



PUC
CAMPINAS
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA

**CENTRO DE CIÊNCIA EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO-SENSU*

RENATO DE MELO FARIA

**REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA
MICRORREGIONAIS**

CAMPINAS

2008

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

GRÃO-CHANCELER

Dom Bruno Gamberini

MAGNÍFICO REITOR

Prof. Pe. Wilson Denadai

VICE-REITORA

Prof^a. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Prof^a. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE
TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADOR DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO DE REDES DE
TELECOMUNICAÇÕES**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DE REDES E SERVIÇOS

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

RENATO DE MELO FARIA

**REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA
MICRORREGIONAIS**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação na área de concentração Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Silveira

PUC CAMPINAS

2008

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e
Informação – SBI – PUC-Campinas

t621.38807 Faria, Renato de Melo.
F224r Redes de frequência única microrregionais / Renato de Melo Faria. - Campinas:
PUC-Campinas, 2008.
86p.

Orientador: Maurício Silveira.
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de
Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Televisão digital. 2. Comunicações digitais. 3. Radiodifusão. 4. Sistemas de
comunicação sem fio. 5. Telecomunicações. I. Silveira, Maurício. II. Pontifícia Universidade
Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed.CDD - t621.38807

RENATO DE MELO FARIA

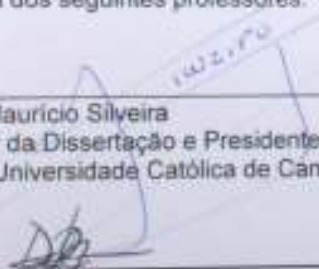
"REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA MICRORREGIONAIS"

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

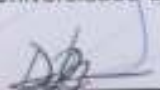
Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviço.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Silveira

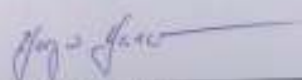
Dissertação defendida e aprovada em 27 de junho de 2008 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:



Prof. Dr. Mauricio Silveira
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. David Bianchini
Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Prof. Dr. Yuzo Iano
Universidade Estadual de Campinas

DEDICATÓRIA

À Clara, minha filha, e à Luciana, minha esposa, que suportaram a minha ausência e me incentivaram nesta longa, trabalhosa e gratificante jornada.

Aos meus pais, que me educaram para a superação de desafios.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar o meu caminho e por proporcionar a nossa evolução.

Ao Prof. Dr. Maurício Silveira, que sempre acreditou que seria possível vencer o desafio de concluir o curso, ao mesmo tempo em que a vida profissional cobra cada vez mais.

À Profa. Dra. Marta Rettelbusch de Bastos pelo apoio e torcida desde o início desta jornada.

À Fátima, secretária da pós-graduação, pelo seu empenho na formação dos alunos, mesmo quando fraquejávamos.

Ao CPqD, pela seção do uso do software de planejamento que contribuiu para este trabalho.

"Nenhuma pessoa consegue ser o mestre de mais que um pequeno canto do conhecimento humano."

Stephen Hawking

(1942)

RESUMO

FARIA, Renato de Melo. *Redes de Freqüência Única Microrregionais*. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.

De forma ampla, este trabalho propõe uma nova premissa para o planejamento de canais de TV Digital que privilegia a otimização de espectro. É feita uma contextualização sobre os decretos, leis e regulamentos que tratam da TV Digital no Brasil. Apresenta os aspectos técnicos mais relevantes do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T), principalmente aqueles que podem de alguma forma afetar uso do espectro. Será apresentado o Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital (PBTVD) e as premissas que nortearam a sua construção. Uma nova proposta é enfocada considerando que cada geradora utilize apenas um canal por microrregião no país e realiza um estudo de caso desta proposta na microrregião de Campinas, Estado de São Paulo. Este trabalho conclui com uma análise dos resultados do estudo de caso e apresenta as possibilidades de trabalhos futuros.

Termos de Indexação: Telecomunicações, Radiodifusão, Televisão Digital, Otimização de Espectro, Redes de Freqüência Única.

ABSTRACT

FARIA, Renato de Melo. *Microrregional Single Frequency Network*. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2008.

In broad terms, this work suggests a new premise for the planning of channels of digital TV that focuses on optimizing spectrum. It made a contextualization on the decrees, laws and regulations concerning the Digital TV in Brazil. It presents the most relevant technical aspects of the Brazilian System of Digital Terrestrial Television (SBTVD-T), particularly those ones that can in any way affect the use of the spectrum. It will be presented with the Basic Plan of Distribution Channels for Digital Television (PBTVD) and the assumptions that have guided its construction. A new proposal is focused considering that each broadcaster uses only one channel in some specific region and holds a case study of this proposal in the micro of Campinas, State of São Paulo. This work concludes with an analysis of the results of case studies and presents opportunities for future work.

Index terms: Telecommunication, Broadcasting, Digital Television, Spectrum Optimization, Single Frequency Network.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Bens duráveis existentes nos domicílios brasileiros.	17
Figura 2.	Configuração possível no SBTVD utilizando compressão MPEG-4.	31
Figura 3.	Principais blocos do Sistema ISDB-T.	33
Figura 4.	O espectro da técnica OFDM no domínio da frequência.	35
Figura 5.	Intervalo de Guarda no símbolo OFDM.	37
Figura 6.	Representação dos tipos de multi-percursos.	37
Figura 7.	Exemplo de transmissão hierárquica do ISDB-T (BST-OFDM).	38
Figura 8.	Configuração de rede MFN.	44
Figura 9.	Configuração de rede de frequência única (SFN).	45
Figura 10.	Referências para determinação da altura do centro de irradiação da antena.	51
Figura 11.	Curva E(50,10) para a faixa de 600MHz em percurso terrestre.	53
Figura 12.	Comparação dos contornos protegidos e interferentes de estações analógicas e digitais.	54
Figura 13.	Apresentação dos contornos protegidos e interferentes de duas estações na ferramenta SIGAnatel.	58
Figura 14.	Imagem da tela do software CPqD Análise de Interferências.	60
Figura 15.	Mapa da microrregião de Campinas.	62
Figura 16.	Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 13.	73
Figura 17.	Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 15.	74
Figura 18.	Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 24.	75
Figura 19.	Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 54.	76
Figura 20.	Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 59.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Taxa de bits para um segmento do ISDB-T.....	40
Tabela 2.	Taxa de bits para os 13 segmentos do ISDB-T.....	40
Tabela 3.	Características afetadas pela parametrização do sistema de transmissão.....	41
Tabela 4.	Distâncias máximas entre transmissores em função do intervalo de guarda para distintos modos de transmissão.	47
Tabela 5.	Classificação das estações de TV Digital em função de suas características para VHF e UHF.....	49
Tabela 6.	Intensidade de campo do Contorno Protegido para canais digitais.	54
Tabela 7.	Relações de proteção para estudo de canais digitais em VHF e UHF.....	55
Tabela 8.	Relações de proteção para canais co-localizados em VHF e UHF.....	56
Tabela 9.	Valores de intensidade de Campo Interferente para VHF e UHF.	56
Tabela 10.	Quantidade de canais nos Planos Básicos da microrregião de Campinas.....	64
Tabela 11.	Emissoras contempladas com canal digital no PBTVD	65
Tabela 12.	Quantidade de canais digitais utilizados por geradoras na microrregião de Campinas.....	66
Tabela 13.	Potência ERP dos canais analógicos para pareamento com os canais digitais.....	67
Tabela 14.	Canal/Potência dos canais constantes no PBTVD para a microrregião de Campinas.....	68
Tabela 15.	Atribuição de canais para otimização de espectro.....	70
Tabela 16.	Atrasos máximos em função das distâncias dos municípios.	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	= Agência Nacional de Telecomunicações
ARIB	= Association of Radio Industries and Businesses
AWGN	= Additive White Gaussian Noise
BST-OFDM	= Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
COFDM	= Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CPqD	= Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
DQPSK	= Differential QPSK
EDTV	= Enhanced Definition Television
ERP	= Effective Radiated Power – Potência Efetiva Irradiada em relação a um dipolo de meia onda
FEC	= Forward Error Correction
FFT	= Fast Fourier Transform
FI	= Frequência Intermediária
GPS	= Global Positioning System
HBT	= Altura da Base da Torre
HCI	= Altura do Centro de Irradiação
HDTV	= High Definition Television
IBGE	= Instituto Brasileiro de Geociências
ICI	= Inter-Carrier Interference
IFFT	= Inverse Fast Fourier Transform
ITU-R	= International Telecommunications Union - Radiocommunication Sector
T _g	= Intervalo de Guarda
ISDB-T	= Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial
ISI	= Inter-Symbolic Interference
LDTV	= Low Definition Television
LCF	= Loop Canceller Filter
MPEG	= Moving Picture Experts Group
MFN	= Multi Frequency Network
OFDM	= Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PBRTV	= Plano Básico de Distribuição de Canais de Retransmissão de Televisão em VHF e UHF
PBTV	= Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão em VHF e UHF
PBTVA	= Plano Básico de Atribuição de Canais de Televisão em UHF
PBTVD	= Plano Básico de Distribuição de Canais Digitais
QAM	= Quadrature Amplitude Modulation

QPSK	=	Quadrature Phase Shift Keying
RF	=	Radio Frequency
RS	=	Reed-Solomon
SBTVD	=	Sistema Brasileiro de TV Digital
SDTV	=	Standard Definition Television
SFN	=	Single Frequency Network
SP	=	Scattered Pilot
TCA	=	Terrain Clearance Angle
TSP	=	Transport Stream Packet
TMCC	=	Transmission and Multiplexing Configuration Control
UHF	=	Ultra High Frequency
VHF	=	Very High Frequency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Visão Geral.....	16
1.2	Justificativa do Trabalho.....	20
1.3	Objetivos do Trabalho.....	21
1.4	Resultados Esperados.....	22
1.5	Delimitação do Trabalho.....	23
1.6	Estrutura da Pesquisa.....	24
1.7	Organização da Dissertação.....	24
2	ASPECTOS REGULATÓRIOS DA TV DIGITAL NO BRASIL.....	26
3	O SBTVD-T.....	30
3.1	O Sistema ISDB-T.....	31
3.2	OFDM.....	34
3.2.1	Intervalo de Guarda.....	36
3.3	BST-OFDM.....	38
3.4	Capacidade de Transmissão do Sistema ISDB-T.....	39
3.5	Parametrização/Performance do Sistema ISDB-T.....	41
3.6	Topologias de rede.....	43
3.6.1	Redes MFN.....	43
3.6.2	Redes de Freqüência Única.....	44
4	PLANO BÁSICO DE DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS DE TELEVISÃO DIGITAL – PBTVD.....	48
4.1	Características Técnicas para Elaboração do PBTVD.....	49
4.2	Estudo de Viabilidade Técnica de Canal Digital.....	56
4.2.1	Método Ponto-Área.....	57
4.2.2	Método Ponto-a-Ponto.....	58
5	PLANEJAMENTO DE REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA NA MICRORREGIÃO DE CAMPINAS.....	61
5.1	Os Planos Básicos da Microrregião de Campinas.....	62
5.2	Estudo de Otimização de Espectro.....	68
5.3	Simulações de Campos de Cobertura de RF.....	71
5.4	Análise do Atraso do Sinal.....	78
6	CONCLUSÃO.....	80
6.1	Trabalhos Futuros.....	80
6.2	Trabalhos Relacionados com a Dissertação.....	81
6.2.1	Trabalho Publicado em Congresso Internacional.....	81
6.2.2	Trabalhos em Fase de Elaboração em Nível Internacional.....	81
7	REFERÊNCIAS.....	82
8	ANEXOS.....	85
	ANEXO A – Canalização VHF.....	85
	ANEXO B – Canalização UHF.....	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral

.Historicamente, o Decreto nº 4.901, de 26 de novembro de 2003 instituiu o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) que era composto por um Comitê de Desenvolvimento, um comitê Consultivo e um Grupo Gestor, cujo objetivo era realizar os estudos necessários à adoção de um padrão de transmissão de TV Digital no Brasil. (BRASIL, 2003). O Decreto nº 5.820, de 29 de Junho de 2006, definiu o Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T) como o conjunto de padrões tecnológicos a serem adotados no Brasil para transmissão e recepção de sinais digitais terrestres de radiodifusão de sons e imagens. A base para o SBTVD-T é o ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*), padrão de radiodifusão de serviços multimídia desenvolvido no Japão pelo consórcio DIBEG (*Digital Broadcasting Experts Group*). O ISDB-T com as modificações propostas pelo Brasil deram origem a uma novo padrão denominado ISDB-TB. O Decreto nº 5.820 determinou ainda a criação de um Fórum do SBTVD-T, que seria denominado posteriormente como Fórum de TV Digital, para assessorar o Comitê de Desenvolvimento em relação aos assuntos técnicos referentes à aprovação das inovações tecnológicas, especificações desenvolvimento e implantação do SBTVD-T. (BRASIL, 2006). Em março de 2007, o Fórum de TV Digital concluiu a primeira versão das normas técnicas do ISDTV (*International System for Digital TV*), novo nome adotado para designar o SBTVD (LAUTERJUNG, 2007). Em novembro de 2007 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou as Normas Brasileiras relacionadas ao padrão de transmissão de televisão digital adotado no Brasil. Em dezembro de 2007, houve o início das transmissões em caráter definitivo da TV Digital terrestre no Brasil.

Conforme a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do Instituto Brasileiro de Geostatística (IBGE), realizada em 2005, a penetração de

91,4% dos 53 milhões de lares brasileiros indicam a alta relevância deste tipo de bem para a nossa sociedade. Os percentuais de penetração dos bens duráveis existentes nos domicílios brasileiros são apresentados na Figura 1.

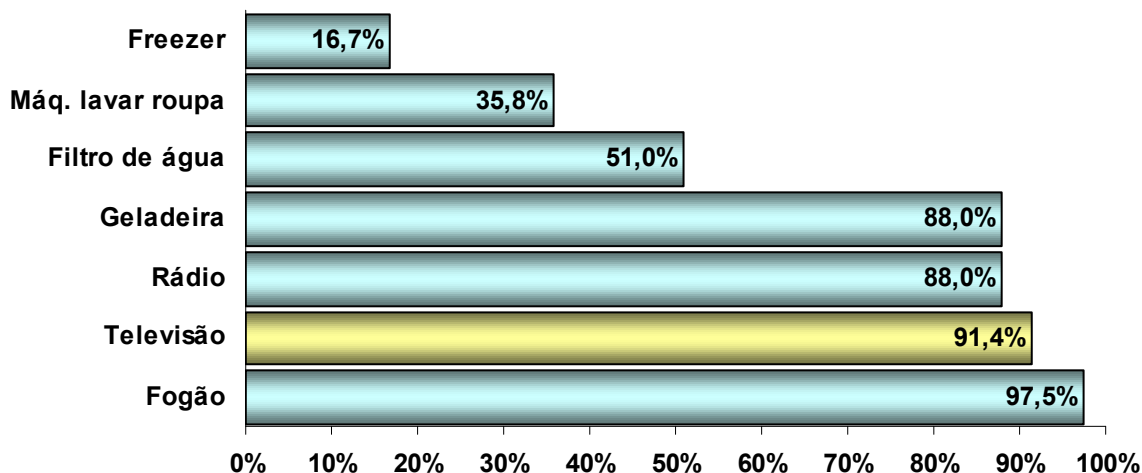


Figura 1. Bens duráveis existentes nos domicílios brasileiros.

Fonte: PNAD (2005).

Com as diversas possibilidades introduzidas com a digitalização dos sinais de televisão, emissoras, governo, anunciantes, fornecedores de conteúdo e equipamentos e, principalmente, os telespectadores deverão passar por um momento de adaptação até que sejam encontradas as formas de desfrutar de todos os benefícios trazidos pela nova tecnologia da TV Digital.

De acordo com Pessoa et al (2003), uma estação de TV analógica pode ser definida como:

Geradoras (TV) – destinadas à produção de conteúdo e à transmissão, com seus canais definidos no Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão em VHF e UHF (PBTv);

Retransmissoras (RTV) – destinadas à extensão da cobertura das geradoras e ao atendimento de regiões de sombra, com seus canais estabelecidos pelo Plano Básico de Distribuição de Canais para Retransmissão de Televisão em VHF e UHF (PBRTV);

Geradora Ativa - uma geradora é considerada ativa a partir da abertura de edital;

Retransmissora Ativa - uma retransmissora é considerada ativa a partir da autorização para prestação do serviço.

A versatilidade do conjunto tecnológico escolhido pelo governo brasileiro para a TV Digital aumenta a responsabilidade de todos os envolvidos no

sentido de se desenvolver modelos de uso de serviços que sejam economicamente e socialmente sustentáveis. A TV Digital, inicialmente concebida com o foco na melhoria da qualidade de imagem, também deve disponibilizar novos serviços que exploram a possibilidade de interatividade, mobilidade e promovem a inclusão digital, justificando assim o grande investimento na infraestrutura necessário para a introdução desta nova tecnologia.

O Plano Básico de Retransmissão de Televisão (PBRTV) foi desenvolvido de acordo com o interesse de expansão das emissoras de televisão e de acordo com o interesse de órgãos públicos, principalmente prefeituras municipais, em disponibilizar os sinais de diversas emissoras à população de seu município. Ao receber uma autorização ou concessão de exploração do serviço de radiodifusão de sinais de televisão que possibilitava a geração de sinais de televisão, as emissoras iniciavam também projetos para retransmissão de seus sinais nas localidades de seu interesse. Estes projetos são submetidos à aprovação técnica do órgão regulador responsável pela análise técnica dos projetos. Nos casos onde existe a viabilidade técnica de inclusão do canal proposto, o canal é incluído no PBRTV, o órgão regulador emite uma autorização de retransmissão e as emissoras podem então iniciar a retransmissão de seus sinais naquela localidade. As localidades que não estavam nos planos imediatos de expansão das emissoras fizeram com que diversos canais de retransmissão fossem viabilizados por prefeituras municipais que tinham o interesse em aumentar a diversidade de canais de televisão para a população de seus municípios.

A constituição do Plano Básico de Radiodifusão de TV Digital (PBTVD) ocorreu de forma diferente do PBRTV. O Plano Básico de TV Digital (PBTVD) foi criado a partir de um planejamento encomendado pela ANATEL e realizado pela Fundação CPqD – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD) de tal forma que, nos municípios enquadrados dentro das premissas da ANATEL, as emissoras que tinham transmissão ou retransmissão de seus sinais nestes municípios já receberiam o projeto de um canal de TV Digital que teria a mesma área de cobertura de seu canal analógico. (PESSOA et al, 2003, p37).

Tipicamente, a radiodifusão de canais de televisão analógica utiliza uma estrutura de rede denominada Redes de Frequência Múltipla (MFN). Esta estrutura de rede é utilizada de tal forma que as estações que operam na mesma frequência estejam suficientemente afastadas para que seus sinais não tenham interação entre si, mesmo que estas estações estejam transmitindo um mesmo conteúdo. A interferência co-canal é caracterizada por um sinal não desejado que está presente no mesmo canal que se deseja receber alguma informação. Para que não hajam interferências provocadas por sinais provenientes por mais de um transmissor no mesmo canal, o planejamento de canais de radiodifusão de televisão analógica leva em consideração uma relação de proteção co-canal que garante que os níveis de sinal das emissoras não interfiram entre si.

O “fantasma”, fenômeno amplamente conhecido por quem utiliza a recepção de canais de televisão analógica, é o resultado de dois ou mais sinais que estão na mesma faixa de frequência, estão defasados entre si e são recebidos com intensidade suficiente para serem percebidos na tela de um televisor.

Redes de frequência única são redes compostas por dois ou mais transmissores que transmitem a mesma programação em um mesmo canal, de tal forma que a interação dos sinais destes transmissores não causem prejuízos à boa recepção dos sinais de televisão por parte do público. Para que seja possível a implantação de redes de frequência única no âmbito da TV Digital, características técnicas específicas devem ser respeitadas. Basicamente, as principais características técnicas necessárias à implantação de redes de frequência única são a transmissão de uma mesma programação, na mesma frequência, em instante de tempo controlado e, ainda, sob condições de distanciamento entre os transmissores que não excedam certos limites. (NAKAHARA et al, 1996).

No PBTVD apresentado em 2003 pelo CPqD constava que:

O Anexo 3 contém os canais digitais viabilizados considerando que o padrão de TV Digital adotado pelo Brasil tenha capacidade plena de reuso de frequência (permitindo rede de frequência única) (PESSOA et al, 2003, p.37).

Este anexo foi construído levando em consideração a seguinte premissa:

Quando necessário, foi considerado o reuso de frequência para o atendimento de grupos de localidades vizinhas para os quais não havia canais viáveis em número suficiente (PESSOA et al, 2003, p.41).

