana) e outro a uma distância de aproximadamente 20 Km (Cidade da Praia), com uma antena recetora de 2 m de altura. Considera-se a altura real da antena situada no Monte Tchota de 1050 m.

Para a distância de 10 Km (Suburbana) temos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (514) - 13.82 \log_{10}(1050) = 98.7 \text{ dB}$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(1050) = 25.1$$

$$C = 2 \left(\log_{10} \left(\frac{514}{28} \right) \right)^2 + 5.4 = 8.6 \text{ dB}$$

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - C = 98.7 + 25.1 * \log_{10} (10) - (8.6) = 115.2 \text{ dB}$$

Para a distância de 20 Km, em zona urbana temos:

$$E = (1.1 \log_{10}(514) - 0.7)2 - (1.56 \log_{10}(514) - 0.8) = 1.1 \text{ dB}$$

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - E = 98.7 + 25.1 * \log_{10} (20) - (1.1) = 130.2 \text{ dB}$$

Para a mesma distância de 20 Km, numa zona suburbana, ter-se-ia:

$$L_{dB} = A + B \log_{10} R - C = 98.7 + 25.1 * \log_{10} (20) - (8.6) = 122.8 \text{ dB}$$

Daqui pode-se concluir que as perdas de propagação serão sempre maiores nas zonas urbanas comparadas com as zonas suburbanas (ou zonas rurais onde se use o termo D).

4.7 Área da cobertura considerando os parâmetros do DVB-H

Para receção móvel e portátil, o modo da norma DVB-H que é o mais adequado às dimensões da Ilha de Santiago é o modo 4K e modulação 16-QAM com taxa de codificação de 1/2 ou 2/3 que requerem um C/N moderado, além de fornecer capacidade suficiente para atender aos requisitos comerciais mínimos exigidos [23].

GI = 1/4				2K				4K				8K						
Code Rate	Bitrate	C/N Rayleigh	C/N min	Fd max	At C/N min + 3dB			C/N min	Fd max	At C/N min + 3dB			C/N min	Fd max	At C/N min + 3dB			
					Fd	500 MHz				Fd	500 MHz				Fd	500 MHz		
QPSK	1/2	4,98 Mbps	5,4 dB	13,0 dB	201 Hz	169 Hz	365 km/h	13,0 dB	133 Hz	112 Hz	242 km/h	13,0 dB	65 Hz	55 Hz	119 km/h			
QPSK	2/3	6,64 Mbps	8,4 dB	16,0 dB	167 Hz	135 Hz	291 km/h	16,0 dB	111 Hz	90 Hz	194 km/h	16,0 dB	55 Hz	45 Hz	97 km/h			
16-QAM	1/2	9,95 Mbps	11,2 dB	18,5 dB	142 Hz	114 Hz	246 km/h	18,5 dB	96 Hz	77 Hz	166 km/h	18,5 dB	50 Hz	40 Hz	86 km/h			
16-QAM	2/3	13,27 Mbps	14,2 dB	21,5 dB	113 Hz	96 Hz	207 km/h	21,5 dB	74 Hz	63 Hz	136 km/h	21,5 dB	35 Hz	30 Hz	65 km/h			
64-QAM	1/2	14,93 Mbps	16,0 dB	23,5 dB	90 Hz	75 Hz	162 km/h	23,5 dB	60 Hz	50 Hz	108 km/h	23,5 dB	30 Hz	25 Hz	54 km/h			
64-QAM	2/3	19,91 Mbps	19,3 dB	27,0 dB	52 Hz	39 Hz	84 km/h	27,0 dB	36 Hz	27 Hz	58 km/h	27,0 dB	20 Hz	15 Hz	32 km/h			

Figura 4.18 - Características do Modo 4K DVB-H

Fonte: ETSI TR 102 377 [23]

Levando em consideração a tabela da Figura 4.16 e a tabela da Figura 4.18, serão calculados a sensibilidade mínima do recetor, as perdas máximas permitidas e as áreas de cobertura de cada um dos transmissores da Ilha de Santiago, de acordo com a sua potência de transmissão. O transmissor de Monte Tchota será uma referencia tanto para cálculo da área de cobertura mínima como para área de cobertura máxima. Uma vêz que os procedimentos para os cálculos da área de cobertura são iguais para os outros recetores, estes serão colocados no ANEXO C - Cálculo da área de cobertura mínimo e máximo das antenas TDT da ilha de Santiago.

Transmissor de Monte Tchota

A perda de propagação é dada por:

$$L_p = P_T(dBm) - S(dBm) ;$$

Tendo $S_{min}(dBm) = \left(\frac{C}{N}\right)_{min} (dB) + P_N(dBm)$, com $P_N = D_n + F + 10 \log(B)$ e

levando em consideração que a densidade espectral de potência do ruído térmico num sistema de 50Ω à temperatura ambiente D_n é de $-174 dBm/Hz$, o fator de ruído no recetor (F) é igual a $8dB$ e a Largura de Banda (B) de $8MHz$, teremos para a potência do ruído térmico:

$$P_N = -174 + 8 + 10 \log(8 * 10^6) = -97 dBm,$$

Isso implica que de acordo com a tabela da Figura 4.18, tenhamos:

$$S_{min}(dBm) = 21.5 - 97 \Leftrightarrow S_{min}(dBm) = -75.5 dBm;$$

$$L_p = 53dBm - (-75.5)dBm \Leftrightarrow L_p = 128.5dBm;$$

Para calcular a área de cobertura deve-se levar em consideração o modelo Hata para o meio urbano que é o pior caso, com a altura da antena da estação de base $h_b = \textit{Altitude} + \textit{Altura da Antena} = 1050m$, (ilustrada na Figura 4.17). Isso resulta em:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(1050) = 98.7 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(1050) = 25.1;$$

$$E = (1.1 \log_{10}(514) - 0.7) * 2 - (1.56 \log_{10}(514) - 0.8) = 1.1dB;$$

Área de cobertura mínima

Sabendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$128.5 = 98.7 + 25.1 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 128.5 = 97.6 + 25.1 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{128.5-97.6}{25.1}}$$

$$\Leftrightarrow R = 17.025 Km$$

Tendo calculado os raios de cobertura mínima para cada um dos transmissores, segundo consta nos cálculos no ANEXO C - Cálculo da área de cobertura mínimo e máximo das antenas TDT da ilha de Santiago., e o resumo na Tabela 4.4, prevê a seguinte cobertura mínima para a ilha de Santiago, conforme ilustra a Figura 4.19.

