



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E
AUTOMAÇÃO

HENRY SAUTE GLOCK

**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE
REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA
SINGLE FREQUENCY NETWORK – SFN
EM TELEVISÃO DIGITAL**

MOSSORÓ

2016

HENRY SAUTE GLOCK

**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE
REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA
SINGLE FREQUENCY NETWORK – SFN
EM TELEVISÃO DIGITAL**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação – PPGSCA, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Augusto Carlos Pavão – UFERSA

Co-orientador: Prof^o Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior – UFERSA

MOSSORÓ

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G562m GLOCK, HENRY.
METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES DE
FREQUÊNCIA ÚNICA SINGLE FREQUENCY NETWORK - SFN EM
TELEVISÃO DIGITAL / HENRY GLOCK. - 2016.
189 f. : il.

Orientador: AUGUSTO CARLOS PAVÃO.
Coorientador: IDALMIR DE SOUZA QUEIROZ JÚNIOR.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Sistemas de Comunicação e Automação, 2016.

1. ISDB-T. 2. OFDM. 3. SBTVD. 4. SFN. 5.
MFN. I. PAVÃO, AUGUSTO CARLOS, orient. II. DE
SOUZA QUEIROZ JÚNIOR, IDALMIR, co-orient. III.
Título.

HENRY SAUTE GLOCK

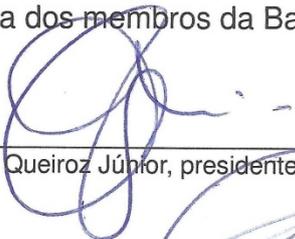
**METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE
REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA
SINGLE FREQUENCY NETWORK – SFN
EM TELEVISÃO DIGITAL**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação – PPGSCA, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Sistemas de Comunicação e Automação.

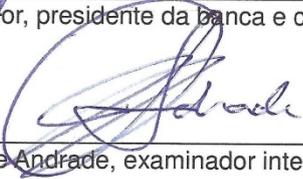
APROVADA em: 28 / 09 / 2016.

BANCA EXAMINADORA

Assinatura dos membros da Banca Examinadora:



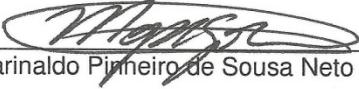
Prof. Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior, presidente da banca e co-orientador (UFERSA)



Prof. Dr. Humberto Dionísio de Andrade, examinador interno (UFERSA)



Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia examinador externo (UFERSA-Campus Caraúbas)



Prof. Dr. Marinaldo Pinheiro de Sousa Neto (IFRN-Campus Mossoró)

“Nós só podemos ver perfeitamente com o coração; o que é essencial é invisível aos olhos. Os homens têm esquecido esta verdade. Mas você não deve esquecê-la.” Marcaste a minha vida. Delineando meus caminhos, vive hoje no curso da minha história. E hoje, graças a tua visão, conduta, incentivo e cumplicidade posso alertar aos opostos destes ensinamentos :
-Antes de querer me tirar o chão, saibam todos, aprendi a voar. Com muita honra, *José Glock, meu pai. (In Memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à D'us, o maior de todos os mestres, pelo privilégio de partilhar de Sua divina centelha de vida. Por me acompanhar, colocando diante de mim sabedoria, inteligência, coragem, força e persistência. Por conduzir ao meu caminho o convívio de pessoas privilegiadas com Sua luz para aliviar as tensões deste duplo mestrado, acadêmico e da vida.

Ao Prof. Dr. Augusto Carlos Pavão pela orientação, atenção, confiança depositada, companheirismo, ensinamentos e pela motivação.

Ao Prof^o Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior pelas recomendações, sugestões e críticas, permitindo melhorar a qualidade do trabalho. Ao ser humano Idalmir por todos e incontáveis apoios dados nos momentos mais difíceis.

Ao Prof^o Dr. Humberto Dionísio de Andrade pelas sugestões ao trabalho e aos momentos de aprendizado por ele oportunizados.

À Prof^a Dra. Maria das Graças Dias da Silva pelo apoio incondicional quando mais precisava e, sobretudo, pela renovação no meu aprendizado à perseverança.

Ao Prof^o Dr. Marcelo Roberto Bastos Guerra Vale pela atenção dedicada.

Aos professores Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia e Dr. Marinaldo Pinheiro de Sousa Neto pelo privilégio de suas participações na banca.

À Livia Lara Lessa Alves, Danielli Tereza de Lima Trigueiro e Ingrid dos Santos Linhares pela amizade e apoio.

Aos amigos e colegas do PPGSCA pelo apoio e convívio ao longo deste aprendizado.

Ao engenheiro Paulo Roberto Monfrim Canno, diretor de tecnologia da Rede Gazeta de Televisão, afiliada Globo no estado do Espírito Santo, pela orientação e oportunidade de desenvolvimento deste trabalho naquela empresa.

Aos engenheiros Rogério Machado Bastos, coordenador de transmissão e retransmissão, Vinicius Catrinque Martins e Danielly Bravin Avancini, engenheiros de transmissão e retransmissão da Rede Gazeta de Televisão, pela atenção, paciência, suporte, logística e contribuição em minha formação.

Ao engenheiro José Henrique Cardoso, Enlace Engenharia de Vitória, pelo suporte cartográfico e de legislação.

Às engenheiras Vanessa Lima, Carolina Duca Novaes e Valderez de Almeida Donzelli e demais amigos da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão pelas contribuições a este trabalho.

À Alda de Lourdes Mello e Graziela de Mello da Silva, que do convívio com a família ao longo dos anos, se tornaram partes desta, sendo mais que mãe e irmã presentes nas horas que mais precisei.

“Com o novo telescópio, transformado em corrente eléctrica, o movimento luminoso percorreria docilmente o caminho que nos aprouvesse dar ao fio destinado a conduzi-lo; e de um ponto do globo terrestre seria possível devassar este em toda a sua extensão”.

(Adriano de Paiva)

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma metodologia que contempla a estrutura e cuidados necessários para projetar e implantar uma *Single Frequency Network (SFN)*, apresentando os benefícios da racionalização de energia, potência transmitida, e otimização das áreas de cobertura. Apresenta as opções de sincronismo de rede bem como ajustar as regiões de cobertura de sinais convergentes a uma mesma região, mostrando com clareza que a tecnologia é uma boa e segura opção de investimento tecnológico. Também contém um histórico de um dos maiores desenvolvimentos tecnológicos já ocorridos, indicando sua forma e dificuldades em épocas analógicas. Na revisão teórica são evidenciados o porquê das limitações técnicas até então existentes bem como as ações rumo a construção de uma nova, moderna e robusta tecnologia de transmissão digital.

Palavras-chave: Distribuição e transmissão de sinais digitais, ISDB-T, OFDM, SBTVD, SFN, MFN.

ABSTRACT

This paper presents a methodology that includes the structure and the care needed to design and implement a Single Frequency Network (SFN), with the benefits of energy conservation, transmitted power, and optimization of coverage area. It shows the network synchronization options and how to adjust the converged signal coverage areas within a region, showing clearly that this technology is a good and safe technological investment option. It also contains a history of one of the greatest technological developments that has occurred, indicating their form and difficulty in analog times. In the theoretical review are evidenced the technical limitations and the actions towards building a new, modern and robust digital transmission technology.

Keywords: Distribution and transmission of digital signals, ISDB –T, OFDM, SBTVD, SFN, MFN.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - TELEVISOR FINAL ANOS 40.....	22
FIGURA 2 - ADRIANO PAIVA, PAI DA TELEVISÃO	24
FIGURA 3 - PUBLICAÇÃO DA TERIA DE ADRIANO DE PAIVA - 1880	24
FIGURA 4 - MODELO DO DISCO DE NIPKOW	26
FIGURA 5 - IMAGEM OBTIDA PELO DISCO DE NIPKOW	26
FIGURA 6 - PARÂMETRO ΔH	30
FIGURA 7 - RAO DE CURVATURA	30
FIGURA 8 - DISTÂNCIAS E ALTURAS CONSIDERADAS	31
FIGURA 9 - ORTOGONALIDADE NA FREQUÊNCIA	34
FIGURA 10 - DIAGRAMA DE BLOCOS DE UM TX OFDM	35
FIGURA 11 – DIAGRAMA DE RECEPTOR OFDM.....	35
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA EQUAÇÃO	38
FIGURA 13 - EXEMPLO DE CODIFICADOR CONVOLUCIONAL.....	44
FIGURA 14 - EXEMPLO DE CODIFICADOR CONVOLUCIONAL.....	44
FIGURA 15 - DIAGRAMA DE TRELIS.....	45
FIGURA 16 - DISTÂNCIAS HAMMING BIDIMENSIONAIS	46
FIGURA 17 - DISTÂNCIAS HAMMING TRIDIMENSIONAIS.....	46
FIGURA 18 - SISTEMA TRANSMISSÃO SFN	50
FIGURA 19 - TRANSMISSÃO HIERÁRQUICA E RECEPÇÃO PARCIAL (ONE SEG) ..	54
FIGURA 20 - ETAPAS DA CODIFICAÇÃO DO CANAL	56
FIGURA 21 - MASCARA DO ESPECTRO DE TRANSMISSÃO PARA RADIODIFUSÃO DE TELEVISÃO DIGITAL TERRESTRE.....	58
FIGURA 22 - EXEMPLO DE REDE MFN.....	60
FIGURA 23 - SINCRONIZAÇÃO ESCRAVA.....	61
FIGURA 24 - SINCRONIZAÇÃO MESTRE	61
FIGURA 25 - ENVIO DE FI.....	62
FIGURA 26 - RETRANSMISSÃO DO CANAL	62
FIGURA 27 - HIPÉRBOLES	64
FIGURA 28 - ELEMENTOS DA HIPÉRBOLE	65
FIGURA 29 - HIPÉRBOLE SOBRE O EIXO.....	65
FIGURA 30 - AJUSTE ATRASO ESTÁTICO	67
FIGURA 31 - SFN TV GAZETA – LINKS DE COMUNICAÇÃO	69
FIGURA 32 - TV GAZETA VITÓRIA – CONTORNO PROTEGIDO	71
FIGURA 33 - ÁREAS RURAIS NOS MUNICÍPIOS DE : R1 → SERRA E FUNDÃO, R2 → SERRA E SANTA LEOPOLDINA E R3 → SERRA; R4 → ÁREAS NOS MUNICÍPIOS DE VITORIA E VILA VELHA	73
FIGURA 34 - R1 → ÁREA RURAL NOS MUNICÍPIOS DE SERRA E FUNDÃO	74
FIGURA 35 - R2 → ÁREA RURAL NOS MUNICÍPIOS DE SERRA E SANTA LEOPOLDINA.....	75
FIGURA 36 - R3 → ÁREA RURAL NO MUNICÍPIO DE SERRA	76

FIGURA 37 - R4 → ÁREAS NOS MUNICÍPIOS DE VITORIA E VILA VELHA – SUB-REGIÕES R4.1, R4.2 E R4.3	77
FIGURA 38 - R1 → ÁREA PRÓXIMA TX GUARAPARÍ; R2 → ÁREA DE MEAÍPE E RODOVIA DO SOL; R3 → ÁREA DE ANCHIETA	84
FIGURA 39 - R1 → ÁREA PRÓXIMA TX GUARAPARÍ – SUB-REGIÕES R1.1, R1.2 E R1.3	85
FIGURA 40 - R2 → MEAÍPE E RODOVIA DO SOL.....	89
FIGURA 41 - R3 → REGIÃO ANCHIETA - SUB-REGIÕES R3.1 E R3.2	90
FIGURA 42 - ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	99
FIGURA 43 - REGIÃO ESTUDADA	99
FIGURA 44 - ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – REGIÃO EM ESTUDO.....	100
FIGURA 45 - ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – REGIÃO EM ESTUDO - SEDE MUNICÍPIOS.....	100
FIGURA 46 - ESTAÇÕES TRANSMISSORAS.....	101
FIGURA 47 - COBERTURA TX VITÓRIA X COBERTURA TX SERRA.....	101
FIGURA 48 - COBERTURA TX GUARAPARI X COBERTURA TX VITÓRIA	102
FIGURA 49 - COBERTURA TX GUARAPARI X COBERTURA TX VILA VELHA	102
FIGURA 50 - COBERTURA TX GUARAPARI X COBERTURA TX SERRA.....	103
FIGURA 51 - COBERTURA TX GUARAPARI X COBERTURA TX VIANA.....	103
FIGURA 52 - COBERTURA TX VILA VELHA X COBERTURA TX VITÓRIA	104
FIGURA 53 - COBERTURA TX VILA VELHA X COBERTURA TX SERRA.....	104
FIGURA 54 - COBERTURA TX VIANA X COBERTURA TX VITÓRIA.....	105
FIGURA 55 - COBERTURA TX VIANA X COBERTURA TX VILA VELHA.....	105
FIGURA 56 - COBERTURA TX VIANA X COBERTURA TX SERRA	106
FIGURA 57 - MAPA ESTUDO OBSTRUÇÕES ENTRE TRANSMISSORES	106
FIGURA 58 - OBSTRUÇÃO ALINHAMENTO GUARAPARI – VIANA	107
FIGURA 59 - OBSTRUÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA - SERRA	107
FIGURA 60 - OBSTRUÇÃO ACENTUADA EM SERRA.....	108
FIGURA 61 - OBSTRUÇÃO DE VITÓRIA À VIANA	108
FIGURA 62 - OBSTRUÇÃO DE SERRA À VITÓRIA	109
FIGURA 63 - TOPOGRAFIA DO ESPÍRITO SANTO	110
FIGURA 64 - TOPOGRAFIA DO ESPÍRITO SANTO.....	110
FIGURA 65 - TOPOGRAFIA DO ESPÍRITO SANTO.....	111
FIGURA 66 - RELEVO MUNICÍPIO DE VITÓRIA E VILA VELHA.....	111
FIGURA 67 - RELEVO MUNICÍPIO DE VITÓRIA E VILA VELHA.....	112
FIGURA 68 - FORMAÇÕES NO RELEVO DE VITÓRIA E VILA VELHA.....	112
FIGURA 69 - SEDE DA TV GAZETA - VITÓRIA, ES	113
FIGURA 70 - PRIMEIRA CÂMERA TV GAZETA	113
FIGURA 71 - TV GAZETA - ENTRADA PRINCIPAL - DEMONSTRAÇÃO DIFERENÇA ENTRE A TRANSMISSÃO ANALÓGICA E DIGITAL	114
FIGURA 72 - CONTROLE MESTRE.....	114
FIGURA 73 - CONTROLE MESTRE.....	114
FIGURA 74 - CONTROLE A.....	115
FIGURA 75 - CONTROLE A.....	116

FIGURA 76 - CENTRAL TÉCNICA	117
FIGURA 77 - CENTRAL TÉCNICA	118
FIGURA 78 - CENTRAL TÉCNICA	119
FIGURA 79 - CENTRAL TÉCNICA	119
FIGURA 80 - ESTÚDIO	120
FIGURA 81 - LINKS AO TRANSMISSOR DA FONTE GRANDE - VITÓRIA	121
FIGURA 82 - MORRO DA FONTE GRANDE – TRANSMISSOR PRINCIPAL	122
FIGURA 83 - TORRE, ANTENA E LINKS COM O ESTÚDIO	123
FIGURA 84 - TRANSMISSOR DIGITAL.....	124
FIGURA 85 - SITE PRINCIPAL TV GAZETA - VITÓRIA.....	125
FIGURA 86 - SITE PRINCIPAL TV GAZETA - VITÓRIA.....	126
FIGURA 87 - SITE PRINCIPAL TV GAZETA - VITÓRIA.....	127
FIGURA 88 - SITE TX PRINCIPAL TV GAZETA - VITÓRIA	128
FIGURA 89 - VISÃO ALTO NÍVEL DO FUNCIONAMENTO DO MULTIPLEXADOR ISDB-T	128
FIGURA 90 - TELA SINCRONISMO GPS	129
FIGURA 91 - FUNÇÕES HABILITADAS NO MÓDULO	129
FIGURA 92 - ACESSO ÀS TABELAS DA REDE	130
FIGURA 93 - TABELAS ESSENCIAIS PARA A COMPOSIÇÃO DO TRANSPORT STREAM ISDB-T.....	130
FIGURA 94 - INTERFACE DE CONFIGURAÇÃO DO MULTIPLEXADOR DO TRANSPORT STREAM ISDB-T	131
FIGURA 95 - CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO DO TRANSPORT STREAM.	131
FIGURA 96 - SFN MAXIMUM DELAY	132
FIGURA 97 - SFN – TRANSMISSORES NA REDE.....	132
FIGURA 98 - SINAIS FORMADORES DO TRANSPORT STREAM ISDB-T	133
FIGURA 99 - MAPEAMENTO DE PIDS.....	134
FIGURA 100 - EDIFÍCIO SITE ESTAÇÃO SFN TV GAZETA - GUARAPARI.....	134
FIGURA 101 - VISTA DO RELEVO DA REGIÃO DE GUARAPARI.....	135
FIGURA 102 - VISTA DO RELEVO DA REGIÃO DE GUARAPARI.....	136
FIGURA 103 - ESTRUTURA INSTALADA EM GUARAPARI	136
FIGURA 104 - INFRAESTRUTURA	137
FIGURA 105 - TRANSMISSOR DIGITAL - GUARAPARI	137
FIGURA 106 - RELEVO ESTAÇÃO VIANA.....	138
FIGURA 107 - ESTAÇÃO VIANA.....	139
FIGURA 108 - ESTAÇÃO VIANA - MONTAGEM DOS EQUIPAMENTOS.....	140
FIGURA 109 - TRANSMISSOR VIANA	141
FIGURA 110 - VEÍCULO UTILIZADO	142
FIGURA 111 - ANALISADOR DE ESPECTRO MODELO ROHDE & SCHWARZ ETH – HANDHELD TV ANALYZER – 8 GHZ	142
FIGURA 112 - LEITURAS ANALISADOR DE ESPECTRO	143
FIGURA 113 - PROBLEMAS NA TRANSMISSÃO POR PERDA DE SINCRONISMO SFN.....	145

FIGURA 114 - PROBLEMAS NA TRANSMISSÃO POR PERDA DE SINCRONISMO SFN.....	146
FIGURA 115 - PROBLEMAS NA TRANSMISSÃO POR PERDA DE SINCRONISMO SFN.....	146
FIGURA 116 - ALINHAMENTO TX VITÓRIA – TX VILA VELHA – 6,83 KM.....	152
FIGURA 117 - ALINHAMENTO TX VITÓRIA – TX GUARAPARI – 43,00 KM	153
FIGURA 118 - ALINHAMENTO TX VITÓRIA – TX VIANA – 18,40 KM.....	154
FIGURA 119 - ALINHAMENTO TX VITÓRIA – TX SERRA – 20,00 KM.....	155
FIGURA 120 - ALINHAMENTO TX VILA VELHA – TX GUARAPARI – 44,30 KM....	156
FIGURA 121 - ALINHAMENTO TX VILA VELHA – TX VIANA – 23,60 KM	157
FIGURA 122 - ALINHAMENTO TX VILA VELHA – TX SERRA – 22,70 KM	158
FIGURA 123 - ALINHAMENTO TX GUARAPARI - TX VIANA – 30,50 KM.....	159
FIGURA 124 - ALINHAMENTO TX GUARAPARI - TX SERRA – 62,20 KM.....	160
FIGURA 125 - ALINHAMENTO TX VIANA – TX SERRA – 33,70 KM	161
FIGURA 126 - ANALIZADOR DE ESPECTRO - TELA.....	162
FIGURA 127 - CRÉDITOS DO SISTEMA	164
FIGURA 128 - TELA CONFIRMAÇÃO ESCOLHA LATITUDES E LONGITUDES - LATITUDES FIXAS	165
FIGURA 129 – TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P1 (20° 06' 30,5424" S ; 40° 10' 10,0344" O)	166
FIGURA 130 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P2 (20° 06' 30,5424" S;40° 14' 08,8476" O)	166
FIGURA 131 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 15' 28,4508" O)	167
FIGURA 132 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P4 (20° 06' 30,5424" S;40° 16' 48,0576" O)	167
FIGURA 133 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P5 (20° 06' 30,5424" S;40° 18' 07,6608" O)	168
FIGURA 134 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P1 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)	168
FIGURA 135 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P2 (20° 06' 30,5424" S;40° 14' 08,8476" O)	169
FIGURA 136 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 15' 28,4508" O)	169
FIGURA 137 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P4 (20° 06' 30,5424" S;40° 16' 48,0576" O)	170
FIGURA 138 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P5 (20° 06' 30,5424" S;40° 18' 07,6608" O)	170
FIGURA 139 - RELATÓRIO LONGITUDES AGRUPADAS POR LATITUDES.....	171
FIGURA 140 - TELA CONFIRMAÇÃO ESCOLHA LATITUDES E LONGITUDES - LONGITUDES FIXAS	172
FIGURA 141 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P1 (20° 04' 01,0704" S;40° 10' 10,0344" O)	173

FIGURA 142 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P2 (20° 05' 15,8064" S;40° 10' 10,0344" O)	173
FIGURA 143 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)	174
FIGURA 144 - TELA GRÁFICOS E LEITURAS PARA COORDENADA P4 (20° 07' 45,2820" S;40° 10' 10,0344" O)	174
FIGURA 145 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P1 (20° 04' 01,0704" S;40° 10' 10,0344" O)	175
FIGURA 146 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P2 (20° 05' 15,8064" S;40° 10' 10,0344" O)	175
FIGURA 147 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)	176
FIGURA 148 - PÁGINA RELATÓRIO REFERENTE A COORDENADA P4 (20° 07' 45,2820" S;40° 10' 10,0344" O)	176
FIGURA 149 - RELATÓRIO LATITUDES AGRUPADAS POR LONGITUDES.....	177

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DIAGRAMAS ANTENA VITÓRIA	72
GRÁFICO 2 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R4.1	78
GRÁFICO 3 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO GUARAPARI → R4.1	79
GRÁFICO 4 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R4.2	80
GRÁFICO 5 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO GUARAPARI → R4.2	81
GRÁFICO 6 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R4.3	82
GRÁFICO 7 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO GUARAPARI → R4.3	83
GRÁFICO 8 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R1.1	85
GRÁFICO 9 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA → R1.1	86
GRÁFICO 10 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R1.2	87
GRÁFICO 11 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA → R1.2	87
GRÁFICO 12 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R1.3	88
GRÁFICO 13 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R2	89
GRÁFICO 14 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA → R2	90
GRÁFICO 15 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R3.1	91
GRÁFICO 16 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA → R3.1	92
GRÁFICO 17 - PERFIL DE RETARDO PARA A REGIÃO R3.2	92
GRÁFICO 18 - PERFIL DE ELEVAÇÃO ALINHAMENTO VITÓRIA → R3.2	93
GRÁFICO 19 - DIAGRAMAS ANTENA GUARAPARI	95
GRÁFICO 20 - DIAGRAMAS ANTENA SERRA	96
GRÁFICO 21 - DIAGRAMAS ANTENA VIANA	97
GRÁFICO 22 - DIAGRAMAS ANTENA VILA VELHA	98
GRÁFICO 23 - DIAGRAMAS ANTENA GUARAPARI - FINAL	148
GRÁFICO 24 - DIAGRAMAS ANTENA SERRA - FINAL	149
GRÁFICO 25 - DIAGRAMAS ANTENA VIANA - FINAL	150
GRÁFICO 26 - DIAGRAMAS ANTENA VILA VELHA - FINAL	151

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - SOMA ENTRE DOIS ELEMENTOS NUM GF(16)	40
TABELA 2 - PRODUTO ENTRE DOIS ELEMENTOS NUM GF(16)	41
TABELA 3 - MODOS DE TRANSMISSÃO	55
TABELA 4 - MÁSCARAS DO ESPECTRO DE TRANSMISSÃO.....	58
TABELA 5 - POTÊNCIA MÁXIMA DE CADA CLASSE.....	58
TABELA 6 - CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DAS MÁSCARAS CRÍTICA, SUBCRÍTICA E NÃO CRÍTICA	59
TABELA 7 - SFN TV GAZETA – DISTÂNCIAS LINKS DE COMUNICAÇÃO	70
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS SITE PRINCIPAL FONTE GRANDE - VITÓRIA	72
TABELA 9 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R4.1	78
TABELA 10 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R4.2	80
TABELA 11 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R4.3	82
TABELA 12 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO UTILIZADOS - PRIMEIRA OPÇÃO	83
TABELA 13 - ATRASOS DA REDE.....	84
TABELA 14 - ATRASOS INSERIDOS NO MUX – PRIMEIRA OPÇÃO	84
TABELA 15 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R1.1	86
TABELA 16 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R1.2	87
TABELA 17 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R1.3	88
TABELA 18 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R2	90
TABELA 19 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R3.1	91
TABELA 20 - VALORES ESTIMADOS PARA A REGIÃO R3.2	92
TABELA 21 - PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO UTILIZADOS - SEGUNDA OPÇÃO	93
TABELA 22 - ATRASOS INSERIDOS NO MUX – SEGUNDA OPÇÃO	93
TABELA 23 - MUNICÍPIO DE GUARAPARI - CARACTERÍSTICAS DO SITE	95
TABELA 24 - MUNICÍPIO DE SERRA - CARACTERÍSTICAS DO SITE.....	96
TABELA 25 - MUNICÍPIO DE VIANA - CARACTERÍSTICAS DO SITE.....	97
TABELA 26 - MUNICÍPIO DE VILA VELHA - CARACTERÍSTICAS DO SITE.....	98
TABELA 27 - MUNICÍPIO DE GUARAPARI - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SITE	148
TABELA 28 - MUNICÍPIO DE SERRA - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SITE.....	149
TABELA 29 - MUNICÍPIO DE VIANA - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SITE.....	150
TABELA 30 - MUNICÍPIO DE VILA VELHA - CARACTERÍSTICAS FINAIS DO SITE	151
TABELA 31 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VITÓRIA → TX VILA VELHA.....	153
TABELA 32 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VITÓRIA → TX GUARAPARI	153
TABELA 33 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VITÓRIA → TX VIANA.....	154

TABELA 34 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VITÓRIA → TX SERRA	155
TABELA 35 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VILA VELHA → TX GUARAPARI.....	156
TABELA 36 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VILA VELHA → VIANA.....	157
TABELA 37 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VILA VELHA → SERRA.....	158
TABELA 38 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX GUARAPARI → TX VIANA	159
TABELA 39 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX GUARAPARI → TX SERRA	160
TABELA 40 - LINHAS EQUITEMPORAIS DE ATRASOS PARA O ALINHAMENTO TX VIANA → TX SERRA	161
TABELA 41 - TABELAS DO BANCO DE DADOS SQL SERVER	163

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACATS	
Advisory Committee on Advanced Television Service.....	27
ANATEL	
Agência Nacional de Telecomunicações	20
ATSC	
Advanced Television System Committee.....	27
ATTC	
Advanced Television Test Center.....	27
ATV	
Advanced TV	27
Bits	
Binary digits.....	32
BST-COFDM	
Band Segmented Transmission - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex	20
BTS	
Broadcast Transport Stream.....	47
CCD	
Coupled Charge Device	25
C-MOS	
Complementary Metal Oxide Semiconductor	25
COFDM	
Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing.....	33
DiBEG	
Digital Broadcasting Experts Group.....	26
DMB-T	
Digital Multimedia Broadcast Terrestrial	27
Dolby AC-3	
Dolby Audio Coding 3.....	27
DVB	
Digital Video Broadcast.....	27
EDTV	
Enhanced Definition TV	27
FFT	
Fast Fourier Transform	33
FI	
Frequência Intermediária	53
FM	
Frequency Modulation	28
GHz	
Gigahertz.....	28
GPS	
Global Positioning System.....	51
HD-MAC	
High Definition – Multiplexed Analog Components	27
HDTV	
High Definition TV.....	26
HPA	
Hi-Vision Promotion Association.....	26
ICI	

Inter Carrier Interference	32
IFFT	
Inverse Fast Fourier Transform	33
IG	
Intervalo de Guarda	55
IIP	
ISDB Information Parameters	51
ISDB	
Integrated Services Digital Broadcasting	26
ISDB-T	
Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial.....	27
ISI	
Inter-symbol Interference.....	35
MAC	
Multiplexed Analog Components	27
MFN	
Multiple Frequency Networks	20
MHz	
Megahertz	28
MP3	
Moving Picture Expert Group Layer 3	27
MPEG-2	
Moving Picture Expert Group Layer 2	27
MRC	
Maximun Ratio Combiner	54
MUSE	
Multiple sub-Nyquist Sampling Encoding	26
NHK	
Nippon Hoso Kyokai	26
NSI	
Network Synchronization Information	51
PBTVD	
Plano Básico de TV Digital	20
PID	
Program ID	133
PPS	
Pulso Por Segundo	51
S/N	
Sinal/Ruído	57
SBTVD	
Sistema Brasileiro de Televisão Digital.....	20
SDTV	
Standard Definition TV	27
SET	
Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão	28
SFN	
Single Frequency Networks	20
SLIT	
Sistemas Lineares Invariantes no Tempo	28
STS	
Synchronization Time Stamp.....	67
TMCC	

Transmission and Multiplexing Configuration Control.....	54
TS	
Transport Stream.....	57
UHF	
Ultra Hight Frequency	20
UIT	
União Internacional de Telecomunicações	29
VHF	
Very Hight Frequency	20

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE GRÁFICOS	16
LISTA DE TABELAS.....	17
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	19
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 JUSTIFICATIVA	20
1.2 OBJETIVOS	21
2 HISTÓRICO	22
2.1 A TELEVISÃO DIGITAL	26
3 REVISÃO DA TEORIA	28
3.1 CONVOLUÇÃO	28
3.2 DIFRAÇÃO POR IRREGULARIDADES DO TERRENO	28
3.2.1 O Método Deygout	28
3.2.2 O Método de Deygout-Assis	29
3.2.2.1 Tipos de Relevo	29
3.2.2.2 Raio de Curvatura dos Obstáculos	30
3.2.3 Modelo Proposto.....	31
3.3 OFDM.....	32
3.3.1 Transmissor OFDM	34
3.3.2 Demodulador	35
3.4 TEMPO OU INTERVALO DE GUARDA.....	35
3.5 RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DO SISTEMA	36
3.5.1 Duração Útil De Símbolo	36
3.5.2 Número de Sub-Portadoras.....	36
3.6 MELHORANDO O SINAL	37
3.7 TRANSMISSÃO HIERÁRQUICA.....	37
3.8 CÓDIGO REED SOLOMON.....	38
3.8.1 Campo de Galois.....	39
3.8.1.1 Polinômios Primitivos	39
3.8.2 Codificação e Decodificação Reed-Solomon	42
3.8.2.1 Processo de Codificação	42
3.8.2.2 Teoria de Correção de Erro	42
3.8.2.3 Polinômio Localizador de Erros	43