Ou seja, apesar do PBTVD considerar a possibilidade de configuração de Redes de frequência única, a premissa era a de que este recurso seria utilizado somente quando a saturação do espectro já se apresentasse como uma realidade.

A presente dissertação põe em discussão o modelo de uso do espectro destinado à transmissão e retransmissão de televisão e propõe uma estratégia de otimização de espectro radioelétrico para o planejamento de canais de TV Digital. Deseja-se com esta otimização aumentar a possibilidade de diversidade de informações, canais, que podem ser disponibilizadas para a população.

1.2 Justificativa do Trabalho

Hoje existem várias regiões metropolitanas do país com saturação de espectro de televisão, ou seja, regiões onde não há a possibilidade de viabilização de novos canais, seja por conta de interferências que um novo canal sofreria por conta das interferências deste novo canal em canais já existentes, seja por conta das interferências deste novo canal em canais planejados.

A otimização de espectro traz benefícios sociais pela possibilidade de aumento de diversidade de serviços ofertados à população e traz também benefícios econômicos para o Estado, dada a possibilidade de aumento de arrecadação com taxas referentes ao uso do espectro. O recebimento destas taxas seria proveniente tanto de emissoras existentes quanto de novas emissoras que desejam transmitir ou retransmitir seus sinais em determinadas localidades. Vale ressaltar que os locais com maior indisponibilidade de canais são justamente as áreas com maior densidade populacional onde se concentra uma maior diversidade cultural e com maior valor comercial. Os canais adicionais, frutos da

otimização de espectro, podem ainda ser utilizados pelo próprio Estado, para transmissão de programação educativa e cultural de interesse da sociedade.

Carvalho (2006), propõe a utilização de redes de frequência única como uma alternativa para a expansão da TV Digital e apresenta estudo de caso do planejamento de cobertura de uma emissora que retransmite seus sinais em aproximadamente sessenta cidades no interior do estado de São Paulo. Esta abordagem parte da premissa de que a emissora utilizaria a topologia de redes de frequência única por conta dos benefícios resultantes do uso deste tipo de topologia.

A necessidade pública de otimização de espectro é a premissa básica do trabalho aqui apresentado.

1.3 Objetivos do Trabalho

O que se propõe nesta dissertação é apresentar uma premissa diferente da que foi usada para elaboração do atual PBTVD com o objetivo de otimizar o espectro.

Carvalho et al (2005) propôs a utilização de redes de frequência únicas para viabilização de canais no PBTVD com o enfoque nos benefícios que seriam conseguidos pelas próprias emissoras quando da utilização deste tipo de topologia de rede.

A proposta é demonstrar os ganhos que seriam alcançados ao se utilizar a demarcação de microrregiões realizada pelo Instituto Brasileiro de Geociências (IBGE) de tal forma que uma emissora de televisão pudesse utilizar somente um canal em todos os municípios de uma mesma microrregião, formando assim redes de frequência únicas microrregionais. De acordo com os resultados deste trabalho, o que se propõe é estimular a utilização de redes de frequência únicas microrregionais com o objetivo de otimizar o espectro radioelétrico utilizado para a transmissão e retransmissão dos sinais de televisão.

Como objetivos específicos deste trabalho podem ser citados:

- Descrever os regulamentos e decretos que constituíram a base do sistema de TV Digital utilizado no Brasil;
- Descrever o sistema de TV Digital utilizado no Brasil;
- Descrever os aspectos mais relevantes em relação às redes de frequência única;
- Apresentar os parâmetros de configuração do sistema de TV Digital utilizado no Brasil que afetam diretamente a transmissão dos sinais;
- Apresentar o Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital (PBTVD);
- Apresentar os métodos utilizados para o planejamento de inclusão dos canais nos planos básicos;
- Apresentar um estudo de caso de utilização do método de otimização de espectro proposto;
- Analisar os impactos da utilização do método de otimização de espectro proposto;
- Apresentar possibilidades de evolução nos estudos da área.

1.4 Resultados Esperados

Esta dissertação propõe ampliar a visão sobre planejamento de espectro utilizado para a radiodifusão de sons e imagens. A otimização de recursos naturais é o objetivo principal a ser alcançado.

Dada a relevância do assunto, o método de planejamento aqui proposto pode ser utilizado como base para uma reflexão por parte dos órgãos públicos no que se refere às formas de utilização de estratégias que proporcionam o melhor uso do espectro radioelétrico.

Pretende-se verificar a eficiência da premissa de planejamento proposta através de um estudo de caso.

1.5 Delimitação do Trabalho

Esta dissertação trata da otimização de espectro no âmbito do planejamento de canais para radiodifusão de sons e imagens.

O trabalho considerou os estudos feitos até então em relação ao padrão ISDB-T, ou seja, sem as inovações propostas pelo Brasil. Isto se deve ao fato de que não há literatura, testes laboratoriais ou testes de campo disponíveis sobre o SBTVD-T.

As simulações levaram em consideração os planos básicos constantes no site da ANATEL referentes ao ano de 2008.

Foram desconsiderados os canais do PBTVD que poderiam gerar alguma restrição de implantação aos canais planejados neste trabalho porque, apesar da pesquisa limitar o estudo somente na microrregião de Campinas, SP, a proposta é que as redes de frequência única se configurem da forma mais abrangente possível.

Para fins de simplificação da análise, nos estudos de viabilidade foi considerado o cenário onde o receptor se encontra com um antena externa e sem movimento. Também não é escopo deste trabalho discutir o planejamento de canais de retorno.

A análise de implantação se restringe à visão técnica para resolução do problema, portanto, não serão abordados os problemas econômicos relacionados aos custos de implantação de redes de frequência única.

1.6 Estrutura da Pesquisa

A pesquisa passou por um levantamento de leis, regulamentos e decretos que poderiam afetar o uso do espectro pela TV Digital, passou pela análise de documentos de especificação do sistema utilizado como base no Brasil e passou pela análise de publicações sobre a capacidade e formas de implementação de redes de frequência única.

Simulações computacionais foram utilizadas em um estudo de caso para verificação da eficiência do método proposto. Estas simulações foram realizadas na ferramenta SIGAnatel, disponível gratuitamente pela internet no site da ANATEL, e na ferramenta CPqD Análise de Interferências, gentilmente cedida pela Fundação CPqD para a realização deste trabalho.

1.7 Organização da Dissertação

O capítulo 1 é dedicado a demonstrar a importância do assunto a ser estudado, bem como apresentar os objetivos, a abrangência, as restrições e a organização da pesquisa.

No capítulo 2 serão apresentados os principais aspectos legais que influenciam diretamente ou indiretamente a utilização do espectro no âmbito da TV Digital no Brasil.

O capítulo 3 abordará os aspectos técnicos do SBTVD-T, que tem como base o sistema utilizado no Japão, o ISDB-T.

O capítulo 4 apresentará as premissas que nortearam a elaboração do atual PBTVD.

Para evidenciar a eficiência do modelo de planejamento aqui proposto, será apresentado um estudo de caso do método proposto na microrregião de Campinas, estado de São Paulo. Os resultados deste estudo serão apresentados no capítulo 5.

No capítulo 6 serão apresentadas as conclusões finais e os possíveis trabalhos futuros.

Finalmente, no capítulo 7 serão apresentadas as referências que deram suporte à pesquisa realizada neste trabalho e no capítulo 8 são apresentados os anexos a este trabalho.

2 ASPECTOS REGULATÓRIOS DA TV DIGITAL NO BRASIL

Este capítulo analisa os principais documentos normativos que tratam da implantação da TV Digital no Brasil e demais atos que, de alguma forma, remetem à constante necessidade de otimização de espectro.

Na Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, o poder público demonstra a consciência sobre a escassez do espectro de radiofrequências conforme disposto em seu artigo 157 “o espectro de radiofrequências é um recurso limitado, constituindo-se em bem público, administrado pela Agência”. A mesma lei em seu artigo 19 indica como competência da ANATEL “adotar as medidas necessárias para o atendimento do interesse público e para o desenvolvimento das telecomunicações brasileiras”, e, especialmente, “administrar o espectro de radiofrequências”. O artigo 160 indica que a ANATEL “regulará a utilização eficiente e adequada do espectro.” (BRASIL, 1997).

Através da Consulta Pública nº 65 de 27 de julho de 1998, cujos procedimentos foram aprovados através da Resolução nº 69 de 23 de novembro de 1998, a ANATEL deu início à possibilidade de estudos de sistemas de TV Digital estabelecendo “procedimentos para expedição de autorização para realização de experiências com sistemas de televisão digital, bem como fixar as condições de sua execução” (ANATEL, 1998). Desta forma, subsídios práticos foram conseguidos com o fim de comparar e indicar vantagens e desvantagens técnicas dos principais padrões de TV Digital desenvolvidos naquela época no mundo. A Consulta Pública nº 237, de 2 de junho de 2000 “torna público, para comentários, o Relatório Final sobre Testes em Sistemas de Televisão Digital – Segunda Parte, desenvolvido e coordenado pelo Grupo Técnico ABERT/SET de Televisão Digital.” (ANATEL, 2000).

A necessidade de otimização de espectro se baseia no fato de que este recurso é um bem finito e, portanto, de grande valia para a sociedade. Apesar de existirem disponíveis 12 canais em VHF (canais 2 ao 13) e 44 canais em UHF (canais 14 ao 59, excetuando o canal 37) para radiodifusão aberta de

sons e imagens, nas regiões de alta densidade urbana encontra-se uma grande dificuldade para alocação de novos canais por conta de interferências mútuas que seriam provocadas entre os novos canais propostos e os canais já existentes. (ANATEL, 2001).

O Decreto nº 4.901, de 26 de novembro de 2003, que instituiu o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), apresenta em seu inciso VIII, do artigo 1º, que este novo sistema deveria ter como uma de suas finalidades “aperfeiçoar o uso do espectro de radiofrequências.” (BRASIL, 2003).

É possível evidenciar a importância dada pelo governo brasileiro na instituição do SBTVD pela abrangência e importância das entidades envolvidas no Comitê de Desenvolvimento, este vinculado diretamente à Presidência da República, no Comitê Consultivo e no Grupo Gestor.

O artigo 4º do decreto nº 4.901 dispõe que:

O Comitê de Desenvolvimento do SBTVD será composto por um representante de cada um dos seguintes órgãos:

I - Ministério das Comunicações, que o presidirá;

II - Casa Civil da Presidência da República;

III - Ministério da Ciência e Tecnologia;

IV - Ministério da Cultura;

V - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior,

VI - Ministério da Educação;

VII - Ministério da Fazenda;

VIII - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão;

IX - Ministério das Relações Exteriores; e

X - Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica da Presidência da República. (BRASIL, 2003).

A motivação do governo em reunir todas estas entidades, reside no fato de que a TV Digital é um assunto multidisciplinar e de alta relevância para todos da sociedade brasileira, principalmente pela alta taxa de penetração da TV Aberta no Brasil.

Contratado pela ANATEL, o CPqD realizou o planejamento de viabilização de canais de TV Digital em todo o território nacional. Neste planejamento foram viabilizados 1893 canais em 290 municípios (ANATEL,

2005b). Como critério de planejamento, foi utilizada a premissa de somente lançar mão do reuso de frequência na impossibilidade de viabilização de canais nas faixas preferenciais. Neste planejamento foram apresentados dois cenários, um cenário de planejamento para o caso do Brasil escolher um padrão que permitisse o reuso de canais e outro planejamento para o caso de não haver a possibilidade de reuso de canais. (PESSOA et al, 2003).

O Decreto nº 5.820, de 29 de Junho de 2006 denomina a TV Digital Aberta no Brasil como Sistema Brasileiro de TV Digital Terrestre (SBTVD-T), ou seja, concentra as discussões sobre TV Digital sob o âmbito da transmissão e retransmissão de sinais de radiodifusão de sons e imagens. O *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T), conhecido como padrão japonês, foi então formalizado como a base para o sistema brasileiro, conforme dispõe o artigo 5º referido decreto: “Art. 5º - O SBTVD-T adotará, como base, o padrão de sinais do ISDB-T, incorporando as inovações tecnológicas aprovadas pelo Comitê de Desenvolvimento.” (BRASIL, 2006).

Em seu Art. 6º o Decreto nº 5.820 dispõe que o SBTVD-T possibilitará transmissão digital em alta definição (HDTV), transmissão digital em definição padrão (SDTV), transmissão digital simultânea para recepção fixa, móvel e portátil e, ainda, possibilitará interatividade. Cabe ressaltar a dificuldade em atender simultaneamente a todos os requisitos impostos pelo referido decreto e, simultaneamente, utilizar técnicas que podem otimizar o uso do espectro.

Wu et al (2000, p.104) demonstra o compromisso existente entre taxa de transmissão e robustez do sinal. Como exemplo desta dificuldade de escolha dos parâmetros adequados, modos de transmissão com mais portadoras associados a intervalos de guarda maiores privilegiam a robustez referente a multi-percurso, mas, ao mesmo tempo, diminuem a probabilidade de recepção por dispositivos móveis, dado que desta forma o sistema fica menos imune às interferências causadas pelo efeito *doppler*.

Quanto à fase de transição analógica-digital, as atuais emissoras tem o direito assegurado de receber um canal com a mesma largura de banda que o canal analógico (6MHz) sem que tenham que devolver o canal que já ocupam

para a transmissão analógica. Esta situação de transição, conhecida como *simulcast*, perdurará por 10 anos a partir da data de publicação do Decreto nº 5.820 e protege a população, principalmente a de baixa renda, que não terá que comprar imediatamente conversores ou televisões já com o padrão definido. (BRASIL, 2006).

O problema de planejamento de canais de TV Digital foi agravado pela determinação do Art. 12 do Decreto nº 5.820 que indica que nos municípios onde foram viabilizados canais de TV Digital para outras emissoras, dever-se-á também realizar a inclusão de mais quatro canais de 6 MHz para exploração do governo. (BRASIL, 2006). Esta determinação implica na necessidade de um novo planejamento do PBTVD dado que foram viabilizados canais de TV Digital em 290 municípios no Brasil. (PESSOA et al, 2003). Este novos canais serão viabilizados para transmitir:

I - Canal do Poder Executivo: para transmissão de atos, trabalhos, projetos, sessões e eventos do Poder Executivo;

II - Canal de Educação: para transmissão destinada ao desenvolvimento e aprimoramento, entre outros, do ensino à distância de alunos e capacitação de professores;

III - Canal de Cultura: para transmissão destinada a produções culturais e programas regionais; e

IV - Canal de Cidadania: para transmissão de programações das comunidades locais, bem como para divulgação de atos, trabalhos, projetos, sessões e eventos dos poderes públicos federal, estadual e municipal. (BRASIL, 2006).

Os aspectos regulatórios descritos nesta seção indicam a necessidade e a obrigação do uso de técnicas que aumentem a eficiência do espectro. A responsabilidade sobre a gestão deste importante e valioso recurso é da ANATEL. Novas demandas de diversidade de programação indicam que as políticas de uso do espectro têm que ser preventivas no sentido de não tornarem do espectro um limitante para o desenvolvimento econômico e social.

Como descrito neste capítulo, o padrão ISDB-T foi definido como a base do SBTVD-T. No próximo capítulo este sistema será apresentado, principalmente sob o aspecto que interfere diretamente ou indiretamente com o melhor uso do espectro.

3 O SBTVD-T

Este capítulo é dedicado à exploração dos aspectos técnicos do SBTVD-T com ênfase para os sobre os aspectos técnicos do sistema que afetam o espectro radioelétrico.

Conforme descrito no capítulo anterior, o *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial* (ISDB-T) foi o sistema definido para ser base do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T). Inovações tecnológicas aprovadas pelo Comitê de Desenvolvimento deverão ser incorporadas no sistema ISDB-T. As duas principais inovações introduzidas no sistema brasileiro foram a possibilidade de utilização do MPEG-4 (*Moving Picture Experts Group - 4*), ao invés do MPEG-2, e a possibilidade de se utilizar o *middleware* que está sendo desenvolvido no Brasil, o GINGA. Sob a ótica do escopo deste trabalho, a inovação relacionada à utilização do MPEG-4, formalmente designado como ISO/IEC 14496-10, é a que tem maior influência por conta de sua maior capacidade compressão, e, conseqüentemente, de melhor utilização do espectro, se comparado ao MPEG-2. (ANATEL, 2006).

Conforme apresentado por Rangel (2007), em um canal de seis megahertz com compressão MPEG-4 é possível transmitir aproximadamente 19Mbps de informações, o que acomodaria, por exemplo, 1 canal em HDTV, *High Definition Television*, (com uma taxa de 9Mbps), 4 canais de SDTV, *Standard Definition Television*, (com uma taxa de 2Mbps cada) e ainda mais 1 canal para outros serviços e aplicações de 2Mbps. Esta configuração está representada na Figura 2. Este tipo de configuração demonstra a flexibilidade e a alta capacidade de disseminação de informação do sistema adotado pelo Brasil.

Ainda que exista a possibilidade de uso da compressão MPEG-4, este trabalho se concentrará nos parâmetros de utilização do sistema utilizando a compressão MPEG-2 porque, até a presente data, todos os estudos realizados e especificações aprovadas pela ANATEL e pelos órgãos internacionais se basearam no sistema ISDB-T com o MPEG-2.

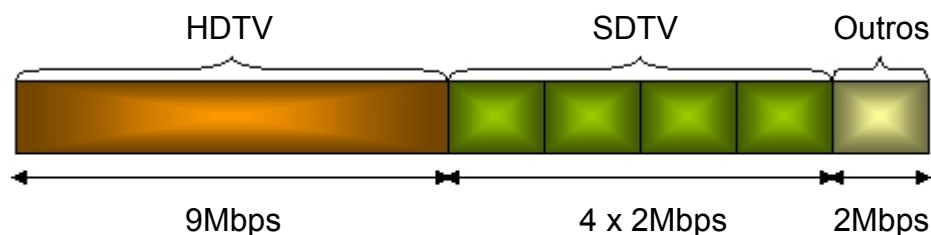


Figura 2. Configuração possível no SBTVD utilizando compressão MPEG-4.

Fonte: Rangel (2007).

3.1 O Sistema ISDB-T

O sistema ISDB foi desenvolvido e é mantido pela Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), que é uma organização de padronização. Para a promoção do padrão ISDB-T em nível mundial, foi constituída a *The Digital Broadcasting Experts Group* (DiBEG).

Segundo Kawai (1996, p.151), o ISDB, conjunto de sistemas voltado para radiodifusão de multimídia, já era foco de estudo da operadora de radiodifusão japonesa NHK desde 1983, sendo que o conceito do sistema foi proposto ao ITU-R em 1985. Os subsistemas que compõe o ISDB são: o ISDB-T, com foco na transmissão terrestre, o ISDB-C, com foco na transmissão via cabo e ISDB-S, com foco na transmissão via satélite.

Comercialmente, o ISDB-T entrou em serviço no Japão no final do ano de 2003. As informações técnicas à respeito do ISDB-T estão reunidas no documento *Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting*, com o número de especificação ARIB STD-B31 (ARIB, 2005).

Podem ser citadas como as principais características técnicas relacionadas ao ISDB-T:

- Transmissão hierárquica com a possibilidade de parametrização independente de até três conjuntos de segmentos.

- Interface MPEG-2.
- Utilização do sistema de multiplexação de múltiplas portadoras BST-OFDM (*Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) com 13 segmentos.
- Modos de transmissão 1, 2 e 3, que indicam a separação entre as portadoras OFDM de 4kHz, 2kHz e 1kHz respectivamente.
- Entrelaçamento dos símbolos OFDM no domínio da frequência.
- Entrelaçamento dos símbolos OFDM no domínio do tempo (0, 0,1, 0,2 ou 0,4s).
- Modulação das portadoras nos modos DQPSK, QPSK, 16QAM e 64QAM.
- Intervalos de guarda parametrizáveis em 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 do tamanho efetivo do símbolo.
- Codificação interna (*inner code*) com códigos convolucionais de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8.
- Codificação Externa (*outer-code*) *Reed-Salomon* RS (204, 188).

As características de projeto do ISDB-T proporcionam:

- Alta qualidade de TV e som (HDTV) ou transmissão de multi-programação.
- Robustez contra interferências relacionadas a multi-percursos, ruído impulsivo e *flat-fading*.
- Implementação de serviços de Multimídia.
- Interoperabilidade com outros meios de radiodifusão como o ISDB-S (para TV via satélite) e o ISDB-C (para TV a cabo).
- Recepção parcial com receptores portáteis.
- Simultaneamente com o serviço HDTV.
- Recepção móvel com receptores veiculares.
- Operação com SFN. (YOKOHATA, 2007).