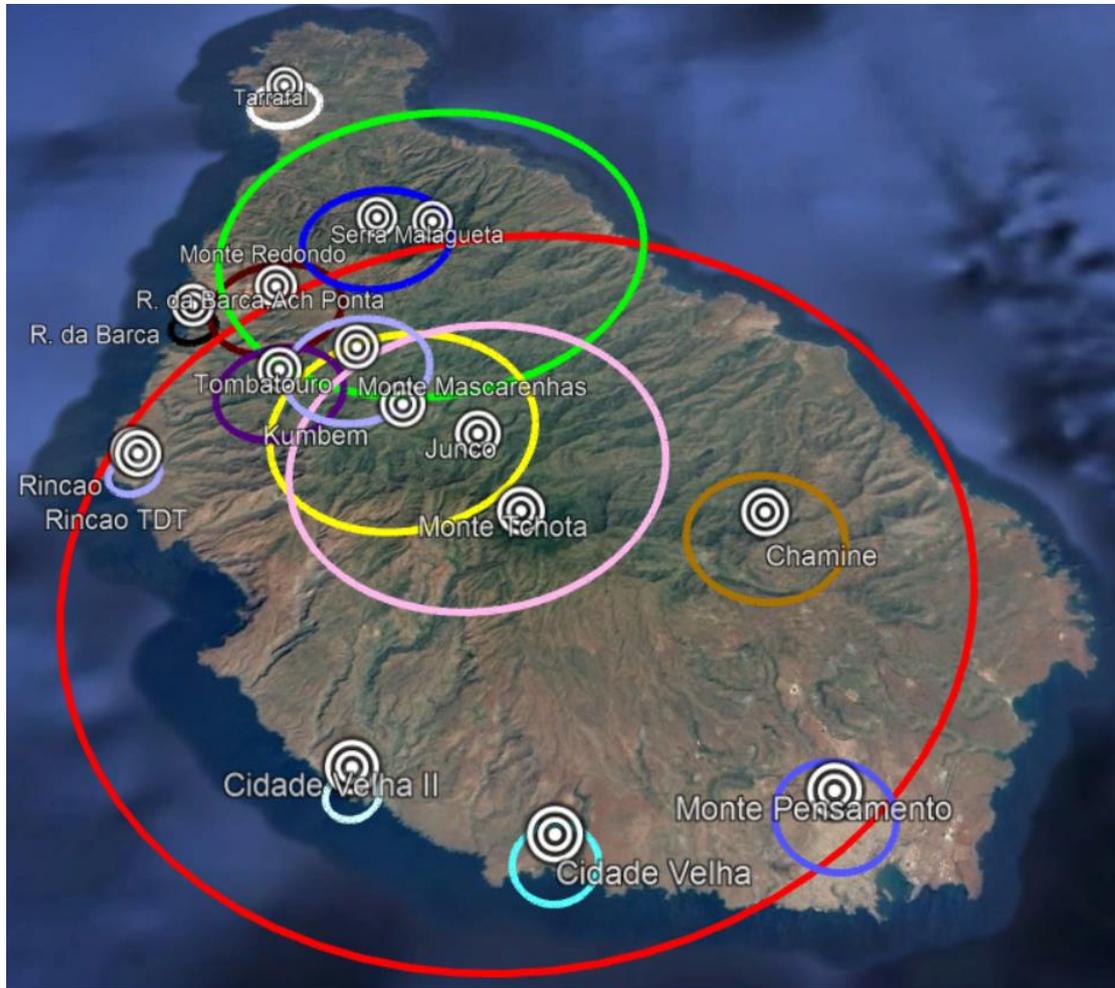


Figura 4.19 - Previsão da área de cobertura mínima dos transmissores da TDT da Ilha de Santiago

Área de cobertura Máxima

Na análise anterior admitiu-se que toda a ilha de Santiago seria uma zona urbana o que não é verdade. Daí que os valores dos raios de cobertura apresentados são os valores mínimos.

Quando se admite que a ilha de Santiago é melhor descrita como sendo uma zona suburbana o modelo Okumura-Hata indica que em vez do parâmetro E deve-se considerar o parâmetro C , com:

$$C = 2 \left(\log_{10} \left(\frac{514}{28} \right) \right)^2 + 5.4 = 8.6 \text{ dB}$$

Neste caso, vamos obter uma diferença entre os parâmetros C-E = 8.6-1.1 = 7.5dB e aplicando esta diferença nas fórmulas anteriores obtém novos valores de raio de cobertura dos diversos transmissores. Nomeadamente, no caso do transmissor do Monte Tchota obtém-se:

$$L_p = A + B \log_{10}(R) - C$$

$$\Leftrightarrow 128.5 = 98.7 + 25 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 128.5 = 90.1 + 25 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{128.5-90.1}{25}}$$

$$\Leftrightarrow R = 33.8 Km$$

Aplicando esta diferença de 7.5 dB de perdas de propagação e efetuando os cálculos conforme esta secção e o anexo C, o resumo apresentado na Tabela 4.4, prevê a seguinte área de cobertura máxima para a ilha de Santiago, como se ilustra na Figura 4.20.

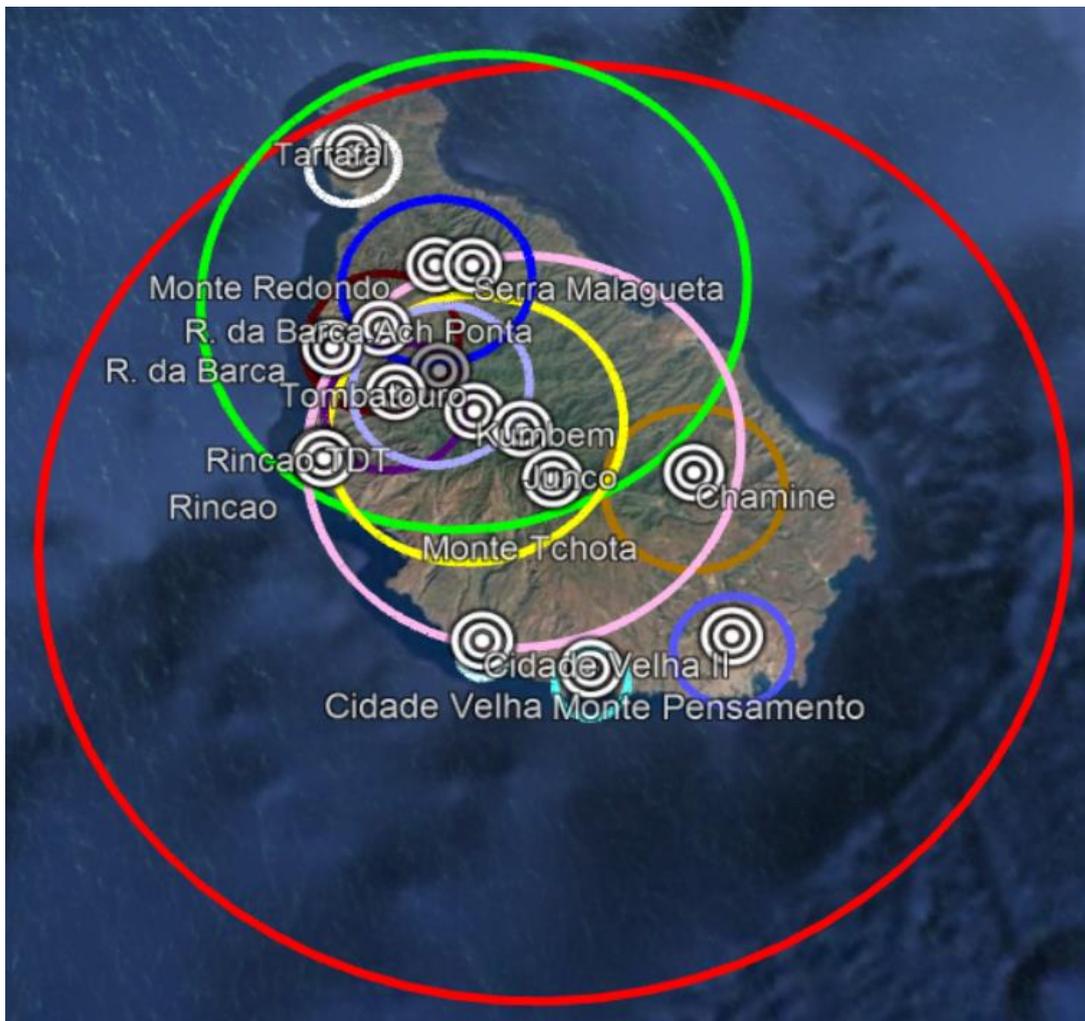


Figura 4.20 - Previsão da área de cobertura máxima dos transmissores da TDT da Ilha de Santiago

A Tabela 4.4, indica os raios máximos (modelo de zona suburbana) e mínimos (modelo de zona urbana) da área de cobertura de todos os transmissores da ilha de Santiago.

Tabela 4.4 - Área de cobertura mínima e máxima dos transmissores TDT da ilha de Santiago

Zona	Altura da Antena (m)	Potência da Antena (W)	Cobertura Min(Km)	Cobertura Max (Km).
Monte Mascarenhas	711.24	5.00	3.00	5.93
Monte Redondo	799.63	5.00	3.30	6.48
Cidade Velha II	71.45	5.00	0.90	1.53
Kumbem	587.18	30.00	5.30	9.83
Monte Pensamento	83.04	50.00	2.00	3.38
Monte Tchota	1050.72	200.00	17.03	33.80
Chaminé	695.08	5.00	3.00	5.93
Cidade Velha	105.90	10.00	1.40	2.32
Junco	677.10	50.00	7.40	14.38
R. Da Barca Achada Ponta	412.22	10.00	2.82	5.22
Rincão	104.68	5.00	1.00	1.79
Serra Malagueta	980.68	50.00	9.40	18.56
Tarrafal	94.62	30.00	1.60	3.12
Tomba Touro	345.78	10.00	2.60	4.81