3.8.2.4 Polinômio Magnitude do Erro	43
3.8.2.5 Cálculo dos Erros	43
3.8.2.6 Correção dos Erros Localizados	44
3.9 CODIFICADOR CONVOLUCIONAL E DECODIFICADOR VITERBI.....	44
3.9.1 Código Convolutacional	44
3.9.2 Máquina de Estado	44
3.9.3 Diagrama de Trellis	45
3.9.4 Distância de Hamming	45
3.9.5 Algoritmo de Viterbi	46
3.10 REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA - <i>SFN</i>	46
3.10.1 Multipercursos	47
3.10.2 Tipos de Sobreposição	48
3.10.3 Ajustes de Rede	48
3.10.4 Tipos de Redes SFN	49
3.10.5 Construindo Uma Rede	50
3.10.6 Viabilidade Técnica de Uma Rede SFN	52
3.10.7 SFN Via Satélite	53
3.10.8 SFN e a Compatibilidade de Equipamentos	53
3.10.9 Distribuição do <i>BTS</i>	53
3.10.10 Formatos de Áudio e Vídeo	53
3.11 O SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL	53
3.11.1 Modos de Transmissão	55
3.11.2 Intervalo de Guarda	55
3.11.3 FEC	56
3.11.4 O Canal SBTVD	56
3.11.5 BTS	57
3.11.6 A Máscara de Transmissão	57
3.12 REDES MFN	59
3.13 REDES SFN	60
3.14 TOPOLOGIAS DAS REDES SFN	61
3.15 MÉTODOS DE SINCRONISMO	61
3.16 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE FATORES CRITICOS NUMA SFN	62
3.16.1 Variações na Frequência	62
3.16.2 Fluxo de Dados	63
3.16.3 Atrasos de Rede	63
3.16.4 Tempos de Atraso Permitidos	63
3.16.4.1 Hipérbole Equitemporal	64
3.16.5 Distância Máxima Entre Transmissores	65
3.17 AJUSTANDO OS ATRASOS.....	66
3.17.1 Atrasos Estáticos	66

3.17.2 Atrasos Dinâmicos.....	67
4 MATERIAIS E MÉTODOS	69
4.1 PROJETANDO A REDE	69
4.2 DISTRIBUIÇÃO DOS SINAIS	69
4.3 AVALIANDO AS INTERFERENCIAS.....	70
4.4 VIOLAÇÃO DO INTERVALO DE GUARDA	70
4.5 VIOLAÇÃO DA RELAÇÃO DE PROTEÇÃO.....	70
4.6 O SITE PRINCIPAL DE TRANSMISSÃO - VITÓRIA	71
4.7 SITUAÇÃO 1 : GUARAPARI EM ATRASO EM RELAÇÃO À VITORIA.....	73
4.7.1 Região 1 : Zona Rural nos Municípios de Serra e Fundão.....	74
4.7.2 Região 2 : Zona Rural nos Municípios de Serra e Santa Leopoldina	75
4.7.3 Região 3: Zona Rural nos Municípios de Serra	76
4.7.4 Região 4: Municípios de Vitoria e Vila Velha Próximas a Estação Principal ..	77
4.7.4.1 Região 4.1	77
4.7.4.2 Região 4.2	79
4.7.4.3 Região 4.3	81
4.8 SITUAÇÃO 2: VITORIA EM ATRASO EM RELAÇÃO À GUARAPARI.....	84
4.8.1 Área Próxima ao Transmissor de Guarapari.....	85
4.8.1.1 Região R1.1	85
4.8.1.2 Região R1.2	86
4.8.1.3 Região R1.3	88
4.8.2 Região R2 : Meaípe e Rodovia do Sol.....	89
4.8.3 Região R3 : Anchieta	90
4.8.3.1 Região R3.1: Rodovia do Sol Próximo a Anchieta	91
4.8.3.2 Região R3.2: Anchieta.....	92
5 SIMULAÇÕES E MEDIDAS.....	94
5.1 CARACTERÍSTICAS PARA OS SITES ADOTADAS NOS ESTUDOS REALIZADOS	94
5.1.1 Município de Guarapari	95
5.1.2 Município de Serra.....	96
5.1.3 Município de Viana	97
5.1.4 Município de Vila Velha	98
5.2 MAPAS DA REGIÃO EM ESTUDO	99
5.3 DIAGRAMAS COMPARATIVOS DE COBERTURA	101
5.3.1 Cobertura Tx Vitória X Cobertura Tx Serra.....	101
5.3.2 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vitória	102
5.3.3 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vila Velha	102
5.3.4 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Serra.....	103

5.3.5 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Viana	103
5.3.6 Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Vitória	104
5.3.7 Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Serra	104
5.3.8 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vitória	105
5.3.9 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vila Velha	105
5.3.10 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Serra.....	106
5.4 MAPAS DE ESTUDO DE OBSTRUÇÕES ENTRE TRANSMISSORES.....	106
5.4.1 Alinhamentos Possíveis Entre os Transmissores.....	106
5.4.2 Obstrução Alinhamento Guarapari – Viana	107
5.4.3 Obstrução Alinhamento Vitória – Serra.....	107
5.4.4 Obstrução Acentuada em Serra.....	108
5.4.5 Obstrução de Vitória à Viana	108
5.4.6 Obstrução de Serra à Vitória	109
5.5 OPERACIONALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PROJETADAS	109
5.6 RELEVO DA REGIÃO EM ESTUDO	109
5.7 SEDE DA TV GAZETA - VITÓRIA, ES	113
5.8 MORRO DA FONTE GRANDE – TRANSMISSOR PRINCIPAL.....	122
5.9 TELAS DO GERENCIAMENTO DO MULTIPLEXADOR	128
5.9.1 PID	133
5.10 ESTAÇÃO GUARAPARI.....	134
5.11 ESTAÇÃO VIANA	138
5.12 VERIFICANDO O PROJETO REALIZADO	141
5.12.1 Material Utilizado nas Medições.....	141
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	145
6.1 AJUSTES REALIZADOS PÓS-IMPLANTAÇÃO	147
6.2 AJUSTE FINO DO PROJETO.....	152
6.2.1 Linhas Equitemporais.....	152
6.2.2 Analisador de Espectro	161
6.3 SOFTWARE.....	162
6.3.1 Tabelas do Banco de Dados	162
6.3.2 Sistema e Funcionalidades.....	164
6.3.3 Exemplo de Uso do Sistema.....	164
7 CONCLUSÕES.....	178
8 TRABALHOS FUTUROS.....	179
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180

1 INTRODUÇÃO

Primórdios da televisão.

Enquanto o novo invento se espalhava e gradualmente se consolidava pelo mundo, novas barreiras físicas e técnicas aguardavam transposição.

A era é analógica e, como tal, solucionar problemas técnicos nesse período somente nos limites da analogia com os fenômenos que possíveis de observação.

Surge a necessidade de distribuir sinais gerados pelas emissoras em suas sedes à pontos mais distantes ou com deficiência de sinal. Para tal, um *link* da sede até o local de retransmissão. Caso o problema for a deficiência de sinal dentro de uma mesma localidade, onde a presença de obstáculos como morros dificultem a recepção do sinal transmitido numa microrregião, basta a colocação de um transmissor de menor potência, locado em outro canal, que o problema estará solucionado. Afinal, nessa época, com o espectro radioelétrico em alta disponibilidade, este fato não é problema.

Mas qual a necessidade deste transmissor secundário transmitir em outro canal?

Basta imaginar uma conversa ao telefone onde, por uma questão técnica da ligação, a voz de um dos interlocutores retorna com uma defasagem de alguns segundos junto com a voz do outro interlocutor. Nessa ligação é possível conversar de forma fácil sem perder o conteúdo da informação?

É possível conversar sem solicitar em algum momento um “repita que não consegui entender”?

Quanto maior for o tempo entre o fonema pronunciado e sua audição em atraso ao telefone, maior a dificuldade na interlocução.

Mas os interlocutores podem ficar tranquilos ao constatar este problema. Seus ouvidos estão funcionando muito bem; seus cérebros estão processando as informações de forma correta e suas capacidades cognitivas estão dentro dos padrões. Mas então, qual o problema?

A resposta é simples: os interlocutores, como qualquer ser humano, são analógicos!

O mundo é analógico.

Agora, o mesmo problema técnico com uma pequena diferença em sua caracterização. A linha telefônica analisada anteriormente tem agora outro aparelho como extensão. O que é falado agora no aparelho principal, não é ouvido no aparelho secundário, somente seu áudio em retorno. Em outras palavras, é possível falar ao telefone sem nenhuma interferência no aparelho principal, visto que a interferência está “após” este.

Voltando ao transmissor secundário, se este estiver posicionado a uma distância totalmente fora do alcance do sinal do transmissor principal, este poderá retransmitir o sinal do transmissor principal aos receptores da região no mesmo canal utilizado pelo transmissor principal, pois não haverá interferência deste sobre o transmissor local. Fazendo analogia ao exemplo do telefone, os interlocutores conversam sem nenhum ruído interferente.

Considerando agora o transmissor secundário localizado em região onde o sinal do transmissor principal está presente com alguma intensidade.

Imaginando, num ponto qualquer desta localidade, um televisor sintonizado nesse canal. Por estar bem próximo do transmissor secundário, certamente estará recebendo com dominância seu sinal, sem deixar de receber o sinal do transmissor principal.

Levando em conta que o sinal transmitido pelo transmissor principal chega ao televisor num tempo variando de pouco a muito atraso, as condições de recepção tornar-se-ão gradualmente prejudicadas. Lembrando o exemplo do telefone, os fonemas em retorno estão chegando de muito pouco atrasados a muito atrasados.

Considerando agora a existência de um obstáculo natural.

O transmissor principal está anterior ao obstáculo e o secundário posterior a este. Quando o sinal do transmissor principal atingir o obstáculo, este não o ultrapassa, sendo os receptores situados posteriores a este, apenas atendidos pelo transmissor secundário. Reportando ao exemplo do telefone, utiliza-se o aparelho principal e o secundário sem nenhuma dificuldade.

Transposto os efeitos do obstáculo, o sinal do transmissor principal volta a coexistir por uma área juntamente com o sinal do transmissor secundário, até o desvanecimento total deste. Como a coexistência dos sinais retorna após o domínio da cidade, esta região não apresenta preocupações, estando fora de espectadores em potencial.

Com o distanciamento do transmissor secundário de menor potência, o sinal do transmissor principal é retomado.

Apresentadas todas estas considerações, o retorno à pergunta inicial: Qual a necessidade de transmissão em outro canal?

À semelhança dos humanos analógicos apresentarem dificuldades de interpretar sons, imagens, símbolos e sinais iguais apresentados ao nosso sistema cognitivo, em instantes defasados a partir de determinado intervalo de tempo, como sendo o mesmo estímulo sonoro, visual ou simbólico, o receptor analógico de televisão também o tem.

As características dos aparelhos de televisão analógicos não permite corrigir problemas de múltiplos percursos dos sinais recebidos o que por muito tempo estimulou o uso

de redes *Multiple Frequency Networks (MFN)* – Redes de Frequência Múltipla, pela dificuldade de sincronismo de dois transmissores analógicos, o que levou por muito tempo ao esquecimento das *Single Frequency Networks (SFN)* – Redes de Frequência Única.

1.1 JUSTIFICATIVA

Como acontece com o surgimento de uma nova tecnologia, algumas limitações até então existentes são superadas e a implementação de ideias até então impedidas de serem colocadas em prática são retomadas. Com a televisão digital não está sendo diferente.

O Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) baseia-se no sistema japonês. Como ele, adota a modulação *Band Segmented Transmission - Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (BST-COFDM)*, Transmissão por Banda Segmentada – Multiplexação por Divisão em Frequências Ortogonais. Nele a utilização de multiportadoras torna a transmissão com grande imunidade ao multipercurso o que favorece a utilização de redes *SFN*.

O projeto de uma rede *SFN* requer muito mais que a locação de estações retransmissoras para suprir a ausência de sinal. O projeto bem definido, requer que o conteúdo de dados seja idêntico em toda rede, que a diferença entre os tempos de propagação seja corrigida (LEE; YONG-TAE, 2007)(MATTSSON, 2006). Este trabalho contempla os detalhes envolvidos na concepção de um bom projeto. Além disso, o Plano Básico de TV Digital (PBTVD) de maio de 2005 aprovado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), viabiliza a implantação da TV digital no Brasil sem esquecer da simultaneidade dos dois sistemas por um período de 10 anos. Pensando nessa compatibilidade entre os sistemas analógico e digital, o PBTVD está embasado em redes *MFN*, sem deixar de considerar que o SBTVD pode ou não trabalhar com reuso de frequências.

Em seu conteúdo fica estabelecido que para cada transmissor em operação no sistema analógico receberá da ANATEL outra frequência, se possível adjacente ao canal analógico em operação, para operação no sistema digital. Como requisito, fica estabelecido que este novo canal deve necessariamente cobrir a mesma área de cobertura atendida pelo transmissor analógico hora em funcionamento.

Pensando nesse detalhe, cabe observar que as atuais transmissões analógicas acontecem predominantemente em *Very High Frequency (VHF)* que opera entre 56 MHz e 216 MHz e que os novos canais projetados a operar o sistema digital situam-se na faixa *Ultra High Frequency (UHF)*, operando entre 470 MHz e 806 MHz. Pela própria característica das

faixas de transmissão, quanto maior a frequência utilizada, maior a atenuação na propagação do sinal, levando necessariamente ao reuso da frequência.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho apresenta e comprova que a opção por uma rede *SFN* produz uniformidade na intensidade de campo, diminui áreas de sombra, aumenta a área de cobertura com redução de falhas de recepção, visto que a potência total recebida aumenta nas áreas de sobreposição de sinal por interação construtiva dos sinais transmitidos e otimiza o uso do espectro radioelétrico permitindo aumento do número de emissoras (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

2 HISTÓRICO



Figura 1 - Televisor final anos 40
Fonte: A HISTÓRIA, (2015)

Escreveu Adriano de Paiva em seu artigo (HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, 2015):

"Desde que as considerações precedentes se desenharam claras ao nosso espírito, para logo nos quis parecer que uma nova descoberta científica se anunciava para breve; seria a aplicação da electricidade à telescopia, ou a criação da telescopia eléctrica. (...) Uma câmara escura, colocada no ponto que houvesse de ser sujeito às observações, representaria, por assim dizer, a câmara ocular. Sobre uma placa, situada no fundo dessa câmara iria desenhar-se a imagem dos objectos exteriores, com as suas cores respectivas e acidentes particulares de iluminação, afectando assim diversamente as diversas regiões da placa. Tornava-se por tanto apenas necessário descobrir o meio de operar a transformação por nenhuma forma impossível, desta energia, absorvida pela placa, em correntes eléctricas, que em seguida recompusessem a imagem. A importância da descoberta dum instrumento de tal ordem manifesta-se com demasiada evidência. Contudo não é talvez inútil advertir que esse telescópio eléctrico, quando realizado preencheria uma lacuna que a telescopia actual, a despeito de todos os seus progressos jamais poderia pensar em fazer desaparecer. (...) Com o novo telescópio, (...) transformado em corrente eléctrica, o movimento luminoso percorreria docilmente o caminho que nos aprouvesse dar ao fio destinado a conduzi-lo; e de um ponto do globo terrestre seria possível devassar este em toda a sua extensão".

Desde tempos remotos, o homem teve necessidade de transmitir à distância informações sobre tudo o que o rodeava.

A ideia da transmissão à distância de imagens remonta aos finais do século XIX, através da ação de alguns visionários em todo o mundo, os quais recorreram aos meios que a tecnologia na data lhes proporcionava, ou então, enveredaram pelo campo da imaginação baseada em determinados pressupostos, os quais, anos mais tarde vieram dar ou retirar razão a quem os formulava.

Escritores e ilustradores da época imaginavam, transcrevendo para ilustrações publicadas, essa ideia da magia da transmissão de imagens à distância.

Na época foi como que uma ficção científica (HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, 2015).

No entanto, em termos de televisão, tudo começou com o cientista português Adriano de Paiva.

Adriano de Paiva de Faria Leite Brandão nasceu em São Tiago da Cividade, Braga, Portugal, no dia 22 de abril de 1847. Segundo filho de João de Paiva da Costa Leite Brandão, fidalgo da casa real, natural de Braga, e de Miquelina Emília Ribeiro de Faria, nascida no Porto (GENI, 2015).

Obtendo o título de Bacharel em Matemática aos 19 anos e o de Doutor em Filosofia em 1868, somente aos 21 anos recebe a borla e o capelo de doutor. Faltava-lhe a maioridade. Na cerimonia, como padrinho, o infante D. Augusto.

Notícias chegadas a Portugal pelo jornal "O Século de Coimbra", edição de dezembro de 1876, anunciavam a invenção do telefone pelo americano Graham Bell.

Em novembro de 1877 acontecia a primeira demonstração do recém-inventado telefone em Lisboa.

Enquanto a notícia corria o mundo, Adriano de Paiva interrogava-se :

- Se a transmissão da voz à distância era uma realidade, porque não a transmissão da imagem de quem falava?! (HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, 2015).

Sendo vista como um aumento das potencialidades da telegrafia elétrica, Adriano de Paiva propõe a associação da telegrafia à transmissão de imagens: a telescopia.

Publica então, em março de 1878, na revista coimbraense O Instituto, artigo intitulado A Telefonía, a Telegraphia e a Telescopia. Nele, tratou sobre as vantagens do telefone de Bell para transmitir mensagens sonoras e concluiu que a evolução lógica seria uma tecnologia similar, capaz de converter imagens em impulsos eléctricos que seriam transmitidos pelos fios telegráficos. Não se limitando a suposições, sugeriu uma forma prática de conceber um aparelho transdutor das vibrações luminosas, correspondentes as particularidades da forma e

das cores do objeto em correntes elétricas. Neste artigo, pela primeira vez no mundo, era sugerida a aplicação do selênio na transmissão de imagens à distância. Colocava o selênio como meio de transdução da luz em corrente elétrica aproveitando suas características fotocondutoras, o que tornaria possível a transmissão à distância de imagens em movimento.

O termo telescopia designava já um processo de comunicação ótica. A originalidade de Adriano de Paiva consistia em utilizar o selênio como placa sensível do campo negro do teletroscópio (DE RERUM NATURA, 2015).

Em 1880 publica seu segundo artigo, intitulado "A Telescopia Eléctrica Baseada no Emprego do Selénio" (COLORIZE MEDIA, 2015).

Com as experiências realizadas entre 1875 e 1877 por Ernst Werner Von Siemens (1816-1892) observou que tal substância, quando intercalada num circuito elétrico, provocava o desvio da agulha de um galvanômetro, sempre que iluminado por luz visível e que a condutividade elétrica exibida dependia do comprimento de onda da radiação incidente (DE RERUM NATURA, 2015).

Baseado nessa observação, Paiva concluiu que através de um sistema de fios metálicos ligados a uma placa de selênio, seria possível converter a sua imagem em tantos impulsos elétricos quantos os fios usados, podendo a mesma ser reproduzida num aparelho receptor deste sinal.

Na originalidade da sua ideia, Paiva enviou uma carta ao editor da revista francesa *La Nature*, antecessora de *La Recherche*. Infelizmente, Paiva não viu reconhecida a sua prioridade sobre esta invenção pelo simples fato de *O Instituto* não ter o impacto internacional que a *Nature* ou mesmo *La Nature* (DE RERUM NATURA, 2015).

Diante destes fatos relatados, esse descendente do Mestre de Aviz tornou-se o precursor do conceito de televisão.

Como reconhecimento aos seus méritos, o rei D. Luís concedeu-lhe o título de Conde de Campo Belo e o nomeia como "Par do Reino" (HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, 2015).

Faleceu na cidade do Porto em 1907 aos 60 anos de idade.

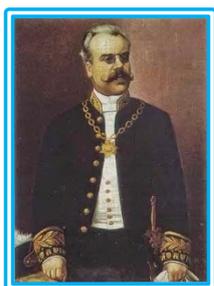


Figura 2 - Adriano Paiva, Pai da Televisão
Fonte: HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, (2015)

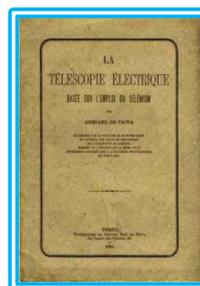


Figura 3 - Publicação da teoria de Adriano de Paiva - 1880
Fonte: HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, (2015)

O artigo de Adriano de Paiva é ainda hoje considerado por alguns meios científicos internacionais como o precursor da televisão no mundo, face ao envolvimento técnico nele preconizado, o qual é nos dias de hoje, apesar dos avanços alcançados, a base dos transdutores luz-corrente elétrica empregados, como acontece com os sensores *Coupled Charge Device (CCD)* e os *Complementary Metal Oxide Semiconductor (C-MOS)*, que é o mesmo, ou seja a fotocondutividade.

Desenvolvimentos verificados na década de 1920, graças à ação do escocês John Logie Baird (1888-1946) com o seu sistema de televisão mecânica baseada no disco Paul Gottlieb Nipkow (1860-1940), o nome de Adriano de Paiva deixou de ser referenciado como o mentor de uma tecnologia (COLORIZE MEDIA, 2015).

Em 1842, com o invento do Fax por Alexander Bain, pode-se transmitir telegraficamente uma imagem, fac-símile, fax (SÓ FÍSICA, 2015).

De início, alguns aparelhos para transmitir imagens fixas foram construídos. Mas o problema persistia. Como construir um aparelho capaz de converter de forma contínua, imagens em movimento em eletricidade ?

Em 1884, o cientista alemão Paul Nipkow, fez o registo da patente de um sistema mecânico de varredura de imagem (HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, 2015).

Para a captura de imagens, um disco rotativo com furos dispostos em espiral.

Atrás de cada furo, uma pequena célula fotoelétrica para converter a luz incidente numa área do disco em corrente elétrica. Nada mais, nada menos que o princípio de funcionamento imaginado por Adriano de Paiva.

Assim, a imagem do objeto captada era subdividida em pequenos elementos que, reagrupados, formavam a imagem original.

Do lado da reprodução, um disco rotativo, idêntico ao utilizado na captação das imagens, rodando no mesmo sentido e à mesma velocidade deste, sendo o mesmo colocado na parte frontal de uma lâmpada de néon. Esta variava sua intensidade luminosa de modo semelhante às variações apresentadas pelo sinal elétrico recebido.

De acordo com a ideia de Nipkow, num disco eram aplicados furos com um mesmo tamanho e distância entre eles, disponibilizados em forma espiral (SÓ FÍSICA, 2015). No ponto superior do disco, por trás deste, uma célula captura a imagem. Sendo a célula muito pequena, o furo ao passar perfaz quase uma reta que vem a ser uma linha da imagem da televisão. Com o giro do disco, a chegada do segundo furo varre a segunda linha e assim sucessivamente.

No lado do receptor é feito o processo inverso.

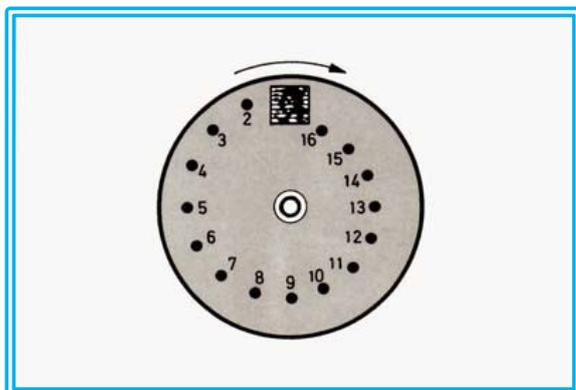


Figura 4 - Modelo do disco de Nipkow
Fonte: HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, (2015)



Figura 5 - Imagem obtida pelo disco de Nipkow
Fonte: COLORIZE MÉDIA, (2015)

No Brasil, a primeira transmissão de televisão aconteceu por iniciativa do leopoldinense Olavo Bastos Freire, em 28 de setembro de 1948, na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais, durante a comemoração do centenário da cidade.

2.1 A TELEVISÃO DIGITAL

A história da TV digital começa na década de 1970 no Japão, quando a *Nippon Hoso Kyokai (NHK)* e um grupo composto por cem estações de TV locais, iniciam as pesquisas e o desenvolvimento de uma TV de alta qualidade de imagem, ou *High Definition TV (HDTV)*.

A maior dificuldade da época era realizar a transmissão de imagem e som em alta definição na faixa de 6 MHz que é a largura da faixa no espectro de radiofrequência reservada para cada canal de TV, devido a necessidade de transmitir ao menos o dobro de linhas de varredura.

Importante passo para a transmissão em alta definição foi dado pelo consórcio japonês *Hi-Vision Promotion Association (HPA)*, que em 1987 iniciara o desenvolvimento do projeto que resultou no sistema *Multiple sub-Nyquist Sampling Encoding (MUSE)*, e passa a transmitir experimentalmente programações em *HDTV* com duração de uma hora por dia.

O sinal tinha uma largura de faixa de mais de 20 MHz no espectro, e era transmitido por um satélite de banda larga (SANTOS; LUZ, 2013).

Em 1997, a *NHK* forma um consórcio intitulado *Digital Broadcasting Experts Group (DiBEG)* e desenvolve um novo processo de transmissão chamado de *Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB)*, projetado para suportar até 13 serviços ou emissoras diferentes na faixa de 6 MHz, que além da transmissão para receptores domésticos, permite também transmissão para receptores móveis e telefones celulares, graças a novas tecnologias de

compactação de imagem, *Moving Picture Expert Group Layer 2 (MPEG-2)* e de *Dolby Audio Coding 3 (Dolby AC-3)* para o som.

Em dezembro de 2000, a operação do antigo *MUSE* foi substituída pelo padrão totalmente digital terrestre, o *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial (ISDB-T)*.

Este serviço foi lançado oficialmente em 2003, e já em 2008 havia mais de 14 milhões de aparelhos receptores, representando um terço dos domicílios daquele país.

Na Europa em 1986, cientistas do Projeto Eureka concluem um sistema para TV digital semelhante ao japonês *MUSE*, batizado de *Multiplexed Analog Components (MAC)* para transmissão *Standard Definition TV (SDTV)*, e para a alta definição, o *High Definition – Multiplexed Analog Components (HD-MAC)* com transmissão de um número maior de pixels.

Esta alternativa europeia é considerada o embrião do sistema europeu de *HDTV*, o *Digital Video Broadcast (DVB)* que, em 1994, passa a usar as novas tecnologias de compactação de som e imagem, o *Moving Picture Expert Group Layer 3 (MP3)* para áudio e o *MPEG-2* para vídeo, que caracteriza o sistema digital europeu que serviu de base para o *ISDB-T* japonês (SANTOS; LUZ, 2013).

Inserido ao Projeto Eureka, surge na China o *Digital Multimedia Broadcast Terrestrial (DMB-T)*, pouco difundido.

Nos Estado Unidos, as estações de TV, os fabricantes e o governo acompanhavam o desenvolvimento da tecnologia na Ásia e Europa, mas faziam questão de encontrar uma solução própria para a TV de alta definição.

As pesquisas encabeçadas pela *FCC* criada em 1983, convoca em 1987, 58 redes de TV para estudar o impacto que teria a então chamada *Advanced TV (ATV)* nos serviços já existentes, e inicia os trabalhos da *Advanced Television Test Center (ATTC)* e *Advisory Committee on Advanced Television Service (ACATS)* destinada a fazer os testes das novas tecnologias de TV digital.

Em 16 de setembro 1995 surge a *Advanced Television System Committee (ATSC)* criada da união de diversas empresas com o aval da *FCC*, o órgão das comunicações e radiodifusão dos Estados Unidos. Esta entidade desenvolve um sistema diferenciado dos já existentes na época, como o *HDTV*, criado por um consórcio envolvendo a AT&T, Philips, Thomson, Zenith e outros fabricantes, o *Enhanced Definition TV (EDTV)*, e o *SDTV*, recebendo o nome do grupo criador *ATSC* sendo adotado como sistema oficial.

Em 21 de abril de 1997 foram delineadas as regras para a transmissão digital nos Estados Unidos, definido o prazo de oito anos para a transição do sistema analógico para o digital (SANTOS; LUZ, 2013).

3 REVISÃO DA TEORIA

Neste capítulo são apresentados e discutidos os conceitos fundamentais utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

As faixas de frequências de interesse nesse trabalho são :

- a) **VHF** – Entre 30 MHz e 300 MHz; canais de TV em VHF e radiodifusão FM.
- b) **UHF** – Entre 300 MHz e 3 GHz; canais de TV em *UHF* e telefonia celular.

3.1 CONVOLUÇÃO

Convolução é a operação matemática entre dois sinais, resultando num terceiro sinal. Envolve apenas operações simples de soma e multiplicação. Neste conceito, baseia-se todo o estudo de Sistemas Lineares Invariantes no Tempo (SLIT) (DEE PUC-RIO, 2015).

Todo o cálculo de uma saída de um SLIT resultante de um sinal de entrada qualquer passa por uma operação de convolução entre o sinal de entrada e a resposta impulsional $h[k]$ do SLIT.

Considerando dois sinais $x_1[k]$ e $x_2[k]$ envolvidos numa convolução, $y[k]$ será o resultado desta convolução definido por $y[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_1[n] x_2[k - n]$.

Num transmissor, ondas são geradas em uma determinada frequência de operação definida ao sistema. Ao se propagarem, estas ondas sofrem reflexão, difração ou refração, dependendo de fatores tais como tipo de enlace, frequência de operação e distância percorrida. Estes fenômenos resultam em perda de energia e atenuação de sinal (CARVALHO; BADINHAN; HORTA, 2011).

3.2 DIFRAÇÃO POR IRREGULARIDADES DO TERRENO

A digitalização da televisão estimulou novas formas de avaliação, cálculo de regiões de cobertura bem como a predição de prováveis interferências. O método Deygout-Assis é adotado pela Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão (SET) nos estudos de planejamento de televisão digital, isto é, nas faixas de *VHF* e *UHF* (ASSIS; LUIZ, 2013).