O ISDB-T proporciona a transmissão de até três fontes de sinais diferentes (vídeo, áudio e dados) com características distintas, formando então camadas hierárquicas com taxas de transmissão e níveis de robustez ajustados a diferentes cenários.

Todas as características descritas refletem a alta flexibilidade do sistema adotado pelo Brasil. A configuração dos blocos que compõe a transmissão do sistema ISDB-T é apresentada na Figura 3.

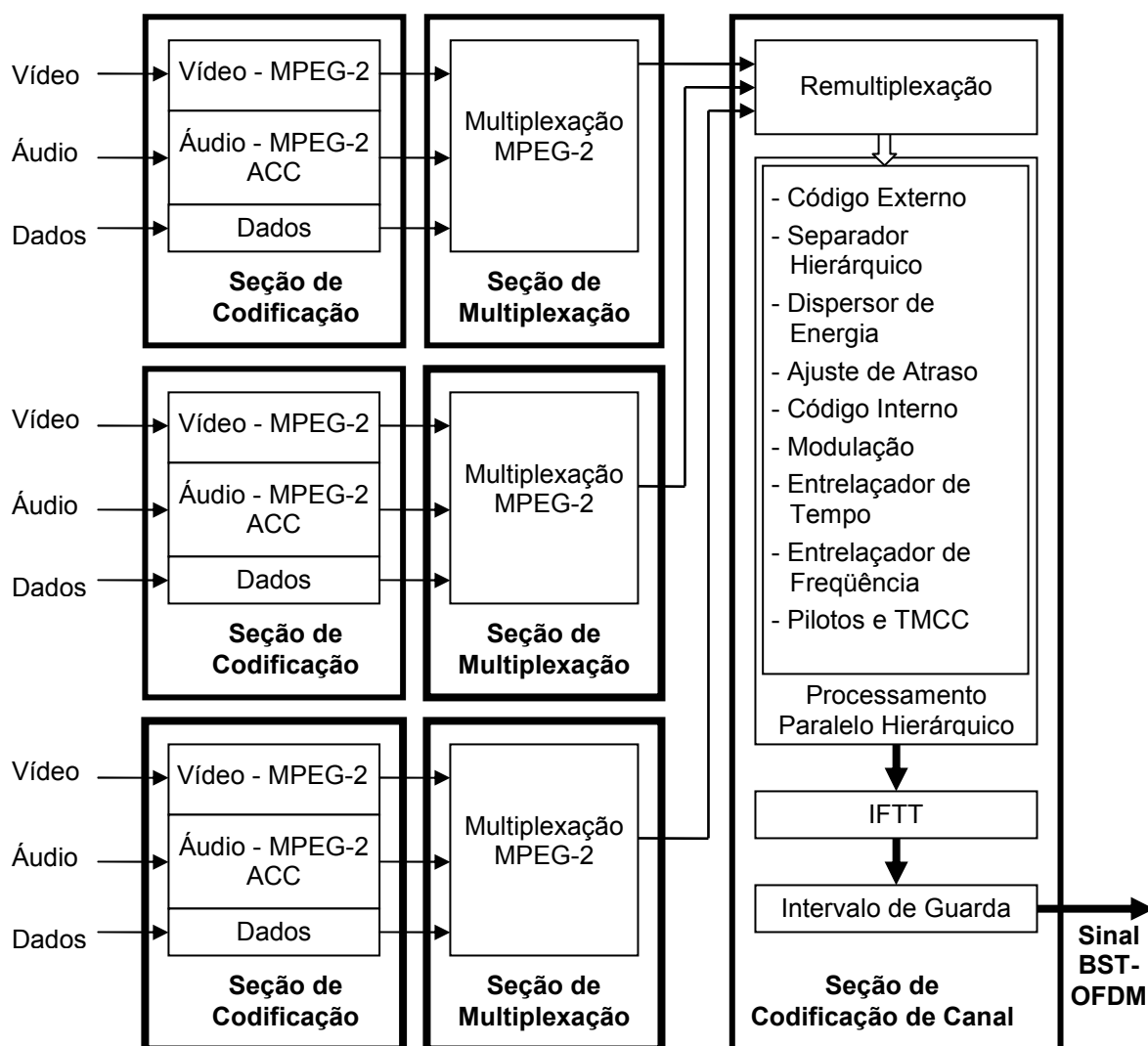


Figura 3. Principais blocos do Sistema ISDB-T.

Fonte: Adaptado de Arib (2005).

A seção de codificação é responsável por codificar os sinais de áudio, vídeo e dados. Estes sinais são comprimidos utilizando-se o sistema de

compressão MPEG-2. Depois de codificado, os sinais passam por uma seção de multiplexação que transforma as informações em *transport streams* (TSs).

Na seção de codificação de canal é feita uma remultiplexação do sinal, de tal forma a existir um único *transport stream* (TS) que é enviado ao bloco de processamento paralelo hierárquico. Neste bloco, existe o processamento paralelo hierárquico onde inicialmente é inserido o código externo do tipo *Reed-Solomon*, que acrescenta 16 bytes de paridade, o que dá robustez ao sinal. No caso de se utilizar mais de uma camada de transmissão, o separador hierárquico é utilizado para dividir o sinal para os próximos estágios, fazendo com que as três camadas possam ter parametrizações distintas. O TS de cada camada passa por um dispersor de energia que elimina a concentração de densidade de potência ao redor da frequência da portadora. O código interno, o tipo de modulação e o entrelaçamento de tempo são ajustados de forma independente para camada. O entrelaçamento de frequência dá robustez em relação a interferências localizadas em frequências específicas. No bloco de processamento paralelo hierárquico ainda há a inserção dos sinais pilotos (que ajudam a sincronizar os sinais recebidos) e do sinal de controle de configuração de transmissão e multiplexação (*Transmission and Multiplexing Configuration Control* – TMCC) que informa ao receptor a parametrização utilizada na transmissão de cada camada.

Finalmente, o sinal passa pelo bloco de Transformada de Fourier Inversa (*Inverse Fast Fourier Transform* - IFFT), que converte o sinal em um *frame Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (BST-OFDM), e pelo bloco de inserção de Intervalo de Guarda, que é o bloco responsável por prover imunidade a multi-percursos ao sinal.

3.2 OFDM

O OFDM consiste numa técnica de modulação e multiplexação que utiliza diversas portadoras para transmitir uma informação de tal forma que a transmissão da informação é feita utilizando-se diversas sub-portadoras. A separação entre estas sub-portadoras é matematicamente calculada de tal forma

que elas sejam ortogonalmente separadas uma das outras. A ortogonalidade entre as sub-portadoras faz com que a demodulação das informações de uma sub-portadora não seja interferida por outra.

O sinal OFDM é um caso específico da modulação FDM. Pode-se dizer também que o OFDM é uma evolução da multiplexação por frequência tradicional (FDM), pois existe uma significativa economia de espectro pela utilização de espaçamentos ortogonais entre as várias sub-portadoras. A Figura 4 apresenta um exemplo de nove sub-portadoras OFDM no domínio da frequência. A linha pontilhada demonstra a somatória destas sub-portadoras.

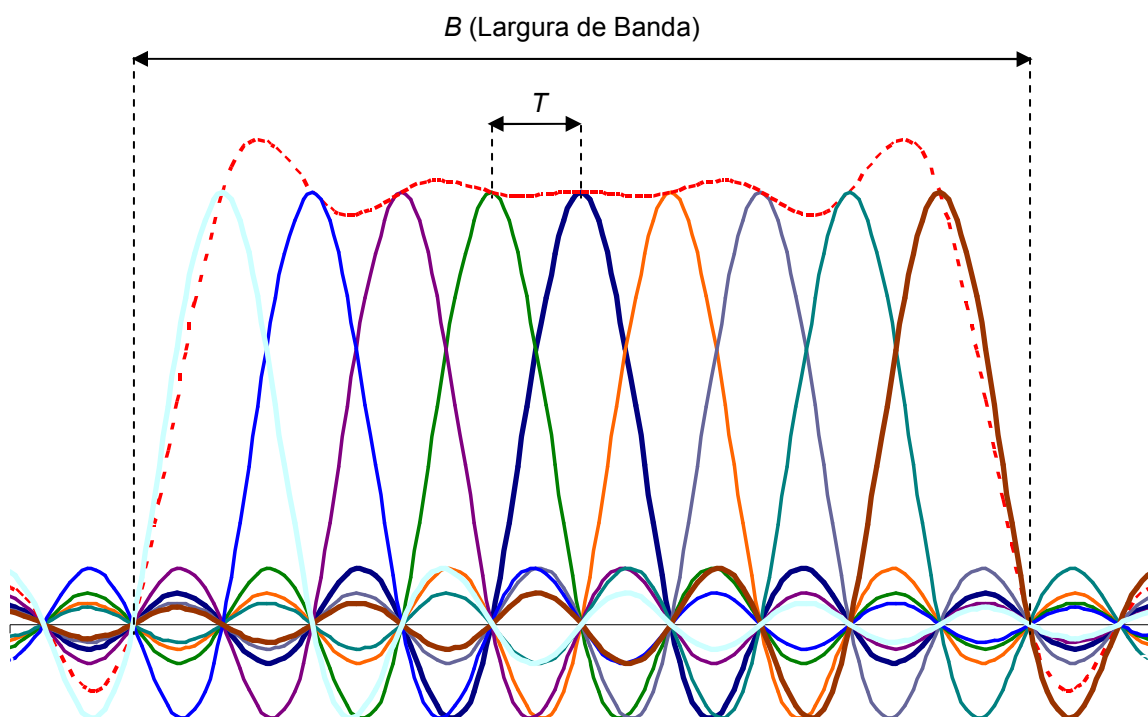


Figura 4. O espectro da técnica OFDM no domínio da frequência.

Podem ser apontados como os principais benefícios dos sistemas baseados na técnica OFDM em comparação com sistemas de portadora única. (MATIÆ, 1998):

- Maior eficiência espectral porque o espaçamento entre as portadoras é menor.
- Maior tolerância a efeitos de múltiplos percursos por conta da inserção do intervalo de guarda em cada símbolo transmitido.

- Maior robustez ao ruído impulsivo por conta do aumento do tempo de duração dos símbolos transmitidos.

Também existem deficiências relacionadas aos sistemas baseados na técnica OFDM em comparação com os sistemas de portadora única. (MATIÆ, 1998):

- Podem ocorrer picos de potência, *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR), quando os sinais de várias portadoras se somam em fase. O pico de potência pode levar os amplificadores de transmissão para regiões não-lineares, provocando a perda de ortogonalidade das portadoras.
- O OFDM também é vulnerável a desvios de frequência, que podem provocar a perda de ortogonalidade das portadoras, e a problemas de sincronismo de frequência que podem originar um deslocamento de fase dos símbolos.
- Perda de eficiência de banda pela necessidade de inserção do intervalo de guarda.

3.2.1 Intervalo de Guarda

Dentro da técnica de modulação OFDM vale ressaltar o intervalo de guarda, pois é ele o principal artifício habilitador da criação de redes de frequência única.

Conforme pode-se verificar pela Figura 5, o Intervalo de Guarda (T_g) é a extensão do início do símbolo OFDM. Nesta extensão é copiada a informação contida no final do símbolo OFDM. Desta forma, dispersões causadas por múltiplos percursos que estejam dentro do tempo de Intervalo de Guarda, poderão ser tratadas de forma não destrutiva.

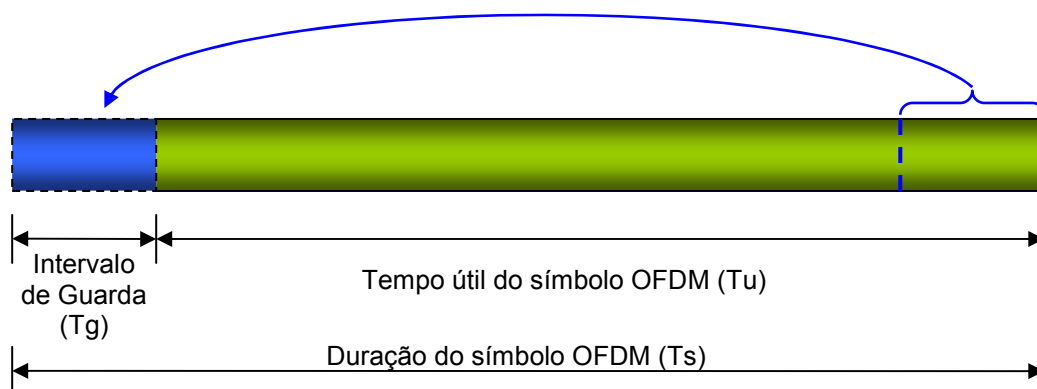


Figura 5. Intervalo de Guarda no símbolo OFDM.

Fonte: Adaptado de Arib (2005).

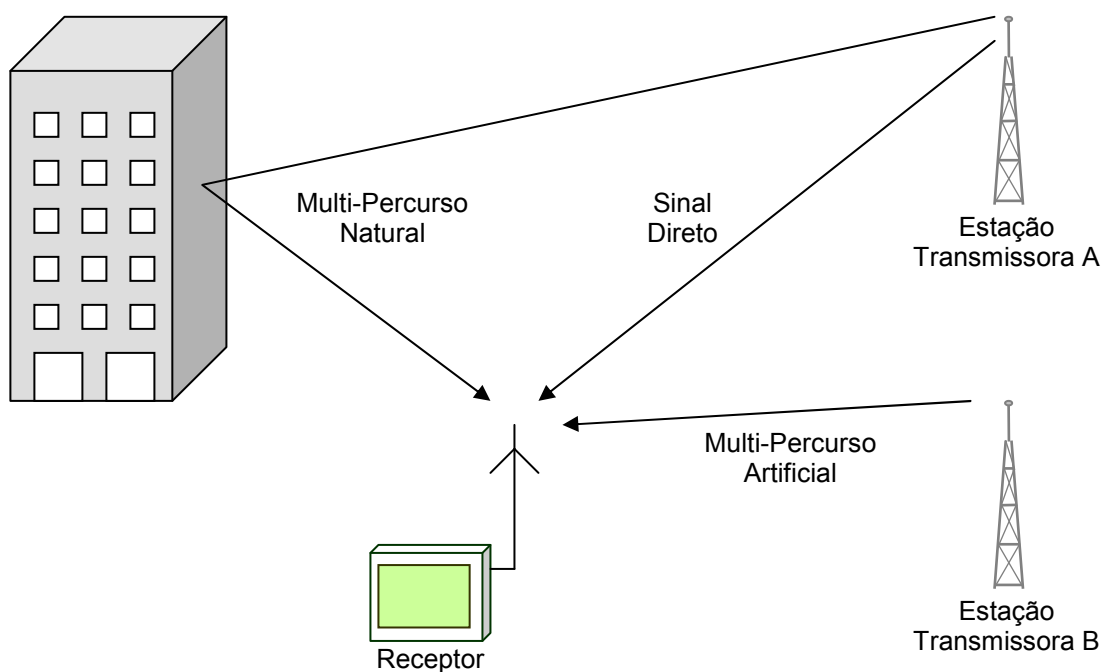


Figura 6. Representação dos tipos de multi-percursos.

Efeitos de múltiplos percursos podem ser causados de forma natural ou de forma artificial. O efeito de múltiplos percursos naturais é caracterizado por sinais que chegam a um receptor com uma diferença de fase que está relacionada com a distância que os vários sinais percorreram a partir de uma

única fonte transmissora. Os múltiplos percursos artificiais são caracterizados por sinais de mesmo conteúdo que chegam a um receptor com uma diferença de fase que está relacionada com diferentes fontes transmissoras que estejam na mesma frequência. Os tipos de multi-percursos estão representados Figura 6.

Bedicks et al (2006) realizaram testes que indicam que sinais recebidos na presença de multi-percursos, naturais ou artificiais, recebidos com um atraso menor que o tempo de duração que o intervalo de guarda podem ser regenerados. A regeneração do sinal também é função dos códigos de correção de erro a serem utilizados.

3.3 BST-OFDM

O ISDB-T utiliza um método de modulação designado como *Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (BST-OFDM), onde o canal de 6 MHz destinado a uma emissora é dividido em 13 segmentos. Cada segmento tem uma largura de banda de 6/14 MHz e possui uma quantidade de portadoras dependente do modo de transmissão escolhido (modo 1, 2 ou 3).

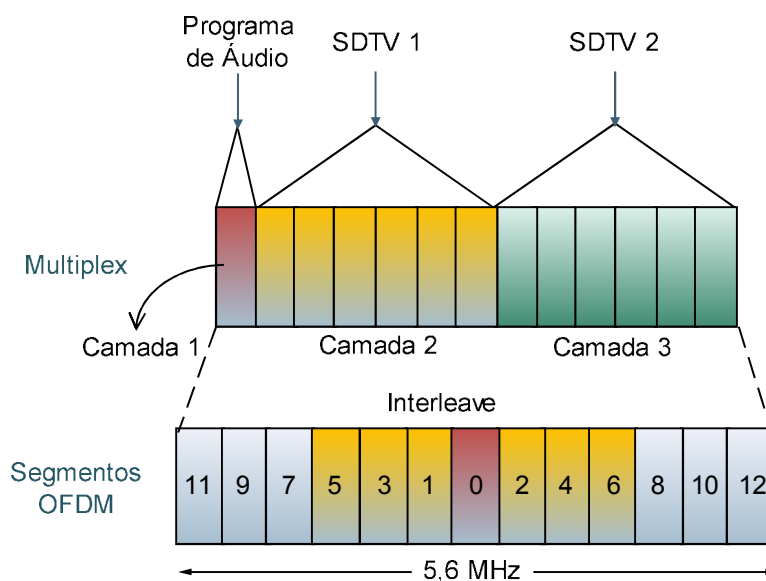


Figura 7. Exemplo de transmissão hierárquica do ISDB-T (BST-OFDM).

Fonte: Adaptado de Arib (2005).

O ISDB-T tem a capacidade de transmitir até 3 programas com parâmetros de transmissão distintos dentro da faixa de 6 MHz fazendo com que o conjunto de 13 segmentos seja agrupado e configurado formando até três camadas hierárquicas. Estes programas podem ser utilizados para transmissão de programação com alta definição, definição padrão e/ou transmissão com robustez suficiente para que o sinal seja recebido em terminais móveis, como celulares. O ISDB-T também tem capacidade para transmissão de dados e interatividade. Uma possibilidade de configuração de hierarquia é apresentada na Figura 7. Neste exemplo, um segmento é utilizado para a transmissão de uma programação de áudio e os 12 segmentos restantes foram divididos igualmente para transmissão de dois canais de definição padrão (SDTV). Conforme pode-se verificar pela figura, ao ser construído o segmento OFDM, utiliza-se a técnica de entrelaçamento com o objetivo de se aumentar a robustez do sinal

3.4 Capacidade de Transmissão do Sistema ISDB-T

De acordo com os parâmetros escolhidos para os segmentos são conseguidas taxas de transmissão por portadora que variam de 280,85 kbps (Modulação DQPSK ou QPSK, Código Convolutacional 1/2 e Intervalo de Guarda de 1/4) a 1.787,28 kbps (Modulação 64QAM, Código Convolutacional 7/8 e Intervalo de Guarda de 1/32). As possibilidades de taxas por segmento são demonstradas na Tabela 1.

Caso todos os 13 segmentos sejam utilizados para transmitir uma única programação, são conseguidas taxas de transmissão totais que variam de 3,651 Mbps (Modulação DQPSK ou QPSK, Código Convolutacional 1/2 e Intervalo de Guarda de 1/4) a 23,234 Mbps (modulação 64QAM, código 7/8 e intervalo de guarda de 1/32). As possibilidades de taxas para o conjunto dos 13 segmentos são demonstradas na Tabela 2.

Tabela 1. Taxa de bits para um segmento do ISDB-T.

Modulação	Código Convolutacional	Taxa de Dados (kbps)			
		Intervalo de guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
DQPSK QPSK	1/2	280,85	312,06	330,42	340,43
	2/3	374,47	416,08	440,56	453,91
	3/4	421,28	468,09	495,63	510,65
	5/6	468,09	520,10	550,70	567,39
	7/8	491,50	546,11	578,23	595,76
16QAM	1/2	561,71	624,13	660,84	680,87
	2/3	748,95	832,17	881,12	907,82
	3/4	842,57	936,19	991,26	1.021,30
	5/6	936,19	1.040,21	1.101,40	1.134,78
	7/8	983,00	1.092,22	1.156,47	1.191,52
64QAM	1/2	842,57	936,19	991,26	1.021,30
	2/3	1.123,43	1.248,26	1.321,68	1.361,74
	3/4	1.263,86	1.404,29	1.486,90	1.531,95
	5/6	1.404,29	1.560,32	1.652,11	1.702,17
	7/8	1.474,50	1.638,34	1.734,71	1.787,28

Fonte: Arib (2005).