5 CONCLUSÃO

Com vista a cumprir os acordos da UIT, e acompanhar a evolução da era digital, melhorar as condições da difusão dos sinais e a qualidade dos serviços da televisão e gerir da melhor forma possível o espectro radioelétrico, que constitui um recurso muito raro e cada vez mais escasso, Cabo Verde sentiu-se obrigado a planear uma nova rede para distribuição dos serviços televisivos, transitando da TV analógica para digital. Devido a algumas dificuldades em relação aos aspetos técnicos, importação dos equipamentos para a infraestruturação do país para receção dos novos serviços, este processo demorou mais tempo do que estava previsto, e neste momento, Cabo Verde encontra-se ainda no processo de transição. Como foi visto ao longo deste trabalho, a Ilha de Santiago, por ser a maior ilha do arquipélago, e por ter uma característica geográfica diferente das restantes, foi a escolhida para a realização deste estudo sendo a mais difícil de se fazer o planeamento, uma vez feita, a experiencia servirá de exemplo para as restantes ilhas. A transição para a TDT, irá trazer benefícios incontáveis para a ilha de Santiago e Cabo Verde no geral, porque primeiramente será liberada uma grande quantidade de espectro radioelétrico, onde poderão ser alocados outros serviços de interesse nacional. Ora vejamos, segundo a distribuição de frequências por operadoras em cada ilha para transmissão analógica, apresentada na tabela da Figura 4.5, pode-se dizer que estavamos perante um grande desperdício de recursos, uma vez que dos 49 canais, só estavam disponíveis 23 canais, conforme se mostra na tabela da Figura 4.6, e ainda por cima com uma cobertura muito deficitária, conforme ilustrada na Figura 4.1. Com este planeamento prevê-se uma melhor organização e ocupação dos canais, com a possibilidade de aumentar de 23 para 31 canais livres, num cenário com três MUXs (A, B e C), e para 37 canais livres, num cenário de planeamento com 2 MUXs (A e B), com possibilidade de entrega de serviços de televisão em SD e HD aos utilizadores finais. Este planeamento prevê ainda uma topologia mista, com uma rede MFN nacional constituído por 6 redes SFN, com a ilha de Santiago a pertencer a SFN5 juntamente com a ilha do Maio. A ilha de Santiago tem no total 14 transmissores TDT, com destaque para o de Monte Tchota, que tem uma potência de transmissão de 200 W, por se localizar numa posição muito estratégica do ponto de vista da cobertura da ilha com os sinais da TDT, conforme está ilustrada na Figura 4.17. Levando em consideração o modelo de Okumura-Hata, para o cálculo da área de cobertura e considerando a ilha de Santiago como uma zona urbana, o transmissor de Monte Tchota oferece uma cobertura mínima, com um raio de

aproximadamente 17 Km, o que não chegaria para cobrir toda a extensão da ilha. No entanto a ilha de Santiago será melhor classificada como uma área suburbana, o que aumentaria a área de cobertura do mesmo transmissor, para quase o dobro, com raio de aproximadamente 33.80 km, visto que nas zonas suburbanas as perdas de propagação são menores do que nas zonas urbanas. Com esta cobertura podia-se dizer que com um único transmissor, no Monte Tchota, chegaria para se cobrir toda ilha de Santiago, conforme ilustra a Figura 4.20. Mas devido às características da superfície da ilha, muito montanhosa e com vários relevos e encostas, foram necessários mais 13 transmissores, dos quais três (3) com potências de 50 W, dois (2) com potências de 30 W, três (3) com potências de 10 W, e cinco (5) com potências de 5 W, para cobrir todas as zonas habitadas, encostas e pequenas zonas de sombra, de forma que haverá uma garantia de entrega de serviços da TDT, em toda a extensão da ilha.

Visto que os recetores móveis, são os mais difíceis de garantir os serviços mínimos de receção dos sinais da TDT, devido às condições em que operam, conforme mencionado no subcapítulo 3.9, os cálculos da área de cobertura foram baseados na norma DVB-H. No entanto, Cabo Verde adotou a norma DVB-T2 e a H.264/AVC para a implementação da TDT. A norma DVB-T2, trouxe inúmeras melhorias em relação à norma DVB-T antes existente, como por exemplo aumento do intervalo de guarda, permitindo uma maior distância entre os transmissores de uma rede SFN, ou seja redes SFN com maiores áreas de cobertura, introdução de esquemas de modulação 256-QAM, rotação da constelação, e a introdução de códigos corretores de erros LDPC (*Low Density Parity Check*) e BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquengham*), que são muito robustos, permitindo uma maior capacidade dos multiplexers e maior integridade de conteúdos perante os problemas de interferência e multipercurso. A norma DVB-T2 suporta ainda serviços com melhor qualidade, como SD, HD, UHD, e TV para os dispositivos móveis, o que garante que usando esta norma a ilha de Santiago estará com a cobertura e condições mínimas exigidas para a transmissão dos serviços da TDT.

5.1 Trabalho Futuro

Este trabalho é de carácter científico-académico, mas o autor compromete-se a dar continuidade a este estudo, e acompanhar todas as entidades envolvidas e interessadas, como é o caso da ANAC, operadoras da Televisão e Telefonia móvel, Governo, etc.), no planeamento e implementação da TDT na Ilha de Santiago e Cabo

Verde em geral, e contribuir caso necessário com a melhoria e otimização dos serviços relacionados com a transmissão dos serviços da televisão no país. Para já, como visto ao longo deste trabalho, a ilha de Santiago está situada na SFN5 juntamente com a ilha do Maio. Estas duas ilhas estão separadas por cerca de 30 Km, por mar, a contar da periferia mais próxima das ilhas e tem cerca de 15 transmissores a emitir na mesma frequência, localizadas em sítios com características geográficas diferentes, o que pode alterar algumas condições na propagação do sinal.

Por isso um dos trabalhos futuros será o estudo e a análise da propagação do sinal de TDT não só dentro da SFN5, como em todas as Ilhas de Cabo Verde, no sentido de garantir que não haja interferência e queda de nível de sinal por conta disso. Além disso, Cabo Verde enfrenta ainda algumas dificuldades a nível da abrangência da energia elétrica, principalmente em alguns pontos onde estão situados os equipamentos e transmissores, pelo que será necessário também o estudo de um plano de monitorização interativa, através de sistemas de informação, com inclusão de diversos tipos de sensores, e com a possibilidade de emissão dos estados dos transmissores para uma base em que permite uma análise detalhada e planear a recuperação e reposição de serviços no caso de haver algumas falhas, principalmente o transmissor do Monte Tchota, por ser o mais potente de todos e cobrir cerca de 70% dos utilizadores da ilha de Santiago.

5.2 Dificuldades encontradas

Este trabalho requeria uma abordagem prática, nomeadamente a utilização de uma ferramenta de planeamento para um melhor enquadramento do estudo à realidade do caso de estudo em questão. Eu e o meu orientador fizemos alguns contactos junto da entidade que fez o planeamento da TVD em Portugal, no sentido de conseguirmos uma ferramenta de planeamento, mas o mesmo foi sem sucesso.

De várias pesquisas feitas, descobri uma ferramenta muito interessante para o planeamento da TVD, designada de *PROGIRA® plan 6*, do fabricante Progira, (<https://www.progira.com/>), mas devido ao valor de aquisição do licenciamento do mesmo, tornou-se muito difícil a aquisição. No entanto espero algum dia ter oportunidade de ingressar num projeto em que possa utilizar uma ferramenta de planeamento, no sentido de perceber melhor e dar continuidade a este estudo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Stolfi, «PTC2547 – PRINCÍPIOS DE TELEVISÃO DIGITAL», pp. 1–25, 2016.
- [2] M. S. de Alencar, *Digital Television System*. 2009.
- [3] M. G. Monteiro, «I SÉRIE – Nº 23 – “B.O.” DA REPÚBLICA DE CABO VERDE – 29 DE JUNHO DE 1998», vol. I SÉRIE –, 1998.
- [4] ITU, «Status of the transition to Digital Terrestrial Television Broadcasting : Summary», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Spectrum-Broadcasting/Pages/DSO/Summary.aspx>. [Acedido: 24-Out-2017].
- [5] W. Fischer, *Terrestrial Transmission of Digital Television Signals (DVB-T)*. 2010.
- [6] ATSC, «A / 53: ATSC Digital Television Standard , Parts 1 - 6», *ATSC Stand.*, n. 1, pp. 1–136, 2007.
- [7] ATSC, «A/107 – ATSC 2.0 Standard», *ATSC Stand.*, n. 11, p. 24, 2004.
- [8] ATSC, «ATSC 3.0 System (A/300)», *ATSC Stand.*, n. 11, p. 52, 2004.
- [9] ARIB, «English Translation Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting Arib Standard», *ARIB STD-B31*, vol. 2.2, p. 195, 2014.
- [10] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television», *ETSI EN 300 744*, vol. 1.6.1, pp. 1–66, 2009.
- [11] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems», *En 300 429*, vol. 1.2.1, p. 20, 1998.
- [12] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services», *EN 300 421*, vol. 1.1.2, pp. 1–24, 1997.
- [13] DVB, «DVB-T2», 2017. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dvb.org/standards/dvb-t2>. [Acedido: 24-Jun-2017].
- [14] W. Fischer, *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*, Third Edit. New York, 2010.
- [15] O. Regula, *Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation of 2016*. 2016.
- [16] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)», *ETSI TS 102 831*, vol. 1.2.1, n. 8, pp. 1–244, 2012.