3.2.1 O Método Deygout

O método calcula a difração considerando somente obstáculos gume de faca. Determina-se o obstáculo principal entre o transmissor e o receptor sendo ele o responsável pela maior atenuação e a maior obstrução H relativa ao raio da primeira zona de Fresnel R , ou

seja, H/R . Caso ocorram dois ou mais obstáculos, outros trajetos são definidos. Cada obstáculo analisado é uma parcela no somatório das atenuações em relação ao espaço livre.

Assis agregou ao método de Deygout obstáculos convexos, incorporando ao cálculo a influência do raio de curvatura de cada um deles.

3.2.2 O Método de Deygout-Assis

Deygout-Assis é uma variação do método de Deygout considerando no máximo três obstáculos gume de faca, aplicando correção do raio de curvatura apenas ao primeiro.

De forma similar ao método de Deygout-Assis, define procedimentos de cálculo que permitem avaliar a difração gerada por terrenos irregulares nas faixas de *VHF* e *UHF*. Embasa-se nas teorias clássicas da difração pela curvatura da terra e por múltiplos obstáculos, atribuindo-se empiricamente um parâmetro que caracterizar a rugosidade do terreno.

Sendo impossível uma estimativa precisa o fator aleatório na distribuição do relevo na rota do enlace, possíveis fontes de erro que podem ser analisadas a fim de corrigir os resultados obtidos.

3.2.2.1 Tipos de Relevo

O relevo é caracterizado pela rugosidade do terreno Δh seguindo a recomendação UIT-R, definido pela diferença em metros, entre os níveis excedidos entre 10% e 90% no segmento de perfil considerado.

Para radiodifusão, a determinação é feita no segmento de perfil do terreno situado entre 10 e 50 km da estação transmissora na direção de interesse, Figura 6.

A forma prática de determinar o valor de Δh é :

PASSO	PROCEDIMENTO
1	No perfil a ser analisado, selecionar 41 pontos a cada 1 km.
2	Ordenar os pontos obtidos pela altura de cada um.
3	Desprezar os 4 pontos mais altos e os 4 pontos mais baixos.
4	A diferença de altura entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo dos 33 pontos restantes corresponde ao parâmetro Δh do perfil analisado.

Quadro 1 - Passos para a determinação de Δh

Fonte: Adaptado de Assis (2013)

Pelo parâmetro Δh e do raio médio da primeira Zona de Fresnel R , local onde as irregularidades do terreno sejam mais pronunciados, definem-se três tipos de relevo conforme o Quadro 2.

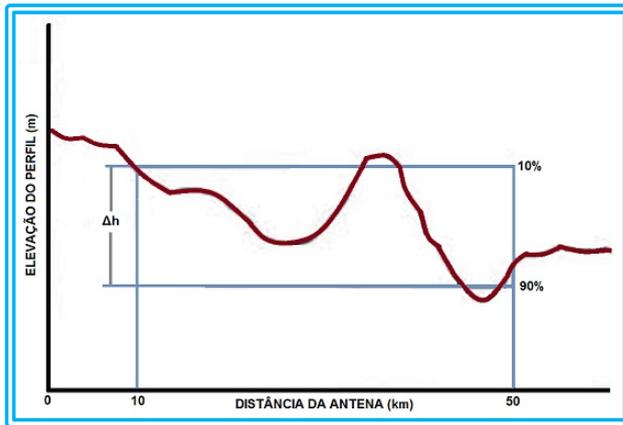


Figura 6 - Parâmetro Δh

Fonte: Adaptado de Assis (2013)

RELEVO	Δh
Suave	$\Delta h \leq 0,1R$
Acidentado	$\Delta h \geq 0,5R$
Intermediário	$0,1R < \Delta h < 0,5R$

Quadro 2 - Tipos de Relevo
Fonte: Adaptado de Assis (2013)

3.2.2.2 Raio de Curvatura dos Obstáculos

Segundo o Princípio da Ação Local, em frequências elevadas a difração pode ser considerada um fenômeno local, ou seja, concentrado nas vizinhanças do ponto onde ocorre.

Considerando este princípio, a difração independe da forma do obstáculo, seja ele na forma de uma esfera, cilindro circular, cilindro parabólico, sendo função unicamente do raio de curvatura no topo. Para a determinação do raio de curvatura r dos obstáculos, utiliza-se o modelo parabólico, Figura 7.

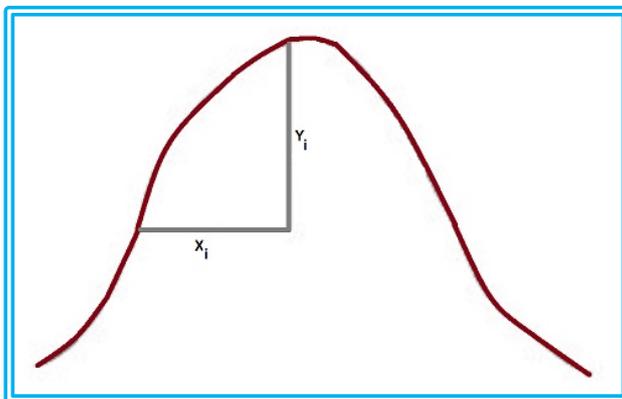


Figura 7 - Raio de curvatura

Fonte: Adaptado de Assis (2013)

Como os obstáculos não são parábolas perfeitas recomenda-se a determinação de r para diversos pontos nas proximidades do topo do obstáculo, ou seja,

$$r_1 = \frac{x_1^2}{y_1}; r_2 = \frac{x_2^2}{y_2}; r_n = \frac{x_n^2}{y_n}$$

onde y , a máxima distância do pico da parábola, deve ser na ordem de grandeza do raio da primeira Zona de Fresnel, onde o obstáculo estiver localizado. Nos cálculos utiliza-se o raio de curvatura médio dado por,

$$r = \frac{1}{n} \sum_1^n r_i$$

3.2.3 Modelo Proposto

À cada tipo de relevo definido pelo parâmetro Δh , adota-se três diferentes procedimentos de cálculo ao estimar a atenuação de propagação:

a) $\Delta h \leq 0,1R \rightarrow$ Considerando a terra esférica e perfeitamente lisa, o cálculo é simples, bastando proceder conforme a recomendação UIT-R. Para relevo quase liso atendendo a condição acima, emprega-se a mesma recomendação, substituindo as alturas reais das antenas pelas alturas efetivas h'_1 e h'_2 dadas por :

$$h'_1 = \frac{d_{h_1}^2}{2a_e} \quad \text{e} \quad h'_2 = \frac{d_{h_2}^2}{2a_e}$$

Onde d_{h_1} e d_{h_2} são as distâncias ao horizonte mostradas na Figura 8.

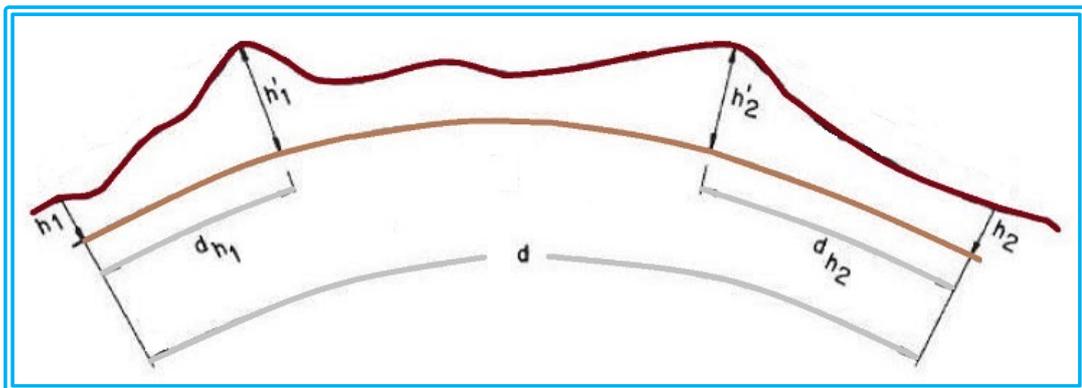


Figura 8 - Distâncias e alturas consideradas
Fonte: Adaptado de Assis (2013)

b) $\Delta h \geq 0,5R \rightarrow$ Caso o relevo for acidentado, calcula-se de forma similar ao adotado no modelo de Deygout-Assis. A diferença está no fato de que o modelo proposto emprega no máximo sete obstáculos para calcular a atenuação, enquanto no modelo Deygout-Assis utiliza-se apenas três. Para ambos, a parcela da atenuação por difração relativa ao obstáculo principal é dada pela recomendação da UIT-R :

$$A_d(dB) = A_{gf}(dB) + T(dB)$$

onde,

$$A_{gf}(dB) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \quad \text{para } v \geq -0,7$$

$$T(dB) = 7,2\sqrt{m} - (2 - 12,5n)m + 3,6\sqrt{m^3} - 0,8m^2 \quad \text{para } mn \leq 4$$

$$T(dB) = -6 - 20 \log(mn) + 7,2\sqrt{m} - (2 - 17n)m + 3,6\sqrt{m^3} - 0,8m^2 \quad \text{para } mn > 4$$

onde,

$$m = \frac{r \left[\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right]}{\sqrt[3]{\left[\frac{\pi r}{\lambda} \right]}} = \frac{1}{\sqrt[3]{\pi}} \alpha^2 \quad \text{e} \quad n = \frac{H \sqrt[3]{\left[\frac{\pi r}{\lambda} \right]^2}}{r} = \sqrt[3]{\pi^2} \frac{H}{R} \frac{1}{\alpha} \quad \text{e} \quad v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} = \alpha \sqrt{\frac{2d_1 d_2}{\lambda(d_1 + d_2)}}$$

Parâmetro v de Fresnel

Os outros obstáculos são tidos como gume de faca e então calculados pela função A_{gf} .

A medida que a obstrução H do obstáculo aumenta, a parcela T também, observando-se valores pessimistas da atenuação, provavelmente pelo efeito da rugosidade do obstáculo.

Para contornar este problema foi estabelecido de forma empírica o seguinte critério :

Para,

CONDIÇÃO	PARCELA T
$0 \leq \frac{H}{R} \leq 1$	utiliza-se na sua forma original
$0 < \frac{H}{R} < 3$	Calcula-se por interpolação linear
$\frac{H}{R} \geq 3$	faz-se $T = 0$

Quadro 3 - Tipos de Relevo
Fonte: Adaptado de Assis (2013)

c) $0,1R < \Delta h < 0,5R \rightarrow$ Se a morfologia do terreno for intermediária, utiliza-se uma interpolação entre as duas soluções anteriores.

3.3 OFDM

A modulação *OFDM* utiliza múltiplas subportadoras num mesmo canal. Cada subportadora apresenta frequência múltipla de frequência fundamental. Como a cada uma é atribuída baixa taxa de *Binary Digits (Bits)*, a combinação do funcionamento de todas resulta numa alta taxa de transmissão sem que esta sobreposição leve à uma interferência entre portadoras, *Inter Carrier Interference (ICI)*, por serem ortogonais. Pela ortogonalidade, a banda de transmissão é um subespaço vetorial gerado pelas portadoras. Assim, se duas portadoras são ortogonais, significa que seu produto escalar é nulo sendo que as funções não se misturam por serem linearmente independentes. Assim, as portadoras podem ser recuperadas sem nenhum comprometimento. Sendo múltiplas de uma frequência base, a sobreposição aumenta a eficiência do espectro, pois o pico de potência de uma portadora acontece no instante de potência mínima da portadora adjacente.

Um sinal *OFDM* pode ser gerado pelo método da Força Bruta ou pela utilização da Transformada Rápida de Fourier (*FFT*).

Para o primeiro, o sinal a ser modulado é tornado paralelo pela geração de N feixes representativos da quantidade de portadoras utilizadas. Modulam-se agora os N feixes paralelos em N portadoras ortogonais com igual espaçamento entre elas. Separa-se a parte real dessa portadora e modula-se por $\cos \omega n$ e a parte imaginária por $\sin \omega n$ (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

No final da operação, o somatório dos sinais modulados resultará no sinal *OFDM*.

Na obtenção do sinal *OFDM* pela *FFT*, a primeira etapa é idêntica a utilizada pelo Método da Força Bruta descrito anteriormente. Na sequência, aplica-se ao sinal a *Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)*, originando o *OFDM* no domínio do tempo.

Se a codificação do canal for feita antes da modulação, recebe o nome de *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (COFDM)*.

Em *OFDM* a informação digital é transmitida de forma paralela, diminuindo os efeitos de interferências, distorções e ruídos introduzidos (RIBEIRO, 2013).

O paralelismo da transmissão da informação digital baseia-se em, ao transmitir em paralelo, a taxa de transmissão utilizada em cada via ser igual a :

$$\frac{R_b}{N}$$

onde,

R_b = taxa de *bits* global, que seria obtida com o uso de apenas uma via de transmissão serial;

N = número de vias

Assim, a duração de cada bit, em cada via, fica N vezes maior, o que aumenta a imunidade às distorções e influências do canal como, por exemplo, interferência intersimbólica.

A banda total do canal é subdividida, reservando a cada banda individual uma portadora individual cuja modulação implementa uma via através da qual é enviado um símbolo decorrente da paralelização da informação original.

Uma paralelização binária envia um bit de cada vez.

Para maior eficiência do sistema, cada portadora é modulada empregando-se um tipo qualquer de modulação digital. Neste caso, cada símbolo corresponderá a um certo número k de *bits*. Cada portadora forma uma via de comunicação e é denominada subportadora.

O *OFDM* transmite baseado em símbolos. Todas as subportadoras transmitem empregando sincronismo de fase e de frequência, formando um único bloco no espectro, onde as bandas laterais se sobrepõem. Chegando ao receptor, a demultiplexação se processa com base nesta sincronização.

Eficiência espectral é a relação entre a taxa R de *bits*, não de símbolos, do sistema e a largura de banda W ocupada para transmitir (RIBEIRO, 2013).

Para que tudo isso ocorra, é necessário que as sub-portadoras tenham um afastamento, na frequência, de $f = 1/T_s$ Hz, sendo T_s o tempo de duração de um símbolo.

Essa limitação no tempo corresponde a uma porta retangular, correspondendo na frequência a uma função $\frac{\text{sen}(u)}{u}$ sendo, $u = \pi f T_s$. Esta forma apresenta um lóbulo central principal, com vários lóbulos laterais que decaem à medida que se afasta da frequência central, que é a principal. Assim, cada portadora possui um pico no centro de sua frequência e zeros espaçados por um valor de frequência $f = 1/T_s$ (RIBEIRO, 2013).

A ortogonalidade da transmissão tem como característica o fato de que o pico de cada sub-portadora corresponde ao nulo das outras sub-portadoras.

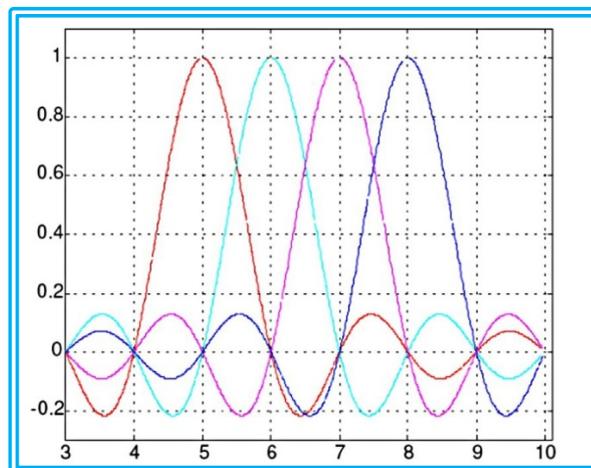


Figura 9 - Ortogonalidade na frequência
Fonte: Ribeiro (2013)

3.3.1 Transmissor OFDM

Os dados são inicialmente paralelizados em n vias, tantas quantas forem o número de subportadoras. Na sequência mapeados, gerando as amostras do espectro *OFDM*, ainda em banda básica, o que significa, sem estar convertido à frequência final de operação.

Amostras do espectro são submetidas ao processo da *IFFT*, gerando as amostras do sinal *OFDM* em banda básica. São então convertidas em sinal analógico contínuo que na sequência é convertido para a faixa de operação do sistema.

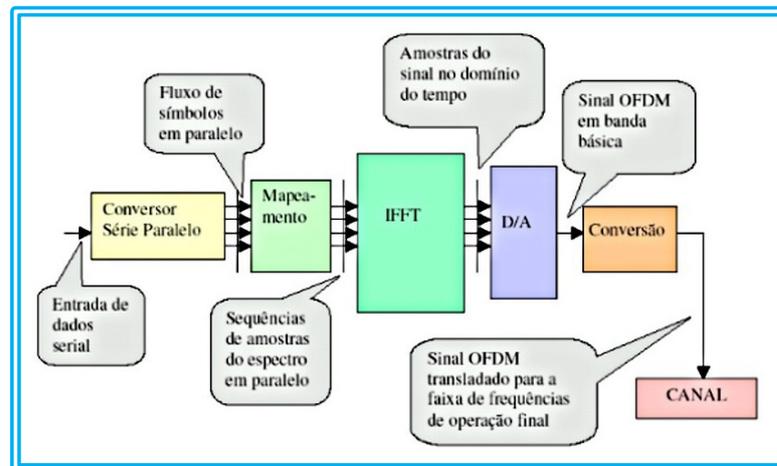


Figura 10 - Diagrama de blocos de um Tx OFDM
Fonte: Ribeiro (2013)

3.3.2 Demodulador

A construção do demodulador segue a mesma linha de ação para a construção do modulador. Obtém-se a sequência pelas amostras do sinal recebido após conversão para baixas frequências, pelo algoritmo da *FFT*.

Deste ponto, os símbolos enviados pela operação inversa de mapeamento da constelação de modulação de cada portadora.

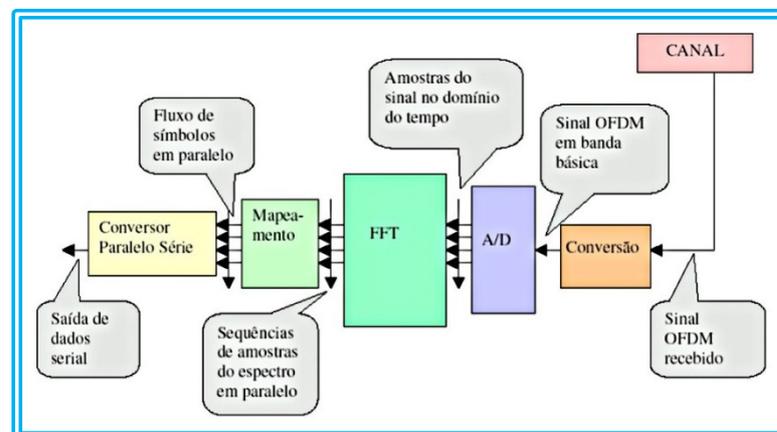


Figura 11 – Diagrama de Receptor OFDM

Fonte: Ribeiro (2013)

3.4 TEMPO OU INTERVALO DE GUARDA

A ortogonalidade dos sub-canais *OFDM* é mantida e os canais individuais completamente separados pela *FFT*, quando não existe *Inter-symbol Interference (ISI)*, Interferência Intersimbólica, e *ICI* entre portadoras, introduzidas pela distorção do canal de transmissão (RIBEIRO, 2013).

Considerando que o espectro *OFDM* não é estritamente limitado em faixa, essas condições podem não ser obtidas, função $\text{sen}(\pi f)/\pi f$, a distorção linear ou distorção de múltiplos percursos fazem com que cada subportadora espalhe energia em canais adjacentes, gerando *ISI*. Aumenta-se então a duração de símbolos, aumentando o número de subportadoras, minimizando a distorção. Outra forma de prevenção da *ISI* é a criação de um intervalo cíclico de guarda. Nele, cada símbolo *OFDM* é precedido por uma extensão do próprio sinal. A duração total de cada símbolo passa a ser :

$$T_{total} = T_g + T_s$$

onde,

T_g = intervalo de guarda;

T_s = duração útil do símbolo.

Caso o tempo de guarda for maior do que a resposta impulsiva do canal, ou o retardo de multicaminho, a *ISI* é eliminada. Retardos por multicaminhos são os atrasos sofridos por uma informação ao percorrer diferentes caminhos de propagação, restando a *ISI* inerente à propagação normal. A relação do tempo de guarda para a duração útil do símbolo depende da aplicação. A inserção do tempo de guarda reduz o *throughput* de dados, isto é, a taxa efetiva com que os dados são enviados através do sistema, usualmente $T_g < T_s/4$.

3.5 RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS DO SISTEMA

3.5.1 Duração Útil De Símbolo

Afeta o espaçamento entre portadoras e a latência da codificação. Para manter o *throughput* de dados, uma duração útil maior resulta em aumento do número de subportadoras e no tamanho da *FFT*, considerando um tamanho fixo de constelação. Desvios da portadora em frequência e estabilidade de fase podem afetar o espaçamento mínimo entre sub-portadoras. Para aplicações móveis, este espaçamento deve ser grande o suficiente para tornar desvios de frequência insignificantes. A duração útil de símbolo deve ser escolhida de acordo com as características do canal, as quais não devem variar significativamente durante esse tempo.

3.5.2 Número de Sub-Portadoras

Determinado com base na largura de banda do canal, *throughput* de dados e duração útil de símbolo. São espaçadas na frequência pelo inverso do tempo útil de símbolo.

Correspondem ao número de pontos complexos a serem simultaneamente processados na *FFT*. Em *HDTV*, o número de sub-portadoras está na faixa de centenas, afim de acomodar a taxa de transmissão e requisitos de tempo de guarda.

3.6 MELHORANDO O SINAL

Para melhorar a robustez do sinal, são acrescentados alguns códigos corretores de erro ao trem de *bits*. O feixe de transporte é encaixado num grande número de pequenas portadoras podendo variar de 1.400 a 6.800 mini-portadoras, se encarregando cada uma de levar um fragmento de informação (TOME, 2007).

De forma a melhorar a robustez contra os ecos, os fragmentos de informação não são transmitidos de forma contínua, existindo aí um intervalo de guarda entre os fragmentos.

Ao serem encaixados nas mini-portadoras, os *bits* são espalhados aleatoriamente, espalhamento espacial. Dessa forma, se alguma mini-portadora sofrer dano no caminho por alguma interferência, a informação remanescente nas demais mini-portadoras é em geral suficiente para se recuperar a informação original.

Além do espalhamento espacial, ocorre também um espalhamento temporal onde conjuntos de *bits* podem ser colocados em fragmentos mais à frente ou atrás, obtendo-se maior robustez nas recepções em movimento.

3.7 TRANSMISSÃO HIERÁRQUICA

No sistema *ISDB*, os *bits* a serem transmitidos são divididos em três grupos podendo cada um ter um grau de robustez diferente. Tal possibilidade torna possível fazer com que parte dos sinais transmitidos seja forte o suficiente para ser recebido nas áreas mais afastadas, zonas de sombra ou receptores móveis, enquanto outra destinada à recepção apenas em pontos com melhor localização.

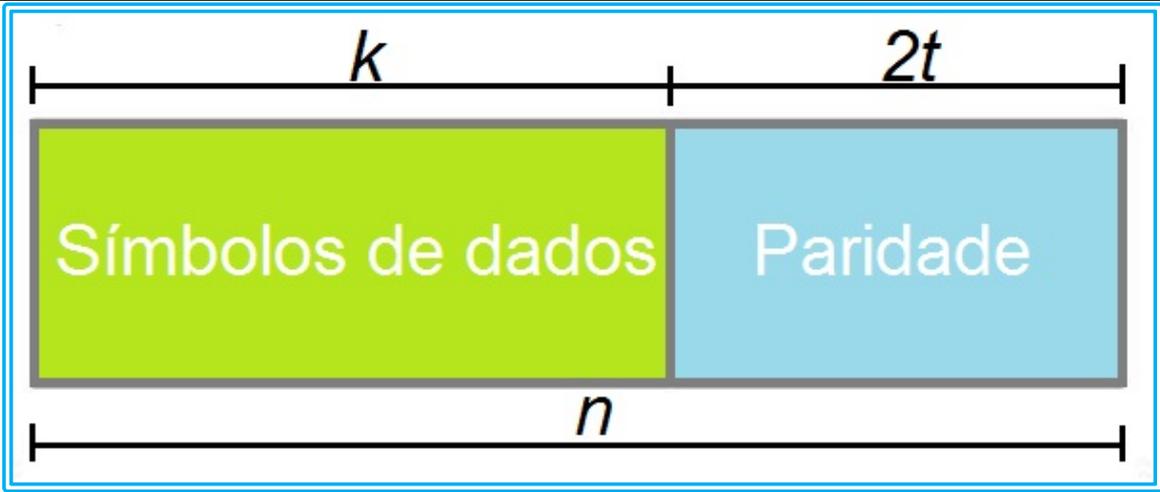
Outra possibilidade da transmissão hierárquica é a de dividir o sinal transmitido em duas partes, uma destinada à imagens em *SDTV* transmitidas em modo mais robusto, e outra com o complemento das informações necessárias à composição de imagens *HDTV* de forma menos robusta (TOME, 2007).

As mini-portadoras estão agrupadas em 13 grupos, podendo estes ser organizados de forma livre formando camadas hierárquicas de transmissão. Combinações de grupos podem ser destinadas à transmissão de um programa em *HDTV* enquanto o outro grupo destinado a um segundo programa em modo mais robusto destinado à recepção móvel.

3.8 CÓDIGO REED SOLOMON

Trata-se de um código de correção de erros que adiciona informação redundante ao sinal, para que o receptor possa detectar e corrigir erros ocorridos durante a transmissão. *Reed-Solomon* se classifica nos códigos de blocos. Nesse tipo, a mensagem a ser transmitida é dividida em vários blocos separados de dados. Cada bloco leva informação original juntamente com a paridade formando a palavra de código (CARVALHO, 2011).

Representa-se na forma $RS(n, k)$, onde n é o número total de símbolos em uma sequência e k , o número de símbolos úteis nesta sequência. Os símbolos de paridade equivalem a $2t$. A capacidade de correção de erros relaciona-se diretamente com a metade do valor dos bits de paridade, isto é, t (RIBEIRO, 2015).

EQUAÇÕES	EXEMPLO	DESENVOLVIMENTO		
$n = 2^m - 1$ $k = 2^m - 1 - 2t$ $n - k = 2t$	$RS(255, 239)$	$RS(n, k)$ $n = 255$ $k = 239$	$n - k = 2t$ $255 - 239 = 2t$ $16 = 2t$ $8 = t$	$n = 2^m - 1$ $255 = 2^m - 1$ $256 = 2^m$ $2^8 = 2^m$ $8 = m$
				
<p>Figura 12 - Representação gráfica da equação Fonte: Autoria própria</p>				
<p>Interpretação : 16 símbolos de paridade para uma sequência de 239 símbolos, sendo que a capacidade de correção do código é de 8 símbolos em uma sequência de 255.</p>				

Trata-se de um código linear, pois ao se adicionar duas palavras de código, tem-se outra palavra de código cíclico, pois, o deslocamento cíclico de símbolos de uma palavra de código produz outra palavra de código (CLARKE, 2002).

Entender a construção do código *Reed-Solomon*, passa pelo estudo dos Campos de Galois e suas operações.

3.8.1 Campo de Galois

Um Campo de Galois é formado por elementos baseados num elemento primitivo representado por α , com os valores (CLARKE, 2002):

$$GF(2^m) = \{0, \alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2^m-3}, \alpha^{2^m-2}\}$$

Um campo $GF(n)$ é um conjunto com n elementos, fechado em relação às operações de adição e multiplicação, onde todo elemento tem seu inverso aditivo e multiplicativo, exceção feita ao 0, que não tem inverso multiplicativo. Sendo p primo, existe um campo de Galois $GF(p)$ com exatamente p elementos. Os códigos *RS* utilizam símbolos do campo de extensão $GF(2^m)$. Assim, considerando o apresentado anteriormente, para $m = 4$ e $GF(16)$, o conjunto terá representação polinômial, $a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$. Considerando a_0, a_1, a_2, a_3 , números binários, sequências do tipo 0000 ou 1111 representarão o polinômio.

3.8.1.1 Polinômios Primitivos

É o polinômio que gera a sequência completa de elementos de um campo finito sem repetições.

Campos de Galois apresentam aritmética diferente da operada com números inteiros. Adição, subtração, multiplicação e divisão de elementos desse conjunto sempre produzem elementos do mesmo conjunto (CLARKE, 2002).

Exemplificando, para um $GF(16)$, $(x^3 + x) + (x^3 + x^2 + 1) = (x^2 + x + 1)$ porque, são seguidas as regras de um XOR, isto é, para a soma ou subtração entre valores iguais, o resultado é 0, Tabela 1.

$$\begin{array}{r} [1x^3 + 0x^2 + 1x + 0] \quad [1 \ 0 \ 1 \ 0] \quad [10] \\ + [1x^3 + 1x^2 + 0x + 1] \quad [1 \ 1 \ 0 \ 1] \quad [13] \\ \hline [0x^3 + 1x^2 + 1x + 1] \quad [0 \ 1 \ 1 \ 1] \quad [7] \end{array}$$

Uma multiplicação num campo de Galois é o resto da divisão entre o produto entre dois elementos, e o polinômio primitivo, $P(x)$ (CLARKE, 2002).

Exemplificando, a multiplicação entre 10 e 13 em $GF(16)$, nas formas polinomiais, $(x^3 + x) * (x^3 + x^2 + 1) = x^6 + x^5 + x^3 + x^4 + x^3 + x$. Como a soma para valores iguais é 0, $x^3 + x^3 = 0$, resultando $x^6 + x^5 + x^4 + x$ e na forma binária, 1 1 1 0 0 1 0. Completa-se a operação dividindo pelo polinômio primitivo para $m = 4$, $P(x) = x^4 + x + 1$.

$$\begin{array}{r} x^6 + x^5 + x^4 \quad + x \quad x^4 + x + 1 \\ \hline x^6 \quad + x^3 + x^2 \quad x^2 + x + 1 \\ \hline x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + x \\ \hline x^5 \quad + x^2 + x \\ \hline x^4 + x^3 \\ \hline x^4 \quad + x + 1 \\ \hline x^3 \quad + x + 1 \end{array}$$

Ou seja,

$$\begin{aligned} (x^6 + x^5 + x^4 + x) \div (x^4 + x + 1) &= (x^2 + x + 1) + (x^3 + x + 1) \\ (1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0) \div (0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1) &= (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1) + (0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1) \\ (114) \div (19) &= (7) + (11) \end{aligned}$$

No *ISDB-T*, utiliza-se como entrada, $k = 188$ e $n = 204$ para a saída, e $m = 8$ bits. A implementação deste código é feita com um código polinomial gerador, $g(x) = x^{15} + x^2 + x + 1$ e polinômio gerador, $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ com um acréscimo de 51 bytes preenchidos com zeros, configurando um *RS(255,239,8)*.