Tabela 2. Taxa de bits para os 13 segmentos do ISDB-T.

Modulação	Código Convolutacional	Taxa de Dados (kbps)			
		Intervalo de guarda			
		1/4	1/8	1/16	1/32
DQPSK QPSK	1/2	3.651	4.057	4.295	4.426
	2/3	4.868	5.409	5.727	5.901
	3/4	5.477	6.085	6.443	6.638
	5/6	6.085	6.761	7.159	7.376
	7/8	6.390	7.099	7.517	7.745
16QAM	1/2	7.302	8.114	8.591	8.851
	2/3	9.736	10.818	11.455	11.802
	3/4	10.953	12.170	12.886	13.277
	5/6	12.170	13.523	14.318	14.752
	7/8	12.779	14.199	15.034	15.490
64QAM	1/2	10.953	12.170	12.886	13.277
	2/3	14.605	16.227	17.182	17.703
	3/4	16.430	18.256	19.330	19.915
	5/6	18.256	20.284	21.477	22.128
	7/8	19.169	21.298	22.551	23.235

Fonte: Arib (2005).

3.5 Parametrização/Performance do Sistema ISDB-T

De acordo com Sasaki (2004), para um intervalo de guarda de 1/8, a configuração mais robusta do sistema ISDB-T é alcançada com a modulação do tipo QPSK, com código convolucional de 1/2. Com estes parâmetros, o sistema alcançaria uma taxa de bits da ordem de 4Mbps e precisaria de uma relação de sinal ruído de apenas 5dB para que o sistema funcionasse.

No outro extremo, ainda com um intervalo de guarda de 1/8, a configuração de maior taxa de transmissão do sistema ISDB-T é alcançada com a modulação do tipo 64QAM, com código convolucional de 7/8. Com estes parâmetros, o sistema alcançaria uma taxa de bits acima de 20Mbits, mas neste caso, como o código convolucional e a modulação são menos robustos, a mínima relação de sinal ruído que deve ser respeitada para que o sistema funcione é de aproximadamente 22dB (SASAKI, 2004).

As principais características que são privilegiadas, dependendo da parametrização utilizada para a transmissão, são apresentadas no Tabela 3.

Tabela 3. Características afetadas pela parametrização do sistema de transmissão

Parâmetro	Menor	Maior
Modos de transmissão / Quantidade de Portadoras (1, 2 ou 3)	Maior robustez referente a efeito <i>Doppler</i> (mobilidade). Aumento da robustez do sinal em relação a variações de frequência.	Proporciona a parametrização de intervalos de guarda com maior tempo de duração.
Intervalo de guarda (1/32, 1/16, 1/8 ou 1/4)	Aumento da taxa de transmissão.	Maior imunidade a múltiplos percursos.
Código Interno: Código Convolucional (1/2, 2/3 , 3/4, 5/6, ou 7/8)	Aumento da robustez do sinal a interferências do tipo ruído branco aditivo.	Aumento da taxa de transmissão.
Modulação das portadoras (DQPSK, QPSK, 16QAM ou 64QAM)	Aumento da robustez do sinal em relação a variações de frequência.	Aumento da taxa de transmissão.

Verifica-se pelo Tabela 3 que apesar dos modos de transmissão não interferirem diretamente na taxa de bits do segmento, eles influenciam

diretamente no tamanho do Intervalo de Guarda do segmento, que por sua vez está ligado diretamente à robustez do sinal em relação a múltiplos percursos. A quantidade de portadoras por segmento, também está ligada diretamente à robustez do sinal em relação ao efeito *doppler*, que é o efeito de desvio de frequência causado pela movimentação da fonte receptora em relação à fonte transmissora e vice-versa. Os Modos de Transmissão 1, 2 ou 3 indicam a quantidade de portadoras alocadas em cada segmento (1.405, 2.809 e 5.617 respectivamente). Estes Modos de Transmissão também são denominados 2k, 4k e 8k, respectivamente (ARIB, 2005).

A codificação interna (*inner code*) utilizada no ISDB-T é o código convolucional puncionado que pode utilizar as taxas de codificação de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, ou 7/8 gerando bits adicionais para aumento da redundância do sistema. Quanto maior a taxa de código maior será a vazão do sistema e quanto menor a taxa de código maior será a robustez do sinal. (ARIB, 2005).

Yokohata (2007) apresenta curvas de performance que demonstram o aumento de performance do sistema ao se introduzir o entrelaçamento de tempo. Para um erro de bit de até 2×10^{-4} após o código convolucional, uma taxa de erro de 10^{-11} (*quasi-error-free* – QEF) é conseguida após o *Reed Solomon*.

Reed Solomon é uma técnica de correção de erros do tipo *Forward Error Correction* (FEC). Esta técnica é utilizada no sistema ISDB-T como codificação externa (*outer-code*) RS (204, 188), o que significa que 16 bytes de paridade são introduzidos no pacote de dados do MPEG-2 para que o receptor tenha a condição de recuperar a informação original, dentro de certos limites, mesmo com as degradações naturais do ambiente (ARIB, 2005).

O entrelaçamento de tempo, disponível somente no sistema ISDB-T, distribui a informação dentro do símbolo. Com esta distribuição, o sinal aumenta a sua robustez a interferências do tipo *flat fading* e ruído impulsivo, mas é ineficiente contra interferências por múltiplos percursos.

O entrelaçamento de frequência distribui a informação entre as várias portadoras do segmento OFDM. Com esta distribuição, o sinal aumenta a sua robustez a interferências por ruídos do tipo *flat fading* e impulsivo.

Com as duas técnicas de entrelaçamento (frequência e tempo) trabalhando em conjunto tem-se um sinal mais robusto aos tipos de interferência devido a múltiplos percursos, *flat fading* e ruído impulsivo.

3.6 Topologias de rede

Basicamente, existem dois tipos de topologia de redes para transmissão de TV, a configuração de rede multi-freqüencial (*Multi-frequency Network* - MFN) e a configuração de rede de frequência única (*Single Frequency Network* - SFN) (ARTHUR, 2007).

Por restrições técnicas, a configuração das redes de transmissão de TV analógica é do tipo multi-freqüência, mas as características técnicas escolhidas para o sistema de TV Digital do Brasil indicam para a possibilidade de implementações de redes de frequência única.

3.6.1 Redes MFN

Os sistemas de televisão analógicos utilizam a topologia multi-freqüencial por conta de sua alta sensibilidade a interferência. Esta alta sensibilidade faz com que um canal somente seja reutilizado se houver uma grande atenuação entre os sinais de dois transmissores que operem no mesmo canal. De acordo com a Resolução nº 284 de 7 de dezembro de 2001, a relação de proteção que deve existir entre dois sistemas analógicos que venham a ocupar o mesmo canal é de 45dB (ANATEL, 2001).

Pode-se verificar pela Figura 8 uma distribuição de transmissores dispostos para atender uma determinada região de interesse. Cada um destes transmissores cobre uma faixa da região de interesse transmitindo em canal diferente (Ca, Cb, Cc e Cd). Cada um destes transmissores gera uma faixa onde o sinal não é bom o suficiente para ser recebido com qualidade, mas é suficiente para interferir caso outro transmissor esteja ajustado para utilizar o mesmo canal nesta região. A esta interferência dá-se o nome de interferência co-canal.

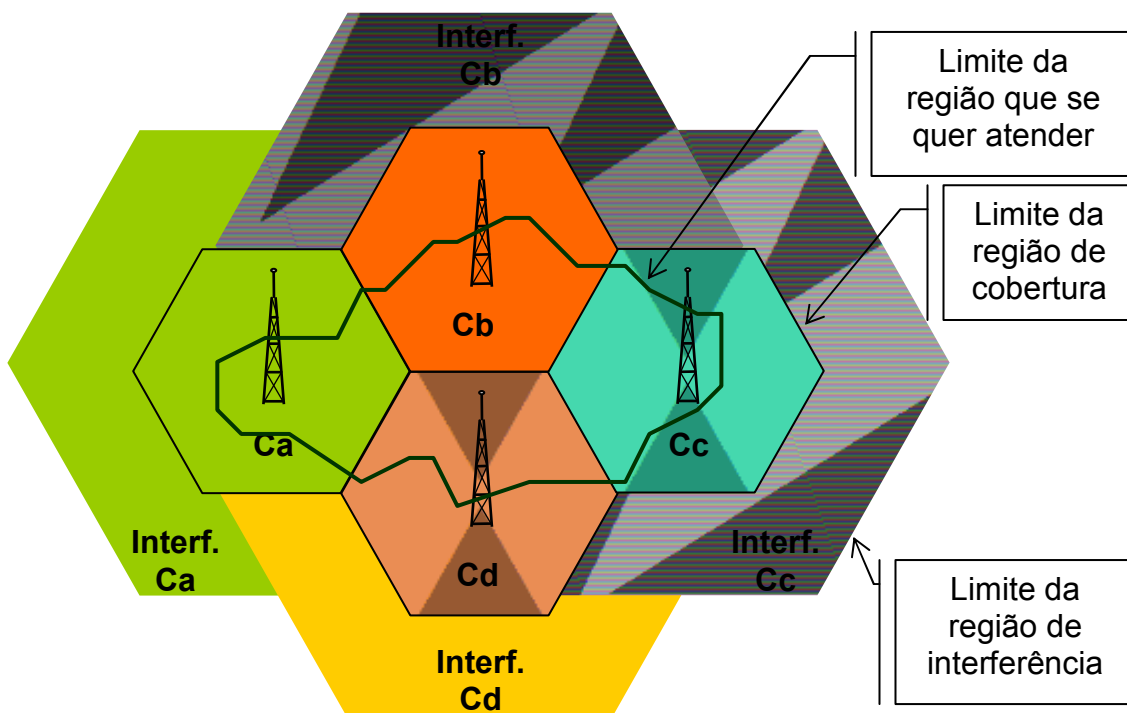


Figura 8. Configuração de rede MFN.

Além da interferência co-canal, existem outras limitações que impedem a utilização de determinados canais. Ao conjunto de limitações técnicas, dá-se o nome de “*taboo*”. Estas limitações serão descritas nos próximos capítulos.

3.6.2 Redes de Frequência Única

As redes de frequência única são caracterizadas por um ou mais transmissores que operam na mesma frequência, em um tempo controlado e dentro de certas condições de espaçamento entre as estações transmissoras, de tal forma que sejam viabilizadas transmissões com qualidade.

A implantação de redes de frequência única proporcionam diversos benefícios diretos, tais como melhor eficiência de espectro, melhor cobertura, menor interferência, menor potência para atendimento de uma área de cobertura e maior confiabilidade no sistema. Por outro lado, redes de frequência única implicam em uma necessidade de um controle rigoroso em relação ao sincronismo de tempo, frequência e dados de transmissão. (MATTSSON, 2005).

Nakahara et al (1996) demonstrou a grande capacidade de otimização de espectro conseguida com a utilização de redes de frequência única onde foi possível realizar a simulação de um planejamento na área de Kanto, Japão, onde existia a utilização de mais de 30 canais analógicos. A simulação demonstrou a possibilidade de cobertura da mesma área com a utilização de um único canal digital na configuração de rede de frequência única. Neste estudo foram simuladas as áreas de cobertura nos modos de operação 1 e 2, com um intervalo de guarda de 1/8 e um esquema de modulação 64 QAM.

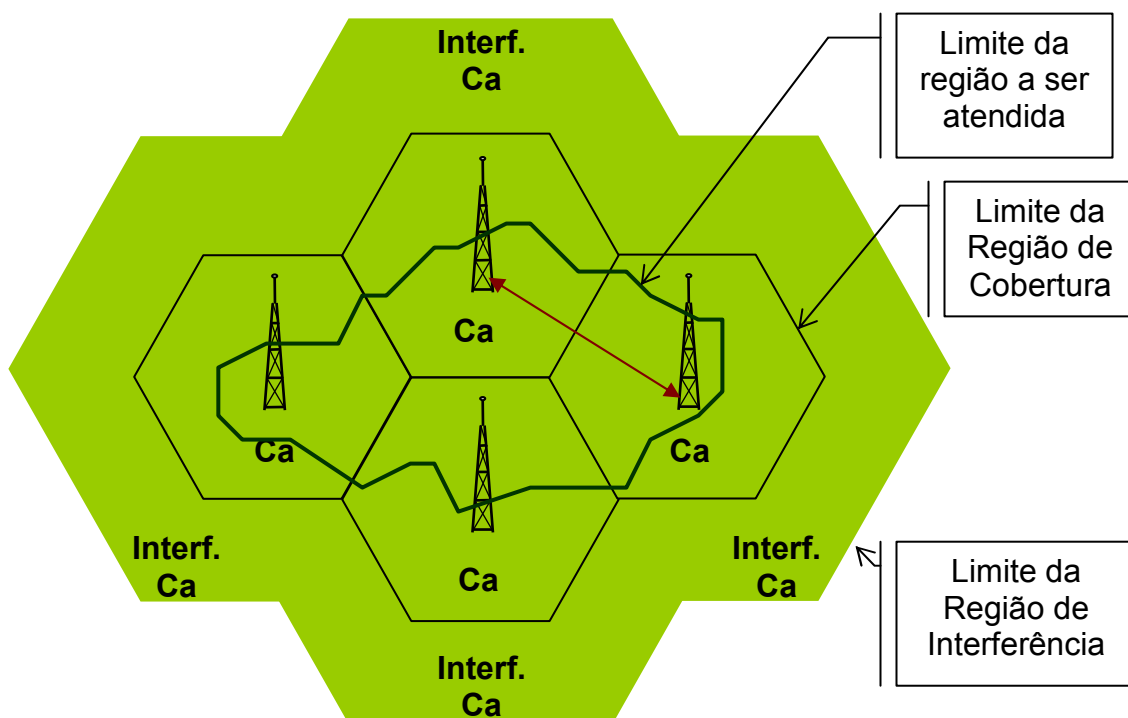


Figura 9. Configuração de rede de frequência única (SFN).

A Figura 9 apresenta a configuração de uma rede de frequência única para atendimento de uma determinada região de interesse.

A introdução do intervalo de guarda (T_g) no símbolo OFDM é o artifício que possibilita a criação de redes de frequência única. Este intervalo elimina o efeito de dispersão causado pelos múltiplos percursos dos sinais. Para que seja possível a eliminação deste efeito de dispersão, é necessário que os vários sinais que chegam ao receptor tenham um tempo de atraso menor que o tempo do intervalo de guarda. Caso o tempo de atraso dos sinais seja maior que o intervalo de guarda ocorre a interferência inter-simbólica (*Intersymbol Interference* – ISI)

que degrada do sinal. Caso o tempo de atraso dos sinais seja menor que o intervalo de guarda, o receptor elimina toda a informação contida dentro do intervalo de guarda, eliminando também a interferência inter-simbólica (BAHAL, 2004).

Ao analisar a Figura 9, pode-se deduzir que em diversos pontos serão recebidos sinais de dois ou mais transmissores, com igual amplitude e com atrasos dependentes da distância que estes sinais percorreram. Os pontos onde existem a recepção de sinais de mesma amplitude de dois ou mais transmissores é chamado de eco de 0dB e atraso nulo.

Stott (1998) indica que em regiões de eco de 0dB o código corretor de erros é fundamental para indicar qual será o tipo da interação (construtiva ou destrutiva) que os múltiplos sinais terão no receptor. Para regiões de eco de 0dB a potência média do sinal é o dobro, mas ao mesmo tempo existe um aumento na necessidade do nível da relação sinal-ruído para que a taxa de erros continue constante. O aumento da necessidade da relação sinal-ruído é consequência do aumento da seletividade existente no receptor pela presença de mais de um sinal de transmissão. Simulações do autor citado demonstraram que em regiões com eco de 0dB não haveria aumento relativo significativo no sinal recebido se o transmissor fosse parametrizado com um código interno de 1/2.

De acordo com Bedicks et al (2006), experiências práticas laboratoriais de múltiplos percursos sem a presença de ruídos em receptores comerciais adquiridos no ano de 2004 e submetidos a sinais com características: 19,3Mbps; 64QAM; 8k; 3/4; 1/16; 0,2s; apresentaram boa eficiência para atrasos de até 60 μ s com eco de 0dB.

Conforme (1), verifica-se que o atraso de um sinal se dá pela distância que o mesmo percorre. Verifica-se ainda que um sinal atrasa aproximadamente 3,33 μ s, em relação à sua origem de transmissão, a cada quilômetro percorrido.

$$\Delta t = \frac{\Delta d}{c} = \frac{\Delta d(m)}{3 * 10^8 m/s} \quad (1)$$

Conforme apresentado na Tabela 4, é possível parametrizar o símbolo OFDM para que este tenha intervalos de guarda (T_g) de $7,875\mu\text{s}$ a $252\mu\text{s}$ e então seria possível configurar redes que tenham transmissores separados de $2,36\text{km}$ até $75,6\text{km}$, respectivamente.

Tabela 4. Distâncias máximas entre transmissores em função do intervalo de guarda para distintos modos de transmissão.

Modo 1 (2k)		Modo 2 (4k)		Modo 3 (8k)	
T_g	d_{max}	T_g	d_{max}	T_g	d_{max}
$63\mu\text{s}$ (1/4)	18,9km	$126\mu\text{s}$ (1/4)	37,8km	$252\mu\text{s}$ (1/4)	75,6km
$31,5\mu\text{s}$ (1/8)	9,45km	$63\mu\text{s}$ (1/8)	18,9km	$126\mu\text{s}$ (1/8)	37,8km
$15,75\mu\text{s}$ (1/16)	4,73km	$31,5\mu\text{s}$ (1/16)	9,45km	$63\mu\text{s}$ (1/16)	18,9km
$7,875\mu\text{s}$ (1/32)	2,36km	$15,75\mu\text{s}$ (1/32)	4,73km	$31,5\mu\text{s}$ (1/32)	9,45km

Intervalos de guarda maiores ($252\mu\text{s}$ ou 1/4) são conseguidos com modos de transmissão com maior quantidade de portadoras (Modo 3) e privilegiam a configuração de redes com distanciamentos maiores entre os transmissores (até $75,6\text{km}$). Por outro lado, conforme apresentado na Tabela 2, o intervalo de guarda interfere diretamente na capacidade máxima de informação útil disponibilizada.

Existem preocupações adicionais para o bom funcionamento das redes de frequência única. Sincronismos de tempo e frequência são necessários para que haja a regeneração de sinais. Normalmente são utilizados equipamentos GPS (*Global Positioning System*) para referenciar a frequência dos equipamentos de transmissão, minimizando os efeitos negativos que as variações de frequência poderiam causar. Os GPS também são utilizados para criar a referência de tempo para os equipamentos de transmissão (MATTSSON , 2005).

4 PLANO BÁSICO DE DISTRIBUIÇÃO DE CANAIS DE TELEVISÃO DIGITAL – PBTVD

O Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital (PBTVD) foi elaborado em 2003, ou seja, muito antes da definição sobre qual seria o sistema de TV Digital a ser adotado pelo Brasil. Por conta disto, o PBTVD foi apresentado sob dois cenários, um que previa que o sistema escolhido poderia utilizar-se de redes de frequência única e outro cenário que previa que o sistema escolhido não poderia utilizar-se de redes de frequência única. Em qualquer um dos casos, o planejamento feito pelo CPqD contempla 290 municípios com canais de TV Digital no PBTVD.

Os critérios que definiram quais municípios estariam contemplados no PBTVD foram. (PESSOA et al, 2003):

- Municípios com pelo menos uma geradora ativa;
- Municípios com pelo menos 100.000 habitantes atendidos por retransmissoras ativas;
- Municípios atendidos por estações localizadas em pontos de transmissão próximos aos adotados por canais considerados nos dois critérios anteriores.

Com a implantação dos canais constantes no PBTVD, os 290 municípios reunirão 1893 estações de TV Digital ativas (PESSOA et al, 2003). O Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital foi aprovado através da Resolução nº 407, de 10 de junho de 2005 (ANATEL, 2005b).

Cada estação de TV Digital planejada foi viabilizada com o objetivo de ter-se a mesma cobertura que a mesma estação de TV analógica. Sempre que tecnicamente possível, os canais digitais foram viabilizados com a potência máxima da classe a qual pertence o canal analógico (PESSOA et al, 2003, p.9-10).

É importante ressaltar que o PBTVD, por ter sido elaborado em 2003, não contemplou o disposto no Decreto nº 5.820 de 2006, que impõe ao Ministério das Comunicações a obrigação de consignar pelo menos quatro canais de 6 MHz para a União Federal.