- [17] ETSI, «Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)», *ETSI TS 102 773*, vol. 1.3.1, pp. 1–53, 2012.
- [18] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB): Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)», *ETSI EN 3 302 755*, vol. 1.4.1, pp. 1–189, 2015.
- [19] ITU, «ITU-R BT.2254 Frequency and network planning aspects of DVB-T2», *ITU-R BT.2254*, p. 128, 2012.
- [20] Wikipedia, «DVB-T2», 2016. [Em linha]. Disponível em: https://ca.wikipedia.org/wiki/DVB-T2#/media/File:Dvbt2_256qam_rotated.png. [Acedido: 01-Nov-2017].
- [21] DVB, «Broadcasting to Handhelds: Digital Terrestrial Mobile TV», *DVB Fact Sheet*, n. 5, p. 2, 2011.
- [22] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB): transmission system for handheld terminals (DVB-H)», *ETSI EN 302 304*, vol. 1, pp. 1–14, 2004.
- [23] ETSI, «Digital Video Broadcasting (DVB): DVB-H Implementation Guidelines», *ETSI TR 102 377*, vol. 1.4.1, pp. 1–118, 2009.
- [24] P. Hummelbrunner e W. Robitza, «DVB-H: Technical Overview and Design Requirements for Mobile Television Broadcasting», 2009.
- [25] Desconhecido, «Operadores do Setor da Televisão», 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://www.dgcs.gov.cv/index.php/operadoras/televisao>. [Acedido: 25-Out-2017].
- [26] ANAC, «Quadro nacional de atribuição de frequências», pp. 1–253, 2015.
- [27] DVB, «Second Generation Terrestrial: The World's Digital Terrestrial TV Standard», *DVB-T2*, n. 12, pp. 1–2, 2013.
- [28] ITU, «Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks (SFN)», *ITU-R BT.2386*, vol. 0, p. 175, 2015.
- [29] ITU, «Frequency and network planning aspects of DVB-T2», *ITU-R BT.2254*, vol. 3, p. 146, 2017.
- [30] ITU, «Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video», *ITU-T H.262*, vol. 262, 2000.
- [31] ITU, «Advanced video coding for generic audiovisual services», *ITU-T H.264*, n. 1, p. 787, 2017.
- [32] D. Marpe, T. Wiegand, e G. J. Sullivan, «The H. 264/MPEG4 advanced video

- coding standard and its applications», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, n. 8, pp. 134–143, 2006.
- [33] T. Stockhammer, M. M. M. Hannuksela, e T. Wiegand, «H . 264 / AVC in Wireless Environments», *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, n. 7, pp. 657–673, 2003.
- [34] G. Stolfi, «Compressão de imagens em movimento: padrões mpeg, h.264, dirac», *PTC2547*, pp. 1–34, 2016.
- [35] N. OZBEK e T. TUNALI, «A Survey on the H . 264 / AVC Standard», *Turk J. Electr. Eng.*, vol. 13, n. 3, pp. 287–302, 2005.
- [36] S. Gary, «The H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding (AVC) Standard», 2005, n. July, pp. 1–29.
- [37] INE, «Cabo Verde, Anuário Estatístico 2015», *Anuário Estatístico*, p. 227, 2015.

ANEXO A – Especificações da norma H.264/AVC

A norma MPEG-2, foi definida nos meados dos anos 90 pela ITU (H.222 / H.262) [30] e pela ISO/IEC (13818), e tinha como maior foco a codificação de sinais de vídeo para diversas aplicações, como multimédia e videoconferências, TV de alta definição (HDTV) e outras aplicações em radiodifusão e estúdio. Por ser uma norma que permite uma grande robustez na codificação de sinais de vídeo, e em ambientes diversos, foi adotado pela norma DVB, para a transmissão terrestre, no entanto, com a evolução da tecnologia, surgiu em 2003 a MPEG-4 *Advanced Video Coding* (AVC), também conhecido como ITU-T H.264 [31]. A sua capacidade de operar em diversas plataformas e em ambientes adversos, deve-se a sua estrutura lógica, que engloba duas camadas principais, a *Video Coding Layer* (VCL) e a *Network Abstraction Layer* (NAL), com um relacionamento mútuo entre si [32]. (Ilustrada a Figura A 1).

A VCL é uma camada projetada para representar de forma eficiente o conteúdo do vídeo codificado, sendo que o *output* serão macroblocos codificados. A NAL é uma camada em que é executada a formatação da representação de vídeo que sai da VCL e atribuição da informação nos cabeçalhos ao mesmo conteúdo, de forma a apropriá-lo da melhor forma possível ao tipo de meio em que vai ser transmitido ou armazenado. A camada NAL é facilmente encapsulada em diferentes formatos de ficheiros e protocolos como o RTP, sistemas MPEG-2 e o formato MPEG-4. A camada VCL segue o modelo de codificadores anteriores de predição de movimento em *loop*, em que cada trama após o processo de codificação é representada em unidades em forma de blocos associados a uma luminância e duas crominância designados por macroblocos [33].

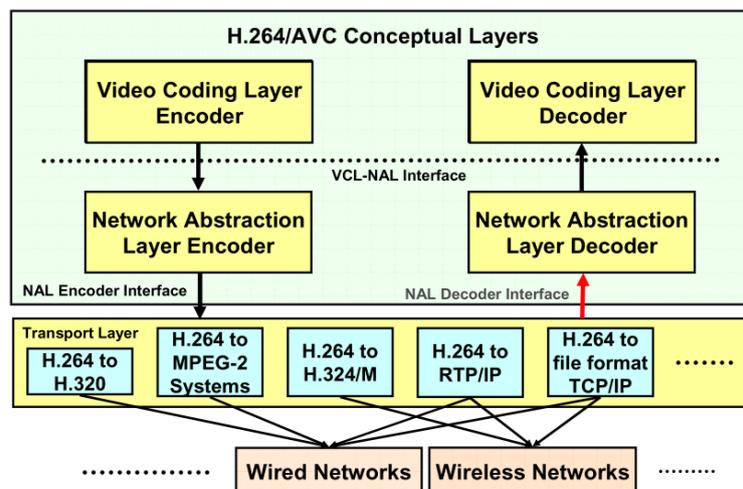


Figura A 1 - Estrutura lógica da H264/AVC

Fonte: T. Stockhammer, M. M. M. Hannuksela, e T. Wiegand [33]

Arquitetura da H.264/AVC

A arquitetura da norma ITU-T H.264/MPEG-4 é muito parecida com a sua antecessora MPEG-2 [34], como se nota na Figura A 2. Ela difere das outras antecessoras principalmente na redundância temporal, na utilização de tamanhos de blocos variáveis para compensação de movimento, na utilização de imagens do tipo B generalizadas, na redundância espacial, na utilização de predição de imagens, na utilização de filtros para melhorar a fronteira entre blocos e na utilização de quantização para eliminar relevância e uma maior eficiência no codificador entrópico.

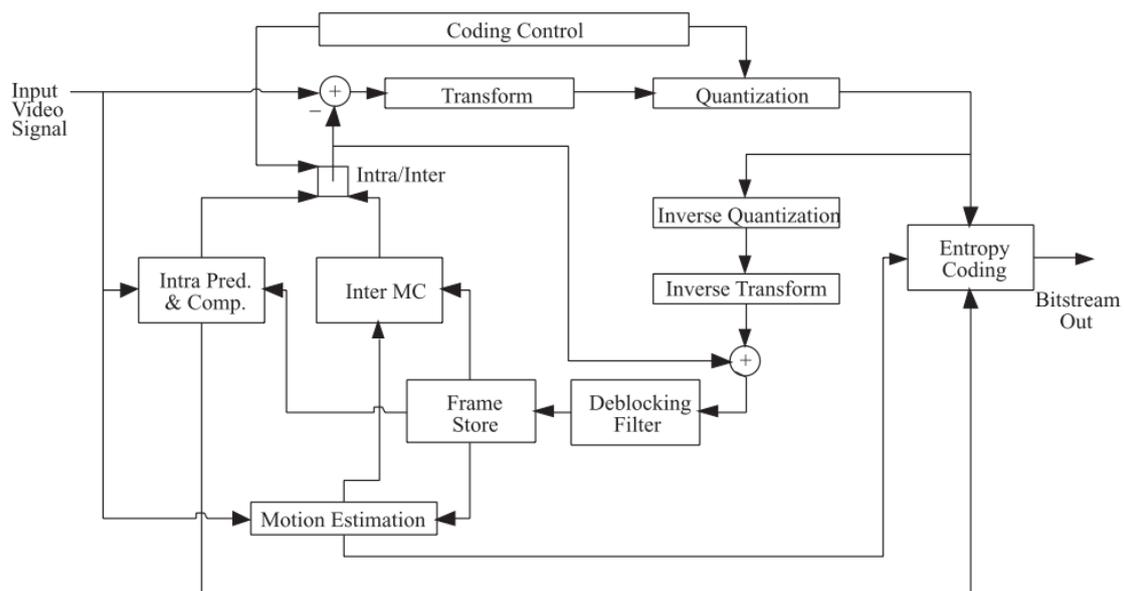


Figura A 2 - Diagrama de blocos da estrutura do codificador H.264/AVC

Fonte: N. OZBEK e T. TUNALI [35]