3.8.2 Codificação e Decodificação Reed-Solomon

3.8.2.1 Processo de Codificação

A mensagem representada pelo polinômio $M(x)$ com k símbolos é deslocada multiplicando-se por x^m , e dividida pelo polinômio $g(x)$.

3.8.2.2 Teoria de Correção de Erro

Adicionados à mensagem no canal, erros podem ser representados por um polinômio. A mensagem recebida pelo receptor será então a mensagem original acrescida de erros.

$$R(x) = T(x) + E(x)$$

e,

$$E(x) = E_{n-1}x^{n-1} + \dots + E_1x + E_0$$

O número de fatores $\neq 0$ em $E(x)$ não pode ser maior que t .

O primeiro passo da decodificação é dividir a mensagem recebida $R(x)$, pelos fatores $(x + \alpha^i)$ do polinômio gerador, obtendo assim, o resto desta divisão $S(x)$ chamado de síndrome (CLARKE, 2002).

$$\frac{R(x)}{x + \alpha^i} = Q_i(x) + \frac{S_i}{x + \alpha^i}$$

$$T(x) = M(x) \times x^{n-k} + r(x)$$

Então,

$$S_i = Q_i(x) \times (x + \alpha^i) + R(x)$$

Substituindo x por α^i ,

$$S_i = Q_i(\alpha^i) \times (\alpha^i + \alpha^i) + R(\alpha^i)$$

como $\alpha^i + \alpha^i = 0$,

$$S_i = Q_i(\alpha^i) \times (0) + R(\alpha^i)$$

$$S_i = R(\alpha^i)$$

3.8.2.3 Polinômio Localizador de Erros

O polinômio localizador de erros, Λ , é dado por (CLARKE, 2002):

$$\Lambda(x) = 1 + \Lambda_1x + \dots + \Lambda_{v-1}x^{v-1} + \Lambda x^v$$

3.8.2.4 Polinômio Magnitude do Erro

O polinômio magnitude do erro, Ω , é dado por :

$$\Omega(x) = \Omega_{v-1}x^{v-1} + \dots + \Omega_1x + \Omega_0$$

3.8.2.5 Cálculo dos Erros

Para calcula os valores dos erros encontrados utiliza-se o algoritmo de Forney.

Consiste no calculo do quociente entre o polinômio magnitude do erro, Ω , e a derivada do polinômio localizador de erros, Λ' , para X_j^{-1} .

Como X_j é o inverso da raiz de $\Lambda(x)$, tem-se que $\Lambda(X_j^{-1}) = 0$ (CLARKE, 2002).

Pela teoria de campos finitos a seguinte igualdade é válida:

$$\Lambda'(x) = \Lambda(x)/x \qquad \Lambda'(x) = \frac{\Lambda_{odd}(x)}{x} \qquad Y_j = X_j \frac{\Omega(X_j^{-1})}{\Lambda'(X_j^{-1})}$$

3.8.2.6 Correção dos Erros Localizados

Corrigindo agora os erros localizados, operando de acordo com a aritmética dos Campos de Galois, para cada posição onde o erro foi localizado (CLARKE, 2002).

$$\text{valor errado recebido} + \text{erro calculado} = \text{valor correto}$$

3.9 CODIFICADOR CONVOLUCIONAL E DECODIFICADOR VITERBI

Formam uma forte estrutura para transmissão com ambientes sujeitos à inserção de erros. É o caso do território de grandes cidades brasileiras.

3.9.1 Código Convolutacional

Um código convolutacional é gerado ao se passar uma informação por uma máquina de estado. Esta máquina apresenta m segmentos de k bits e n geradores de funções.

3.9.2 Máquina de Estado

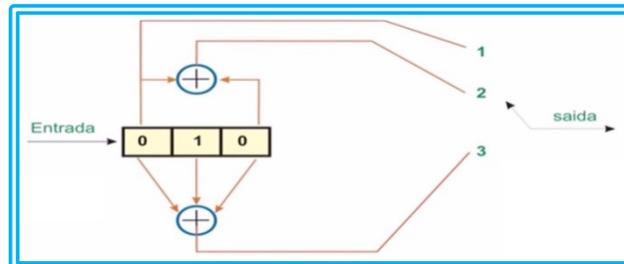


Figura 13 - Exemplo de codificador convolutacional
Fonte: Adaptado vídeo Tarazona (2013)

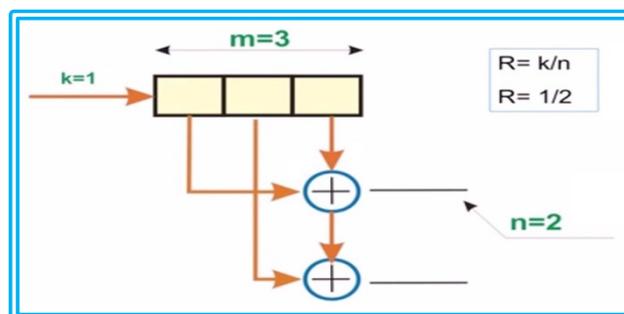


Figura 14 - Exemplo de codificador convolutacional
Fonte: Adaptado vídeo Tarazona (2013)

O sinal \oplus representa uma operação lógica XOR.

3.9.3 Diagrama de Trellis

Um diagrama de Trellis consiste numa coluna vertical à esquerda do diagrama com quatro linhas representativas das quatro combinações possíveis de estado. À direita desta primeira coluna, outras tantas quantos se fizerem necessárias para representar o avanço da unidade do tempo considerado entre cada variação de estado.

São utilizadas dois tipos de setas. A contínua, representando transições de estado iniciadas quando uma entrada for **0** e tracejada, representando transições de estado iniciadas quando uma entrada for **1**.

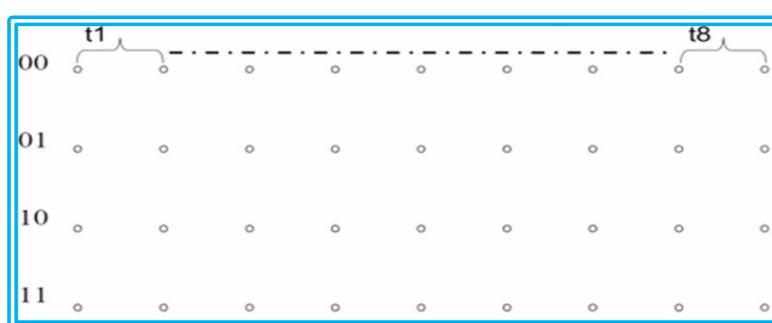


Figura 15 - Diagrama de Trellis
Fonte: Adaptado vídeo Tarazona (2013)

3.9.4 Distância de Hamming

A Distância de Hamming, d^H , é a quantidade de *bits* que se alteram de um ponto à outro. Considerando a Figura 16, o quadrado de lado 1, onde em cada um dos vértices estão as quatro combinações possíveis. Num deslocamento de um vértice a outro pelo lado do quadrado, as variações ocorrem em apenas um dos *bits* do par. Dize-se então, que a distância Hamming é 1. Porém, quando num deslocamento de um vértice a outro pela diagonal do quadrado, as alterações ocorrem nos dois *bits* do par. Dize-se então, que a distância Hamming é 2.

Diante de um terço de *bits*, Figura 17, cada uma das combinações pode ser representada como vértices de um cubo. As variações entre *bits* de ternos entre vértices ligados por uma aresta ocorrerá em apenas um deles, equivalendo a uma distância Hamming 1. Variações entre *bits* de ternos entre vértices ligados pela diagonal numa mesma face ocorrerá em dois *bits* simultaneamente, sendo a distância Hamming 2. Para ternos ligados pelas diagonais do cubo, as variações simultâneas observadas serão nos três *bits*, equivalendo a uma distância Hamming 3.

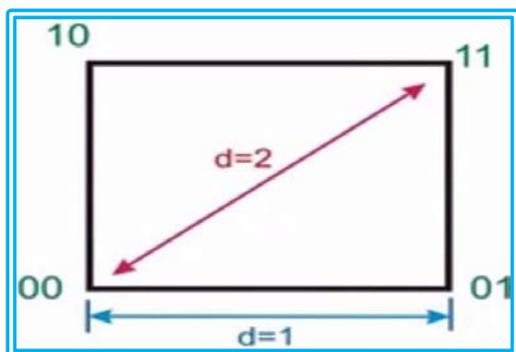


Figura 16 - Distâncias Hamming bidimensionais
Fonte: Adaptado vídeo Tarazona (2013)

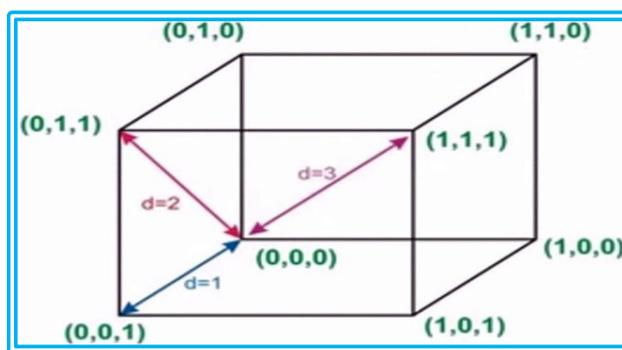


Figura 17 - Distâncias Hamming tridimensionais
Fonte: Adaptado vídeo Tarazona (2013)

3.9.5 Algoritmo de Viterbi

Agora, a análise de como o algoritmo de Viterbi detecta e trata da correção destes erros. Continuando a sequência apresentada até aqui, segue o desenvolvimento do algoritmo :

Algoritmo de Viterbi	
PASSO	DESCRIÇÃO
1	Passados $t = 1, 2, 3, \dots, n$, coloca-se no topo de cada coluna $t = 1, 2, 3, \dots, n$, conforme o avançar do tempo, os bits representativos do sinal recebido naquele instante, comparando-se este com as possibilidades admissíveis para a combinação de entrada e estado identificadas naquele instante, anotando-se sobre as linhas pontilhadas ou cheias desenvolvidas durante este intervalo de tempo suas respectivas distâncias Hamming acrescidas da menor distância Hamming obtida no início do intervalo ora considerado. Isto significa dizer que como o diagrama de Trellis busca formar caminhos constituídos das menores distâncias Hamming possíveis, descartam-se as maiores distâncias convergentes a cada um dos estados.
2	Repetem-se estes procedimentos até a construção total da malha.
3	Finaliza-se a análise apresentando o diagrama somente com o caminho completo descrito pelas menores distâncias Hamming encontradas.

No topo do diagrama ficaram grafados a sequência de *bits* recebidos com e sem erro.

Os *bits* de cada uma das setas que compõe o diagrama, isto é, as saídas de dois *bits* geradas na ocasião da entrada de cada *bit* na máquina, colocados em sequência, representam o sinal correto transmitido, ou seja, o sinal recuperado livre dos erros encontrados no instante da recepção.

3.10 REDES DE FREQUÊNCIA ÚNICA - SFN

Rede onde diversas estações transmitem a mesma programação valendo-se do mesmo canal. Isso não era possível no sistema analógico, onde o receptor reproduziria as imagens com fantasmas ou áudio com eco. Neste caso, o receptor identifica sinais interferentes e

defasados, ou seja, duas portadoras de vídeo gerando fantasmas na imagem. O tamanho da sombra, isto é, fantasma, é o tempo da defasagem. No áudio, como o discriminador é mais seletivo, e tendo este que demodular duas portadoras, o efeito é o chiado muito alto de áudio. Sinais analógicos, intermodulam.

3.10.1 Multipercursos

A dispersão de um sinal do canal de propagação se dá a partir da antena transmissora, em várias direções, encontrando vários obstáculos.

Considerando um ponto qualquer de recepção, o sinal proveniente da antena transmissora chega a este juntamente com os sinais refletidos.

Sinais refletidos por percorrerem distâncias diferentes e, por consequência, em tempos distintos, chegam em atraso em relação ao sinal principal ao ponto de recepção.

Isso gera uma interferência intersimbólica. Como a taxa de dados transmitidos é inversamente proporcional ao tempo do símbolo, maior será sua contribuição no tempo de interferência. Vale lembrar que aumentar potência pode melhorar a relação sinal-ruído o que não resolve a interferência intersimbólica.

Esta característica pode ser observada pela análise da Resposta Impulsiva, também chamada de *Delay Analysis*, *Ghost Pattern* ou *Multipath Pattern* (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

Os múltiplos percursos levam ao surgimento de ecos gerando desvanecimentos, também chamados de *fadings*, na frequência do sinal que chega ao receptor.

Ecos recebidos são diretamente proporcionais aos pontos de reflexão pelo caminho. Zonas de alta densidade de obstáculos incidirão sobre o receptor vários ecos com longa duração.

No sistema de transmissão analógico, este fenômeno é responsável pela geração de fantasmas na imagem. Esse conceito é a base ao entendimento de uma rede *SFN*.

Considerando dois transmissores situados em pontos geograficamente distintos, transmitindo no mesmo canal e um televisor situado em um ponto qualquer recebendo os dois sinais transmitidos. O sinal principal chega ao receptor juntamente com o sinal do segundo transmissor e naturalmente atrasado em relação ao primeiro, aqui considerado como um sinal refletido. Nesse conceito, tanto faz ao receptor perceber um sinal refletido ou de outra fonte geradora.

Torna-se necessário que todas as estações transmissoras nesse mesmo canal estejam colocando no ar, ao mesmo tempo o mesmo *Broadcast Transport Stream (BTS)*.

O importante numa rede *SFN* é o conceito de intervalo de guarda.

No sistema de transmissão digital todo o sinal secundário, isto é, sinal de menor intensidade, refletido ou gerado de outra fonte que incidir num receptor com um atraso menor ou igual ao intervalo de guarda será interpretado como o mesmo símbolo transmitido.

3.10.2 Tipos de Sobreposição

Deve-se analisar os três tipos de *overlapping*, sobreposição, das áreas atendidas pelos transmissores.

Entende-se por área de sobreposição a região geográfica onde a diferença de potência entre os sinais de mesma frequência interferentes seja maior ou igual a -30 dB.

TIPO	CATEGORIA	DESCRIÇÃO
I	IDEAL	Não apresenta sobreposição entre os sinais transmitidos, não havendo necessidade de sincronismo entre os transmissores.
II	REAL	A área sobreposta pelos sinais deve ser atendida de forma sincronizada pelos transmissores, com a garantia de alinhamento de sinal no centro da área considerada. A distância máxima em metros entre as linhas limítrofes da área sobreposta deverá ser menor que o produto entre o intervalo de guarda e a velocidade da luz, ou seja : $D < IG \times 10^8$.
III	CRÍTICO	O sincronismo entre os transmissores deve ser direcionado a área de maior concentração de receptores. Neste caso, atendendo ao funcionamento do sistema, áreas onde o atraso entre os sinais for superior ao intervalo de guarda definido, o sinal mais atrasado será interpretado como ruído interferente. Assim, o lugar geométrico dos pontos com distância superior a definida pelo produto do intervalo de guarda e a velocidade da luz, ou seja: $D > IG \times 10^8$ apresentará problemas de recepção.

Quadro 4 - Tipos de Overlapping
Fonte: Lima; Machado; Barcia, (2013)

3.10.3 Ajustes de Rede

Ajustar uma rede *SFN* significa integrar a funcionalidade de três fatores :

FATOR	DESCRIÇÃO
MODO	No sistema de transmissão digital, existem três modos de transmissão, cada um disponibilizando um número de portadoras. Cada uma destas portadoras disponíveis apresenta ortogonalidade entre si, demonstrada pelo número de pontos da transformada discreta de Fourier.
INTERVALO DE GUARDA	O intervalo de guarda é fundamental para delimitar o limite de tempo e distância onde os sinais incidentes a determinado ponto são considerados como reforço ou interferentes um do outros.
AJUSTE DO DELAY	Aumentar ou diminuir o <i>delay</i> permite posicionar a área de sobreposição dos sinais na região de maior concentração de receptores.

Quadro 5 - Fatores de funcionalidade numa rede *SFN*
Fonte: Lima; Machado; Barcia, (2013)

Estes ajustes quando construtivos, levam a uma distribuição mais uniforme da potência irradiada tornando o sistema mais confiável pela maior densidade de potência na região a ser atendida bem como uma maior probabilidade de recepção (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

A complexidade ao projetar e executar uma rede *SFN* é bastante grande comparada à implantação de redes *MFN*. Vale considerar que o esforço é compensador, existindo ainda alguma resistência por parte de profissionais da área na construção de redes *SFN*.

Distribuir sinal digital concentrando a transmissão em um único transmissor sem dúvida é mais simples. Este ganho de simplicidade é acompanhado de alguns aspectos desfavoráveis.

Um único transmissor necessita de uma potência irradiada muito maior para atingir os pontos mais distantes da região necessária de cobertura. Esta energia toda, concentrada num único ponto, acarreta grande desperdício de energia oferecida a regiões no entorno do sistema irradiante.

Redes *SFN*, para uma mesma área de cobertura, valem-se de transmissores com potências reduzidas em relação a um único transmissor, tornam a presença do sinal melhor distribuída e homogênea.

Com o reaproveitamento dos canais, proporciona uma otimização do espectro facilitando a oferta de novos canais.

3.10.4 Tipos de Redes SFN

As redes de frequência única classificam-se em duas categorias : Distribuídas e Por Repetição.

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
Distribuídas	O sinal BTS é levado aos transmissores da rede por <i>links</i> de comunicação, que podem ser fibra ótica, satélite ou micro-ondas.
Por Repetição	O sinal BTS é levado aos transmissores pelo ar. Trata-se da simples retransmissão do sinal gerado pelo transmissor principal da emissora. Os transmissores secundários recebem este sinal e o retransmitem, não havendo nenhuma demodulação do sinal. Este tipo de retransmissão é comumente utilizado para dar cobertura adicional em áreas de sombra de sinal, recebendo o nome de <i>Gap Fillers</i> .

Quadro 6 - Classificação das SFNs
Fonte: Lima; Machado; Barcia, (2013)

Considerando as particularidades de cada uma destas modalidades de rede, alguns detalhes devem ser observados (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

Nas redes *SFN* distribuídas, cada transmissor é independente dos demais. Como a ideia da rede é de contribuição construtiva com os demais, não há limitação de potência. A relação sinal/ruído não sofre degradação, podendo-se ter uma rede com delay igual a zero. Este tipo de rede depende totalmente do pleno funcionamento do meio de transporte do *BTS*.

Nas redes *SFN* por repetição, como o *BTS* é recebido pelo ar, não há necessidade de link entre o transmissor principal e os secundários. Este elemento a menos no sistema pode levar a uma falha geral dos segmentos *Gap Fillers* da rede por ocasião de falha do transmissor principal. Esta modalidade de reforço de sinal exige também cuidado quanto ao acoplamento entre a entrada do sinal recebido do transmissor principal e a saída do transmissor secundário. Também é característico apresentar degradação da relação sinal ruído.

3.10.5 Construindo Uma Rede

Apresentada a lógica funcional das redes *SFN*, a etapa é agora construí-la, transcorrendo detalhadamente pelos equipamentos que a compõem.

Uma rede *SFN* é composta por um gerador *BTS*, um adaptador *SFN*, *links* de distribuição, equipamento para inserir atrasos, moduladores e sistemas de sincronismo (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

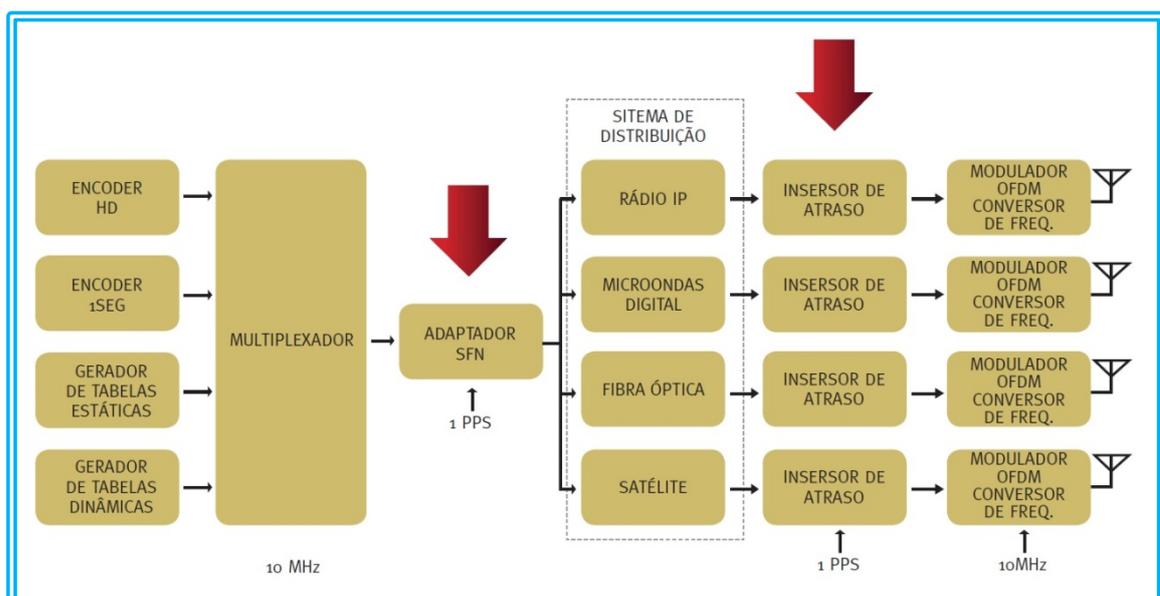


Figura 18 - Sistema Transmissão SFN
Fonte: Lima; Machado; Barcia, (2013)

Observando a Figura 18, representativa desse tipo de rede e comparando com o de uma *MFN*, observa-se a presença de um adaptador *SFN* e de um insersor de atraso. Para dotar a rede de sincronismo, disponibiliza-se uma referencia de 10 MHz via *Global Positioning System (GPS)*.

O adaptador *SFN* insere no sinal, parâmetros para sincronizar os transmissores. Estes parâmetros de sincronismo e transmissão ficam descritos pelo *Network Synchronization Information (NSI)*, inseridos no pacote *ISDB Information Parameters (IIP)* do sinal antes do sistema de distribuição. Após o adaptador *SFN* inserir a marcação de tempo no *BTS*, o sistema de distribuição a ser utilizado deverá ser transparente, significando que ele não poderá alterar nem a base de tempo, o conteúdo ou a ordem dos pacotes.

O insersor de atraso de cada estação tem a função de atrasar na entrada de cada modulador o sinal recebido, fazendo que os sinais irradiados por cada transmissor estejam alinhados.

Considerando redes *SFN* do tipo distribuídas, estas se dividem em redes no modo dinâmico e redes no modo estático.

Redes *SFN* distribuídas dinâmicas são as mais utilizadas e mais fáceis de construir. Nelas, o atraso na distribuição é calculado de forma dinâmica, tendo como base as informações constantes no campo *NSI*. Esse é o motivo pelo qual todos os insersores de atraso devem receber os mesmos 1 Pulso Por Segundo (PPS).

Redes desse tipo apresentam como característica simplicidade em sua manutenção, permitindo a substituição de qualquer elemento da rede por outro de atraso diferente sem necessidade de realinhamento. Para isso deve-se considerar que o novo elemento inserido não ultrapasse o *delay* máximo da rede.

É necessário inserir dispositivos de controle de falhas no sistema. Perdas de referencia dos pulsos de 1 *PPS* numa estação transmissora desse tipo podem trazer danos a transmissão. Este sistema de controle, ao detectar uma falha deve imediatamente reduzir a potência do transmissor minimizando a dispersão do erro pela rede (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

Fórmulas para o cálculo dos atrasos :

$$delay_{local} = delay_{max} - (delay_{caminho} + delay_{processamento}) \text{ em ns}$$

$$delay_{caminho} = contador \text{ de tempo}_{local} - marca \text{ temporal em ns}$$

Onde :

$delay_{max}$	→ máximo atraso da rede ou atraso total;
$marca\ temporal$	→ marca do momento em que foi gerado o primeiro pacote de um quadro de multiplexação de paridade par;
$contador\ de\ tempo_{local}$	→ contador de 1×10^6 unidades reiniciado à referência de 1 <i>PPS</i> ;
$delay_{caminho}$	→ intervalo de tempo entre a recepção e geração do primeiro pacote de um quadro de multiplexação de paridade par;
$delay_{processamento}$	→ tempo de processamento para a geração do símbolo <i>OFDM</i> por parte do <i>BTS</i> de entrada;

3.10.6 Viabilidade Técnica de Uma Rede SFN

Um dos aspectos fundamentais na implantação de uma rede *SFN* está na definição dos locais onde colocar os transmissores.

De posse desses pontos em potencial avaliados por melhor infraestrutura e cobertura analisa-se a cobertura.

Nessa etapa, além da análise criteriosa do perfil do terreno, edificações e outros fatores que visualmente possam determinar uma possível obstrução dos sinais transmitidos, ferramentas de predição de sinal por software auxiliando no esboço da rede, na definição da potência e atrasos na transmissão pelos segmentos da rede, zonas de sobreposição ou sombras de sinal evitando áreas de potências equivalentes e distâncias temporais elevadas.

É interessante constituir áreas de cobertura onde dois ou mais transmissores contribuam com a sobreposição de seus sinais alinhados no tempo.

Na impossibilidade desse alinhamento, ocorre a interferência de um transmissor no outro, caso o ponto de recepção for atendido por estes sinais além da distância máxima admitida pelo intervalo de guarda. Este problema pode ser solucionado com ajuste de atrasos de um dos transmissores e/ou reduzir sua potência.

Aqui, vale observar que numa rede *SFN*, além dos ajustes temporais da rede, há preocupação com a potência de cada um dos transmissores definidas em função da distância entre eles (LIMA; MACHADO; BARCIA, 2013).

Encontrar um bom local de transmissão, contemplando uma boa infraestrutura e situação geográfica não implica em sobreposições ideais dos sinais transmitidos por uma ou mais fontes.

3.10.7 SFN Via Satélite

É possível a construção de redes *SFN* com distribuição de sinal via satélite. Nesta topologia, o sinal *BTS* é distribuído por compressão.

3.10.8 SFN e a Compatibilidade de Equipamentos

Dada as opções de equipamentos existentes, ao crescimento que uma rede pode ter ao longo do tempo bem como a evolução tecnologia integrada aos novos equipamentos, torna-se necessário a perfeita compatibilidade entre modelos de equipamentos e versões de software entre os diversos fabricantes.

3.10.9 Distribuição do *BTS*

Distribuir *BTS* também requer observações.

A banda utilizada pode ter seu uso de forma ineficiente uma vez que não existe diferenciação entre dados válidos e inválidos transmitidos.

3.10.10 Formatos de Áudio e Vídeo

Dentre as modificações incorporadas ao SBTVD a partir do padrão Japonês *ISDB-T* adotado está a substituição do *MPEG-2* pelo *MPEG-4*. Para a codificação de vídeo, adotou-se o H.264 de normatização ISO/IEC 14496-10:2005. Para o áudio foi escolhido a padronização H.264 AAC LATM/LOAS de normatização ISO/IEC 14492-3:2005.

3.11 O SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL

Adotar um sistema de transmissão digital requereu análise dos sistemas utilizados em outros países bem como a proposição de melhorias a torna-lo mais robusto e inovador.

Pensando na melhoria da relação Sinal/Ruído, mascaras de transmissão mais rigorosas foram inseridas no sistema, garantindo assim que, mesmo em regiões com frequências num espectro interferido, a transmissão em canais adjacentes com a minimização de interferências.

Às transmissões digitais, ficaram definidos os canais de 7 a 13 e de 14 a 69 em *UHF*.

A frequência intermediária FI passou a ser de 44 MHz.

A forma de modulação adotada foi a *BST-COFDM*. Modulada com múltiplas portadoras funciona com segmentação da banda. O canal de 6 MHz é subdividido em 14 partes iguais de 0,428571... MHz. Um destes segmentos, isto é 1/14 da banda total não

transporta informação útil, servindo apenas como faixa de guarda aos canais adjacentes. Os demais 13 segmentos estão disponíveis ao uso, total ou parcial (ABNT 15601:2007). Enviam-se dentro de um mesmo canal de 6 MHz serviços distintos para aplicações distintas com também modulações diferenciadas, a chamada Transmissão Hierárquica.

Ao chegar ao receptor, este identifica qual dos segmentos de subportadora contém o serviço a ele destinado. Estas informações recebem o nome de *Transmission and Multiplexing Configuration Control (TMCC)* e levam os parâmetros de configuração do transmissor. Estes conteúdos idênticos ou distintos disponibilizados com parâmetros diferentes de modulação numa mesma transmissão é um dos grandes diferenciais do sistema digital brasileiro.

Aparelhos celulares recebem sinal *One-Seg*, dispensando a necessidade de altas taxas de áudio e vídeo. Pela seletividade do sistema, somente este segmento é tratado. Objetivando proteger este segmento de interferências de canais adjacentes, o segmento número zero ficou destinado a ele e locado ao centro dos segmentos, aumentando sua imunidade à interferências.

Quanto maior for a qualidade de áudio e vídeo que se deseja transmitir, maior será a necessidade de transmissão de dados simultâneos e conseqüentemente um maior número dos segmentos serão utilizados. Transmitindo no modelo *Full-Seg*, chega-se à alta definição. Como nesse caso os sinais são recebidos por aparelhos que não se deslocam e estão ligados a antenas fixas, opta-se por modulações menos robustas, pois nestas condições o ganho é elevado. Alguns receptores móveis mais recentes utilizam *Maximun Ratio Combiner (MRC)* permitindo recepção móvel também em alta definição.