4.1 Características Técnicas para Elaboração do PBTVD

No planejamento do PBTVD foram realizados estudos onde foi demonstrado que uma estação digital deveria transmitir seus sinais com uma potência vinte vezes menor (-13 dB) em comparação a uma estação analógica para que ambas tivessem a mesma área de cobertura. (PESSOA et al, 2003, p.28).

A Tabela 5 apresenta as potências máximas para as classes de potência e apresenta também as distâncias máximas ao contorno protegido de acordo com as classes de potência das estações de TV Digital. A potência referenciada nestas classes são as potências máximas que garantem que a área de cobertura do canal de TV Digital esteja com a mesma área de cobertura que o canal de TV analógico.

Tabela 5. Classificação das estações de TV Digital em função de suas características para VHF e UHF.

Classe	Canais	Máxima Potência ERP	Altura de Referência do Nível Médio da Radial (m)	Distância Máxima ao Contorno Protegido (km)
Especial	VHF	16kW (12dBk)	150	65
	14 a 25	70kW (18,5dBk)		57
	26 a 46	80kW (19dBk)		57
	47 a 59	100kW (20dBk)		57
A	VHF	1,6kW (2 dBk)		48
	UHF	8kW (9dBk)		42
B	VHF	0,16kW (-8 dBk)		32
	UHF	0,8kW (-1dBk)		29
C	VHF	0,016kW (-18 dBk)	20	
	UHF	0,08kW (-11dBk)	18	

Fonte: Adaptado de ANATEL (2005a).

O canal de televisão tem 6 MHz de largura de faixa. No planejamento de canais de TV Digital foram utilizadas, preferencialmente na ordem apresentada, as seguintes faixas. (ANATEL, 2001):

- *Ultra High Frequency* (UHF): Canais 14 a 59 (470 a 746 MHz)
- *Very High Frequency* (VHF) alto: Canais 7 a 13 (174 a 180 MHz)

Existe a impossibilidade de uso do canal 37 (608 a 614 MHz), pois o mesmo é destinado ao serviço de radioastronomia. Os canais 60 a 69 foram utilizados para o cenário em que o sistema a ser adotado para o Brasil não possibilitasse o reuso de canais, que não foi o caso. O detalhamento sobre as faixas de frequências dos canais digitais estão nos Anexos A e B deste trabalho.

As classes de potência definidas pela ANATEL são designadas como: Especial, A, B e C. Estas classes estão relacionadas com a potência máxima de transmissão. De acordo com ANATEL (2001a) potência efetiva irradiada máxima é a potência que deve ser utilizada no estudo de viabilidade técnica de um canal digital e pode ser expressa conforme (2).

$$ERP_{\max} (kW) = \frac{P_t * G_t * \eta}{p} \quad (2)$$

P_t é a potência do equipamento de transmissão, G_t é o ganho máximo da antena transmissora em relação ao dipolo de meia onda (dBd), η é a eficiência da linha de transmissão e p é o total de perdas do sistema.

É comum que a potência efetiva irradiada (ERP) das estações esteja expressa em dBk que é a potência em dB referida a 1 kW de potência, ou seja, 0dBk representa 1kW de potência.

A HNMT, altura do centro de irradiação da antena em relação ao nível médio do terreno, é função da altura da base da torre em relação ao nível do mar (HBT), da altura da torre até o centro de irradiação da antena (HCI) e da média do nível médio das radiais do terreno (NMT), sendo as radiais traçadas no entorno do terreno de instalação da estação transmissora. Estes parâmetros são apresentados visualmente na Figura 10.

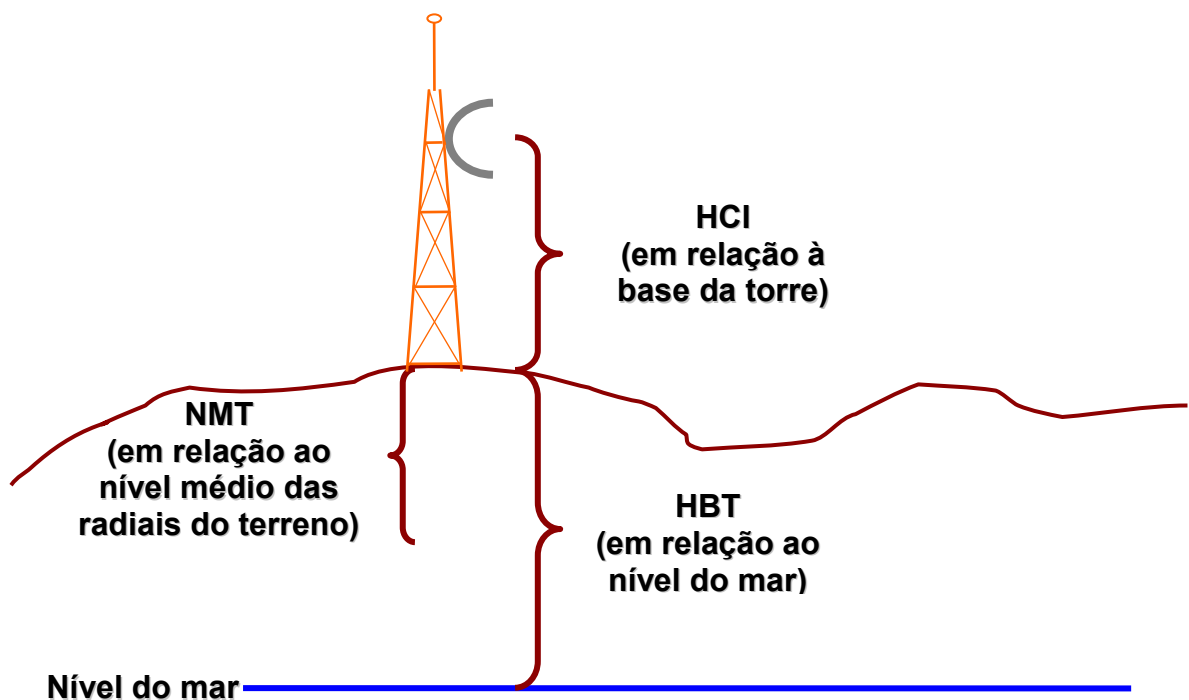


Figura 10. Referências para determinação da altura do centro de irradiação da antena.

O cálculo da HNMT, às vezes referenciado como h_1 , é apresentado em (3).

$$HNMT = HBT + HCI - NMT \quad (3)$$

A Distância Máxima ao Contorno Protegido é a distância máxima entre a estação de transmissão e o contorno protegido, levando-se em consideração a potência máxima possível permitida para a classe em que a estação pode operar.

O Contorno Protegido de uma estação é o limite da região em que um canal deverá estar protegido de interferências que possam prejudicar a recepção de boa qualidade dos sinais transmitidos. Já o Contorno Interferente de uma estação é o limite da região em que um canal pode vir a interferir negativamente em canais já estabelecidos ou em fase de planejamento. Os níveis de campo que definem o Contorno Interferente são calculados levando-se em consideração a Relação de Proteção de sinal desejado e interferente que o sistema é capaz de suportar com boa qualidade.

Como requisito de planejamento dos canais do PBTVD, os contornos de proteção e de interferência foram obtidos através das curvas de propagação E(50, 50), 50% das localidades e 50% do tempo, e E(50, 10), 50% das localidades e 10% do tempo. Estas curvas constam nos anexos da Recomendação ITU-R P.1546-1 (Método de previsões ponto-área para serviços terrestres na faixa de frequências de 30 a 3000 MHz) e representam os valores de intensidade de campo excedidos em 50% das localidades para uma potência irradiada efetiva de referência de 1 kW ERP. Diversas curvas são apresentadas levando em consideração a variação das frequências (100, 600 e 2000 MHz), a variação dos percentuais de tempo de atendimento (1, 10 e 50%) e a variação dos diferentes tipos de percurso (terrestre, mar frio e mar morno). A recomendação também apresenta diretrizes para a realização de interpolações e extrapolações dos parâmetros apresentados nas curvas que objetivam o aumento da assertividade no uso da recomendação (ITU-R, 2001).

A título de ilustração das curvas constantes na Recomendação ITU-R P.1546-1, a Figura 11 apresentada as curvas E(50,10) para sinais na faixa de 600 MHz, considerando um percurso terrestre. Esta curva é utilizada no planejamento de canais de televisão analógica e digital para definir o contorno de interferência de uma estação.

O contorno de cobertura considerado no planejamento do PBTVD foi obtido através das curvas de propagação E(50, 90), 50% das localidades e 90% do tempo. As curvas de propagação E(50, 90) podem ser obtidas através da relação apresentada em (4):

$$E(50, 90) = 2 * E(50, 50) - E(50, 10) \quad (4)$$

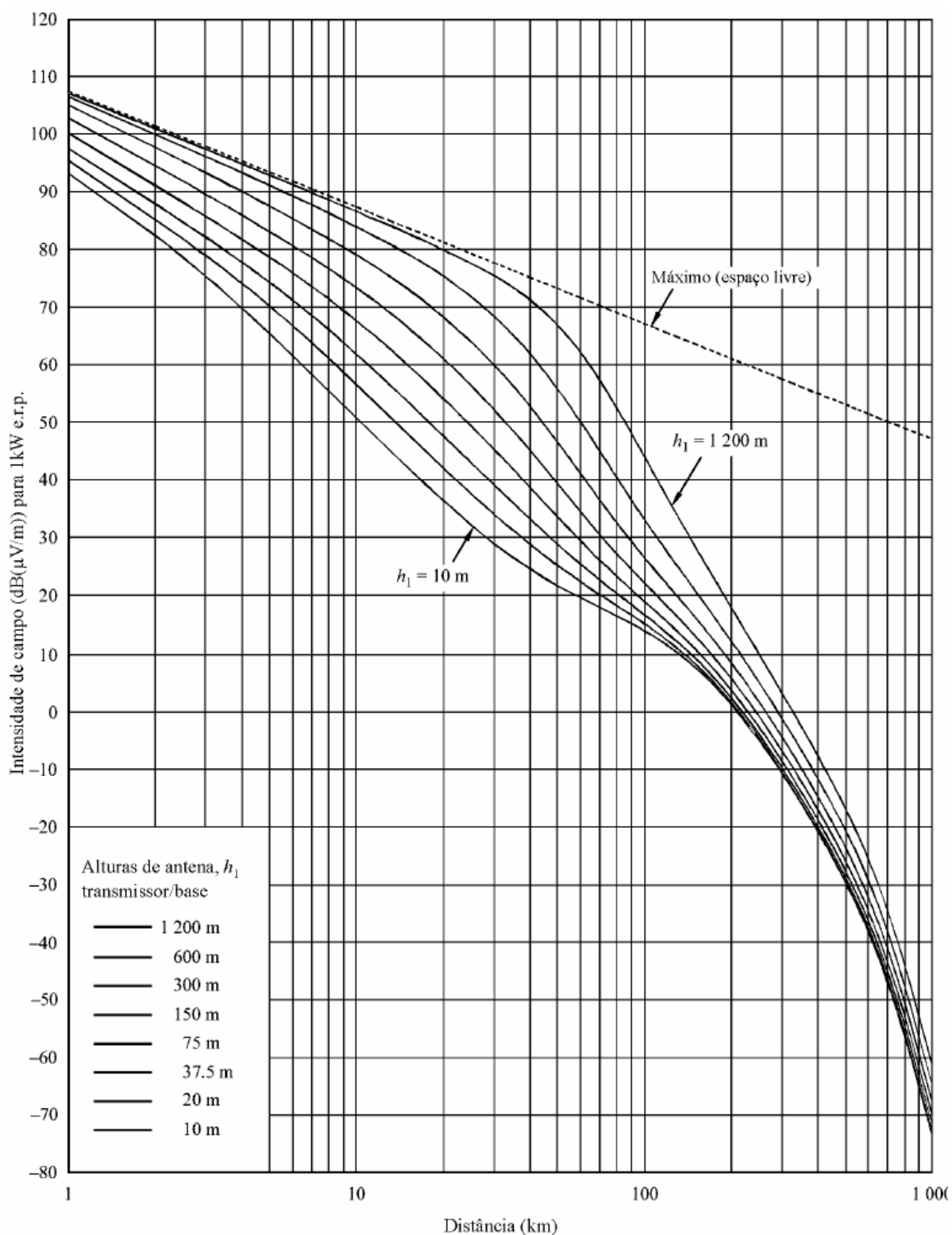


Figura 11. Curva E(50,10) para a faixa de 600MHz em percurso terrestre.

Fonte: ANATEL (2005a).

Conforme apresentado na Tabela 6, o nível de sinal considerado que determina o contorno de cobertura é de 43 dB μ V/m para VHF alto (canais 7 a 13)

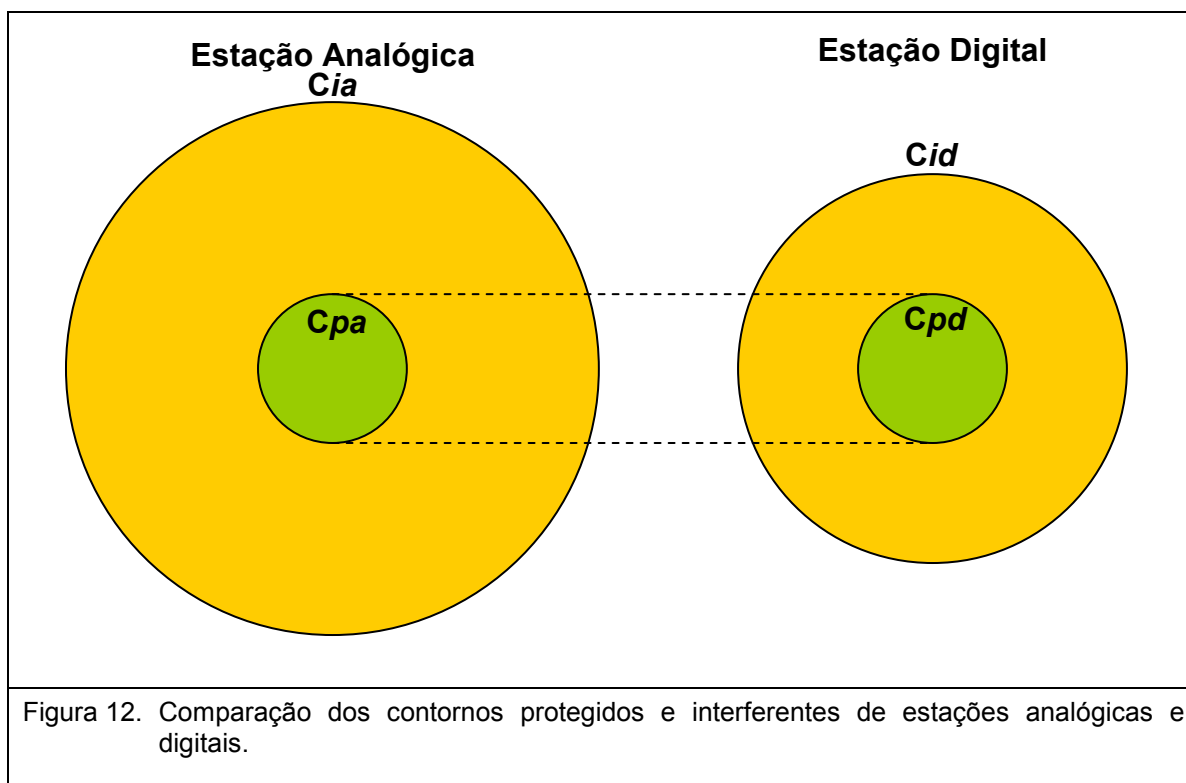
e 51 dB μ V/m para UHF (canais 14 a 69). Os canais de VHF baixo (canais 2 a 6) não foram utilizados porque não se sabia na época do planejamento qual seria a robustez do sistema a ser adotado no Brasil em relação ao ruído impulsivo. (PESSOA et al, 2003, p.28).

Tabela 6. Intensidade de campo do Contorno Protegido para canais digitais.

Faixa de Frequência	VHF	UHF
Campo em dB μ V/m	43	51

Fonte: ANATEL (2005a).

Conforme pode-se verificar pela Figura 12, comparando-se o contorno protegido e interferente de uma estação analógica (C_{pa} e C_{ia}) com o contorno protegido e interferente de uma estação digital (C_{pd} e C_{id}), verifica-se que a estação digital possui uma maior eficiência de espectro que a estação analógica pois para uma mesma área de contorno protegido das duas estações, a estação analógica apresenta uma área contorno interferente maior que a estação digital. Esta característica se fundamenta na maior eficiência do sistema digital que proporciona a mesma cobertura que o sistema analógico com uma potência ERP 20 vezes menor. .



As relações de proteção, necessárias ao planejamento de canais são apresentadas na Tabela 7, onde N é o número do canal interferente e D/U é a relação entre o canal desejado e o canal que potencialmente estaria provocando uma interferência. Pode-se verificar que os canais digitais suportam um nível de interferência maior quando comparados aos canais analógicos.

Tabela 7. Relações de proteção para estudo de canais digitais em VHF e UHF.

Canal Interferente	Relação D/U (dB) (Canal desejado)			
	Analógico sobre Analógico	Digital sobre Analógico	Analógico sobre Digital	Digital Sobre Digital
N-1	-6	-11	-26	-24
N	28 (com decalagem)	34	7	19
	45 (sem decalagem)			
N+1	-12	-11	-26	-24
N-8 e N+8	-12	-25		
N-7 e N+7	-6	-24		
N+14	-6	-24		
N+15	-3	-22		

Fonte: ANATEL (2005a).

Quando os canais estiverem co-localizados, as relações de proteção entre o canal proposto e o canal existente são apresentadas na Tabela 8. Ao analisar esta tabela, verifica-se que existe uma maior tolerância a interferências quando se envolve canais analógicos em sistemas com antenas de transmissão co-localizadas. Dois sistemas de transmissão são considerados co-localizados quando suas antenas estão afastadas em até 2 quilômetros (ANATEL, 2005a).

Baseado nos níveis de sinal necessários ao bom funcionamento do sistema e considerando relações de proteção que devem ser respeitadas, os valores de intensidade de campo interferente nas faixas de VHF e UHF são apresentados na Tabela 9.

Tabela 8. Relações de proteção para canais co-localizados em VHF e UHF.

	Relação D/U (dB) (Canal desejado)		
	Digital sobre Analógico	Analógico sobre Digital	Digital Sobre Digital
N-1	0	-26	-24
N+1	0	-26	-24
N-8 e N+8	-10		
N-7 e N+7	-10		
N+14	-10		
N+15	-8		

Fonte: ANATEL (2005a).

Tabela 9. Valores de intensidade de Campo Interferente para VHF e UHF.

Faixa	Digital sobre Analógico						Analógico sobre Digital		Digital sobre Digital	
	Co-canal	Canal Adj.	Osc. Local	Freq. Imag. Áudio	Freq. Imag. Vídeo	Bat. de FI	Co-canal	Canal Adj.	Co-canal	Canal Adj.
VHF Campo em dBμV/m	30	75	-	-	-	-	36	69	24	67
UHF Campo em dBμV/m	36	81	94	94	92	95	44	77	32	75

Fonte: ANATEL (2005a).

4.2 Estudo de Viabilidade Técnica de Canal Digital

Os anexos da Resolução nº 398, de 7 de abril de 2005, dispõe sobre os critérios técnicos para estudos envolvendo canais digitais. Anexo à esta resolução encontram-se as informações para que sejam elaborados projetos de viabilidade de inclusão e alteração nos canais constantes no PBTVD (ANATEL, 2005a).

Para fins de planejamento, deverão ser considerados todos os canais dos planos básicos de TV, RTV, TVA. Para este trabalho não serão considerados os canais dos planos básicos de TVD, tampouco os canais analógicos vagos.

No planejamento do atual PBTVD, realizado pelo CPqD, foi feito utilizando-se inicialmente o método ponto-área e ponto-a-ponto com resolução de relevo de 500m e posteriormente foram feitos planejamentos com resolução de relevo de 30m. Onde não existe congestionamento de espectro pode-se utilizar o modelo ponto-área, mas em regiões de alta densidade espectral, onde há a necessidade de uma precisão maior na determinação dos campos interferentes e de cobertura, utiliza-se o método ponto-a-ponto. (PESSOA et al, 2003).

4.2.1 Método Ponto-Área

De acordo com a Resolução nº 398, o método de planejamento para análise de viabilidade de inclusão ou alteração de canal deve seguir as diretrizes constantes na Recomendação ITU-R P.1546-1. O sinal desejado é obtido através das curvas E(50,90) e o sinal interferente é obtido através das curvas E(50,10). Os fatores de atenuação rugosidade e “*tca*” (*Terrain Clearance Angle*) podem ser utilizados nos cálculos de análise de viabilidade. O “*tca*” aumenta a precisão da análise porque levam em consideração obstáculos próximos à antena de recepção. ANATEL (2005a).