Os ganhos obtidos na H.264/AVC, devem-se também a implementação de um conjunto de ferramentas que exploram de forma mais eficiente a predição de movimento de uma sequência, tais como:

Compensação de movimento

No caso de predição compensada por movimento, a estimação e a compensação de movimento podem usar múltiplos tamanhos de blocos, onde cada macrobloco de 16x16 pode ser dividido em blocos menores. São permitidas as partições com tamanhos de bloco de luminância de 16x16, 16x8, 8x16 e 8x8. Cada bloco de 8x8 pode ser novamente particionado em tamanhos de 8x4, 4x8 e 4x4, conforme ilustra a Figura A 3.

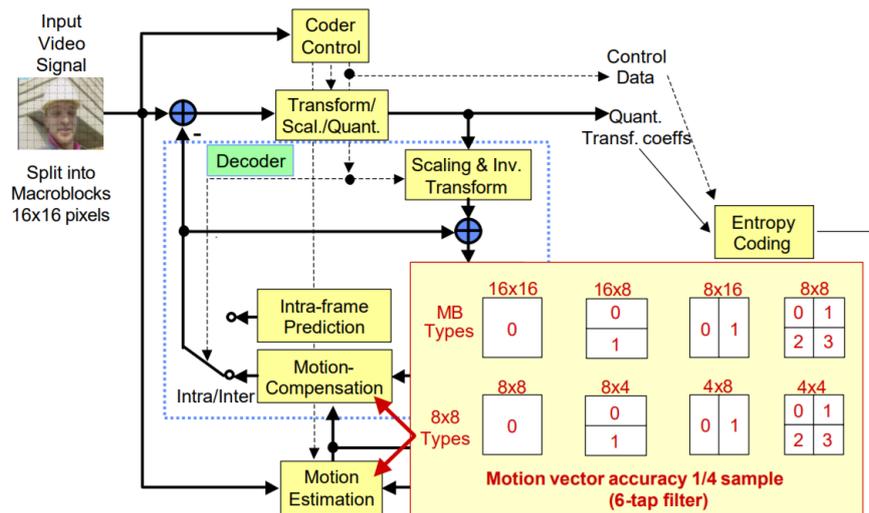


Figura A 3 - Particionamento de macrobloco e sub-macrobloco em blocos menores
 Fonte: S. Gary [36]

Filtro de desbloqueamento

Os contornos dos blocos reconstruídos pelo preditor podem ser amenizados através da aplicação de filtros espaciais, em pontos seleccionados pelo codificador, de modo a reduzir efeitos de bloqueio na imagem recuperada. Esta característica tem especial importância em vídeo de alta definição devido ao facto de, em ecrãs com dimensões superiores, qualquer efeito de bloco seria facilmente detetado pelo utilizador. A Figura A 4, demonstra a aplicação do filtro “anti-bloqueio” na norma H.264/AVC.

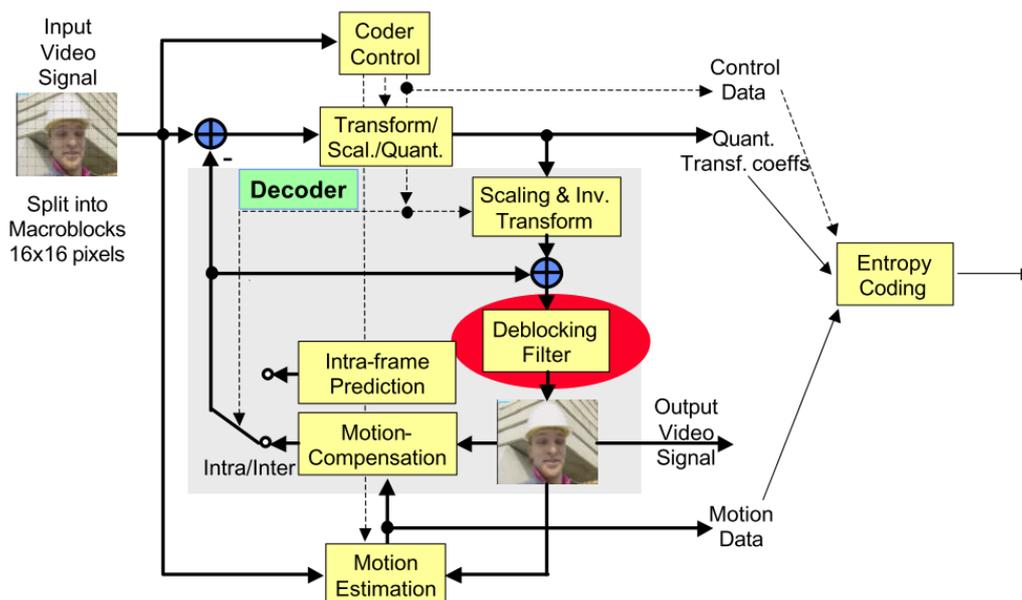


Figura A 4 - Aplicação do filtro de desbloqueamento na norma H.264/AVC
 Fonte: S. Gary [36]

Codificação entrópica

O padrão H.264 prevê dois tipos de codificação estatística para os símbolos a serem transmitidos, a CAVLC (*Context Adaptive Variable Length Coding*) e a CABAC (*Context Adaptive Binary Arithmetic Coding*) [34]. A CAVLC utiliza tabelas de comprimento variável que se adaptam às características da imagem de acordo com os símbolos transmitidos anteriormente e a CABAC baseia-se em modelos para predição da probabilidade condicional de ocorrência dos símbolos transmitidos, em função das características da região da imagem sendo codificada.

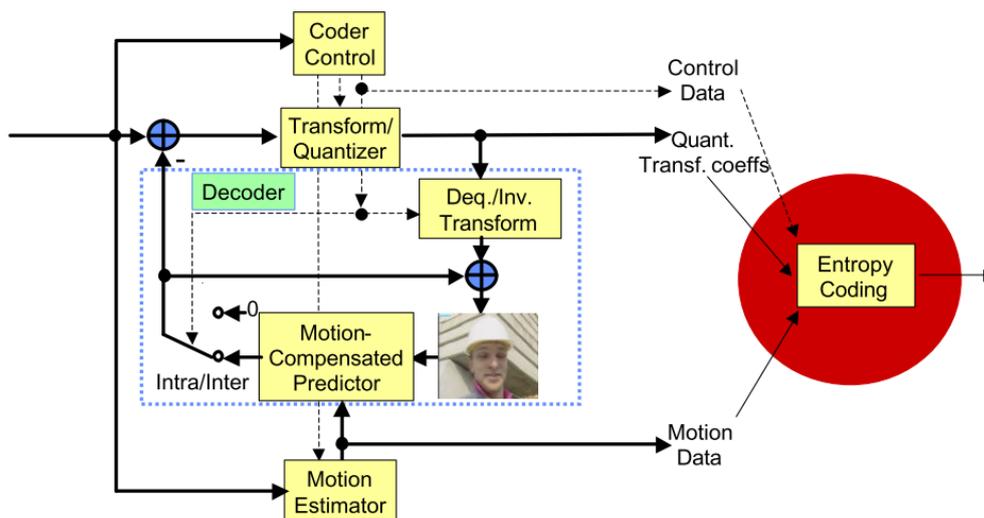


Figura A 5 - Codificação entrópica na norma H264/AVC

Fonte: S. Gary [36]

Eficiência da H.264/AVC

Num teste de quatro sequências “Tempet”⁸ CIF⁹, codificada a 30Hz, e tendo como unidade de medida PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), do componente Y, nota-se que a norma H.264/AVC apresenta uma redução de mais de 50% de taxas de bits para a mesma qualidade de vídeo, segundo revela a Figura A 6.