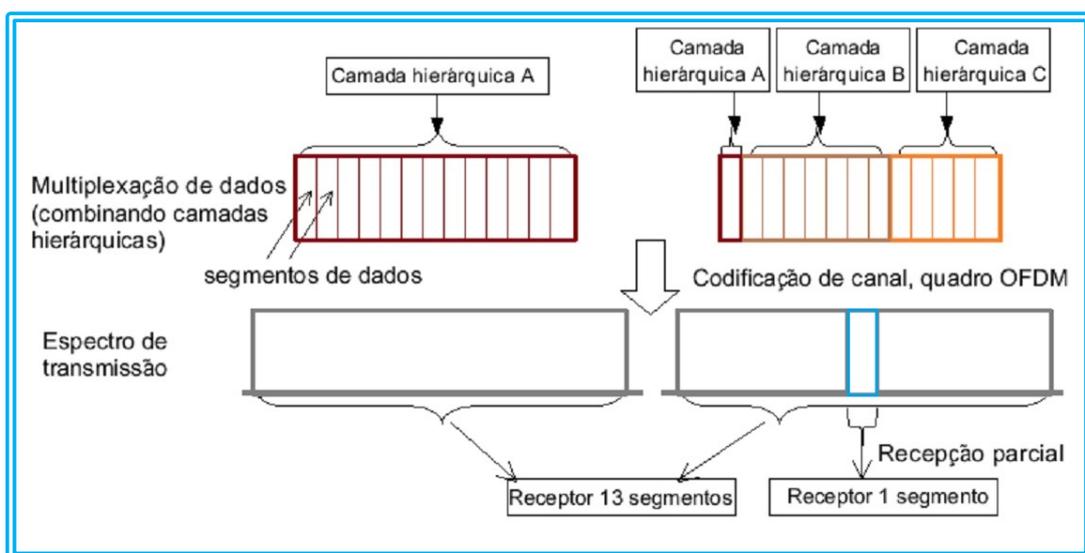


Figura 19 - Transmissão Hierárquica e Recepção Parcial (One Seg)

Fonte: Adaptado ABNT 15601:2007

Observando a figura, os 13 segmentos de banda de transmissão podem ser utilizados em combinações diversas, facultando até múltiplos *Full-Segs* em modulações distintas.

3.11.1 Modos de Transmissão

A densidade de informação que cada segmento envia pode variar em função dos parâmetros configurados na transmissão. Pela norma do SBTVD estão definidos três modos de transmissão denominados : Modo 1, Modo 2 e Modo 3.

Tabela 3 - Modos de Transmissão

Modo	1	2	3
Número de segmentos OFDM	13		
Largura de Banda	5,575 MHz	5,575 MHz	5,575 MHz
Espaçamento entre portadoras	3,968 kHz	1,984 kHz	0,992 kHz
Número de portadoras	1405	2809	5617
Esquema de modulação	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por quadro	204		
Tamanho do símbolo	252 μ s	540 μ s	1008 μ s
Intervalo de guarda	63 μ s (1/4)	126 μ s (1/4)	252 μ s (1/4)
	31,5 μ s (1/8)	63 μ s (1/8)	126 μ s (1/8)
	15,75 μ s (1/16)	31,5 μ s (1/16)	63 μ s (1/16)
	7,875 μ s (1/32)	15,75 μ s (1/32)	31,5 μ s (1/32)

Fonte: ABNT 15601:2007

A seleção pode ser feita entre os três modos levando-se em consideração o local de propagação seguindo o seguinte raciocínio: aumentando-se o espaçamento entre subportadoras mais imune a transmissão fica à reflexão de sinais. Com base em testes realizados no Brasil, é predominante o uso do Modo 3 de transmissão por ter apresentado boas condições de propagação bem como uma maior taxa de bits por canal.

3.11.2 Intervalo de Guarda

Num sinal transmitido por um meio dispersivo, observa-se dois tipos de efeitos. O primeiro deles é caracterizado pela destruição da ortogonalidade entre as portadoras gerando interferências, fenômeno chamado de *ICI*. O segundo efeito constatado é a *ISI*.

Para sanar estes problemas foi inserido um intervalo de guarda intersimbólico. O problema *ISI* foi solucionado, mas as portadoras perderiam a ortogonalidade o que mantinha a ocorrência do *ICI*. Com isso, ao demodular, a primeira subportadora já sofre interferência da segunda e assim sucessivamente. Tal fato ocorre porque o número de ciclos de duas portadoras dentro de um intervalo de cálculo não ser inteiro. A solução proposta foi replicar o final do símbolo *OFDM* de outra subportadora nos espaços vazios. Caso o retardo for um valor menor que o intervalo de guarda (IG), fica garantido que réplicas retardadas de um

símbolo *OFDM* apresentarão sempre um valor inteiro de ciclos num intervalo de cálculo da *FFT* (RADIO-ELETRONICS, 1015). A este procedimento dá-se o nome de *Cyclic Prefix*.

No SBTVD pode-se seleccionar o IG entre 1/4, 1/8, 1/16 ou 1/32. Isto significa frações do tamanho do símbolo transmitido. Aumentando-se o intervalo torna-se o sistema mais robusto, mas a taxa de bits transmitida fica menor. Este fato força escolher o tamanho do intervalo de guarda pelo maior atraso que a rede possa apresentar.

3.11.3 FEC

Ao inserir códigos de correção de erros, otimiza-se o canal enviando ao receptor informações que subsidiam a detecção e correção de erros. Essa técnica elimina a necessidade de um canal de retorno necessário ao receptor solicitar reenvio de informação deficiente ou perdida. Esta técnica vem acompanhada da utilização de mais banda para transmitir.

A funcionalidade da Correção Adiantada de Erros, *FEC* trabalha com um código convolucional, significando que os dados de entrada são uma série de *bits*. Estes serão decodificados por um decodificador Viterbi.

3.11.4 O Canal SBTVD

O diagrama da Figura 20 apresenta todo o processamento dos sinais desde seu lançamento no sistema até a transmissão.

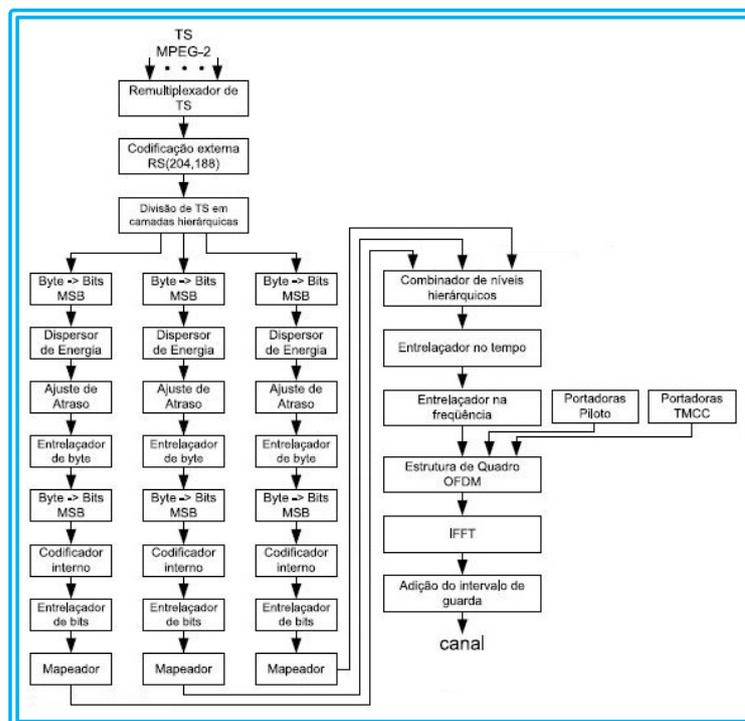


Figura 20 - Etapas da codificação do canal

Fonte: ABNT 15601:2007

O sinal *MPEG-4* com todas as informações multiplexadas são empacotados em 188 *bytes*. Este tamanho independe de serem utilizados na recepção móvel ou fixa. Passa então por remultiplexação onde são adicionados 8 *bytes* contendo *dummy bytes*. Na sequência, chegam ao *Outer Coded*, onde se processa o algoritmo de *Reed-Solomon*. Nesse momento, 16 *bytes* são inseridos para corrigir erros na chegada ao receptor. Agora as informações são separadas pelo modulador em pacotes. Cada camada recebe seu respectivo pacote tratando-o em separado. Insere-se aqui correções de erro convolucional e é feito o mapeamento (13 segmentos) nas diversas modulações às aplicações a que se destinam. Em seguida ocorre o reagrupamento e embaralhamento das informações no tempo e na frequência pela transformada de Fourier, protegendo o sinal de ruídos em rajadas. O sinal pronto pode ser modulado em multiportadoras e protegido pela inserção do intervalo de guarda.

3.11.5 BTS

A inserção de informações adicionais antes da transmissão diferencia os sistemas brasileiro e japonês dos demais sistemas.

O *Transport Stream (TS)* é gerado pelo multiplexador com informações completas de todos os programas transmitidos. Estes programas podem estar em qualquer das camadas A, B ou C. O modulador se encarrega de separar os serviços destinados a cada segmento. Para que isso ocorra, gerado *TS*, ocorre remultiplexação do sinal, dando origem ao sinal *BTS*.

O sinal *BTS* permite ao modulador uma autoconfiguração pela identificação das tabelas. Nelas estão as definições dos atrasos entre os transmissores da rede. Estas informações são transmitidas em 8 *bytes* inseridos posteriormente ao pacote *MPEG-4* juntamente com outros 8 *bytes* para os corretores de erros. Tudo concluído, o *BTS* é transmitido a uma taxa de 32,5 Mbps num pacote de 204 *bytes*.

3.11.6 A Máscara de Transmissão

O SBTVD foi concebido com a possibilidade de canais adjacentes. Além disso, existe até o *switch-off* analógico, transmissões analógicas e digitais compartilhando a mesma faixa.

Objetivando minimizar interferências aos canais adjacentes foram definidos três tipos de mascaras. A escolha de uma ou outra mascara coloca o transmissor em diferentes níveis de ruído na saída, ajustando-se assim a relação sinal/ruído (S/N) da transmissão. Níveis de sinal fora da faixa definida para o canal devem estar de acordo com um dos três níveis especificados pela NBR 15601 conforme a região onde se localiza o transmissor (ABNT 15601:2007).

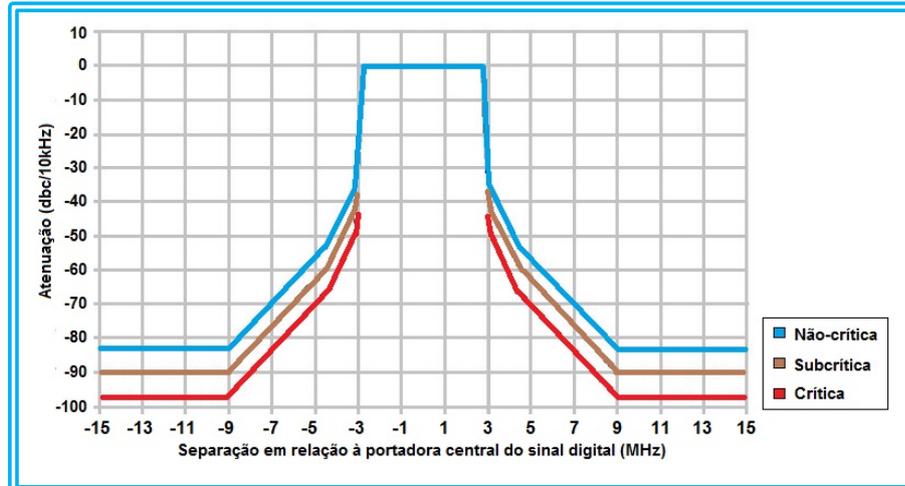


Figura 21 - Máscara do espectro de transmissão para radiodifusão de televisão digital terrestre
Fonte: Adaptado ABNT 15601:2007

Tabela 4 - Máscaras do espectro de transmissão

AFASTAMENTO EM RELAÇÃO AO CENTRO DO CANAL (MHz)	MÁSCARA		
	NÃO CRÍTICA (dB)	SUBCRÍTICA (dB)	CRÍTICA (dB)
-15,00	83,0	90,0	97,0
-9,00	83,0	90,0	97,0
-4,50	53,0	60,0	67,0
-3,15	36,0	43,0	50,0
-3,00	27,0	34,0	34,0
-2,86	20,0	20,0	20,0
-2,79	0,0	0,0	0,0
2,79	0,0	0,0	0,0
2,86	20,0	20,0	20,0
3,00	27,0	34,0	34,0
3,15	36,0	43,0	50,0
4,50	53,0	60,0	67,0
9,00	83,0	90,0	97,0
15,00	83,0	90,0	97,0

Fonte: ABNT 15601:2007

Tabela 5 - Potência máxima de cada classe

CLASSE	MÁXIMA POTENCIA ERP (kW)	
	Banda VHF	UHF
Especial	16	80
A	1,6	8
B	0,16	0,8
C	0,016	0,08

Fonte: ABNT 15601:2007

Tabela 6 - Critérios para aplicação das máscaras Crítica, Subcrítica e Não Crítica

Classe da estação digital	A, B e C				Especial		
Distância em relação a estação do canal adjacente instalada na mesma localidade	< 400 m		> 400 m		Ausência de canal adjacente previsto ou instalado na mesma localidade	Existência de canal adjacente previsto ou instalado na mesma localidade	Ausência de canal adjacente previsto ou instalado na mesma localidade
Tipo de modulação do canal adjacente previsto ou instalado na mesma localidade	Analógica	Digital	Analógica	Digital			
$P_{digital} < P_{adjacente} + 3\text{ dB}$	Crítica	Subcrítica	Crítica		Não Crítica	Crítica	
$P_{digital} > P_{adjacente} + 3\text{ dB}$		Crítica					
$P_{digital} \rightarrow$ Potência ERP da estação digital			$P_{adjacente} \rightarrow$ Potencia ERP do canal adjacente				

Fonte: ABNT 15601:2007

Em *SFN* o uso de máscara crítica deve ser definido, principalmente onde o espectro sofre grandes interferências. A não observação deste detalhe pode inviabilizar o projeto.

3.12 REDES MFN

Como já abordado, as redes *MFN* fizeram parte por muitos anos das topologias de redes adotadas pelas redes de televisões. Entretanto, à época em que começaram a ser implantadas, as características das sociedades bem como o perfil de quem assistia televisão era outro. O mundo moderno é conectado e a velocidade dos fatos e a instantaneidade das informações não mais o esperam chegar em casa após um dia de trabalho para estar atualizado com o mundo. O mundo atual é móvel.

Em sua estruturação, as redes *MFN* transmitiam a partir de sua sede para uma região delimitada por sua área de cobertura. Transposta esta área, as regiões adjacentes à primeira deveriam necessariamente serem cobertas por outra frequência evitando a interferência entre as duas fontes transmissoras pois os receptores analógicos não dispunham de tecnologia para tratamento de multipercursos. Acrescente-se a isso o fato de um espectador em viagem ao transpor o limite entre as zonas de cobertura, teria que saber em qual canal sintonizar na nova região para continuar assistindo à mesma programação o que leva a solução de continuidade do que estava assistindo. Sem falar que o arranjo de uma *MFN* consome espectro pela multiplicidade de canais utilizados na distribuição dos sinais.

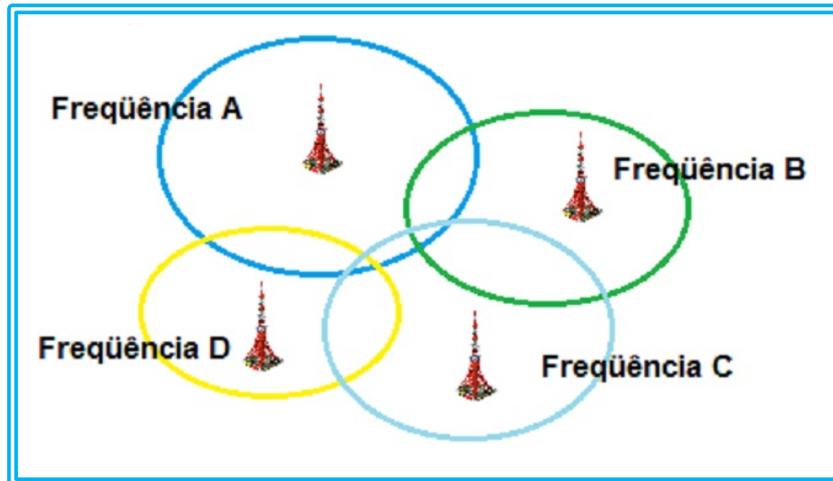


Figura 22 - Exemplo de rede MFN
Fonte: Autoria própria

3.13 REDES SFN

Com a chegada da tecnologia digital de transmissão a ideia da construção de redes de frequência única pôde ser colocada em prática. Os receptores digitais são dotados de recursos que tratam o problema do multipercurso. Do lado da rede de transmissores, o tratamento dos sinais, o sincronismo entre eles e o conceito de intervalo de guarda transformaram uma ideia antiga em realidade.

As redes passam a ser constituídas por uma malha de transmissores operando na mesma frequência. Estes passam a transmitir de forma sincronizada e complementar aumentando o uso eficiente do espectro melhorando a relação sinal/ruído, a potência total dos transmissores da rede é menor se comparada a um único transmissor e facilita a cobertura de zonas de sombra.

A recepção móvel torna-se totalmente viável, tornando possível assistir televisão em movimento durante deslocamento entre localidades atendidas por transmissores distintos sem solução de continuidade da programação.

Para que tudo funcione corretamente a frequência dos transmissores podem variar em $\pm 1\text{Hz}$ sobre o valor nominal da rede, o retardo permitido na transmissão do sinal de cada um deve ser de $\pm 1\mu\text{s}$, todos devem ter adaptador *SFN* e ter referência de 1 PPS e 10 MHz bem como garantir que a diferença entre os tempos dos sinais que chegam ao receptor não ultrapasse o intervalo de guarda.

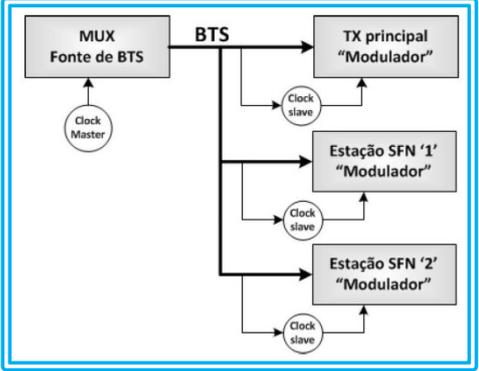
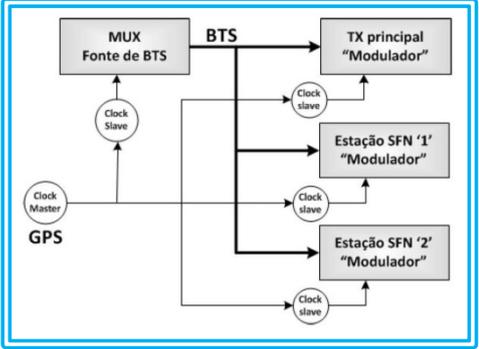
3.14 TOPOLOGIAS DAS REDES SFN

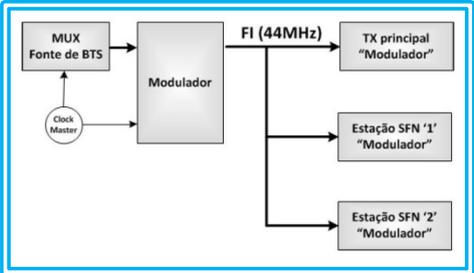
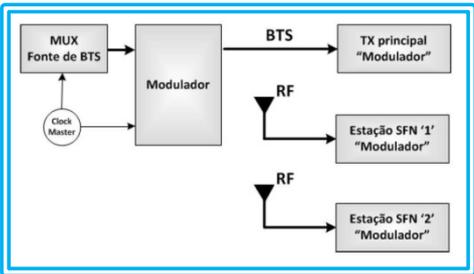
As redes de frequência única podem ser projetadas para funcionar com o envio de sinal *BTS* aos transmissores da rede, pelo envio de *FI* ou por *Gaep Fillers*.

Considerando a transmissão com o envio do *BTS*, este é gerado pelo multiplexador e transmitido aos demais transmissores. Todos os transmissores e moduladores presentes na rede devem estar em sincronismo tanto em tempo bem como em frequência. Estes requisitos são fundamentais para que uma unidade transmissora não interfira na outra.

3.15 MÉTODOS DE SINCRONISMO

De acordo com a NBR 15601, pode-se recorrer a dois métodos de sincronismo :

MÉTODO	CARACTERÍSTICA	DIAGRAMA
ESCRAVA	Um sinal mestre de 10 MHz é gerado pela estação principal. Juntamente com o <i>BTS</i> é enviado aos demais transmissores onde passa por modulação e é transmitido.	 <p>Figura 23 - Sincronização Escrava Fonte: Seminário INATEL (2011)</p>
MESTRE	Utiliza o sincronismo gerado por <i>GPS</i> . Cada transmissor da rede conta com recepção de sinal <i>GPS</i> , não havendo envio de <i>clock</i> de 10 MHz pela estação principal.	 <p>Figura 24 - Sincronização Mestre Fonte: Seminário INATEL (2011)</p>
Independente do método, atenção na transmissão do <i>BTS</i> aos transmissores secundários.		

MÉTODO	CARACTERÍSTICA	DIAGRAMA
ENVIO FI	Os <i>links</i> de transmissão e os equipamentos envolvidos nela devem ter ótima estabilidade. Caso isso não ocorra, a recepção na unidade secundária do <i>BTS</i> e/ou sincronismo poderá apresentar <i>Jitter</i> elevado, isto é, atraso na entrega de dados. Não necessita transportar ou gerar localmente nenhum sincronismo de referência, sendo necessário referir o multiplexador ao modulador. Isso é feito para demarcar pontos de sincronismo ao sinal. Em cada destino será feito um <i>upconverter</i> da <i>FI</i> para o canal <i>SFN</i> definido para a rede. ATENÇÃO : por não haver sincronismo na rede em hipótese alguma será permitido qualquer atraso !!!	 <p>Figura 25 - Envio de FI Fonte: Seminário INATEL (2011)</p>
AR	Utiliza <i>Gap Fillers</i> . Os sinais chegam pelo ar oriundos do transmissor principal, são amplificados e retransmitidos. Cuidado especial deve ser dado à eventual interferência gerada pela realimentação do sinal recebido sobre o transmitido observando-se o efeito de acoplamento entre as antenas de recepção e transmissão. Não existem aqui ajustes de atrasos sendo eventualmente necessário cancelar eventuais ecos.	 <p>Figura 26 - Retransmissão do Canal Fonte: Seminário INATEL (2011)</p>

3.16 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE FATORES CRÍTICOS NUMA SFN

Projetar uma *SFN* significa basicamente se preocupar com que os dados em toda a rede sejam idênticos em qualquer ponto e que os tempos de propagação sejam corrigidos ao longo dela. Cabe ressaltar os cuidados que devem ser considerados com a frequência e como corrigi-la; como sincronizar a rede; como trabalhar com os dados e as diferenças em seus fluxos; como definir o espaçamento entre os pontos de transmissão e ajustar o *delay* do sinal.

3.16.1 Variações na Frequência

Se um transmissor numa rede *SFN* estiver numa referência de tempo diferente do resto da rede, os mesmos dados chegam ao receptor com modulação em frequência diferente.

Veículos em alta velocidade apresentam o problema do Efeito Doppler. A regeneração do sinal depende da capacidade do receptor.

As normas ABNT do sistema digital disponibilizam duas formas de sincronizar os tempos. Na primeira, pelo envio de uma referência de 10 MHz de sincronismo por meio físico; na segunda, recebendo o sincronismo por *GPS* nos transmissores secundários.

Também de acordo com a normatização, caso portadoras *OFDM* sejam geradas por múltiplos moduladores deve-se garantir que todas as frequências utilizadas na amostragem da Integral Rápida de Fourier sejam exatamente idênticas a fim de não afetar o período de um símbolo *OFDM* (NBR 15601:2007).

3.16.2 Fluxo de Dados

O fluxo de dados numa *SFN* deve ser igual na totalidade da rede. Assim, quando se transmite um sinal entre duas estações, o *link* não pode introduzir qualquer tipo de erro, causa de mau funcionamento dos receptores.

A distribuição dos sinais pode ser feita por conexão física ou por captação pelo ar. Sendo este o meio mais barato, é a mais utilizada nas redes *SFN*, consumindo maior processamento na resolução dos problemas encontrados nas diferenças de sinal.

3.16.3 Atrasos de Rede

Comparando distribuições de sinal em *MFN* e *SFN*, observa-se um acréscimo dos múltiplos caminhos na segunda. Nas redes *SFN*, além dos múltiplos percursos gerados pela propagação natural dos sinais, existem os atrasos gerados pelos diferentes tempos de propagação de cada transmissor até o ponto de recepção. Receber sinal numa região atendida por mais de uma fonte transmissora *SFN* requer atenção. A relação *S/N* deve ser avaliada e apresenta variações em função da modulação escolhida. Sendo atendida a relação sinal/ruído, o sinal de menor potência será interpretado como ruído, deixando de ser problema à recepção.

3.16.4 Tempos de Atraso Permitidos

Uma rede *SFN* bem sucedida depende da chegada ao ponto de recepção de dois ou mais sinais, com mesmo conteúdo, transmitidos de fontes distintas dentro de um intervalo de guarda. Os tempos distintos em que os sinais chegam ao ponto de recepção estão diretamente ligados a distância do ponto principal de transmissão até os transmissores secundários e ao tempo de transporte dos enlaces que o fazem chegar até eles bem como as posições ocupadas pelos transmissores em relação ao ponto de recepção.

3.16.4.1 Hipérbole Equitemporal

Considere-se dois pontos de transmissão *SFN*, ou seja, estão transmitindo em fase, e um receptor de televisão. Sabe-se que no ponto central, isto é, equidistante aos dois transmissores, a defasagem entre os sinais é nula. Ao caminhar no sentido de um destes dois transmissores, ao encontra-lo, a defasagem entre os sinais gerados entre os dois transmissores será máxima. Andando mais um pouco no mesmo alinhamento, ocorre o aparecimento de defasagem de sinal em relação às duas fontes transmissoras.

Assim, existem no espaço lugares geométricos constituídos por pontos onde é possível se deslocar onde as defasagens entre as duas fontes transmissoras são uma constante.

Pensando nas equações matemáticas e geometria espacial, existe uma disposição geométrica capaz de descrever estes conjuntos de lugares geométricos. As figuras geométricas em que duas distâncias variantes no espaço estão relacionadas na forma de uma constante são as hipérboles e os hiperboloides de revolução.

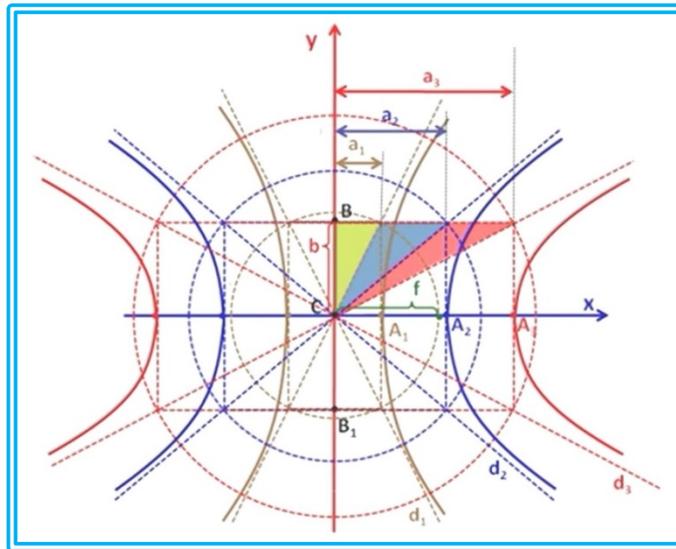


Figura 27 - Hipérboles
Fonte: Arcir bento Junior (2013)

Então, embasados nesse raciocínio :

Seja um ponto C equidistante a dois transmissores. Sejam os pontos de locação dos dois transmissores os focos F_1 e F_2 de uma hipérbole. Sejam A_1 e A_2 os pontos de intersecção da hipérbole com a reta que une os dois focos. Seja P um ponto qualquer no espaço. O lugar geométrico dos pontos onde a diferença entre a distância ao foco mais distante e o mais próximo é uma constante define uma hipérbole. Pensando no aspecto tridimensional, um hiperboloide de revolução.

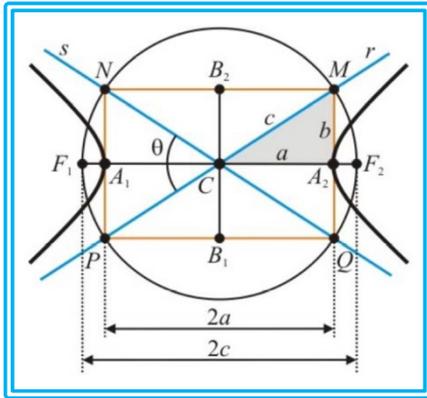


Figura 28 - Elementos da hipérbole
Fonte: O Baricentro da Mente (2011)

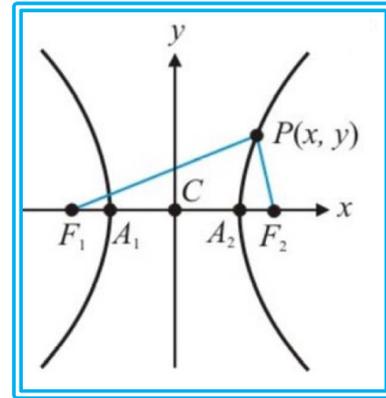


Figura 29 - Hipérbole sobre o eixo
Fonte: O Baricentro da Mente (2011)

$$|d(\mathcal{P}, \mathcal{F}_1) - d(\mathcal{P}, \mathcal{F}_2)| = 2a \quad \left| \begin{array}{l} \sqrt{(x+c)^2 + (y-0)^2} - \sqrt{(x-c)^2 + (y-0)^2} = 2a \\ \sqrt{(x+c)^2 + y^2} - \sqrt{(x-c)^2 + y^2} = 2a \end{array} \right.$$

Então, uma hipérbole ou hiperboloide define o lugar geométrico dos pontos espaciais onde a defasagem entre os sinais de duas fontes *SFN* é uma constante. Como $d = v \cdot t$ e considerando $v = 300000 \text{ km/s}$ e a distância entre os transmissores é $2c$, ou seja, a distância entre os focos, o atraso entre os transmissores é dado por $2a$.