A ANATEL disponibiliza em seu *site* uma ferramenta chamada SIGAnatel para que sejam feitos cálculos de viabilidade de estações analógicas e digitais. Esta ferramenta traça os contornos protegidos e interferentes teóricos utilizando como base a recomendação ITU-R P.1546-1. Como resultado o software fornece mapas com os contornos das estações em estudo, fornece uma lista de estações que tornam a inclusão em estudo inviável, fornece o perfil do terreno com e sem curvatura da terra, calcula distâncias entre pontos e fornece as intensidades de campo de forma gráfica para análise. O principal diferencial deste software reside no fato de que ele é atualizado constantemente pela ANATEL com os dados atualizados sobre estações viabilizadas nos planos básicos. A ferramenta também fornece, de maneira simples, os dados técnicos referentes às estações que tem alguma restrição sobre o canal que se deseja viabilizar. Como restrição, a ferramenta não apresenta os campos de cobertura e interferentes e também não permite a customização da base dos planos básicos.

Para exemplificar o resultado de uma simulação da ferramenta SIGAnatel, a Figura 13 apresenta o estudo de viabilidade de um canal 13 digital com uma potência de 80 W ERP em Santa Bárbara D'Oeste. A figura apresenta o contorno protegido e interferente da estação que ocupa o canal 13 analógico com uma potência de 200 KW ERP em São Paulo e o contorno protegido e interferente de uma estação proposta em Santa Bárbara D'Oeste que operaria no canal 13 digital. Conforme demonstrado pela figura, utilizando-se o método ponto-área, a estação proposta se demonstra inviável, pois o contorno interferente da estação em São Paulo atinge o contorno protegido da estação em Santa Bárbara D'Oeste.

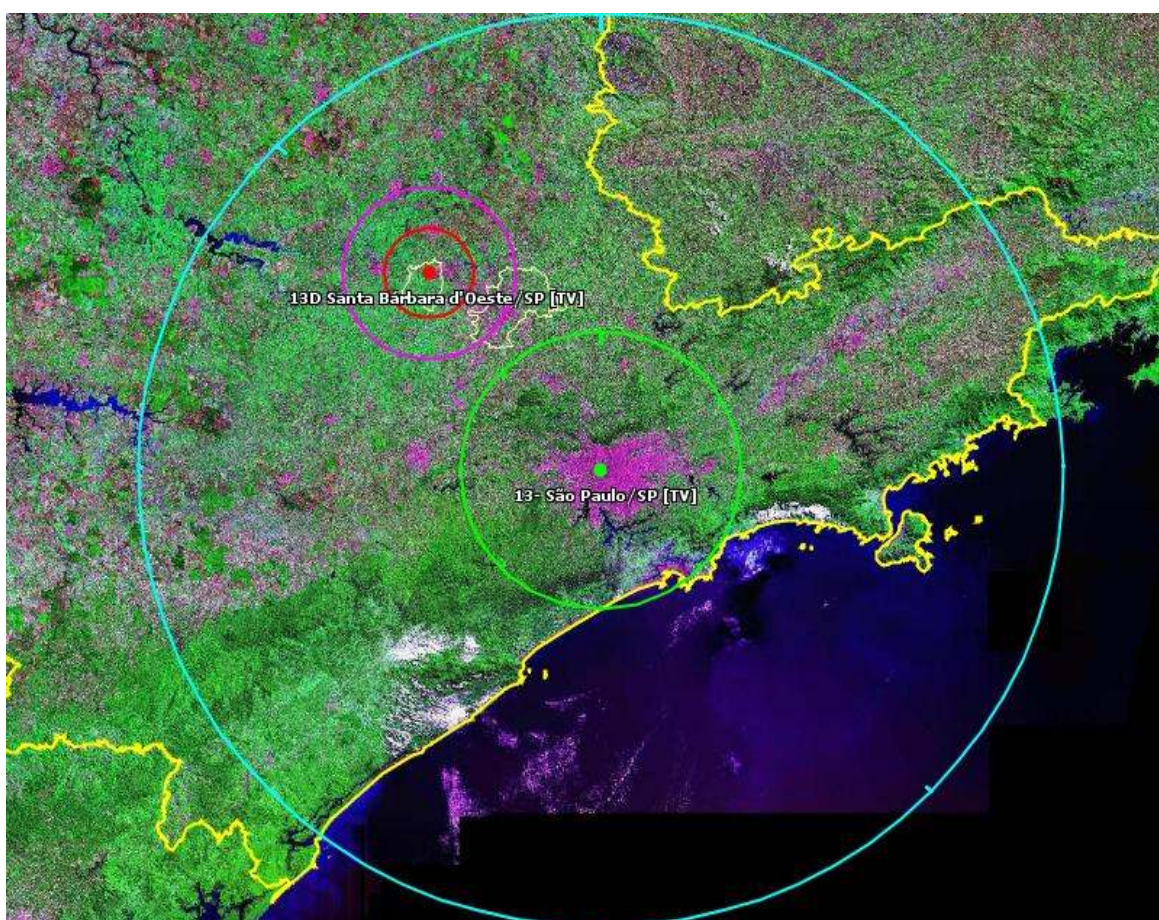


Figura 13. Apresentação dos contornos protegidos e interferentes de duas estações na ferramenta SIGAnatel.

4.2.2 Método Ponto-a-Ponto

Caso a canal proposto resulte em inviabilidade após a utilização do método ponto-área, os valores de intensidade de campo interferente podem ser

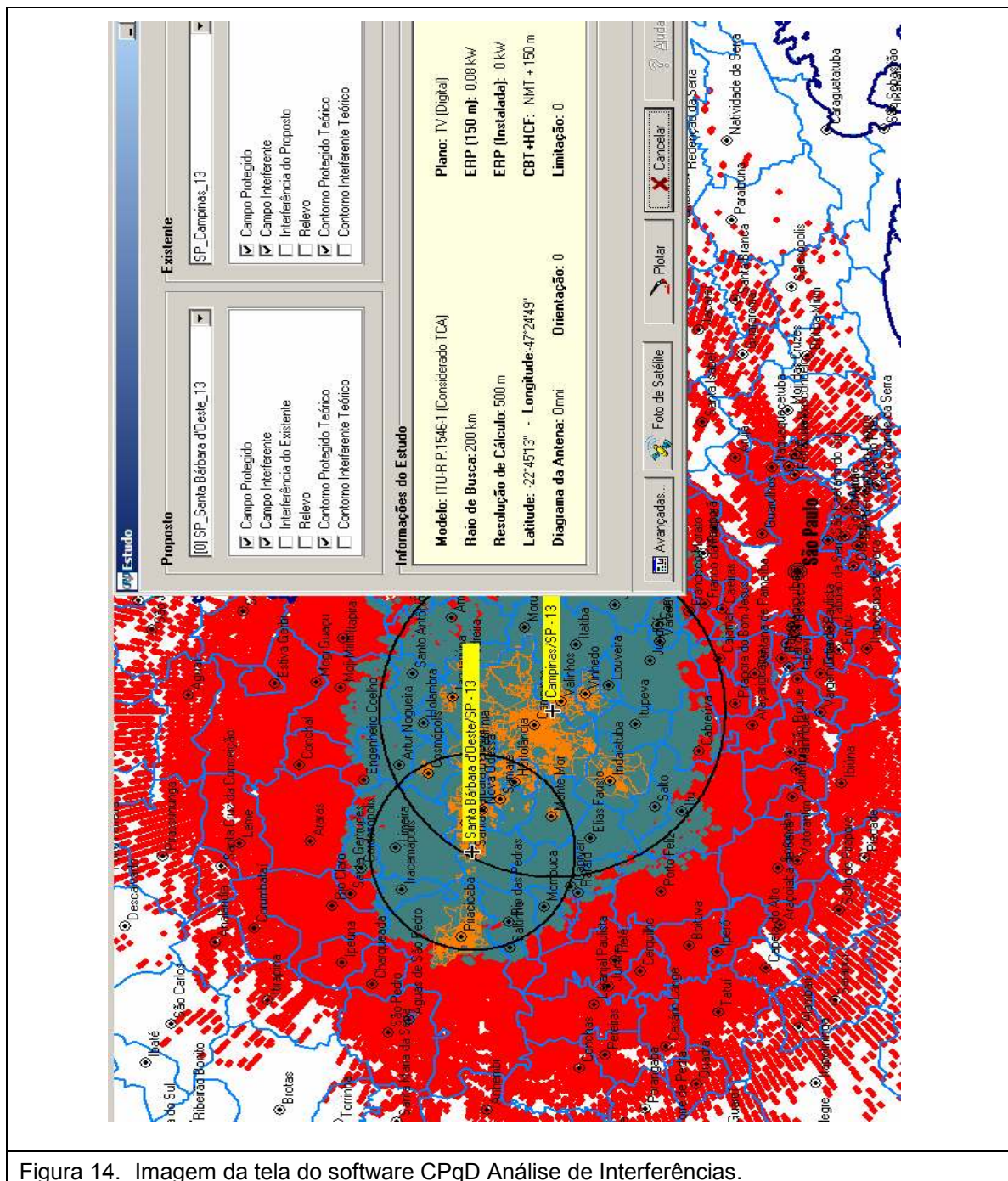
determinados pelo método ponto-a-ponto. Neste método, uma radial principal e pelo menos duas radiais secundárias são traçadas a partir do local da estação que se quer incluir até o contorno protegido da estação que inviabiliza a inclusão. Após traçadas as radiais, verifica-se então se o nível de sinal que chega ao contorno protegido de uma estação é suficiente alto para inviabilizar a inclusão de outra estação. Os cálculos das intensidades de campo também podem ser feitos utilizando-se a ferramenta disponibilizada pela ANATEL.

Para a análise de viabilidade de canais propostos neste trabalho, utilizou-se a ferramenta CPqD Análise de Interferências Versão 1.1.0.0. A principal motivação para uso desta ferramenta é a possibilidade de plotagem visual do método ponto-a-ponto de todas as radiais entorno da estação que se deseja viabilizar, com a possibilidade de apresentação visual das regiões com violação das relações de proteção contra interferências. Outra motivação para o uso da ferramenta é a possibilidade de alteração do plano básico, o que flexibiliza a análise de viabilidade. Uma das telas deste *software* é apresentada na Figura 14.

Dentre várias outras possibilidades, a referida ferramenta permite:

- Realização de estudos com o modelo ITU-R P.1546-1 ou com o modelo ponto-a-ponto;
- Parametrização do raio de busca de estações potencialmente interferentes ou interferidas;
- Parametrização da resolução de cálculo em que serão feitas as análises;
- Escolha do tipo de plano (estudos para TV analógica ou digital);
- Parametrização da potência ERP com HNMT padrão de 150m, ou com a ERP instalada atribuindo valores para a HBT e para a HCI;
- Escolha de orientação e diagramas de irradiação das antenas de transmissão;
- Escolha dos parâmetros de limitação de transmissão das estações;

- Apresentação gráfica do campo protegido, campo interferente, campos em que foram violadas as relações de proteção das estações, relevo, contorno protegido teórico e contorno interferente teórico, tanto do canal proposto quanto dos canais existentes relevantes ao estudo.



5 PLANEJAMENTO DE REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA NA MICRORREGIÃO DE CAMPINAS

Este capítulo trata do levantamento dos dados dos planos básicos (PBTv, PBRTv e PBTvD) para que seja feita a análise da possibilidade de reuso de frequências para configuração de redes de frequência única tendo como consequência uma otimização de espectro.

O que se propõe neste trabalho é verificar o impacto em relação à otimização de espectro no caso de cada emissora utilizar somente um canal por microrregião. Para tanto, será feito um estudo de caso de utilização desta diretriz na microrregião de Campinas.

De acordo com Pessoa et al (2003), o reuso de canais foi uma das premissas utilizadas para viabilização de canais no plano básico de TV Digital:

Caso não haja canais viáveis nas faixas preferenciais para o atendimento de grupos de localidades vizinhas, prever a possibilidade de opção entre duas soluções: o reuso de frequência, caso o padrão de TV Digital adotado tenha capacidade plena para tal, e a viabilização de canais digitais utilizando os canais da faixa de 60 a 69, quando necessário, caso o padrão de TV Digital adotado não tenha capacidade plena para o reuso de frequência. (PESSOA et al, 2003, p.9).

Desta forma, localidades onde lançou-se mão do recurso de reuso de canais indicam regiões que já se encontram com o espectro saturado. De acordo com os anexos do PBTvD, na microrregião de Campinas houve reuso em Santa Bárbara D'Oeste/Limeira (5 canais) e em Campinas/Valinhos (5 canais) o que indica que esta microrregião poderia se beneficiar de técnicas de otimização de espectro, utilizando de redes de frequência única.

De acordo com Pessoa et al (2003), a faixa preferencial para inclusão dos canais digitais é a faixa de UHF e, quando não fosse possível o uso desta faixa, poder-se-ia utilizar a faixa de VHF alto e por último a faixa VHF baixo. Pode-se verificar no PBTvD da microrregião de Campinas que foram viabilizados

canais em VHF alto, o que também evidencia a saturação de espectro nesta região.

A microrregião de Campinas, localizada no estado de São Paulo, é composta por 16 municípios: Americana, Campinas, Cosmópolis, Elias Fausto, Holambra, Hortolândia, Indaiatuba, Jaguariúna, Monte Mor, Nova Odessa, Paulínia, Pedreira, Santa Bárbara d'Oeste, Sumaré, Valinhos e Vinhedo. A população desta microrregião é de 2.530.029 habitantes, com área total de 3.082,952 km² e com um PIB/per capita de R\$ 18.275,69 (IBGE, 2003). Todas estas informações indicam a importância desta microrregião no cenário brasileiro cujo mapa é apresentado na Figura 15.



Figura 15. Mapa da microrregião de Campinas.

5.1 Os Planos Básicos da Microrregião de Campinas

O primeiro critério de seleção de localidades onde seriam viabilizados os canais digitais foi selecionar os municípios onde existam estações geradoras

ativas. Por este critério, os municípios de Campinas e Americana foram contemplados no PBTVD.

O segundo critério de seleção de localidades onde seriam viabilizados os canais digitais foi selecionar os municípios que tinham pelo menos 100 mil habitantes atendidos por retransmissoras ativas. Por este critério, os municípios de Hortolândia, Indaiatuba, Santa Bárbara D'Oeste e Sumaré foram contemplados no PBTVD.

O terceiro critério foi selecionar municípios atendidos por estação localizada em ponto de transmissão próximo ao adotado por canais considerados nas premissas anteriores. Por este critério, o município de Valinhos foi contemplado no PBTVD.

De acordo com o Sistema de Controle de Radiodifusão (SRD), disponibilizado pela ANATEL em sua página na Internet, é possível verificar as características técnicas e administrativas das emissoras que constam nos planos básicos (ANATEL, 2008). A Tabela 10 apresenta a quantidade de canais analógicos e digitais existentes nos planos básicos das localidades da microrregião de Campinas.

De acordo com a Tabela 10, apesar de existirem retransmissoras ativas em Holambra, Jaguariúna, Paulínia, Pedreira, e Vinhedo, estas localidades não foram contempladas no PBTVD porque não se encaixaram em nenhum dos critérios de seleção utilizados para construção do PBTVD.

Os municípios de Cosmópolis, Elias Fausto, Monte Mor e Nova Odessa não tinham nenhum canal no PBTVD ou no PBRTV. Portanto, estes municípios também não foram contemplados no PBTVD.

Tabela 10. Quantidade de canais nos Planos Básicos da microrregião de Campinas.

Localidade	PBTV/ PBRTV	PBTVD
Americana	2	2
Campinas	11	11
Cosmópolis		
Elias Fausto		
Holambra	2	-
Hortolândia	1	1
Indaiatuba	1	1
Jaguariuna	1	-
Monte Mor		
Nova Odessa		
Paulínia	1	-
Pedreira	2	-
Santa Bárbara d'Oeste	6	6
Sumaré	1	1
Valinhos	6	6
Vinhedo	1	-
Total	35	28

Fonte: ANATEL (2008).

A Tabela 11 apresenta a relação de localidades da microrregião de Campinas com as respectivas emissoras que foram contempladas no PBTVD. Os nomes das geradoras serão apresentados com a grafia apresentada no sistema SRD da ANATEL.

A Tabela 12 apresenta as quantidades de canais digitais que serão ocupados por cada uma das emissoras contempladas no PBTVD da microrregião de Campinas.

Verifica-se que se cada uma das 15 emissoras que transmitirão e/ou retransmitirão seus sinais digitais na microrregião de Campinas ocupassem um canal, seriam necessários 28 canais digitais. No limite, ao se utilizar redes de frequência única para acomodar todas as emissoras na microrregião de Campinas, as 15 emissoras poderiam ocupar somente 15 canais diferentes.

Tabela 11. Emissoras contempladas com canal digital no PBTVD

Localidade	Canal	Plano Básico	Geradora (SRD)
Americana	46+	PBRTV	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A
	52+	PBTV	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA
Campinas	8-	PBRTV	REDE FAMÍLIA DE COMUNICAÇÃO LTDA
	10+E	PBRTV	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA
	2	PBRTV	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A
	4-	PBTV	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA
	6-	PBTV	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA
	12+	PBTV	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A
	18	PBTV	FUNDAÇÃO CÁSPER LÍBERO
	23	PBRTV	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA
	32-	PBRTV	TELEVISÃO INDEPENDENTE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO LTDA
	45-	PBRTV	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA
	53-E	PBTV	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM
Hortolândia	7+	PBRTV	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA
Indaiatuba	28+	PBRTV	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A
Santa Bárbara D'oeste	14-	PBRTV	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A
	22-	PBRTV	TV ÔMEGA LTDA
	49	PBRTV	RÁDIO E TELEVISÃO BANDEIRANTES LTDA
	40	PBRTV	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A
	43	PBRTV	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA
	45	PBRTV	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A.
Sumaré	57-	PBRTV	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM
Valinhos	15	PBRTV	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA
	21	PBRTV	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA
	34	PBRTV	TELEVISÃO CACHOEIRA DO SUL LTDA
	43-	PBRTV	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA
	48	PBRTV	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A
	51+	PBRTV	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A.

Fonte: ANATEL (2008).

Tabela 12. Quantidade de canais digitais utilizados por geradoras na microrregião de Campinas.

Geradora	QtdeCanais
CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA	2
EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	3
FUNDAÇÃO CÁSPER LÍBERO	1
FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	3
FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM	2
RÁDIO E TELEVISÃO BANDEIRANTES LTDA	1
RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A	3
RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA	2
RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	3
REDE FAMÍLIA DE COMUNICAÇÃO LTDA	1
TELEVISÃO CACHOEIRA DO SUL LTDA	1
TELEVISÃO INDEPENDENTE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO LTDA	1
TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA	2
TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA	2
TV ÔMEGA LTDA	1
Total	28

Fonte: ANATEL (2008).

A Tabela 13 apresenta a potência de cada canal analógico para as emissoras que foram contempladas no PBTVD, bem como a potência ERP equivalente para pareamento de um canal digital. O valor da potência ERP equivalente foi conseguida subtraindo 13 dB da potência do canal analógico para a mesma faixa de frequência de pareamento. (PESSOA et al, 2003, p.27).

O PBTVD indica quais os canais e quais as potências que deverão ser utilizadas pelas emissoras, mas não indica qual emissora ocupará qual canal. As potências constantes no PBTVD para a microrregião de Campinas são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 13. Potência ERP dos canais analógicos para pareamento com os canais digitais.

Localidade	Geradora	Canal Analógico	ERP (dBk)	ERP (dBk) equivalente digital
Americana	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	46+	0	-13
	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA	52+	0	-13
Campinas	REDE FAMÍLIA DE COMUNICAÇÃO LTDA	8-	13	0
	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	12+	20	7
	FUNDAÇÃO CÁSPER LÍBERO	18	15	2
	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA	4-	20	7
	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA	23	15	2
	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA	45-	13	0
	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA	6-	17	4
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A	2	20	7
	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	10+	19	6
	TELEVISÃO INDEPENDENTE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO LTDA	32-	11	-2
Hortolândia	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM	53	10	-3
Hortolândia	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	7+	0	-13
Indaiatuba	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	28+	0	-13
Santa Bárbara D'Oeste	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	14	-7	-20
	TV ÔMEGA LTDA	22-	-10	-23
	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	40	0	-13
	RÁDIO E TELEVISÃO BANDEIRANTES LTDA	49	-7	-20
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A	45	-12	-25
	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	43	-11	-24
Sumaré	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM	57-	0	-13
Valinhos	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	48	2	-11
	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA	15	19	6
	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA	21	15	2
	TELEVISÃO CACHOEIRA DO SUL LTDA	34	6	-7
	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA	43	9	-4
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A.	51+	10	-3

Fonte: ANATEL (2008).