⁸ Codificação H.264 e MPEG-2: http://amalia.img.lx.it.pt/~tgsb/H264_test/html/original_seq.html, Acesso: nov. 2017.

⁹ CIF (*Common Intermediate Format* ou *Common Interchange Format*), também conhecido como FCIF (*Full Common Intermediate Format*), é um formato usado para padronizar as resoluções horizontais e verticais em pixels de sequências de YCbCr em sinais de vídeo, comumente usados em sistemas de videoconferência. Foi proposto pela primeira vez no padrão H.261. O CIF foi projetado para ser fácil de converter em padrões PAL ou NTSC. CIF define uma sequência de vídeo com uma resolução de 352x240 em NTSC e 352 × 288 no formato de entrada de fonte PAL, um enquadramento de quadros 30000/1001 (aproximadamente 29,97) como NTSC, com cores codificadas usando YCbCr 4: 2: 0.

QCIF significa "Quarter CIF". Para ter um quarto da área, como "trimestre" implica, a altura e a largura do quadro são divididas pela metade. Os termos também utilizados são SQCIF (Sub Quarter CIF, às vezes subQCIF), 4CIF (4 × CIF) e 16CIF (16 × CIF).

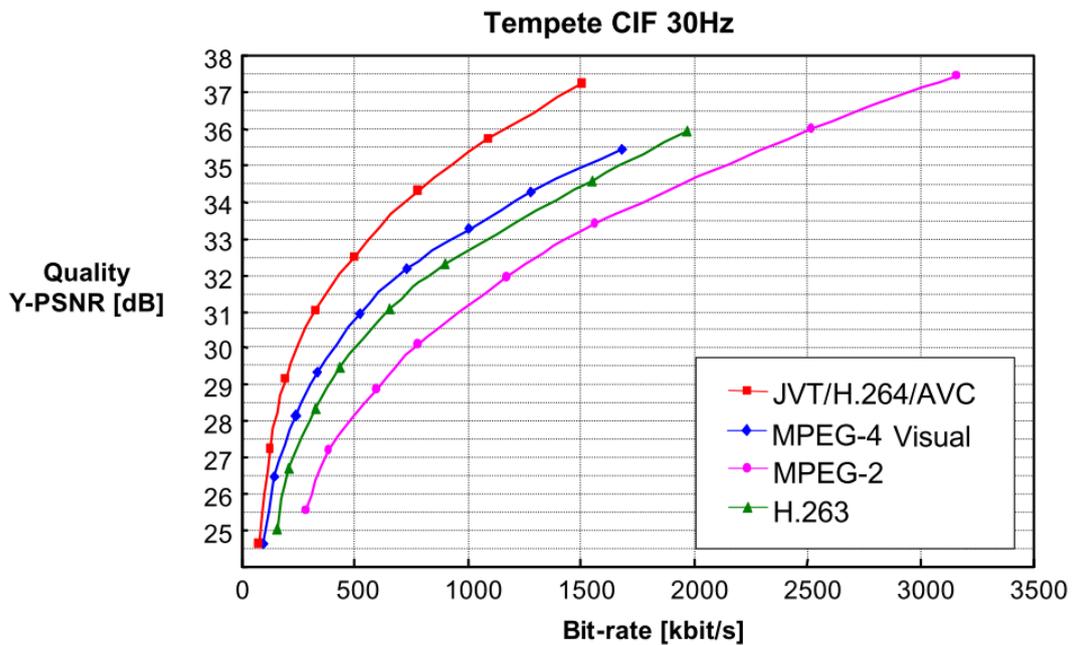


Figura A 6 - Comparação da eficiência da H.264/AVC com as outras normas
Fonte: S. Gary [36]

Apesar desta eficiência estar associada a um custo computacional, ela constitui uma das principais características que levaram a utilização da norma H.264/AVC, em diversas aplicações, como HD DVD, Blu-ray, e principalmente na transmissão de sinais de TVD.

ANEXO B - Orografia e Demografia de Cabo Verde

Orografia do terreno

Cabo Verde é um país arquipélago situado no meio do oceano atlântico, na costa ocidental do continente Africano, formado por dez ilhas (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava) e cinco principais ilhéus (Branco, Raso, Luís Carneiro, Grande e de Cima), com uma superfície aproximada de 4.033 Km², localizado entre os paralelos 14° 23' e 17° 12' de latitude Norte e os meridianos 22° 40' e 25° 22' a Oeste de Greenwich. As ilhas do arquipélago são de origem vulcânica e estão a uma distância de 500 km do promontório do Senegal como se ilustra na Figura B 1.

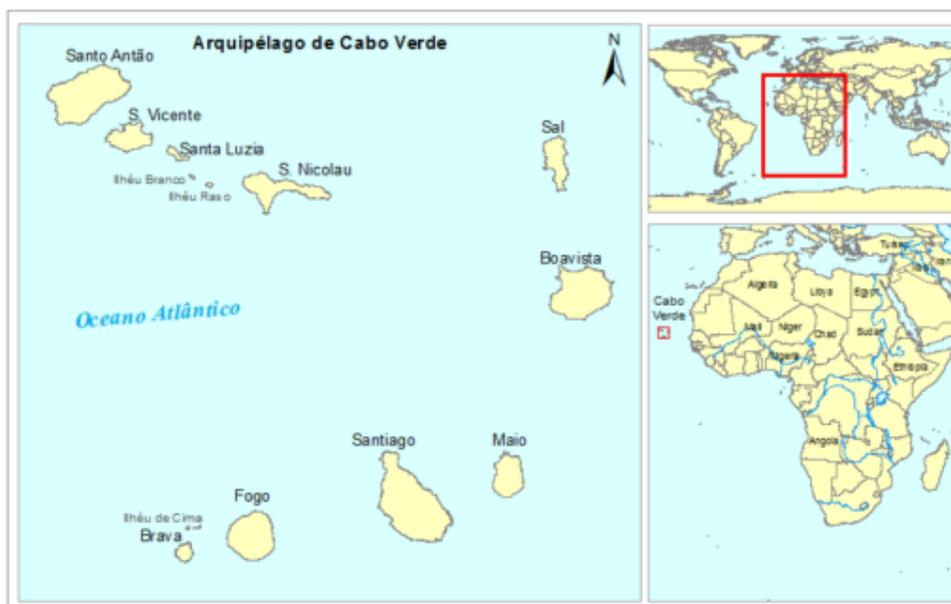


Figura B 1 - Mapa representativa do arquipélago de Cabo Verde [20]

Em termos geomorfológicos, as ilhas dividem-se em dois grandes grupos: as ilhas montanhosas (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Santiago, Fogo e Brava), onde predomina as paisagens montanhosas com altitudes que alcançam cerca de 2.823 metros e relevos bastante acidentados. Por outro lado, as ilhas planas (Sal, Boavista e Maio), caracterizados por quase inexistência de relevos montanhosos e onde marcam presença extensas praias de areia branca banhadas pelo oceano atlântico. A ilha de Santiago e a ilha maior em termos de superfície, com aproximadamente 991 Km², representando cerca de 24,6% do território nacional, segue-se a ilha de Santo Antão, com 19,3% do território. Por sua vez, a ilha de Santa Luzia com aproximadamente 35 Km² corresponde a 0,9% da superfície do território nacional e é a menor ilha do arquipélago.

O ponto mais alto do território nacional encontra-se na ilha do Fogo, onde o pico do vulcão atinge uma altitude de 2.829 metros. As tabelas que se seguem apresentam com maior precisão as informações geográficas das ilhas:

Tabela B 1 - Localização e altitude máxima das principais elevações (montanhas) de Cabo Verde

Ilhas	Designação (Monte)	Situação Geográfica		Orientação Predominante	Altitude (m)
		Latitude	Longitude		
Santo Antão	Tope da Coroa	17° 02' 05" N	25° 18' 00" W	Noroeste-Sueste	1.979
S. Vicente	Monte Verde	14° 52' 01" N	24° 65' 31" W	Norte-Sul	774
S. Nicolau	Monte Gordo			Noroeste-Sueste	1.304
Sal	Monte Grande			Nordeste-Sudoeste	406
Boa Vista	Santo António				378
Maio	Monte Penoso			Leste-Oeste	436
Santiago	Pico de Antónia	15° 02' 52" N	23° 38' 42" W	Nordeste-Sudoeste	1.392
Fogo	Pico do Fogo	14° 56' 52" N	24° 21' 11" W		2.829
Brava	Fontainhas	14° 50' 54" N	24° 42' 54" W	Leste-Oeste	976