Se $0 < a < c$, então o máximo atraso entre os transmissores será :

Sem atraso entre os Tx	Com atraso τ entre os Tx
$Atraso_{max} = \frac{2c}{0,3} \mu\text{s}$	$Atraso_{max} = \left(\frac{2c}{0,3} + \tau \right) \mu\text{s}$
$c \rightarrow \text{em km}$	

O máximo atraso permitido ao receptor acontecerá quando $a = c$. No limite máximo de atraso numa *SFN*, o receptor e o transmissor estão no foco, o que transforma a hipérbole numa elipse. Atrasos numa *SFN* são independentes do terreno ou tipo da antena. Ajustar atrasos numa rede *SFN* têm por base a distância entre os transmissores.

3.16.5 Distância Máxima Entre Transmissores

Considerando $2c$ a distância entre os transmissores e a a atenuação de sinal pela distância, a máxima distância que possível de locar os transmissores é dada, numa aproximação pessimista por (MATTSSON, 2006) :

$$d = 2c = y_{\mu\text{s}} * 300 \frac{10^{\frac{x}{10a}} + 1}{10^{\frac{x}{10a}} - 1} \quad \left| \begin{array}{l} \text{onde :} \\ y_{\mu\text{s}} \rightarrow \text{atraso máximo } (\mu\text{s}) \\ x \rightarrow \text{relação S/I (sinal principal / interferente)} \\ a \rightarrow \text{constante de atenuação} \end{array} \right.$$

Como os transmissores ficam georeferenciados por *GPS*, o adaptador *SFN* permite que um dos sinais da rede seja indicado a atrasar fazendo que os sinais cheguem ao receptor dentro do intervalo de guarda da rede.

3.17 AJUSTANDO OS ATRASOS

Como no SBTVD prevê ajustes nas redes *SFN* com a finalidade de ajustar a transmissão do *BTS-OFDM* no mesmo instante e em toda a rede, os transmissores estão habilitados a receber este ajuste. O *BTS* oriundo do multiplexador contempla 188 *bytes* com a multiplexação de áudio, vídeo e dados do sistema. Adiciona-se então 8 *bytes* com o *ISDB Information*, marcando os pacotes com as informações das camadas a que cada um pertence bem como a sinalização do envio das informações *IIP* com as informações de ajuste da rede. Dentro do *IIP* viajam o *FEC*, *IG*, modo de transmissão, *time interleave* e o valor dos atrasos para cada transmissor da rede. Ao receber o *NSI*, cada transmissor é informado do intervalo de tempo de propagação do sinal entre a saída do multiplexador na geradora até sua transmissão (NBR 15601).

Conforme as informações do *IIP*, os atrasos utilizados podem ser estáticos ou dinâmicos.

3.17.1 Atrasos Estáticos

Nesta modalidade de atraso, o *static delay* é setado em zero, enviando o multiplexador a informação de *time offset* para cada transmissor pertencente a rede. O *clock* de 10 MHz deve estar presente em todos os pontos de transmissão, não sendo necessário utilizar um pulso de 1PPS de sincronismo em cada transmissor.

Cada transmissor apresentará um tempo total de atraso dado pela seguinte equação :

$$\Delta_{propag} = \Delta_{max} + \Delta_{sist}$$

onde :

Δ_{propag} → atraso total do transmissor
 Δ_{max} → atraso
 Δ_{sist} → atraso gerados pelo sistema

Assim, obtidos todos os atrasos de todos os transmissores da rede, faz-se necessário obter o maior atraso entre eles.

Deve-se então inserir um atraso adicional nos demais transmissores para que todos transmitam ao mesmo tempo o mesmo sinal.

O atraso em cada transmissor ficará então definido pela equação :

$$\Delta_{offset_{TX_n}} = \Delta_{max} - \Delta_{TX_n}$$

onde :

$\Delta_{offset_{TX_n}}$ → time offset do transmissor (μs)

Δ_{max} → atraso máximo da rede (μs)

Δ_{TX_n} → atraso total do Tx (μs)

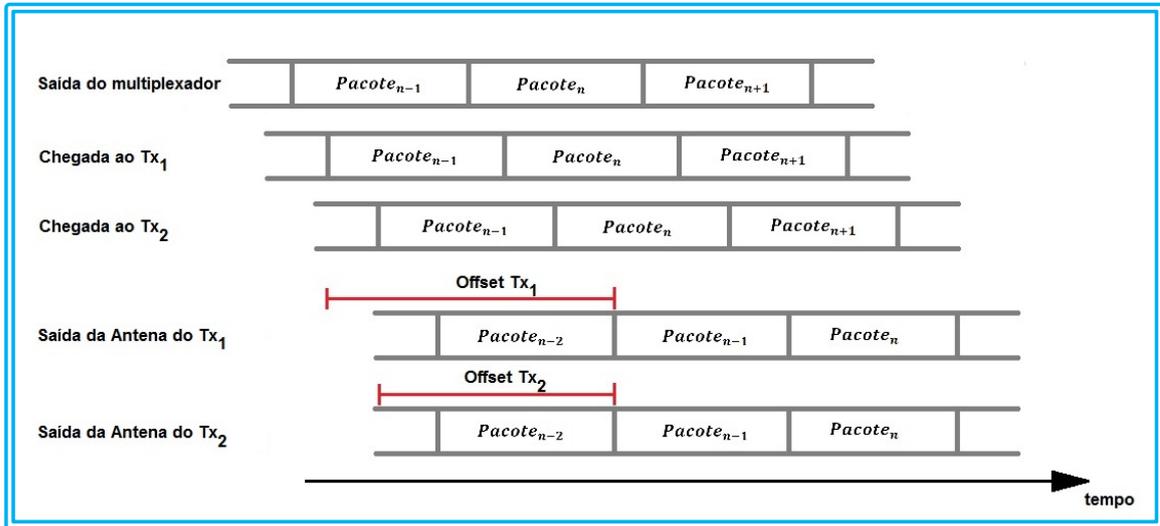


Figura 30 - Ajuste atraso estático

Fonte: Autoria própria

3.17.2 Atrasos Dinâmicos

Supondo que tenha ocorrido alguma alteração no enlace até o transmissor e seu tempo de atraso foi alterado. Nesse caso ter-se-ia que reajustar os tempos no modulador.

E se a rede for composta por um grande número de transmissores ?

Nesses casos utilizam-se atrasos dinâmicos nos transmissores.

Atribuindo-se 1 ao campo *Static Delay*. Com isso, a tabela *IIP* estará enviando informações de *Maximun Delay* e *Sincronization Time Stamp (STS)* juntamente com o *Time Offset* a cada um dos transmissores. Nesta modalidade de transmissão, são necessários a referência de 10 MHz e a utilização de pulso de sincronismo gerado por *GPS* em cada um dos transmissores. Ao receber estas informações os moduladores em cada site de transmissão terão a capacidade de transmitir o sinal somente quando receberem o pulso de sincronismo.

Caso ocorra alguma variação no enlace alterando o atraso para qualquer transmissor da rede, este fato estará transparente ao seu funcionamento da rede, pois estará balizada pelo sincronismo do pulso de referência. Na saída do multiplexador, pacotes de dados recebem uma marca, um carimbo, de *STS*, oriunda do campo *Sincronization Time Stamp*, informando ao modulador o instante exato do envio do pacote. Quando isso acontece, cada modulador recebeu o pulso de sincronismo de 1 PPS. Então, é somado o *Maximun Delay*, isto é, o tempo

máximo de atraso da rede e o *Time Offset* gerados pela *IIP*. Com isso, todas as emissões dos sinais transmitidos na rede acontecem ao mesmo tempo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado em sua totalidade o projeto e instalação da rede de frequência única – *SFN* na cidade de Vitória e região compreendida pela área de concessão da TV Gazeta de Vitória, afiliada à Rede Globo no estado do Espírito Santo, Brasil.

Abrange as localidades de Vitória, Vila Velha, Guarapari, Serra e Viana.

4.1 PROJETANDO A REDE

Inicialmente foram definidos a cada um dos pontos de transmissão especificações quanto ao sistema irradiante e potência de transmissão.

4.2 DISTRIBUIÇÃO DOS SINAIS

Os sinais são distribuídos aos pontos de transmissão através *links* próprios de comunicação. O *TS* é formado em Vitória junto ao transmissor principal da Fonte Grande.

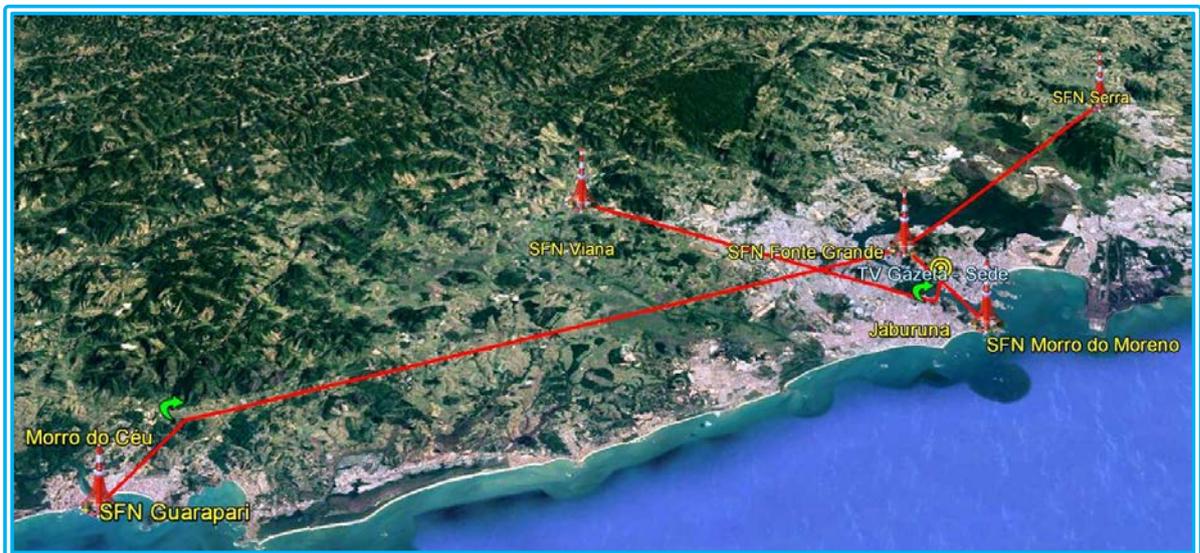


Figura 31 - SFN TV Gazeta – Links de Comunicação
Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - SFN Tv Gazeta – Distâncias Links de Comunicação

Link		Distância (km)
Fonte Grande	Serra	20,04
Fonte Grande	Morro do Céu	38,73
Morro do Céu	Guarapari	5,83
Fonte Grande	Sede	3,01
Sede	Jaburuna	1,83
Jaburuna	Viana	20,82
Sede	Morro do Moreno	3,87

Fonte: Autoria própria

4.3 AVALIANDO AS INTERFERENCIAS

O projeto envolveu o dimensionamento das potências dos transmissores, antenas e cabos com o objetivo de atingir a melhor cobertura possível com um mínimo de interferência acontecendo em regiões de elevada densidade populacional.

Deve-se atentar durante o projeto que áreas interferentes surgem quando ocorrem de forma simultânea a violação do intervalo de guarda e a violação da relação de proteção.

4.4 VIOLAÇÃO DO INTERVALO DE GUARDA

Ocorre quando a diferença de tempo entre os sinais recebidos for maior que o intervalo de guarda.

4.5 VIOLAÇÃO DA RELAÇÃO DE PROTEÇÃO

Ocorre quando numa região a diferença entre o maior sinal a cobrir esta área e qualquer um dos demais sinais fora do intervalo de guarda a atingir esta mesma região for menor que os 25 dB que é a relação de proteção.

A diferença em nível de sinais, ou seja, se um sinal tiver 25 dB maior que o outro, mesmo estando fora da faixa de guarda, este outro sinal é desprezado pelo receptor.

4.6 O SITE PRINCIPAL DE TRANSMISSÃO - VITÓRIA

O transmissor de Vitória, apresenta seu contorno de serviço numa área delimitada por um círculo com diâmetro aproximado de 57 Km, tendo em seu centro o site de transmissão do morro da Fonte Grande. À esta região encontram-se inscritas as estações transmissoras de Vila Velha, Guarapari, Viana e Serra, bem como outras localidades.

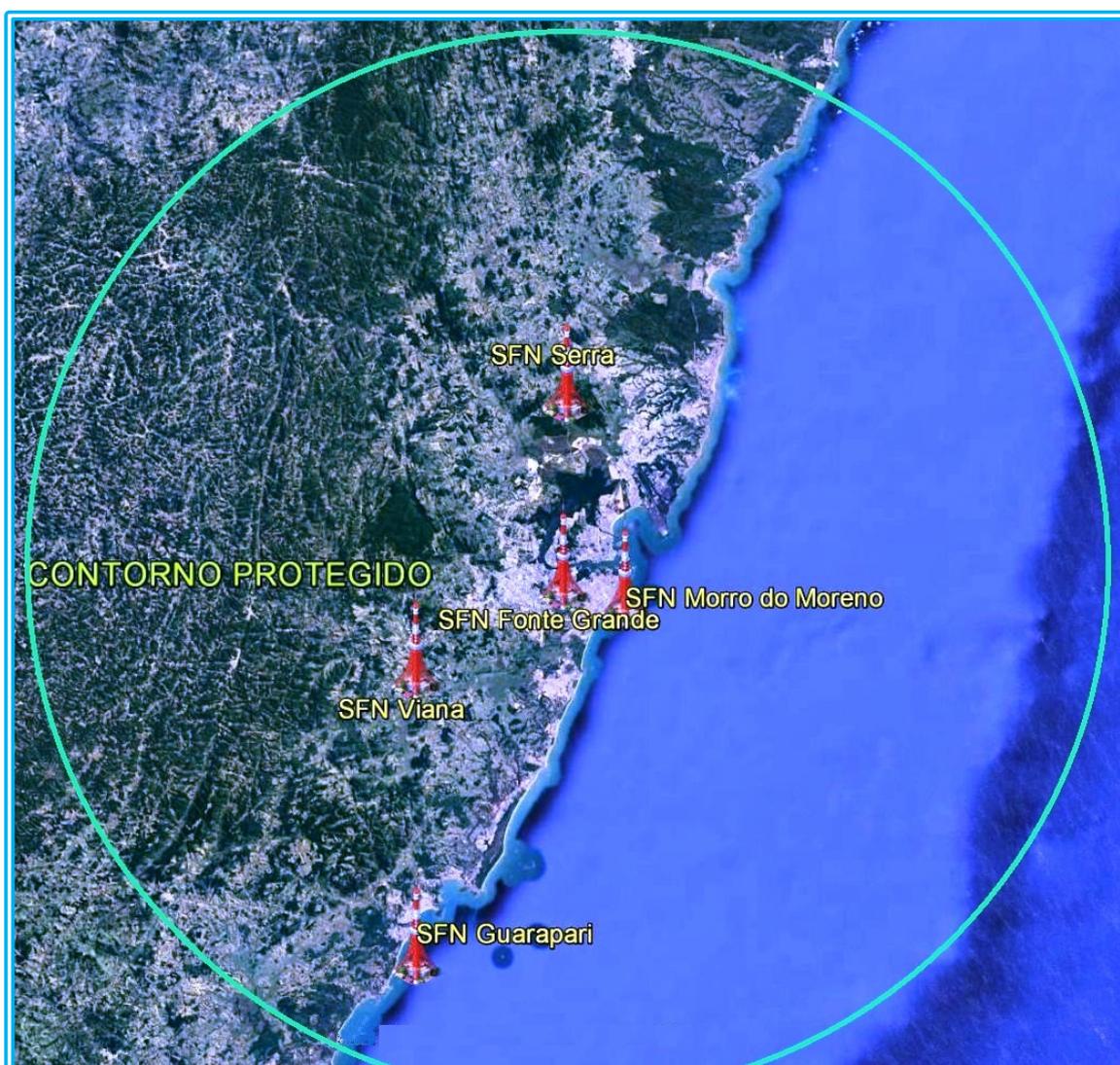


Figura 32 - TV Gazeta Vitória – Contorno Protegido
Fonte: Autoria própria

Tabela 8 - Características Site Principal Fonte Grande - Vitória

Elemento	Característica	Valor
Torre	Latitude	20° 18' 32,00"
	Longitude	40° 20' 24,00"
	Cota	300 m
	Altura	73 m
Transmissor	Fabricante	Harris
	Modelo	DVID5000
	Potência Máxima	2,64 kW
Antena	Altura Centro Fase	75,28 m
	Azimute	0°
	Tilt Elétrico	4,75°
	Tilt Mecânico	0°
Cabo	Fabricante	Andrew
	Modelo	HJ1150 (4'')
	Comprimento	85 m

Fonte: Autoria própria

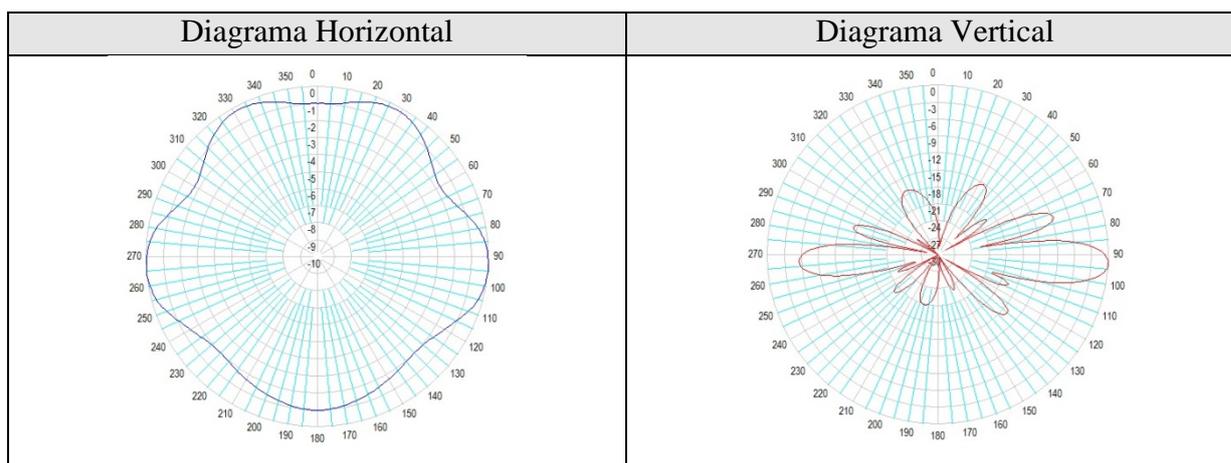


Gráfico 1 - Diagramas antena Vitória

Fonte: Transtel Conti

Durante o projeto, os estudos constataram duas opções de construção da rede. Cada uma delas predisponha a geração de pequenas áreas interferentes.

As estações geradoras destas zonas de interferência eram o transmissor principal localizado no morro da Fonte Grande, município de Vitória, e o transmissor projetado para Guarapari.

Diante destas duas opções de projeto foram analisadas duas alternativas.

Na primeira foram estudados os efeitos de inserir atraso no transmissor de Guarapari em relação ao de Vitória.

Na segunda, analisados a inserção de atraso no transmissor de Vitória em relação à Guarapari.

À seguir, a análise dos efeitos de cada uma destas proposições.

4.7 SITUAÇÃO 1 : GUARAPARI EM ATRASO EM RELAÇÃO À VITORIA

Observando as manchas geradas pelo software PROGIRA e visando facilitar a análise das regiões de sombra, foram criados quatro grupos de regiões. São elas as regiões compreendidas pela área rural nos municípios de Serra e Fundão, R1, área rural nos municípios de Serra e Santa Leopoldina, R2, área rural no município de Serra, R3 e áreas nos municípios de Vitória e Vila Velha, R4, próximas à estação principal no morro da Fonte Grande.

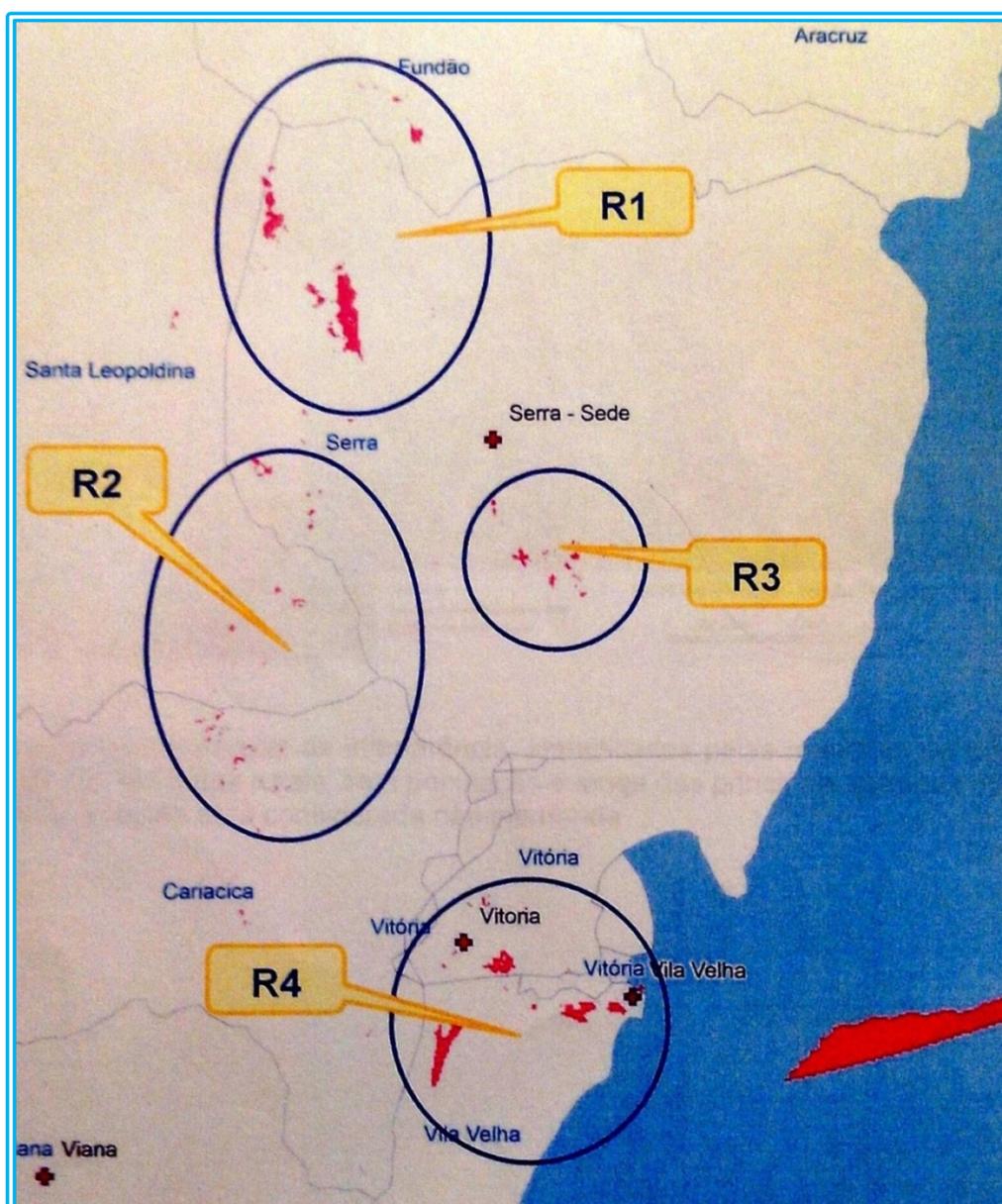


Figura 33 - Áreas rurais nos municípios de : R1 → Serra e Fundão, R2 → Serra e Santa Leopoldina e R3 → Serra; R4 → Áreas nos municípios de Vitória e Vila Velha

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

À seguir, a análise de cada uma delas.

4.7.1 Região 1 : Zona Rural nos Municípios de Serra e Fundão

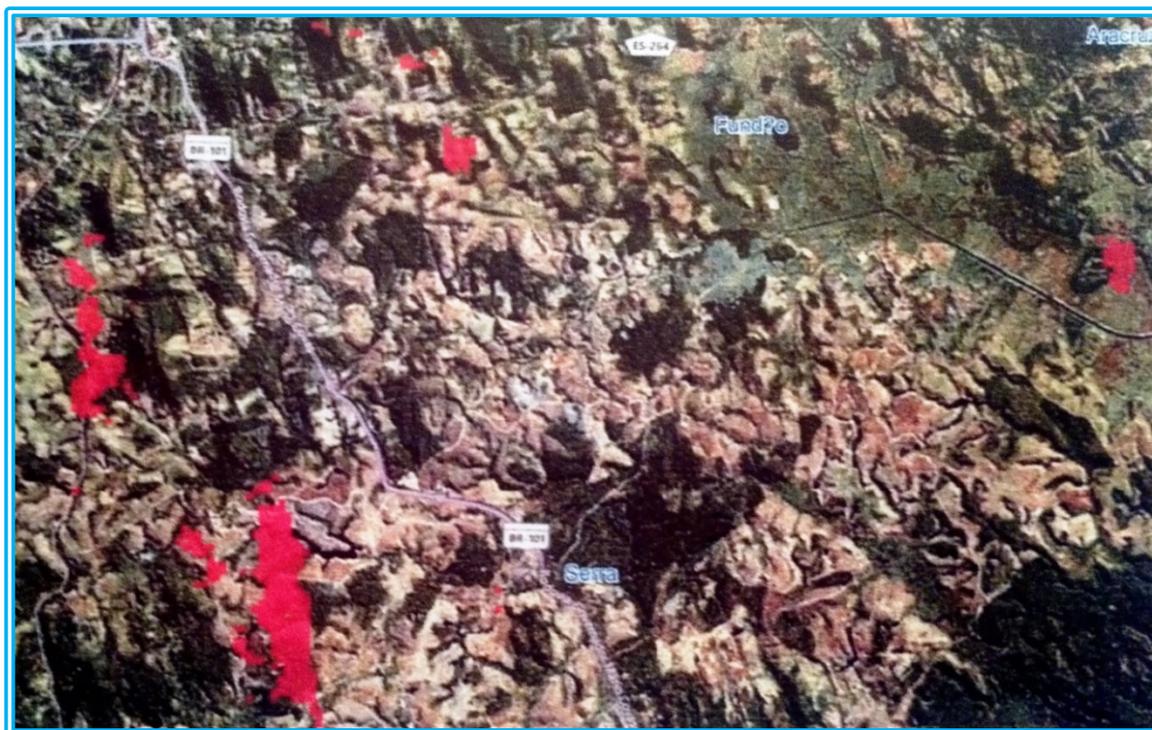


Figura 34 - R1 → Área rural nos municípios de Serra e Fundão
Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Nesta região, os conjuntos de pontos com grande probabilidade de sofrer interferência encontram-se situados nas áreas em vermelho do mapa.

Em análise mais detalhada, tratam-se de áreas desabitadas e distantes das principais estradas o que levou a considera-las como zonas sem interferências.

4.7.2 Região 2 : Zona Rural nos Municípios de Serra e Santa Leopoldina

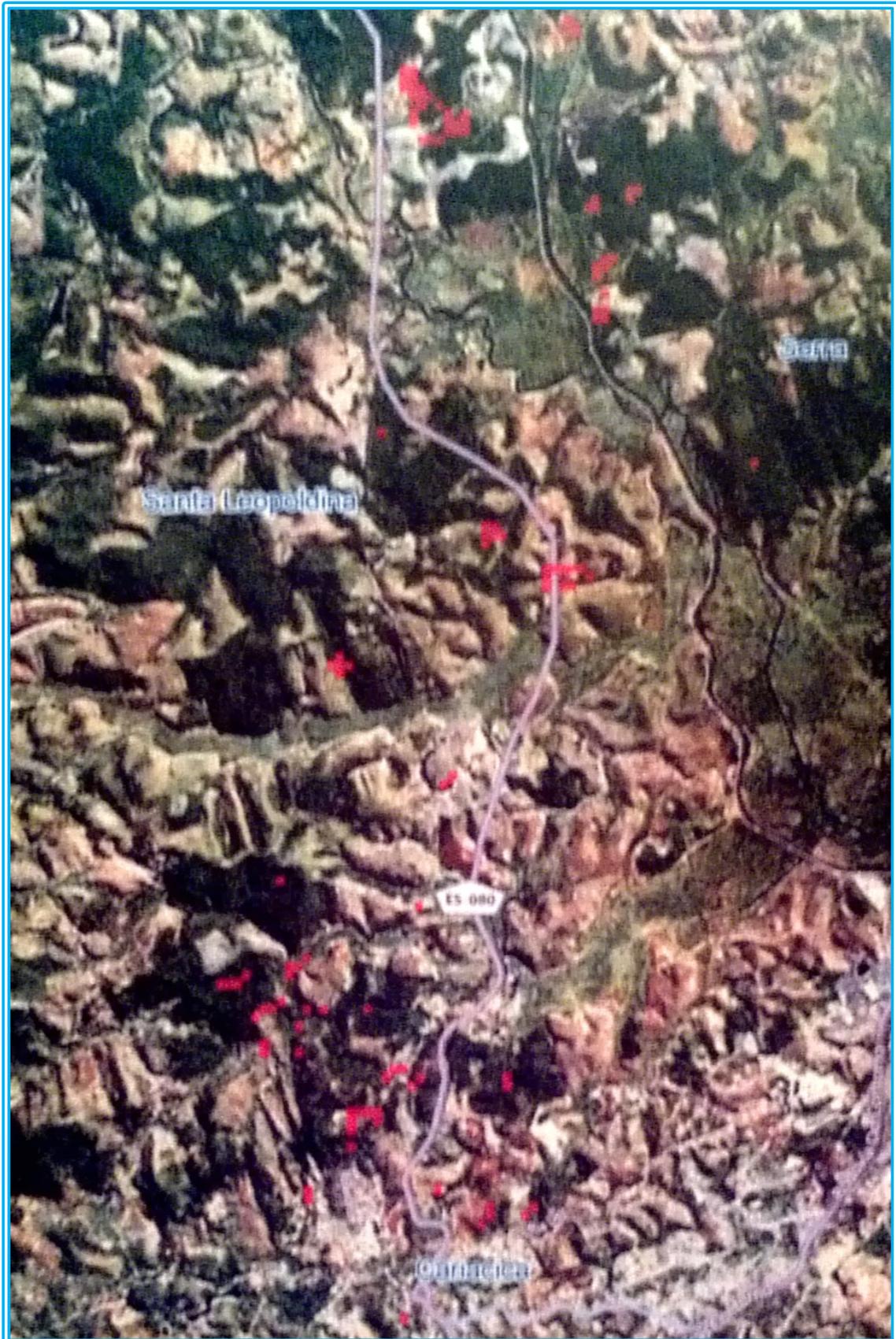


Figura 35 - R2 → Área rural nos municípios de Serra e Santa Leopoldina
Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Em semelhança à região anterior, o conjunto de pontos com grande probabilidade de sofrer interferência encontra-se situado em áreas desabitadas e distantes das principais estradas o que levou considera-la também como uma zona sem interferências.