Tabela 14. Canal/Potência dos canais constantes no PBTVD para a microrregião de Campinas.

Município	Canal	ERP Max (kW)	ERP Max (dBk)	Classe
Americana	25, 27	0,080	-11	C
Campinas	9, 13, 19	1,580	2	A
Campinas	16, 24, 29, 42, 50, 59	8,000	9	A
Campinas	30, 54	0,800	-1	B
Hortolândia	17	0,080	-11	C
Indaiatuba	40	0,080	-11	C
Santa Bárbara D'Oeste	15, 21, 38, 44, 50, 59	0,080	-11	C
Sumaré	51	0,080	-11	C
Valinhos	13	0,158	2	A
Valinhos	16, 29, 39, 42, 50	0,800	-1	B

Fonte: ANATEL (2008).

Com a premissa de planejamento do PBTVD onde a emissora receberá um canal digital viabilizado com “replicação das coberturas das estações analógicas” (PESSOA et al, 2003, p.8), pode-se relacionar a Tabela 13 e a Tabela 14, para inferir através da comparação das potências ERP dos canais digitais e as potências ERP equivalentes dos canais analógicos, quais serão os canais atribuídos às emissoras. Em alguns casos, existe mais de uma possibilidade de alocação de um canal para uma emissora, dado que existem emissoras de mesma classe em uma mesma localidade. Estas possibilidades foram utilizadas de forma a facilitar a formação de redes de frequência única.

5.2 Estudo de Otimização de Espectro

Como se deseja otimizar o espectro através do reuso de canais dentro de uma microrregião onde já foram viabilizados canais digitais, faz-se necessário um estudo, caso a caso, da possibilidade de uso destes canais na configuração de redes de frequência única. Esta estratégia facilita a implantação da rede uma vez que a inclusão de novos canais em regiões onde já há indícios de saturação de espectro se demonstra tecnicamente mais trabalhosa.

De acordo com ANATEL (2008), as geradoras FUNDAÇÃO CÁSPER LÍBERO, RÁDIO E TELEVISÃO BANDEIRANTES LTDA, REDE FAMÍLIA DE COMUNICAÇÃO LTDA, TELEVISÃO CACHOEIRA DO SUL LTDA, TELEVISÃO INDEPENDENTE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO LTDA e TV ÔMEGA LTDA utilizam somente um canal no PBTVD e, portanto, não serão foco de planejamento de redes de frequência única.

Após sucessivas simulações que objetivavam conseguir a melhor alternativa para a configuração de redes de frequência única chegou-se ao cenário apresentado na Tabela 15. A coluna “Canal Digital”, é uma possibilidade de designação do canal digital para as emissoras caso não houvesse interesse em configurar as redes de frequência única. A coluna “Mudança para SFN” é a re-designação de alguns canais para que eles configurem redes de frequência única.

Com as indicações de reuso do próprio PBTVD, adicionada às mudanças descritas na Tabela 15, teríamos o seguinte cenário:

- Reuso do canal 13 nos municípios de Campinas, Santa Bárbara d’Oeste e Valinhos para a EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A.
- Reuso do canal 15 nos municípios de Santa Bárbara d’Oeste, Americana e Indaiatuba para a RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A.
- Reuso do canal 16 nos municípios de Campinas e Valinhos para a RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA.
- Reuso do canal 24 nos municípios de Campinas e Americana para a TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA.
- Reuso do canal 42 nos municípios de Campinas e Valinhos para a TELEVISÃO PRINCESA D’OESTE DE CAMPINAS LTDA.
- Reuso do canal 50 nos municípios de Campinas, Santa Bárbara d’Oeste e Valinhos para a RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A.

- Reuso do canal 54 nos municípios de Campinas e Sumaré para a FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM.
- Reuso do canal 59 nos municípios de Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e Hortolândia para a FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA.

Tabela 15. Atribuição de canais para otimização de espectro.

Município	Geradora	Canal Digital	Mudança para SFN
Americana	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	25	15
	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA	27	24
Campinas	REDE FAMÍLIA DE COMUNICAÇÃO LTDA	9	
	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	13	
	FUNDAÇÃO CÁSPER LÍBERO	19	
	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA	16	
	TV CARIOBA COMUNICAÇÕES LTDA	24	
	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA	29	
	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA	42	
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A	50	
	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	59	
	TELEVISÃO INDEPENDENTE DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO LTDA	30	
	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM	54	
Hortolândia	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	17	59
Indaiatuba	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	40	15
Santa Bárbara D'Oeste	RADIOBRÁS EMPRESA BRASILEIRA DE COMUNICAÇÃO S/A	15	
	TV ÔMEGA LTDA	25	
	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	38	13
	RÁDIO E TELEVISÃO BANDEIRANTES LTDA	44	
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A	50	
	FUNDAÇÃO PADRE ANCHIETA	59	
Sumaré	FUNDAÇÃO SÉCULO VINTE E UM	51	54
Valinhos	EMPRESA PAULISTA DE TELEVISÃO S/A	13	
	RÁDIO E TV BANDEIRANTES DE CAMPINAS LTDA	16	
	CANAL BRASILEIRO DA INFORMAÇÃO CBI LTDA	29	
	TELEVISÃO CACHOEIRA DO SUL LTDA	39	
	TELEVISÃO PRINCESA D'OESTE DE CAMPINAS LTDA	42	
	RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A.	50	

5.3 Simulações de Campos de Cobertura de RF

Para análise das intensidades de campo das estações transmissoras utilizou-se o software CPqD Análise de Interferências – Versão 1.0.0.0, desenvolvido pelo Centro de pesquisa do CPqD. O software foi utilizado levando-se em consideração o método ponto-a-ponto, uma resolução de cálculo de 100 metros e uma potência efetiva irradiada (ERP) com a máxima potência permitida para a classe de potência designada para o canal em estudo. Nas figuras a seguir são apresentados os campos e contornos de cobertura das redes que necessitaram de alguma mudança descrita na Tabela 15. A localização dos sites de transmissão digital foram mantidos os mesmos dos locais de transmissão analógica para que não houvesse impacto operacional na implementação da rede proposta. Conforme pode-se verificar pelas figuras que demonstram as coberturas de transmissão, haverá a superposição de campos entre os transmissores que operam no mesmo canal, o que aumenta a diversidade de recepção dos sinais.

A Figura 16 apresenta as coberturas dos transmissores localizados nos municípios de Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e Valinhos operando no canal 13. O PBTVD já apresenta o reuso do canal 13 nos municípios de Campinas e Valinhos. A simulação apresenta a alteração do canal do município de Santa Bárbara d'Oeste para operar no canal 13 com potência ERP de 0,016kW.

A Figura 17 apresenta as coberturas dos transmissores localizados nos municípios de Santa Bárbara d'Oeste, Americana e Indaiatuba operando no canal 15. No PBTVD já existe a alocação do canal 15 no município de Santa Bárbara d'Oeste. A simulação apresenta a alteração do canal dos municípios de Americana e Indaiatuba para operar no canal 15 com potência ERP de 0,08kW.

A Figura 18 apresenta as coberturas dos transmissores localizados nos municípios de Campinas e Americana operando no canal 24. No PBTVD já existe a alocação do canal 24 no município de Campinas. A simulação apresenta a alteração do canal do município de Americana para operar no canal 24 com potência ERP de 0,08kW.

A Figura 19 apresenta as coberturas dos transmissores localizados nos municípios de Campinas e Sumaré operando no canal 54. No PBTVD já existe a alocação do canal 54 no município de Campinas. A simulação apresenta a alteração do canal do município de Sumaré para operar no canal 54 com potência ERP de 0,08kW.

A Figura 20 apresenta as coberturas dos transmissores localizados nos municípios de Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e Hortolândia operando no canal 59. No PBTVD já existe a alocação do canal 59 nos municípios de Campinas e Santa Bárbara d'Oeste. A simulação apresenta a alteração do canal do município de Hortolândia para operar no canal 59 com potência ERP de 0,08kW.

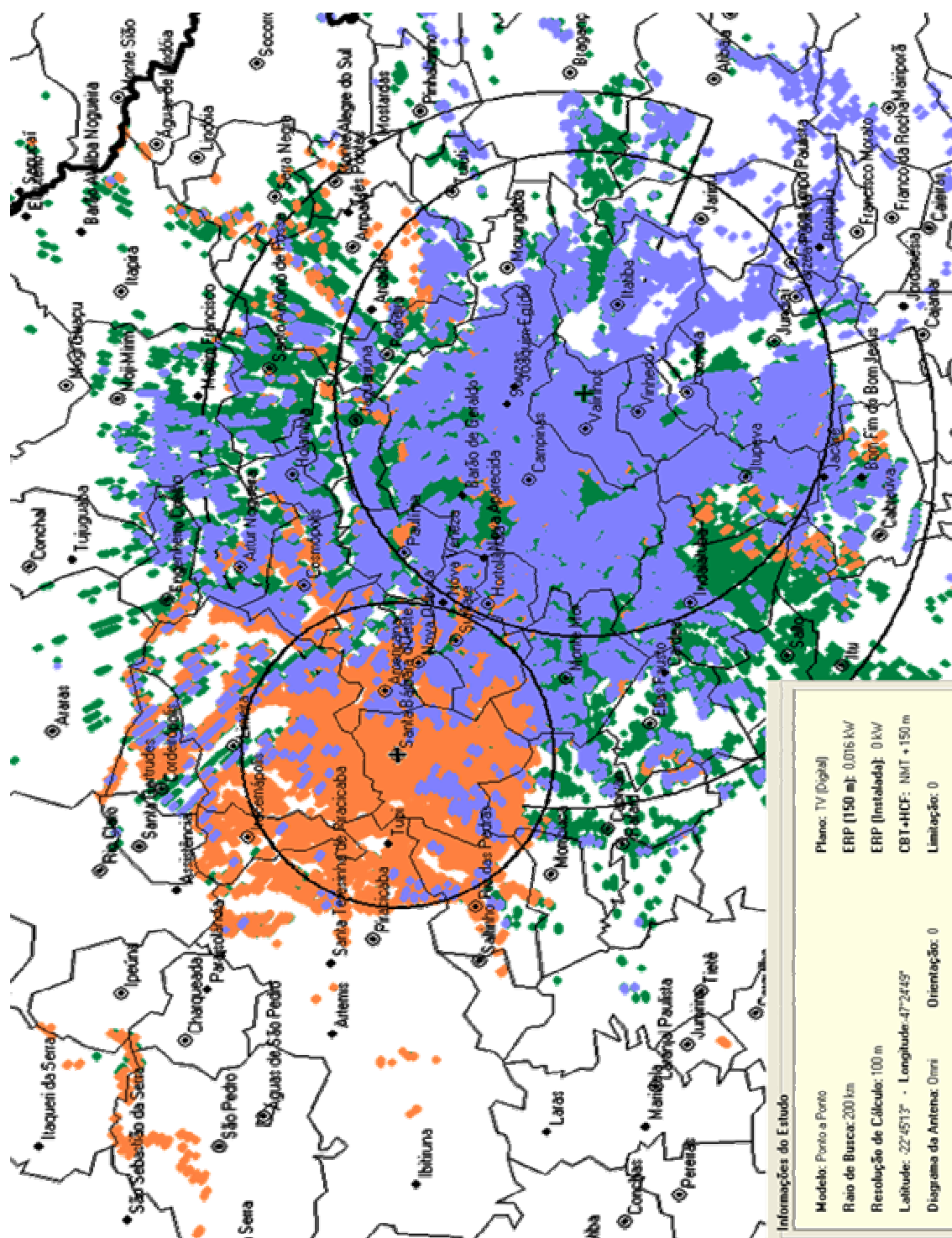


Figura 16. Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 13.

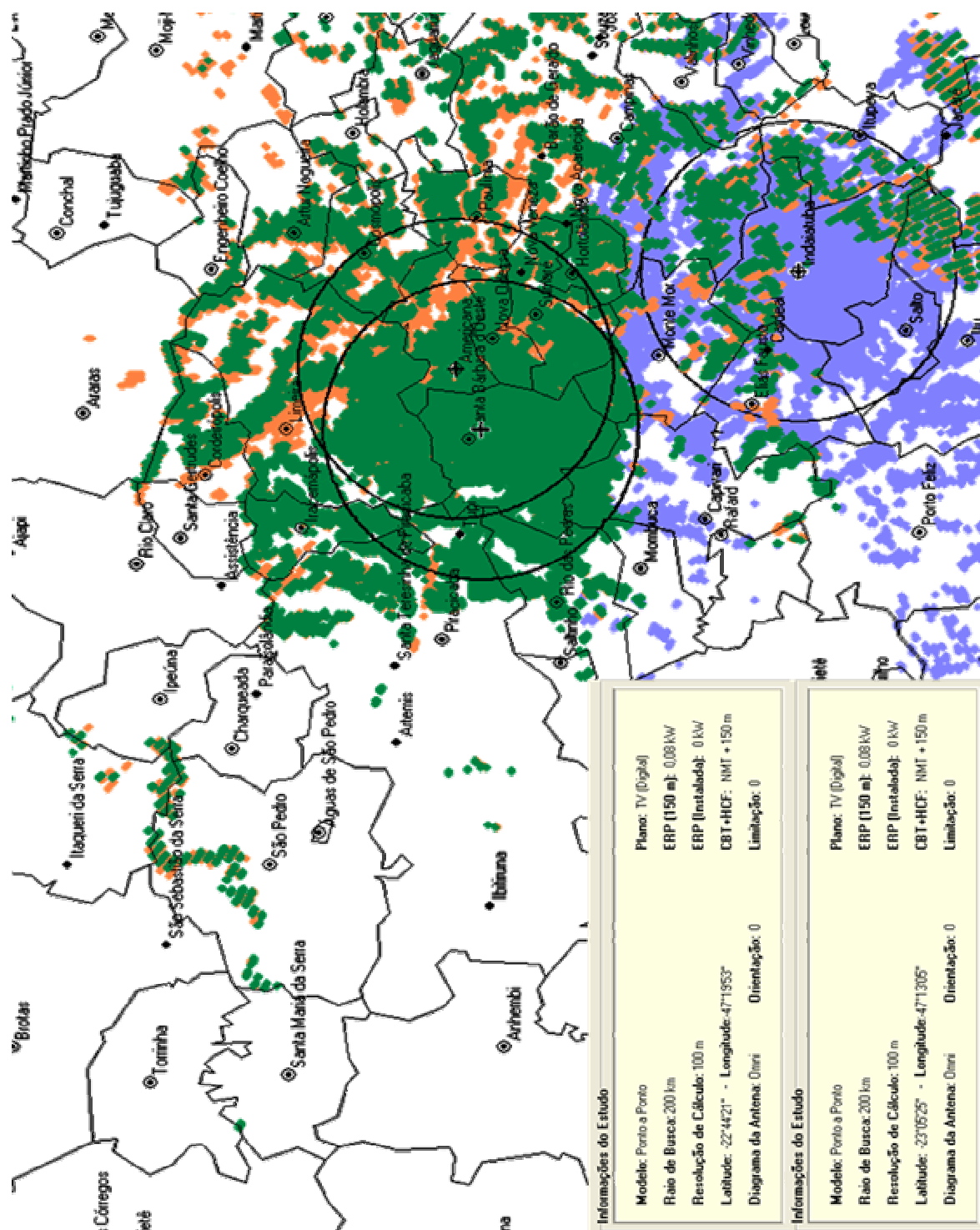


Figura 17. Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 15.

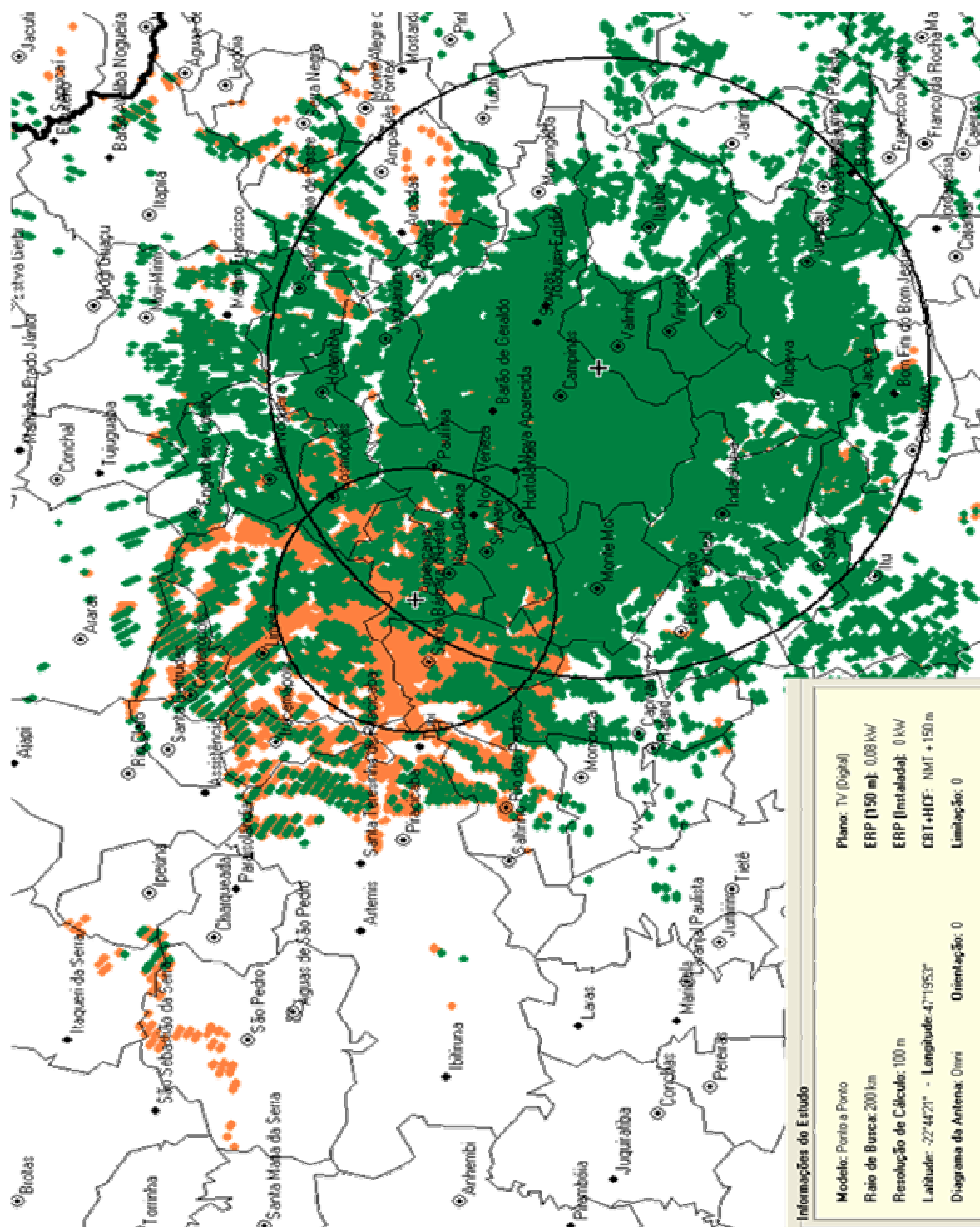


Figura 18. Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 24.