Fonte: Anuário Estatístico de Cabo Verde 1946

Tabela B 2 - Comprimento e Largura Máxima, e Superfície por ilha

Ilha/Ilhéu	Comprimento máximo (m)	Largura máxima (m)	Superfície (Km ²)
Santo Antão	42.750	23.970	779
S. Vicente	24.250	16.250	227
Santa Luzia	12.370	5.320	35
Ilhéu Branco	3.975	1.270	3
Ilhéu Raso	3.600	2.770	7
S. Nicolau	44.500	22.000	343
Sal	29.700	11.800	216
Boa Vista	28.900	30.800	620
Maio	24.100	16.300	269
Santiago	54.900	28.800	991
Fogo	26.300	23.900	476
Brava	10.500	9.310	64
Ilhéu Grande	2.350	1.850	2
Ilhéu Luís de Carneiro	1.950	500	0
Ilhéu de Cima	2.400	750	1

Fonte: Anuário Estatístico de Cabo Verde 1946

Planeamento Otimizado para Implementação da TDT, em Cabo Verde

Tabela B 3 - Localização dos Pontos Extremos (Latitude e Longitude e localidades) por ilha

Ilhas	Latitude				Longitude			
	Pontos Extremos		Pontos de Referência		Pontos Extremos		Pontos de Referência	
	Norte	Sul	Extremo Norte	Extremo Sul	Este	Oeste	Extremo Este	Extremo Oeste
Santo Antão	17° 12' N	16° 55' N	Ponta do Sol	Ponta Cais dos Fortes	24° 58' W	25° 22' W	Ponta de Salina	Ponta do Chão de Mangrande
S. Vicente	16° 55' N	16° 46' N	Ponta Marigou	Ponta Sul	24° 52' W	25° 06' W	Ponta Calhau	Ponta Machado
Santa Luzia	16° 48' N	16° 44' N	Ponta dos Piquinhos	Ponta da Lage do Espia	24° 41' W	24° 48' W	Ponta Mãe Grande	Ponta Branca
S. Nicolau	16° 41' N	16° 29' N	Baixa do Espechim	Ponta da Vermelharia	24° 01' W	24° 26' W	Ponta Calheta	Ponta Brouco
Sal	16° 51' N	16° 35' N	Ponta Norte	Ponta do Sinó	22° 52' W	23° 00' W	Ponta de Morrinho Vermelho	Ilhéu de Rabo de Junco
Boa Vista	16° 14' N	15° 58' N	Ponta do Sol	Ponta Tarafe	22° 40' W	22° 58' W	Ilhéu do Baluarte	Ponta Varandinha
Maio	15° 20' N	15° 07' N	Porto Cais	Ponta Jampala Santiago	23° 06' W	23° 15' W	Rosto de Vento	Ponta Banconi
Santiago	15° 20' N	14° 54' N	Ponta Moreira	Ponta Temerosa	23° 26' W	23° 48' W	Ponta S. Lourenço	Ponta da Janela
Fogo	15° 04' N	14° 49' N	Fio do monte Vermelho	Ponta do Pescadeiro	24° 31' W	24° 17' W	Ponta do Vale de Cavaleiros	Praia da Casinha
Brava	14° 54' N	14° 48' N	Ponta do Insenso	Ponta Nhô Martinho	24° 40' W	24° 46' W	Ponta Rei Fernando	Ponta Prainha

Fonte: Anuário Estatístico de Cabo Verde 1946.

Densidade populacional

Baseando-se nos dados da população (projeções demográficas 2010 - 2030) observa-se que a densidade populacional tem aumentado paulatinamente, registando um crescimento de cerca de 5% entre 2011 e 2015, atingindo o valor de 130,13 habitantes/Km² em 2015 a nível de todo país.

No entanto em 2015, destaca-se a diversidade de valores para cada ilha, onde pode-se evidenciar, a ilha de São Vicente com maior densidade populacional de Cabo Verde (356,9 habitantes/Km²), seguida pela ilha de Santiago (296,8 habitantes/Km²) e Sal (156,2 habitantes/Km²). Relativamente ao grupo de ilhas menos densamente povoadas, destacam-se a ilha de São Nicolau (36,2 habitantes/Km²), ilha do Maio (25,9 habitantes/Km²) e Boavista (23,3 habitantes/Km²) [37], como se mostra na Tabela B 4 e na Figura B 2.

Tabela B 4 - Densidade Populacional (Habitantes/Km²) por ilha (2011 – 2015)

Ilhas	Superfície (Km ²)	Densidade Populacional				
		2011	2012	2013	2014	2015
Cabo Verde	4.033	123,96	125,46	127,00	128,56	130,13
Santo Antão	779	55,55	54,62	53,74	52,88	52,05
S. Vicente	227	340,92	345,04	349,08	353,04	356,89
S. Nicolau	343	37,24	36,99	36,74	36,48	36,22
Sal	216	127,47	134,70	141,92	149,11	156,24
Boa Vista	620	16,49	18,16	19,86	21,57	23,31
Maio	269	25,85	25,78	25,77	25,82	25,95
Santiago	991	281,50	285,23	289,03	292,90	296,81
Fogo	476	77,44	76,85	76,29	75,77	75,29
Brava	64	92,99	91,98	90,99	90,00	89,03

Fonte: Superfície das ilhas – Anuário Estatístico de Cabo Verde 1946, População – INE

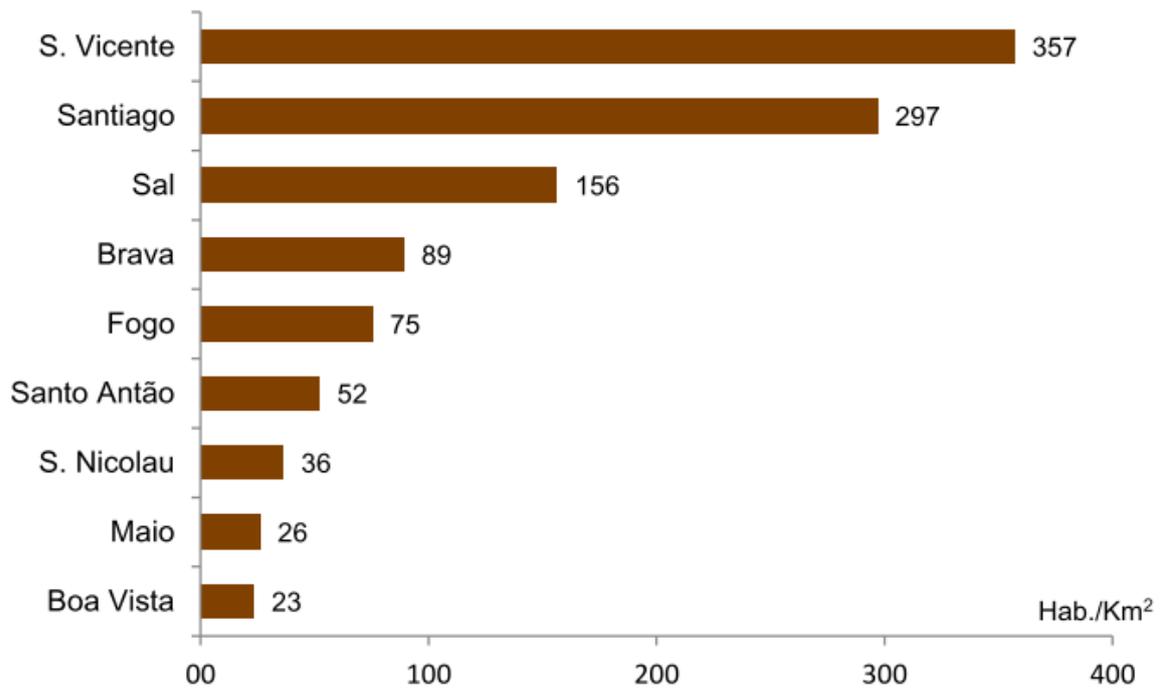


Figura B 2 - Representação gráfica da densidade populacional (habitantes/Km²) por ilha (2015)

Fonte: Superfície das ilhas – Anuário Estatístico de Cabo Verde 1946, População – INE

ANEXO C - Cálculo da área de cobertura mínimo e máximo das antenas TDT da ilha de Santiago.