4.7.3 Região 3: Zona Rural nos Municípios de Serra

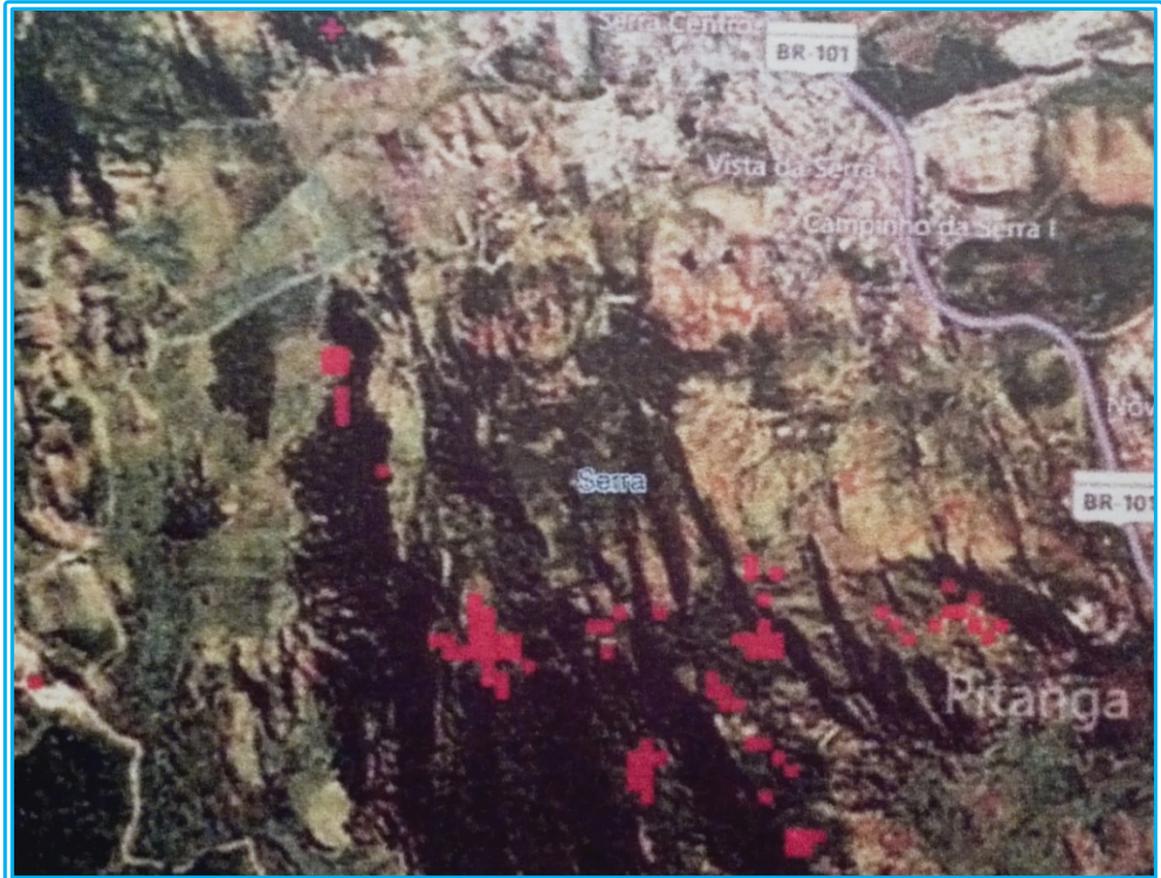


Figura 36 - R3 → Área rural no município de Serra
Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Em semelhança à região anterior, o conjunto de pontos com grande probabilidade de sofrer interferência encontra-se situado em áreas desabitadas e distantes das principais estradas o que levou considera-la também como uma zona sem interferências.

4.7.4 Região 4: Municípios de Vitória e Vila Velha Próximas a Estação Principal



Figura 37 - R4 → Áreas nos municípios de Vitória e Vila Velha – sub-regiões R4.1, R4.2 e R4.3
 Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Diferente das regiões anteriormente analisadas, esta apresenta alta densidade populacional. Nela, a análise do software demonstrou a probabilidade de interferência em três grandes regiões. Por questões de praticidade foram denominadas de REGIÃO 4.1, REGIÃO 4.2 E REGIÃO 4.3 e também serão analisadas separadamente.

Agora a análise requer um pouco mais de detalhes, sendo feita pelo perfil de retardo da região.

4.7.4.1 Região 4.1

O gráfico apresenta o Perfil de Retardo, onde nas ordenadas, eixo Y, apresenta o nível de sinal (dB) e nas abscissas, eixo X, o tempo (μ s).

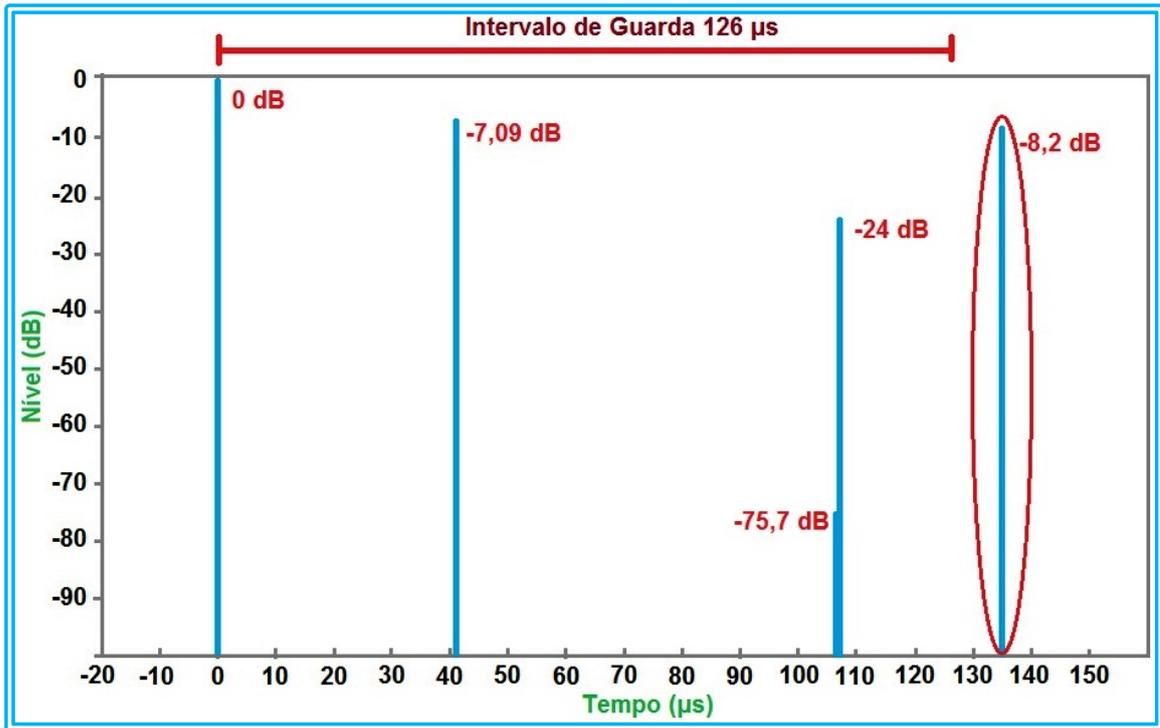


Gráfico 2 - Perfil de retardo para a região R4.1
Fonte: Autoria própria

Tabela 9 - Valores estimados para a região R4.1

Localidade	Distância (km)	Tempo (μs)	Intensidade Campo ($dB\mu V/m$)	Nível Sinal (dB)
Vitória	4,30	0,00	66,60	0,00
Vila Velha	7,70	41,10	59,50	-7,09
Serra	24,40	106,80	-9,10	-75,70
Viana	16,00	107,00	42,70	-24,00
Guarapari	39,00	135,40	58,40	-8,20

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Observa-se que o sinal de Guarapari é o único que está fora do intervalo de guarda definido para $126 \mu s$ e seu nível é de 8,2 dB abaixo do sinal principal o que significa que está abaixo do nível de proteção que é de 25 dB.

Considerando que das variáveis analisadas, nível e tempo, o tempo é determinístico e o nível não, a análise dos tempos em simulação certamente irá se repetir quando o sistema estiver definitivamente instalado, mas os níveis de sinal, por sofrerem outras influências, são probabilísticos podendo não se repetir na operação conforme o simulado, não sendo assim tão confiável.

Como forma complementar, foi feita a análise o campo medido nesta região oriundo de Guarapari. Para isso, o perfil de elevação entre a região considerada e o transmissor de Guarapari.

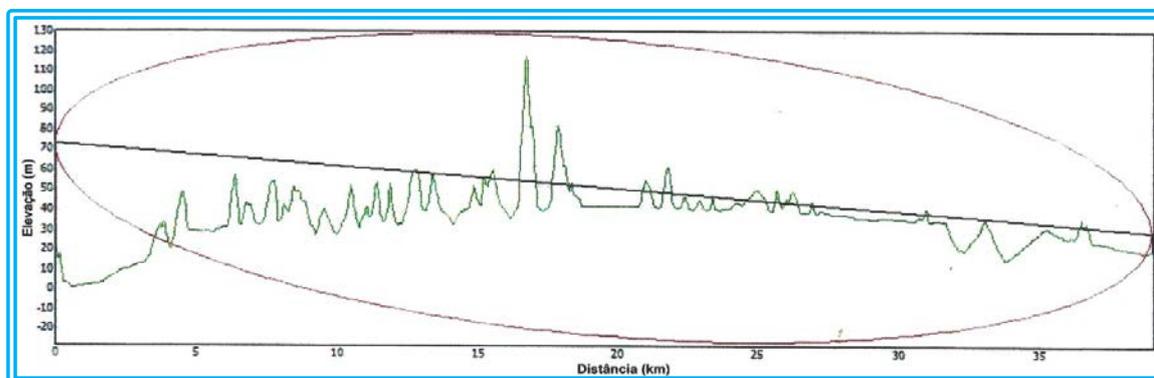


Gráfico 3 - Perfil de elevação alinhamento Guarapari → R4.1
Fonte: Software PROGIRA

No perfil, destacam-se duas obstruções que permitem inferir que o campo recebido em Vitória oriundo de Guarapari será menor que o indicado pelo software.

Isso permitiu que nessa fase de projeto fosse estabelecido inicialmente instalar o transmissor com potência projetada acompanhado da proposição de medições em campo nessa região após a operacionalização do sistema com a finalidade de comprovar se o sinal oriundo de Guarapari atinge a região em estudo, conforme o esperado, com níveis baixos não gerando interferências.

4.7.4.2 Região 4.2

As análises aqui seguem os mesmos procedimentos adotados na região anterior.

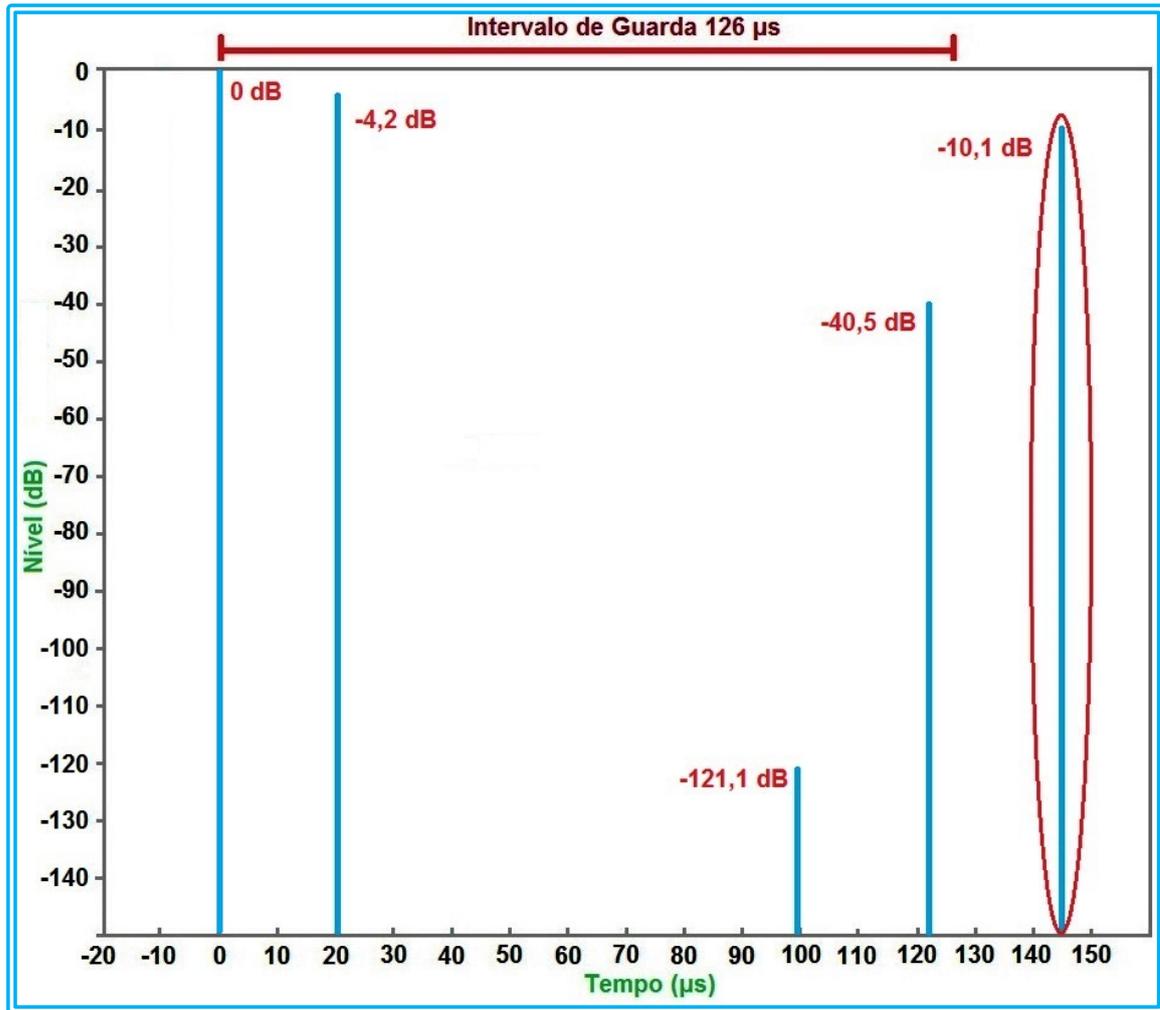


Gráfico 4 - Perfil de retardo para a região R4.2
Fonte: Autoria própria

Tabela 10 - Valores estimados para a região R4.2

Localidade	Distância (km)	Tempo (μ s)	Intensidade Campo ($dB\mu V/m$)	Nível Sinal (dB)
Vitória	5,20	0,00	72,20	0,00
Vila Velha	2,30	20,20	67,9	-4,20
Serra	23,10	99,50	-48,90	-121,10
Viana	21,40	121,90	31,60	-40,50
Guarapari	42,60	144,60	62,00	-10,10

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Nesta região, o gráfico indica que o sinal originado em Guarapari está fora do intervalo de guarda e a 10 dB abaixo do sinal principal.

Procedendo-se de forma idêntica à região anterior, analisou-se o campo medido nesta região, do sinal gerado em Guarapari.

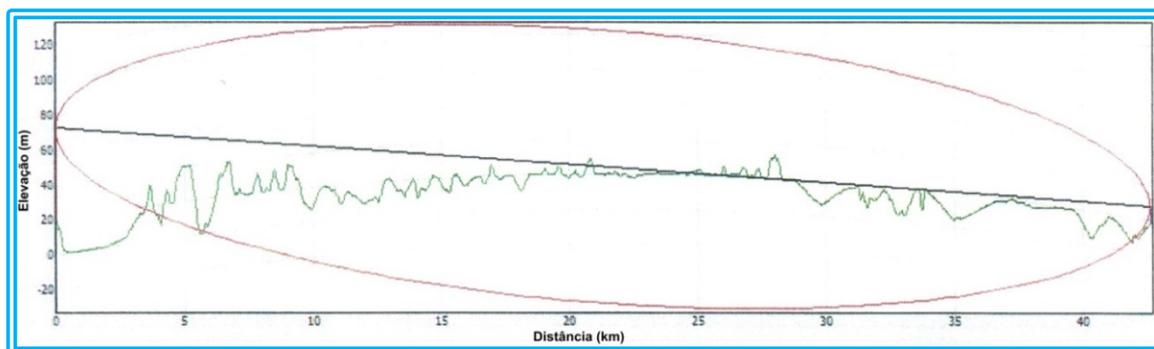


Gráfico 5 - Perfil de elevação alinhamento Guarapari → R4.2
Fonte: Software PROGIRA

Na análise o perfil de elevação entre a região considerada e o transmissor de Guarapari, observou-se a inexistência de obstruções significativas que venham a gerar atenuações maiores que as calculadas, valendo aqui considerar o fator distância.

Guarapari distando 40 km da região estudada, fez com que novamente fosse conduzida a recomendação da instalação do transmissor na potência projetada seguido da posterior medida de campo para verificar as interferências.

Outro fator considerado nessa condição é que o sinal de Guarapari atinge a região em estudo com apenas 30 μ s acima do intervalo de guarda o que não é um problema potencial pela proximidade com o intervalo de guarda. É de conhecimento que os receptores de televisão não conseguem tratar sinais fora do intervalo de guarda de forma rápida o que minimiza o problema para diferenças de 10 dB relativos ao principal. Como visto anteriormente, dois sinais com diferença de intensidades de 25 dB, o menor sinal é desprezado pelo receptor.

4.7.4.3 Região 4.3

De procedimento semelhante aos anteriores, a análise desta região inferiu grande possibilidade de interferência de Guarapari na área considerada com um sinal com um atraso de 156,4 μ s em relação ao sinal principal, violando o intervalo de guarda em 30 μ s.

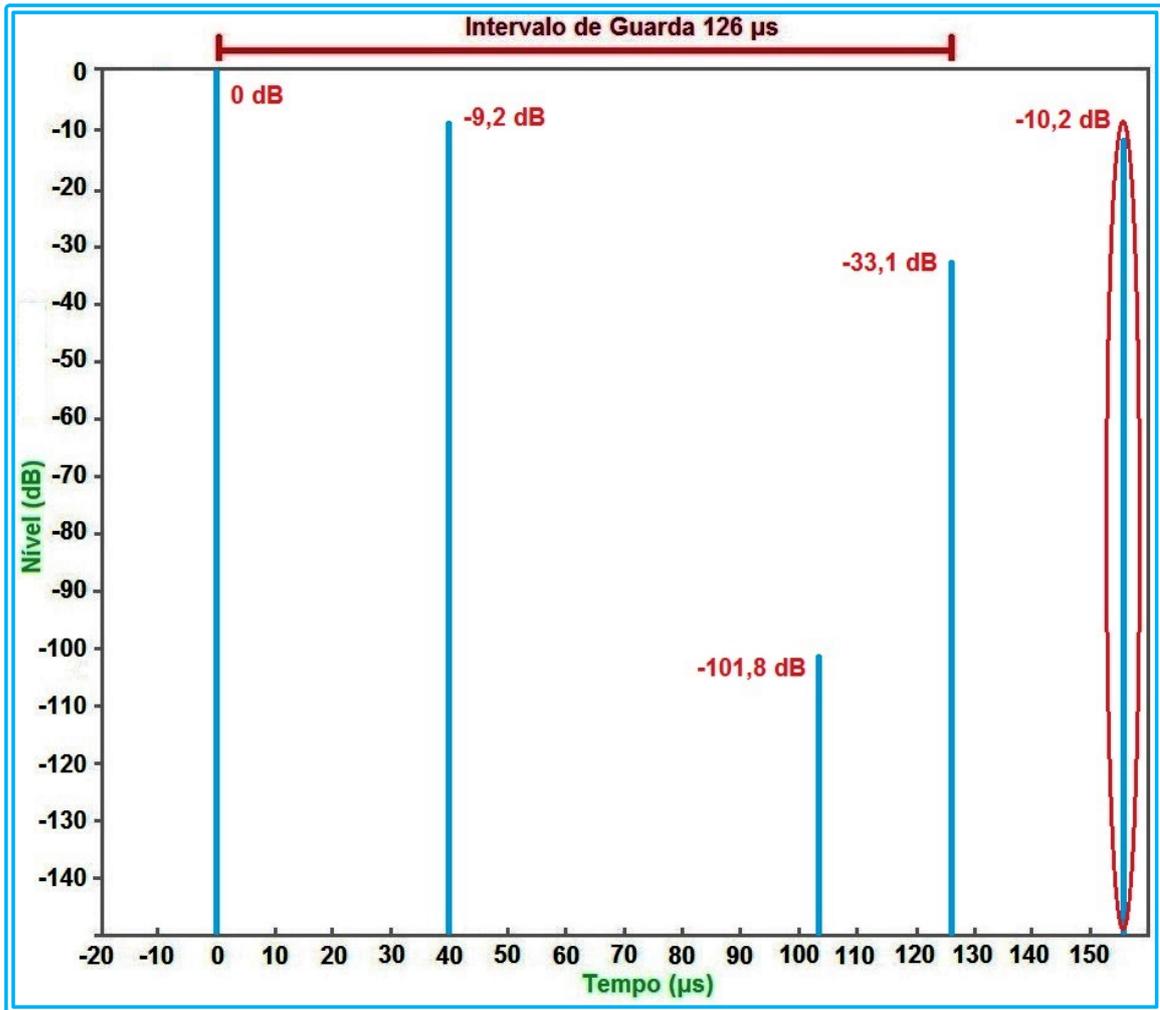


Gráfico 6 - Perfil de retardo para a região R4.3
Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Valores estimados para a região R4.3

Localidade	Distância (km)	Tempo (μs)	Intensidade Campo (dBμV/m)	Nível Sinal (dB)
Vitória	2,00	0,00	65,30	0,00
Vila Velha	5,00	39,90	56,00	-9,20
Serra	21,10	103,60	-36,50	-101,80
Viana	19,50	126,40	32,20	-33,10
Guarapari	42,90	156,40	55,00	-10,20

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Como nos demais casos, a análise do perfil por sua vez demonstrou ser esta a maior de todas as atenuações o que levou também à sugerir os mesmos procedimentos anteriores, ou seja, a instalação dos transmissores nos valores projetados acompanhado de medições em campo para constatar o correto funcionamento nos pontos desta região.

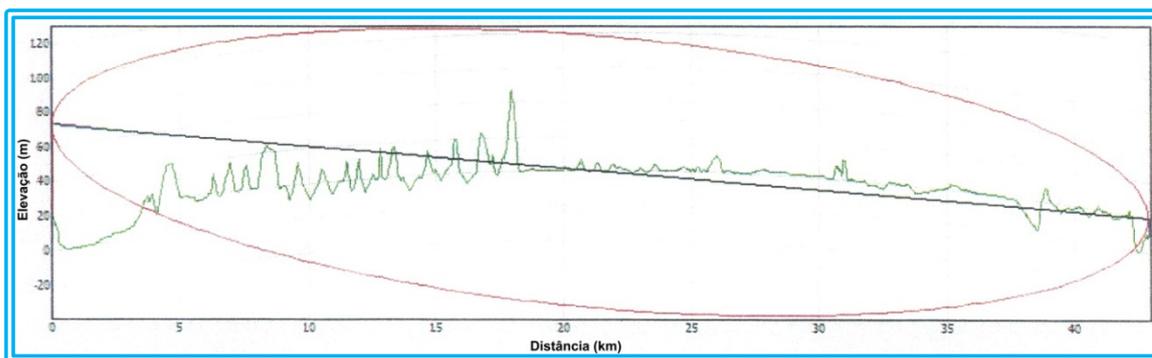


Gráfico 7 - Perfil de elevação alinhamento Guarapari → R4.3
Fonte: Software PROGIRA

Para este projeto, foram utilizados os seguintes parâmetros :

Tabela 12 - Parâmetros de configuração utilizados - primeira opção

	Recepção Fixa (HD)	Recepção Móvel (1-SEG)
Modo	III – 5617 portadoras	
Modulação	64 QAM	QPSK
FEC	3/4	2/3
Intervalo de Guarda	1/8 (126µs)	

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta

Considerando que a rede é projetada para operar com atrasos dinâmicos no multiplexador e com sincronismo referenciado por *GPS*, devem ser fornecidos à tabela de atrasos do sistema os atrasos de cada estação transmissora, uma identificação (*ID*) de cada estação e o atraso máximo da rede.

O valor do atraso máximo é dado pela soma de todos os atrasos dos equipamentos que constituem a rede que distribui e transmite o sinal, desde o multiplexador até o transmissor com o maior número de enlaces.

Os atrasos são medidos em milissegundos (ms). Isso leva a desprezar os atrasos de propagação entre uma estação e outra, pois estes estão na ordem dos microssegundos.

Lembrando que esta etapa era ainda tempo de projeto e os atrasos dos equipamentos definitivamente adotados eram desconhecidos por não estarem nessa etapa ainda definidos, foram estimados valores com base em outros fabricantes considerando moduladores desenvolvidos para o *ISDB-T*.

No que tange aos enlaces de micro-ondas, os valores foram baseados nos padrões disponíveis nos produtos tradicionais dessa categoria.

Elaborado o diagrama de enlaces projetados, a estação que, para ser atingida, o sinal deve passar pelo maior número de enlaces era a do município de Viana.

Tabela 13 - Atrasos da rede

Link / Equipamento	Atraso (ms)
Enlace Sede → Fonte Grande	30
Enlace Sede → Jaburuna	30
Enlace Jaburuna → Viana	30
Tx Viana	300
Margem (folga)	110
Atraso máximo da rede (Soma)	500

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta

Tabela 14 - Atrasos inseridos no MUX – primeira opção

Atraso Máximo	500000 μ s	
Estação	ID	Atraso (μ s)
Vitória	01	0
Guarapari	02	20
Vila Velha	03	30
Serra	04	40
Viana	05	68

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta

4.8 SITUAÇÃO 2: VITÓRIA EM ATRASO EM RELAÇÃO À GUARAPARI

Considerando essa opção, os estudos mostraram que as interferências projetadas na opção anterior em Vitória e Vila Velha não se apresentam. Em contrapartida, o *software* projetou três novos pontos de interferência nas proximidades de Guarapari.

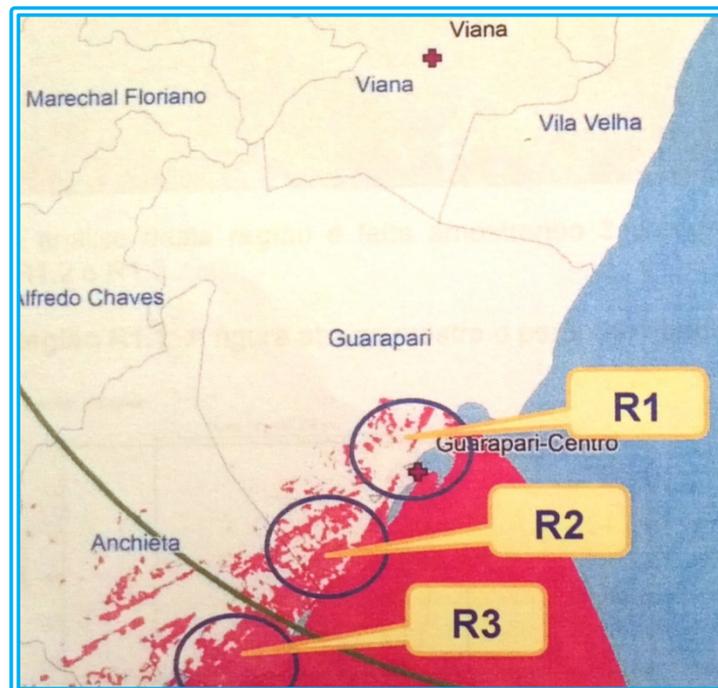


Figura 38 - R1 → Área próxima Tx Guarapari; R2 → Área de Meaipe e Rodovia do Sol; R3 → Área de Anchieta

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Seguindo a mesma linha de ação, dos estudos anteriores, a área interferida foi dividida em três áreas menores objetivando facilitar o estudo.



Figura 39 - R1 → Área próxima Tx Guarapari – sub-regiões R1.1, R1.2 e R1.3
Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

4.8.1 Área Próxima ao Transmissor de Guarapari

4.8.1.1 Região R1.1

Trata-se de uma área com elevada densidade populacional.