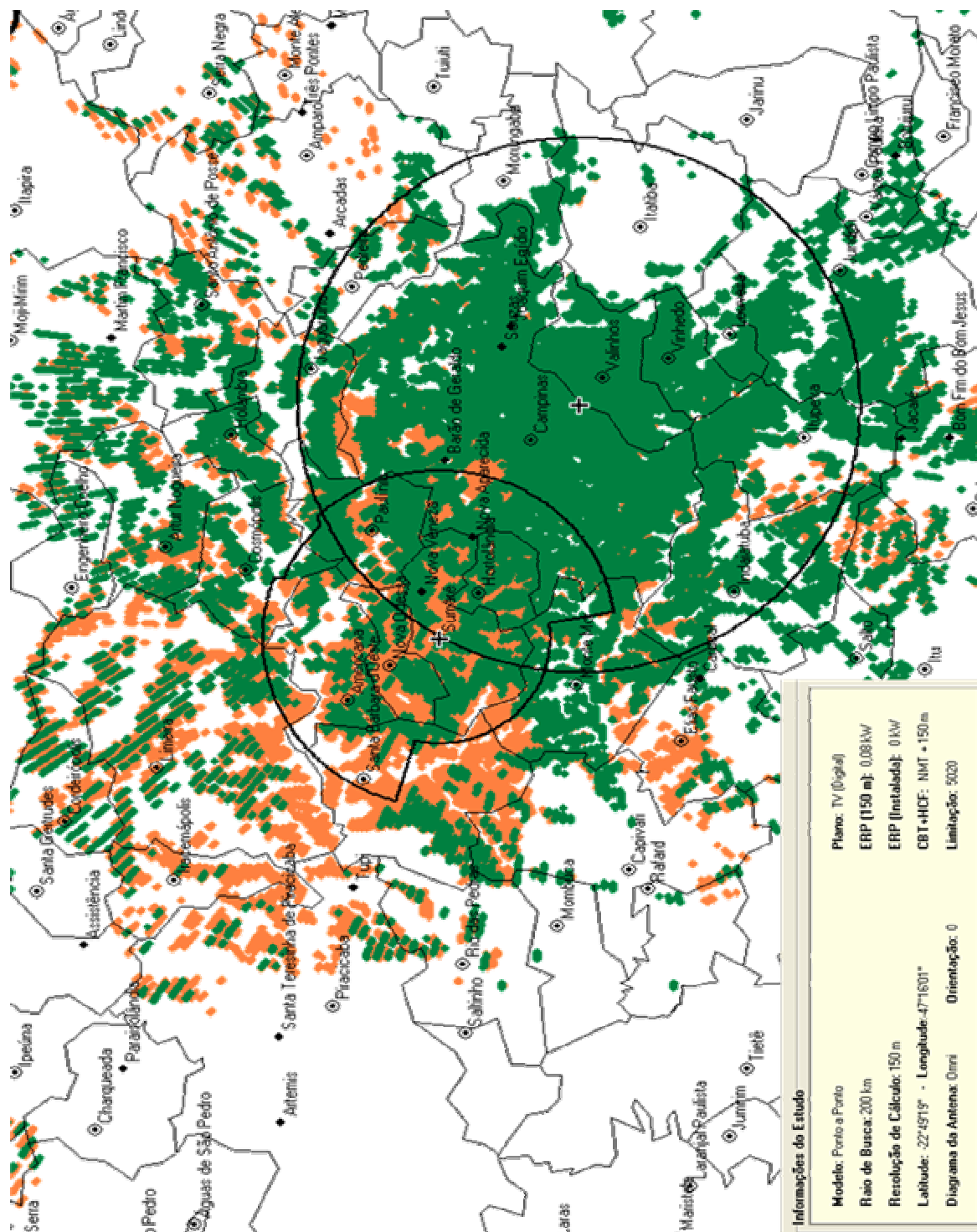


Figura 19. Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 54.

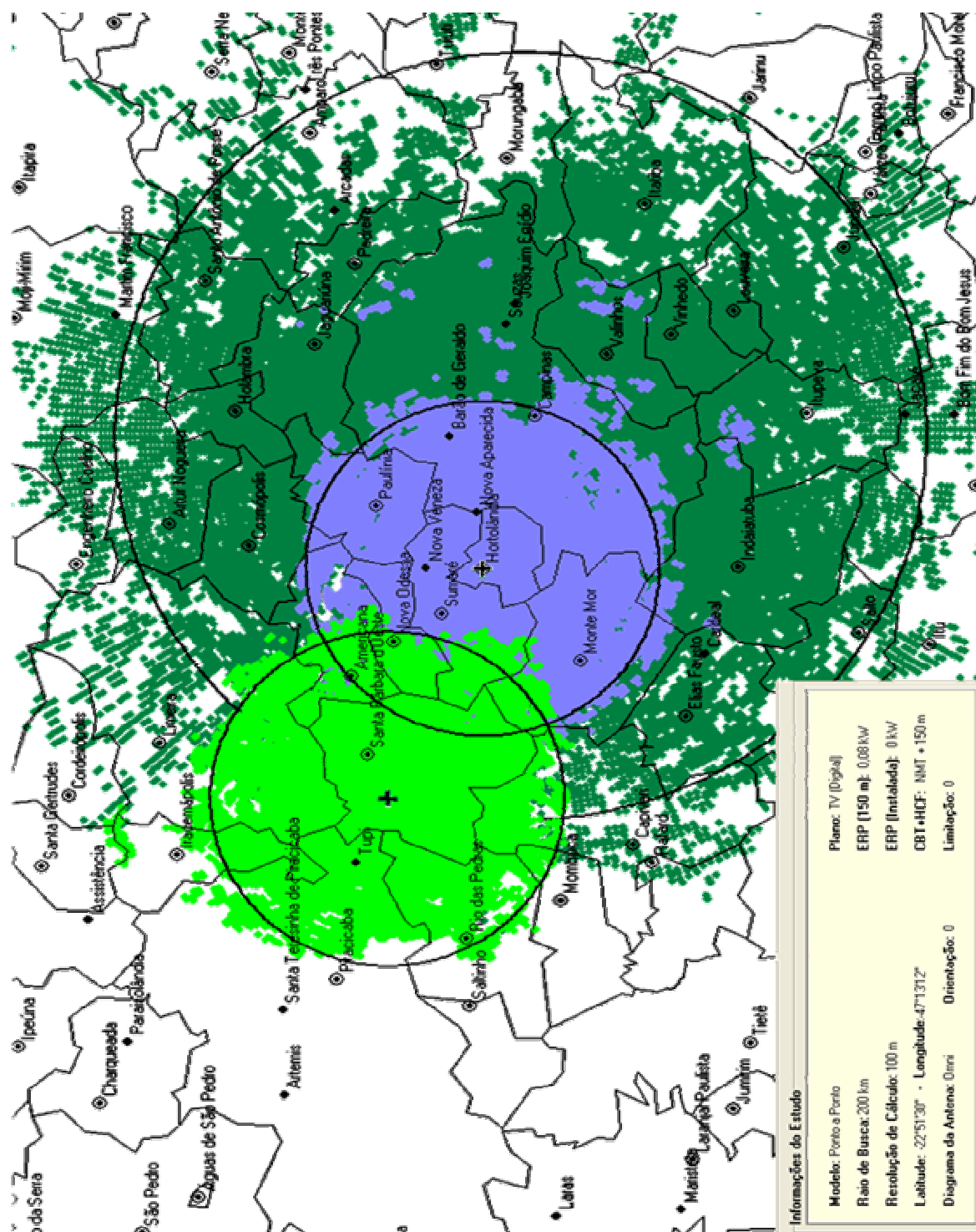


Figura 20. Estudo para configuração de rede de frequência única no canal 59.

As simulações demonstraram a cobertura das estações nos canais que se propõe configurar redes de frequência única. Através das figuras pode-se verificar que diversas regiões receberão os sinais de mais de uma estação que opera na mesma frequência. Dependendo da configuração dos parâmetros de transmissão, principalmente do intervalo de guarda e dos códigos corretores de erro, estas interações podem ser positivas ou negativas à boa recepção do sinal.

5.4 Análise do Atraso do Sinal

Além da viabilidade em relação à não interferência em outros canais que estão previstos nos planos básicos, faz-se necessário uma análise em relação à intensidade e ao atraso que os sinais podem chegar a um receptor que está localizado dentro da microrregião de Campinas. Os atrasos dos sinais devido ao distanciamento entre as estações da microrregião de Campinas são obtidos através da substituição da distância entre os municípios em (1). O cálculo destes atrasos é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16. Atrasos máximos em função das distâncias dos municípios.

Localidade	Distância	Atraso
Campinas – Valinhos	10km	33 μ s
Campinas – Hortolândia	17km	6 μ s
Campinas – Sumaré	23km	77 μ s
Campinas – Americana	33km	110 μ s
Campinas – Santa Bárbara D´Oeste	40km	133 μ s
Santa Bárbara D´Oeste – Americana	9km	30 μ s
Santa Bárbara D´Oeste – Hortolândia	23km	77 μ s
Santa Bárbara D´Oeste – Indaiatuba	42km	140 μ s
Santa Bárbara D´Oeste – Valinhos	49km	163 μ s
Indaiatuba – Americana	41km	137 μ s

A região de eco de 0dB é a região mais crítica em relação a capacidade de recepção em ambientes de multipercursos artificiais. A transmissão, e conseqüentemente a recepção, deve ser parametrizada de forma a garantir que o sinal seja recebido com boa qualidade. Conforme explicado

anteriormente, um dos principais parâmetros a ser ajustado é o intervalo de guarda.

Para que seja possível configurar uma rede de frequência única no canal 13 levando-se em consideração a distância entre as estações de Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e Valinhos, os parâmetros dos equipamentos de transmissão devem ser ajustados de tal forma que o intervalo de guarda do sistema seja maior que $163\mu\text{s}$.

Para que seja possível configurar uma rede de frequência única no canal 15 levando-se em consideração a distância entre as estações de Santa Bárbara d'Oeste, Americana e Indaiatuba, os parâmetros dos equipamentos de transmissão devem ser ajustados de tal forma que o intervalo de guarda do sistema seja maior que $140\mu\text{s}$.

Para que seja possível configurar uma rede de frequência única no canal 24 levando-se em consideração a distância entre as estações de Campinas e Americana, os parâmetros dos equipamentos de transmissão devem ser ajustados de tal forma que o intervalo de guarda do sistema seja maior que $110\mu\text{s}$.

Para que seja possível configurar uma rede de frequência única no canal 54 levando-se em consideração a distância entre as estações de Campinas e Sumaré, os parâmetros dos equipamentos de transmissão devem ser ajustados de tal forma que o intervalo de guarda do sistema seja maior que $77\mu\text{s}$.

Para que seja possível configurar uma rede de frequência única no canal 59 levando-se em consideração a distância entre as estações de Campinas, Santa Bárbara d'Oeste e Hortolândia, os parâmetros dos equipamentos de transmissão devem ser ajustados de tal forma que o intervalo de guarda do sistema seja maior que $133\mu\text{s}$.

De acordo com a Tabela 4 é possível verificar que o sistema de TV Digital adotado no Brasil proporciona o atendimento das necessidades de configuração dos intervalos de guarda para que sejam configuradas as redes de frequência únicas propostas.

6 CONCLUSÃO

Dentro do contexto da Sociedade da Informação em que vivemos é crucial otimizar os recursos naturais para que eles não venham a fazer falta em um futuro próximo.

De forma ampla, os objetivos gerais e específicos propostos neste trabalho foram alcançados. Em especial, o principal objetivo foi alcançado no sentido de evidenciar a necessidade de otimização de espectro e propor uma forma para que isto aconteça no âmbito do planejamento dos canais da TV Digital.

O SBTVD-T proporciona o reuso de canais e a proposta deste trabalho é que o poder público, responsável por zelar por este precioso ativo, estabeleça políticas de planejamento que possam proporcionar a otimização do espectro.

A estratégia proposta de criar redes de frequência única microrregionais para otimizar o uso de canais de TV Digital demonstrou-se viável e altamente atrativa. Houve a redução da necessidade de canais para acomodar as emissoras na microrregião de Campinas de tal forma que cada emissora utilize somente um canal dentro da microrregião.

6.1 Trabalhos Futuros

A estratégia de utilização de redes de frequência única em microrregiões pode ser evoluída e proposições com o foco de aumentar ainda mais o uso eficiente do espectro, tais como o uso de redes de frequência única mais abrangentes podem ser propostas e analisadas em trabalhos futuros.

Aspectos relacionados à comparação da relação custo-benefício relacionados à implantação de redes de frequência única também podem ser foco de novos estudos. Sabe-se que existem custos adicionais para manter os equipamentos de transmissão sincronizados em tempo e frequência. Este custo

adicional pode ser compensado pelos benefícios trazidos por este tipo de topologia.

Finalmente, ferramentas de simulação podem ser evoluídas para que os campos resultantes das interações de sinais provenientes de dois ou mais transmissores sejam apresentados de forma gráfica. Ainda sob a ótica de evolução de software, pode-se incluir a funcionalidade que habilita o usuário a configurar os parâmetros de cada estação de transmissão, tais como os parâmetros relacionados com intervalo de guarda, código de correção, entrelaçadores e modulação.

6.2 Trabalhos Relacionados com a Dissertação

6.2.1 Trabalho Publicado em Congresso Internacional

FARIA, R. M.; SILVEIRA, M. Redes de frequência única microrregionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES, 25, 2007, Recife. **Anais...** Recife, 2007.

6.2.2 Trabalhos em Fase de Elaboração em Nível Internacional

FARIA, R. M.; SILVEIRA, M. The effects of radiation exposure on digital terrestrial television. In: ASIA-PACIFIC MICROWAVE CONFERENCE, 2008, Hong Kong.

FARIA, R. M.; SILVEIRA, M. A New Approach to Optimize the Allocation of the Spectrum Bands for Digital TV Transmissions Over a Wide Community Area in South America. **IEEE Revista Latin_America**, [S.l.].

7 REFERÊNCIAS

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações. **Consulta Pública nº 65**, de 27 de Julho de 1998. Proposta de Procedimentos para Expedição de Autorização para realização de Experiências com sistemas de Transmissão Digital de Televisão e de suas Condições de Execução. Disponível em: <http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/DocSite/acontece_anatel/consulta/1998/Consulta_65_98/Consulta_65_98_doc.htm>. Acesso em: 17 fev. 2008.

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações. **Consulta Pública nº 237**, de 2 de junho de 2000. Torna público, para comentários, o Relatório Final sobre Testes em Sistemas de Televisão Digital – Segunda Parte, desenvolvido e coordenado pelo Grupo Técnico ABERT/SET de Televisão Digital. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/SACP/Contribuicoes/TextoConsulta.asp?CodProcesso=CP237&Tipo=1&Opcao=realizadas>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 284**, de 7 de dezembro de 2001. Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de Televisão. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/documentos/biblioteca/resolucao/2001/res_284_2001.pdf?numeroPublicacao=33254&assuntoPublicacao=Resolucao%20n.º%20284&caminhoRel=Cidadao-Radiodifusao-Planos%20basicos>. Acesso em: 17 fev. 2008.

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 398**, de 7 de abril de 2005a. Aprova as Alterações do Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, e do Regulamento Técnico para a Prestação do Serviço de Radiodifusão de Sons e Imagens e do Serviço de Retransmissão de Televisão. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/documentos/biblioteca/resolucao/2005/res_398_2005.pdf?numeroPublicacao=108264&assuntoPublicacao=Resolucao%20n.º%20398&caminhoRel=Cidadao-Biblioteca-Acervo%20Documental>. Acesso em: 17 fev. 2008.

ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações. **Resolução nº 407**, de 10 de junho de 2005b: Aprova o Plano Básico de Distribuição de Canais de Televisão Digital – PBTVD. Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/documentos/biblioteca/resolucao/2005/res_407_2005.pdf?numeroPublicacao=110193&assuntoPublicacao=Resolucao%20n.º%20407&caminhoRel=Cidadao-Biblioteca-Acervo%20Documental>. Acesso em: 17 fev. 2008.

ANATEL. **SRD: Sistema de Controle de Radiodifusão**. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/srd/Consultas/ConsultaGeral/TelaListagem.asp>>. Acesso em: 01 maio 2008.

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses. **ARIB STD-B31** - ARIB Standard: Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting, Revision 1.6, 2005.

ARIB: Association of Radio Industries and Businesses. **ARIB TR-B14** - ARIB Standard:Operational Guidelines for Digital Terrestrial Television Broadcasting, Revision 2.8, 2006.

ARTHUR, R.; IANO, Y.; CARRARA, E.; CARVALHO, S. R. M. **Performance Evaluation of Loop Canceller Filters based on OFDM TV Systems for SFN**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TELECOMMUNICATIONS, 2007, Santa Rita do Sapucaí.

BAHAI, A. R. S.; SALTZBERG, B. R.; ERGEN, M. **Multi-Carrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM**. 2.ed. New York: Springer, 2004. 411p.

BEDICKS, Jr. G. et al. Results of the ISDB-T system tests, as part of digital TV study carried out in Brazil. **IEEE Transaction on Broadcasting**, v. 52, n. 1, p. 38-44 , mar. 2006.

BRASIL. **Lei nº 9.472**, de 16 de julho de 1997. Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais, nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9472.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

BRASIL. **Decreto nº 4.901**, de 26 de novembro de 2003. Institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital - SBTVD, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/decreto/2003/D4901.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

BRASIL. **Decreto nº 5.820**, de 29 de junho de 2006. Dispõe sobre a implantação do SBTVD-T, estabelece diretrizes para a transição do sistema de transmissão analógica para o sistema de transmissão digital do serviço de radiodifusão de sons e imagens e do serviço de retransmissão de televisão, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5820.htm>. Acesso em: 17 fev. 2008.

CARVALHO, S. R. M.; IANO, Y.; ARTHUR, R. Planejamento da Expansão do Serviço de Retransmissão de TV Digital no Brasil usando redes SFN. **Telecomunicações**, Santa Rita do Sapucaí, v. 08, p. 55/02-60, 2005.

CARVALHO, S. R. M. **Utilização da Rede SFN para Expansão da Rede de Retransmissão Regional da TV Digital Aberta Terrestre**. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, 2006.

GIANSANTE, M. et al. **Cadeia de valor: Projeto Sistema Brasileiro de TV Digital**. Campinas: CPqD, 2004. 95p.

ITU-R. Recomendação ITU-R P.1546-1. **Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 to 3000 MHz**, 2001.

KAWAI, N. et al. Performance of Multimedia Broadcasting Through ISDB Transmission System. **IEEE Transaction on Broadcasting**, v. 42, n. 3, p. 151-158, Sep. 1996.

LAUTERJUNG, F. Tudo pronto. **Tela Viva**, Abr. 2007. Disponível em: <<http://www.telaviva.com.br/revista/170/capa.htm>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

Matiaë, D. OFDM as a Possible Modulation Technique for Multimedia Applications in the Range of MM Waves, **Introduction to OFDM**, II edition 1, TU Delft Tech Report, TUD-TV5, Oct. 1998.

MATTSSON, A. Single Frequency Networks in DTV. **IEEE Transaction on Broadcasting**, v. 51, n. 4, p. 413-422, Dec. 2005.

NAKAHARA, S. et al. Efficient Use of Frequencies in Terrestrial ISDB System. **IEEE Trans on Broadcasting**, v. 42, n. 3, Sept. 1996.

PESSOA, A. C. F. et al. **Planejamento de Canais de TV Digital**. [S.l.]: CPqD, 2003. 190p.

PNAD: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2005/brasil/tabbr7_2.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2008.

SASAKI, M. Technologies and Services of Digital Broadcasting (12) – Terrestrial Digital Television Broadcasting. **Broadcast Technology**, n. 20, p.14-19, Autumm, 2004.

RANGEL, M. **Objetivos Sociais, culturais e educacionais da TV digital**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007. 195 p. (Documentos do Conselho de Altos Estudos).

STOTT, J. H. The How and Why of COFDM. **EBU Tech. Rev**; n.278, p. 43-50, Winter 1998.

WU, Y. et al. Comparison of Terrestrial DTV Transmission Systems: The ATSC 8-VSB, The DVB-T COFDM, and the ISDB-T BST-OFDM. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v. 46, n. 2, p. 101-113, Jun. 2000.

YOKOHATA, K. **ISDB-T Transmission Technology: Single transmission for fixed, vehicular, and handheld receivers**. Disponível em: <<http://ru.ictp.uz/summit2007/yokohata.pdf>>. Acesso em: 2008.

8 ANEXOS

ANEXO A – Canalização VHF

A tabela a seguir apresenta a canalização de frequências em VHF. (ANATEL, 2001).

Canal	Faixa de Frequências (MHz)	Canal	Faixa de Frequências (MHz)
2	54-60	8	180-186
3	60-66	9	186-192
4	66-72	10	192-198
5	76-82	11	198-204
6	82-88	12	204-210
7	174-180	13	210-216

ANEXO B – Canalização UHF

A tabela a seguir apresenta a canalização de frequências em UHF. (ANATEL, 2001).

Canal	Faixa de Frequências (MHz)	Canal	Faixa de Frequências (MHz)	Canal	Faixa de Frequências (MHz)
14	470-476	29	560-566	45	656-662
15	476-482	30	566-572	46	662-668
16	482-488	31	572-578	47	668-674
17	488-494	32	578-584	48	674-680
18	494-500	33	584-590	49	680-686
19	500-506	34	590-596	50	686-692
20	506-512	35	596-602	51	692-698
21	512-518	36	602-608	52	698-704
22	518-524	38	614-620	53	704-710
23	524-530	39	620-626	54	710-716
24	530-536	40	626-632	55	716-722
25	536-542	41	632-638	56	722-728
26	542-548	42	638-644	57	728-734
27	548-554	43	644-650	58	734-740
28	554-560	44	650-656	59	740-746

O canal 37 (608-614 MHz) é destinado ao serviço de radioastronomia.