Transmissor de Monte Pensamento

O transmissor do Monte Pensamento tem uma potência de 50W o que corresponde a 47dBm, isso implica que:

$$L_p = 47dBm - (-75.5)dBm \Leftrightarrow L_p = 122.5dB;$$

Sendo a altura da antena do Monte Pensamento de 83 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(83) = 114 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(83) = 32.3dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$122.5 = 114 + 32.3 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 112.9 + 32.3 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-112.9}{32.3}}$$

$$\Leftrightarrow R = 2 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$122.5 = 114 + 32.3 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 105.4 + 32.3 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-105.4}{32.3}}$$

$$\Leftrightarrow R = 3.38 \text{ Km}$$

Transmissor de Serra Malagueta

O transmissor da Serra Malagueta tem uma potência de 47dBm, isso implica que:

$$L_p = 47dBm - (-75.5)dBm \Leftrightarrow L_p = 122.5dB;$$

Como a altura da antena da Serra Malagueta é de 981m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(981) = 99 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(981) = 25.3dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$122.5 = 99 + 25.3 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 97.9 + 25.3 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-97.9}{25.3}}$$

$$\Leftrightarrow R = 9.4 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$122.5 = 99 + 25.3 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 90.4 + 25.3 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-90.4}{25.3}}$$

$$\Leftrightarrow R = 18.56 Km$$

Transmissor de Junco

O transmissor do Junco tem uma potência de 47 dBm, isso implica que:

$$L_p = 47 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 122.5 dB;$$

Como a altura da antena de Junco é de 677 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(677) = 101 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(677) = 26dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$122.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 99.9 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-99.9}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 7.4 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$122.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 122.5 = 92.4 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{122.5-92.4}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 14.38 Km$$

Transmissor de Kumbém

O transmissor do monte Kumbém tem uma potência de 30W que são 44.7 dBm, isso implica que:

$$L_p = 44.7 \text{ dBm} - (-75.5) \text{ dBm} \Leftrightarrow L_p = 120.2 \text{ dB};$$

Como a altura da antena do monte do Kumbém é de 587 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(587) = 102 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(587) = 27 \text{ dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$120.2 = 102 + 27 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 120.2 = 100.9 + 27 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{120.2-100.9}{27}}$$

$$\Leftrightarrow R = 5.3 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$120.2 = 102 + 27 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 120.2 = 93.4 + 27 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{120.2-93.4}{27}}$$

$$\Leftrightarrow R = 9.83 \text{ Km}$$

Transmissor de Tarrafal

O transmissor do Tarrafal tem uma potência de 44.7 dB, isso implica que:

$$L_p = 44.7 \text{ dBm} - (-75.5) \text{ dBm} \Leftrightarrow L_p = 120.2 \text{ dB};$$

Como a altura da antena do Tarrafal é de 95 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(95) = 113 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(95) = 32 \text{ dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$120.2 = 113 + 32 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 120.2 = 111.9 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{120.2-113.9}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1.6 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$120.2 = 113 + 27 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 120.2 = 104.4 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{120.2-104.4}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 3.12 Km$$

Transmissor de Cidade Velha

O transmissor da Cidade Velha tem uma potência de 10W que são 40 dBm, isso implica que:

$$L_p = 40 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 115.5 dB;$$

Como a altura da antena da Cidade Velha é de 106 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(106) = 112.4 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(106) = 32dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$115.5 = 112.4 + 32 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 111.3 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{115.5-111.3}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1.4 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$115.5 = 112.4 + 32 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 103.8 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{115.5-103.8}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 2.32 Km$$

Transmissor da Ribeira Da Barca / Achada Ponta

O transmissor da Ribeira da Barca / Achada Ponta tem uma potência de 10W, que são 40 dBm, isso implica que:

$$L_p = 40 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 115.5 dB;$$

Como a altura da antena da Ribeira da Barca / Achada Ponta é de 412 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (514) - 13.82 \log_{10}(412) = 104 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(412) = 28\text{dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - E$, teremos:

$$115.5 = 104 + 28 * \log_{10} (R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 102.9 + 28 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{115.5-102.9}{28}}$$

$$\Leftrightarrow R = 2.82 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - C$, teremos:

$$115.5 = 104 + 28 * \log_{10} (R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 95.4 + 28 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{115.5-95.4}{28}}$$

$$\Leftrightarrow R = 5.22 \text{ Km}$$

Transmissor da Ribeira Da Barca

O transmissor da Ribeira da Barca tem uma potência de 40 dBm, isso implica que:

$$L_p = 40 \text{ dBm} - (-75.5) \text{ dBm} \Leftrightarrow L_p = 115.5 \text{ dB};$$

Como a altura da antena da Ribeira da Barca a é de 46.5 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (514) - 13.82 \log_{10}(46.5) = 117.4 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(46.5) = 34\text{dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - E$, teremos:

$$115.5 = 117.4 + 34 * \log_{10} (R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 116.3 + 34 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{115.5-116.3}{34}}$$

$$\Leftrightarrow R = 0.95 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - C$, teremos:

$$115.5 = 117.4 + 34 * \log_{10} (R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 108.8 + 34 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{115.5-108.8}{34}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1.57 Km$$

Transmissor de Tomba Touro

O transmissor de Tomba Touro tem uma potência de 40 dBm, isso implica que:

$$L_p = 40 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 115.5 dB;$$

Como a altura da antena de Tomba Touro é de 346 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (514) - 13.82 \log_{10}(346) = 105 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(346) = 28dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - E$, teremos:

$$115.5 = 105 + 28 * \log_{10} (R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 103.9 + 28 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{115.5-103.9}{28}}$$

$$\Leftrightarrow R = 2.6 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10} (R) - C$, teremos:

$$115.5 = 105 + 28 * \log_{10} (R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 115.5 = 96.4 + 28 * \log_{10} (R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{115.5-96.4}{28}}$$

$$\Leftrightarrow R = 4.81 Km$$

Transmissor de Cidade Velha II

A antena da Cidade Velha II tem uma potência de 5W que corresponde a 37 dBm, isso implica que:

$$L_p = 37 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 112.5 dB;$$

Como a altura da antena da Cidade Velha II é de 71.5 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10} (514) - 13.82 \log_{10}(71.5) = 115 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(71.5) = 33dB;$$

Cobertura Mínimo

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$112.5 = 115 + 33 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 113.9 + 33 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-113.9}{33}}$$

$$\Leftrightarrow R = 0.9 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$112.5 = 115 + 33 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 106.4 + 33 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-106.4}{33}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1.53 Km$$

Transmissor de Monte Mascarenhas

O transmissor de Monte Mascarenhas tem uma potência de 37 dBm, isso implica que:

$$L_p = 37 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 112.5 dB;$$

Como a altura da antena da Cidade Velha II é de 711 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(711) = 101 dB;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(711) = 26dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$112.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 99.9 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-99.9}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 3 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$112.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 92.4 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-92.4}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 5.93 Km$$

Transmissor de Monte Redondo

O transmissor de Monte Redondo tem uma potência de 37 dBm, isso implica que:

$$L_p = 37 \text{ dBm} - (-75.5) \text{ dBm} \Leftrightarrow L_p = 112.5 \text{ dB};$$

Como a altura da antena de Monte Redondo é de 800 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(800) = 100 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(800) = 26 \text{ dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$112.5 = 100 + 26 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 98.9 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{112.5-98.9}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 3.3 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$112.5 = 100 + 26 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 91.4 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{112.5-91.4}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 6.48 \text{ Km}$$

Transmissor de Chaminé

O transmissor de Chaminé tem uma potência de 37 dBm, isso implica que:

$$L_p = 37 \text{ dBm} - (-75.5) \text{ dBm} \Leftrightarrow L_p = 112.5 \text{ dB};$$

Como a altura da antena de Chaminé é de 695 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(695) = 101 \text{ dB};$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(695) = 26 \text{ dB};$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$112.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 99.9 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(\text{Km}) = 10^{\frac{112.5-99.9}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 3 \text{ Km}$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$112.5 = 101 + 26 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 92.4 + 26 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-92.4}{26}}$$

$$\Leftrightarrow R = 5.93 Km$$

Transmissor de Rincão

O transmissor de Rincão tem uma potência de 37 dBm, isso implica que:

$$L_p = 37 dBm - (-75.5) dBm \Leftrightarrow L_p = 112.5 dB;$$

Como a altura da antena de Rincão é de 105 m, teremos:

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(514) - 13.82 \log_{10}(105) = 113 dB ;$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(105) = 32dB;$$

Cobertura Mínima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - E$, teremos:

$$112.5 = 113 + 32 * \log_{10}(R) - 1.1$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 111.9 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-111.9}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1 Km$$

Cobertura Máxima

Sendo que $L_p = A + B \log_{10}(R) - C$, teremos:

$$112.5 = 113 + 32 * \log_{10}(R) - 8.6$$

$$\Leftrightarrow 112.5 = 104.4 + 32 * \log_{10}(R)$$

$$\Leftrightarrow R(Km) = 10^{\frac{112.5-104.4}{32}}$$

$$\Leftrightarrow R = 1.79 Km$$