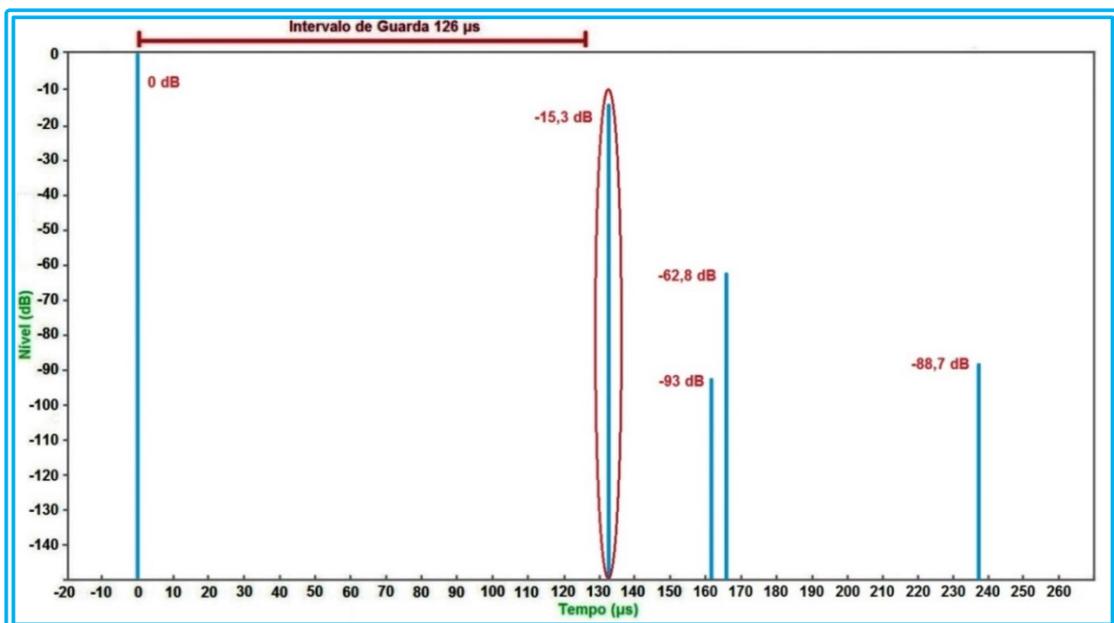


Gráfico 8 - Perfil de retardo para a região R1.1
Fonte: Autoria própria

Ao analisar o gráfico dos retardos projetados para essa região, constata-se que o sinal da estação principal, Vitória, ultrapassa o intervalo de guarda em 6,9 μ s com 15,3 dB abaixo do sinal principal de Guarapari.

Tabela 15 - Valores estimados para a região R1.1

Localidade	Distância (km)	Tempo (μ s)	Intensidade Campo ($dB\mu V/m$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	3,90	0,00	98,90	0,00
Vitória	39,60	132,90	83,60	-15,30
Viana	27,80	161,70	5,90	-93,00
Vila Velha	40,60	166,30	36,20	-62,80
Serra	59,00	237,60	10,20	-88,70

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Elaborado o perfil de elevação entre Vitória e a região avaliada, observam-se pouquíssimas obstruções.

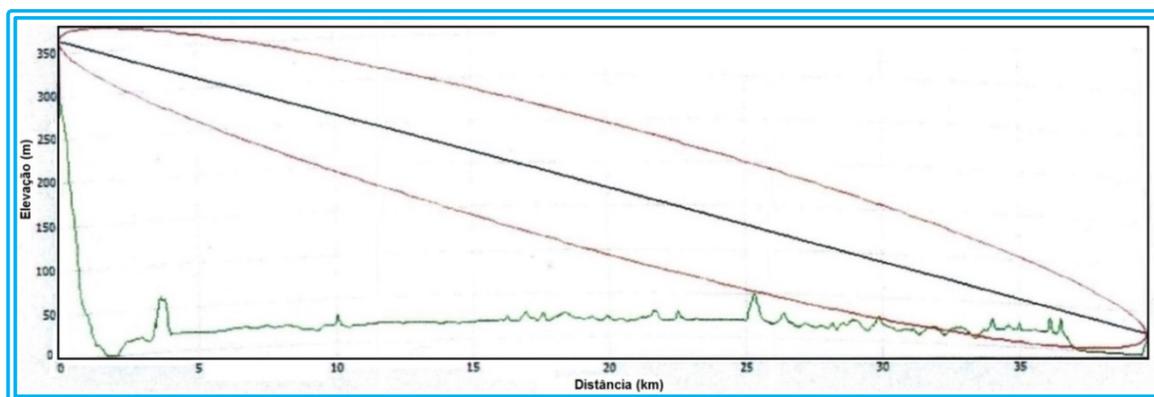


Gráfico 9 - Perfil de elevação alinhamento Vitória → R1.1

Fonte: Software PROGIRA

Assim, semelhante às análises anteriores, essa região por apresentar pouca diferença de tempo em relação ao intervalo de guarda bem como pouca diferença entre o nível de sinal principal e o proveniente de Vitória foi tida com pouca probabilidade de sofrer interferência embora o perfil de elevação propor poucas chances de atenuação dos sinais originados em Vitória, levando à avaliações após a operacionalização do sistema para o diagnóstico de eventuais ajustes.

4.8.1.2 Região R1.2

Esta região compreende a Rodovia do Sol.

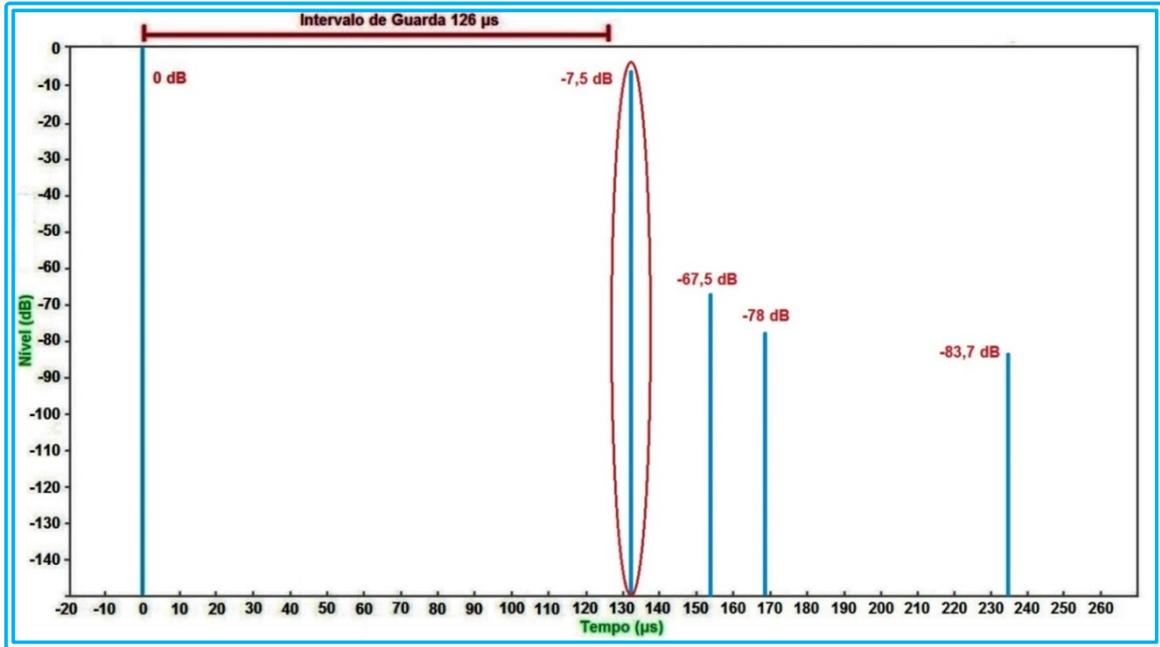


Gráfico 10 - Perfil de retardo para a região R1.2

Fonte: Autoria própria

O perfil de retardo simulado demonstrou o sinal de Vitória 7,5 dB abaixo do de Guarapari com 6,6 μ s além do intervalo de guarda.

Tabela 16 - Valores estimados para a região R1.2

Localidade	Distância (km)	Tempo (μ s)	Intensidade Campo ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	4,90	0,00	64,1	0,00
Vitória	40,40	132,60	56,60	-7,50
Viana	26,50	154,20	-3,30	-67,50
Vila Velha	42,30	168,90	-13,80	-78,00
Serra	59,20	235,00	-19,50	-83,70

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Já o perfil de elevação apresentado não demonstra obstruções chamando a atenção para eventuais problemas na região.

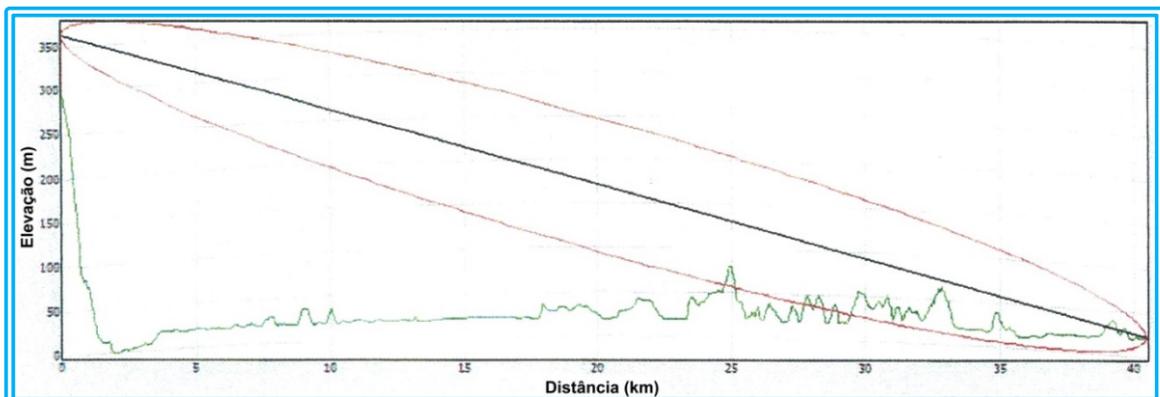


Gráfico 11 - Perfil de elevação alinhamento Vitória → R1.2

Fonte: Software PROGIRA

4.8.1.3 Região R1.3

Nessa análise observa-se uma região onde o perfil de retardo apresenta o sinal de Vitória 23 dB abaixo do sinal principal de Guarapari com 6,2 μ s fora do intervalo de guarda.

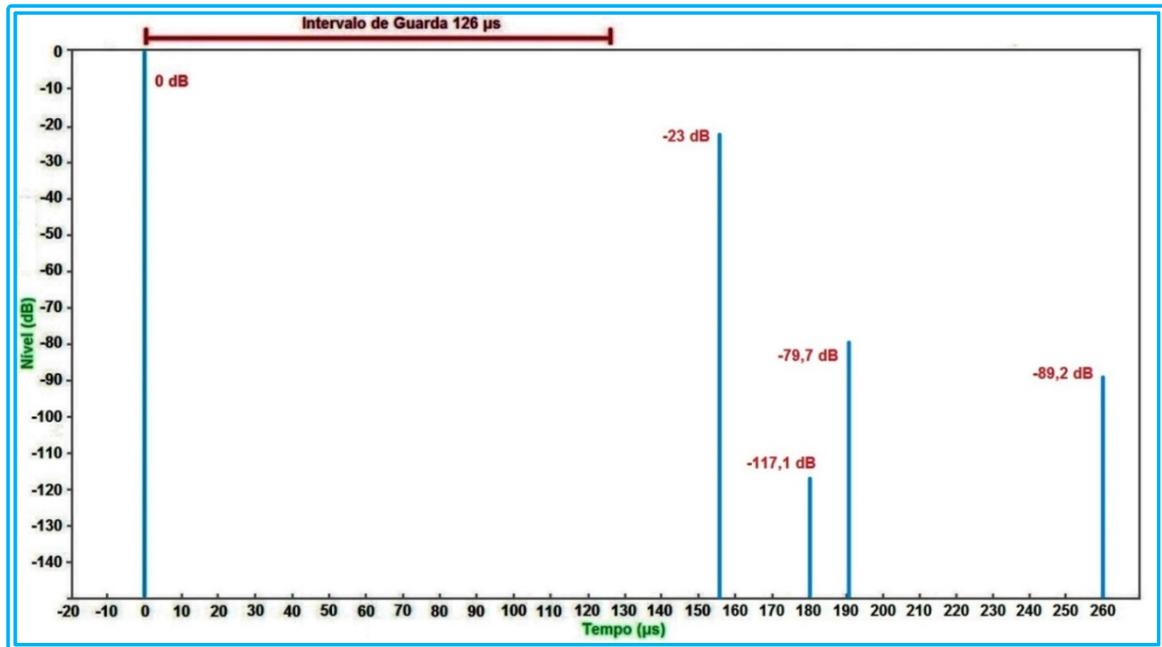


Gráfico 12 - Perfil de retardo para a região R1.3
Fonte: Autoria própria

Tabela 17 - Valores estimados para a região R1.3

Localidade	Distância (km)	Tempo (μ s)	Intensidade Campo ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	1,60	0,00	107,00	0,00
Vitória	44,20	156,20	84,00	-23,00
Viana	31,10	180,50	-10,00	-117,10
Vila Velha	45,60	190,80	27,30	-79,70
Serra	63,30	259,80	17,80	-89,20

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta – Software Progira

Por 25 dB ser considerado um valor ideal de proteção entre os sinais, o sinal de Vitória não é considerado como risco em gerar pontos interferentes.

Em conjunto, estas três áreas que constituem esta REGIÃO 1, demonstraram nas simulações semelhanças com a REGIÃO 4 do primeiro grupo, diferindo na pouca atenuação dos sinais gerados em Vitória.

Os demais pontos apresentados no mapa estão em locais elevados e desabitados.

4.8.2 Região R2 : Meaípe e Rodovia do Sol



Figura 40 - R2 → Meaípe e Rodovia do Sol
 Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

O perfil de retardo nessa região apresenta o sinal oriundo de Vitória chegando a 12,7 dB abaixo do sinal principal gerado em Guarapari com 31,8 μ s além do intervalo de guarda.

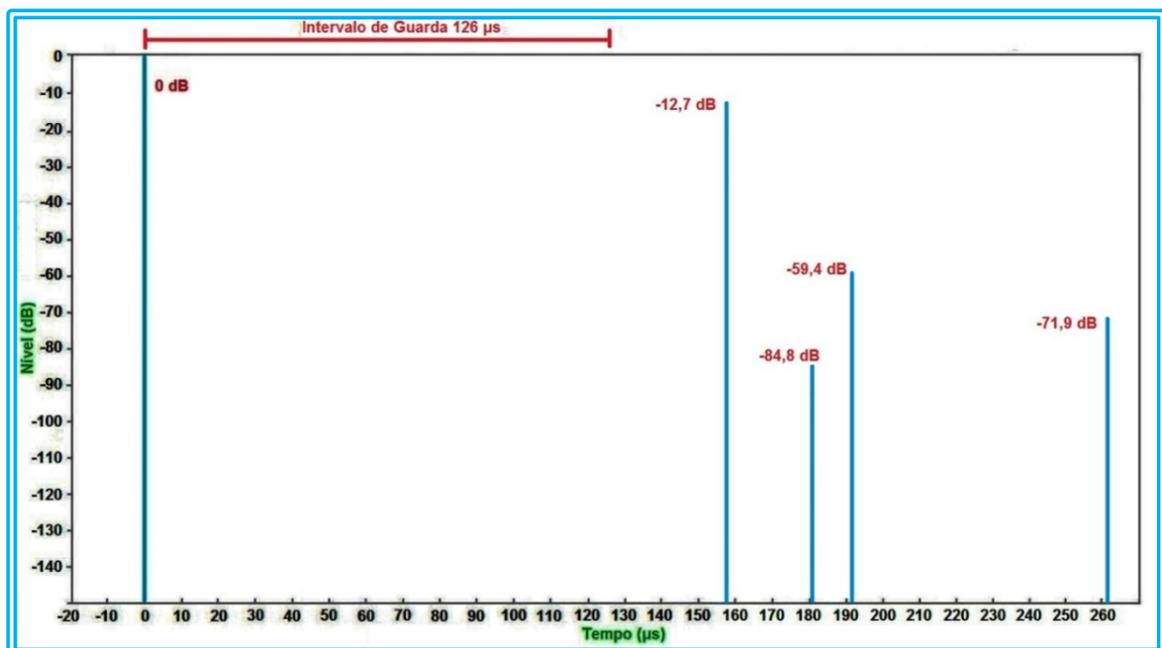


Gráfico 13 - Perfil de retardo para a região R2
 Fonte: Autoria própria

Tabela 18 - Valores estimados para a região R2

Localidade	Distância (km)	Tempo (μs)	Intensidade Campo ($dB\mu V/m$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	7,40	0,00	90,80	0,00
Vitória	50,50	157,80	78,00	-12,70
Viana	37,20	181,40	5,90	-84,80
Vila Velha	51,80	192,00	31,40	-59,40
Serra	69,60	261,40	18,80	-71,90

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta – Software Progira

Diante do constatado, a necessidade de perfil de elevação.

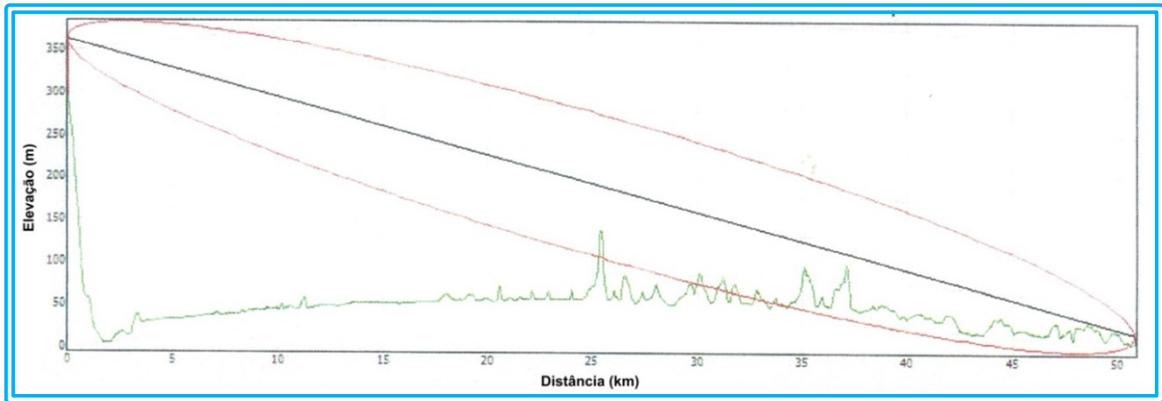


Gráfico 14 - Perfil de elevação alinhamento Vitória → R2

Fonte: Software PROGIRA

Analisado o perfil de elevação observou-se que na rota entre a região de Meaípe e Vitória não apresentam obstruções ao sinal de Vitória reforçando a ideia de que o campo teórico não será muito diferente do medido.

4.8.3 Região R3 : Anchieta



Figura 41 - R3 → Região Anchieta - sub-regiões R3.1 e R3.2

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Esta região também foi dividida em duas para facilitar o estudo.

4.8.3.1 Região R3.1: Rodovia do Sol Próximo a Anchieta

Nessa área, o perfil de retardo apresentou o sinal de Vitória a 30,1 μs do intervalo de guarda com um nível de 2 dB, muito próximo do sinal de Guarapari. Ao serem confirmadas estas condições, apresentaria uma condição de forte interferência.

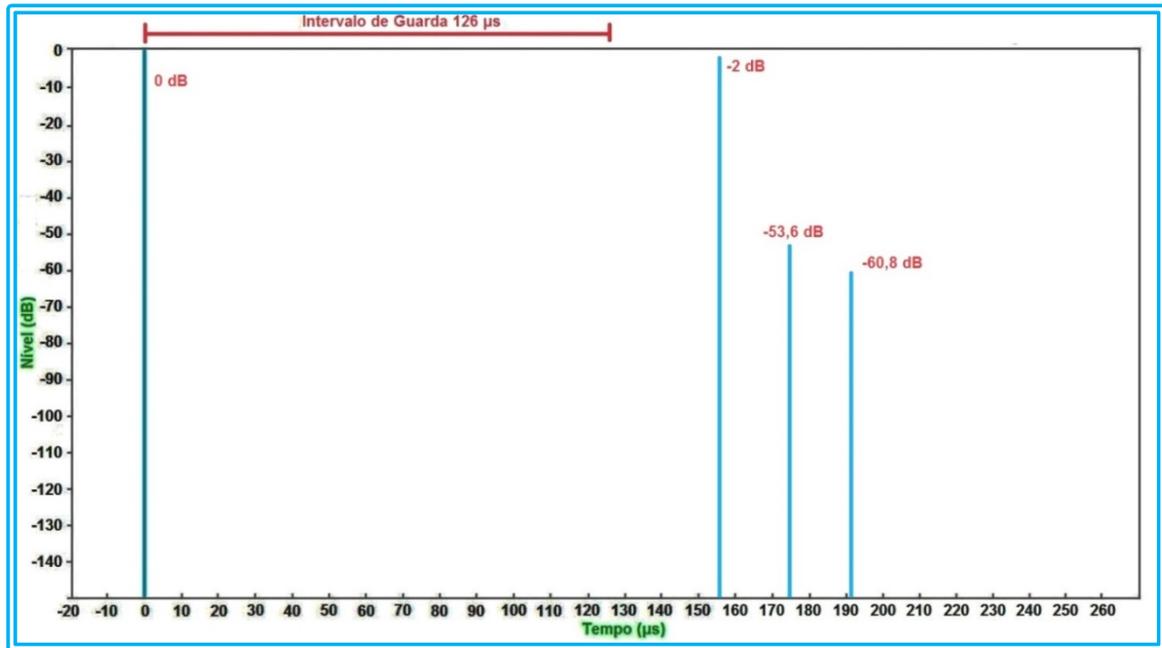


Gráfico 15 - Perfil de retardo para a região R3.1

Fonte: Autoria própria

Tabela 19 - Valores estimados para a região R3.1

Localidade	Distância (km)	Tempo (μs)	Intensidade Campo ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	19,40	0,00	59,30	0,00
Vitória	62,00	156,10	57,30	-2,00
Viana	47,40	175,20	5,60	-53,60
Vila Velha	63,70	191,60	-1,60	-60,80

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta – Software Progira

Diante desse diagnóstico, foi analisado o perfil de elevação dessa região até Vitória que apresentou três grandes obstruções no caminho.

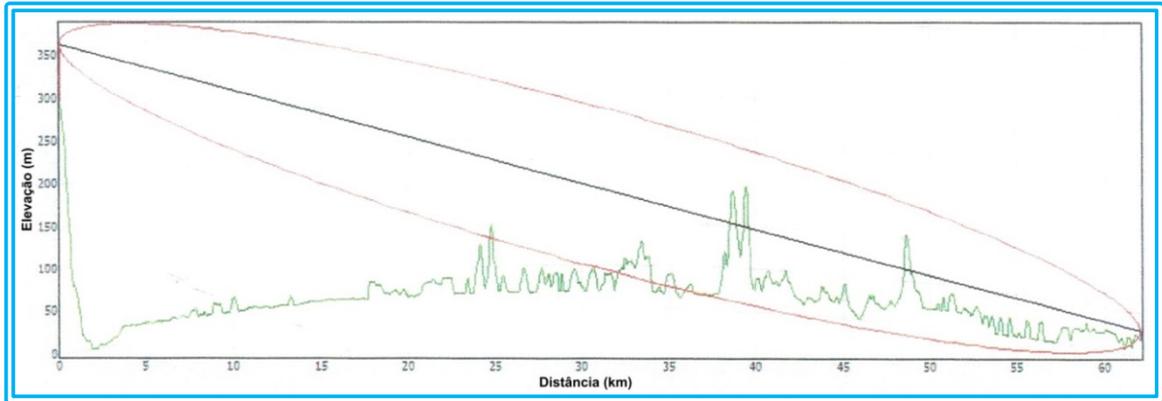


Gráfico 16 - Perfil de elevação alinhamento Vitória → R3.1
Fonte: Software PROGIRA

4.8.3.2 Região R3.2: Anchieta

Aqui, o perfil de retardo apresentou o sinal chegando de Vitória a apenas 6,3 dB abaixo do sinal principal de Guarapari com um tempo de 28,6 μs além do intervalo de guarda.

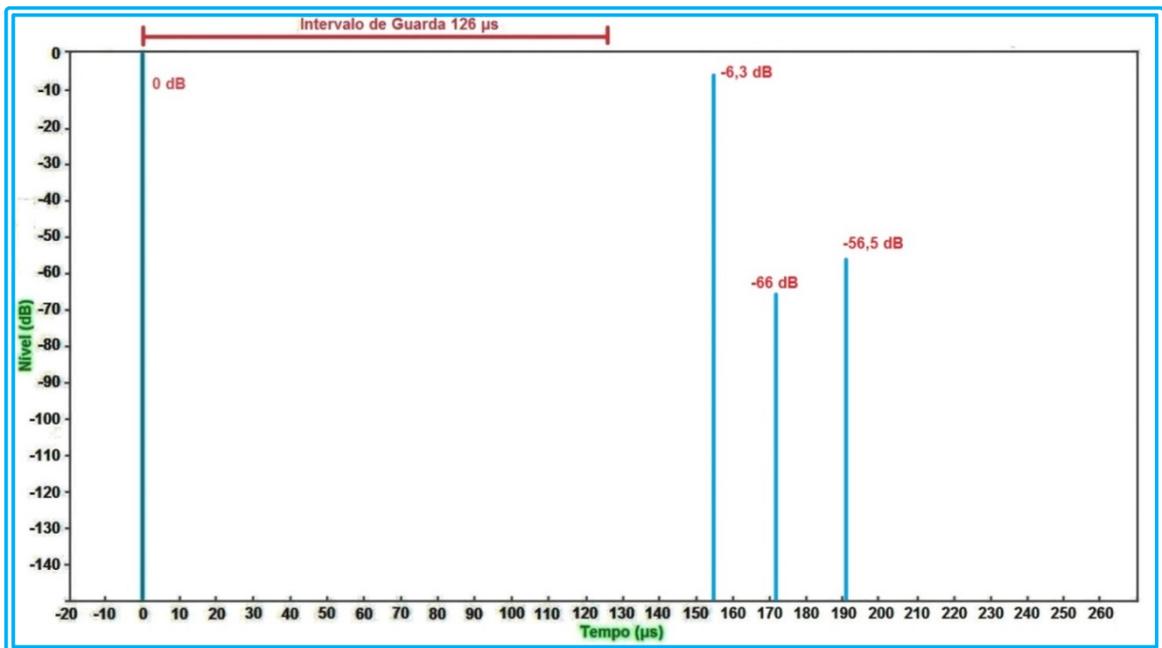


Gráfico 17 - Perfil de retardo para a região R3.2
Fonte: Autoria própria

Tabela 20 - Valores estimados para a região R3.2

Localidade	Distância (km)	Tempo (μs)	Intensidade Campo ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)	Nível Sinal (dB)
Guarapari	21,50	0,00	53,70	0,00
Vitória	63,60	154,60	47,40	-6,30
Viana	48,50	172,20	-12,30	-66,00
Vila Velha	65,50	190,90	-2,80	-56,50

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta – Software Progira

A análise complementar do perfil de elevação apresentou várias obstruções no caminho, inferindo uma atenuação bem maior que a projetada. Nesse caso, essa região não seria uma região interferida.

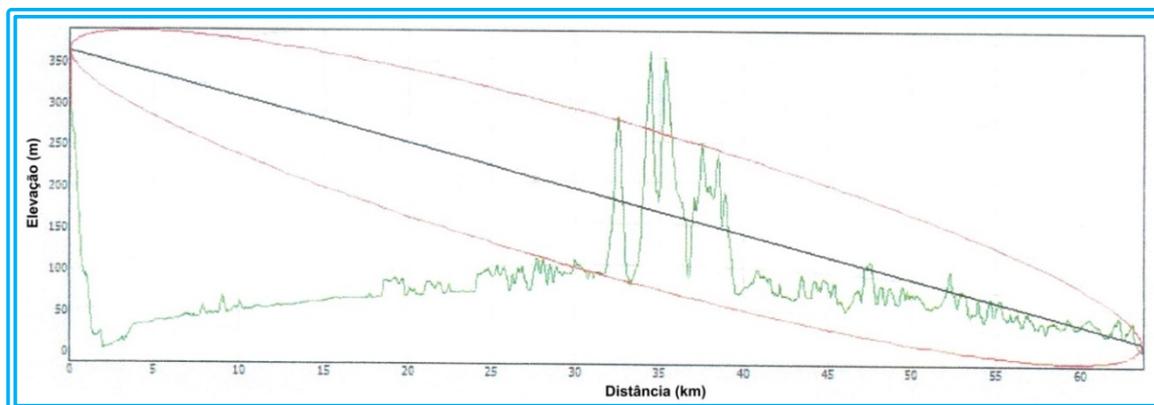


Gráfico 18 - Perfil de elevação alinhamento Vitória → R3.2
Fonte: Software PROGIRA

Avaliações de medições em campo seriam necessárias caso essa opção fosse definida para a implantação.

Nesse segundo estudo foram considerados os mesmos parâmetros de configuração.

Tabela 21 - Parâmetros de configuração utilizados - segunda opção

	Recepção Fixa (HD)	Recepção Móvel (1-SEG)
Modo	III – 5617 portadoras	
Modulação	64 QAM	QPSK
FEC	3/4	2/3
Intervalo de Guarda	1/8 (126µs)	

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia TV Gazeta

Tabela 22 - Atrasos inseridos no MUX – segunda opção

Atraso Máximo	500000 µs	
Estação	ID	Atraso (µs)
Vitória	01	14
Guarapari	02	0
Vila Velha	03	44
Serra	04	54
Viana	05	82

Fonte: Anteprojeto SFN - ALUC/Engenharia Tv Gazeta

5 SIMULAÇÕES E MEDIDAS

Os resultados apresentados neste capítulo balizaram os projetos das estações de Guarapari, Serra, Viana e Morro do Moreno.

Com base nessas simulações utilizando o software PROGIRA, foram definidos o sistema irradiante, transmissor, linha e definição dos atrasos em toda a rede *SFN*.

Como um sistema torna-se mais robusto quanto maior for seu intervalo de guarda. Esse detalhe porem diminui a quantidade de informação transmitida.

Assim, na tentativa de reduzir este intervalo, foram realizadas simulações considerando um intervalo de guarda de 1/16, o que equivale a 63 μ s.

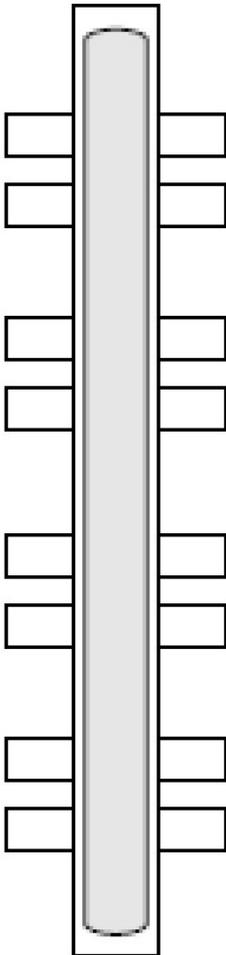
Estas simulações, no entanto, apontaram para uma rede com maior índice de zonas interferentes confirmando o uso de um intervalo de guarda de 1/8, ou seja, 126 μ s.

5.1 CARACTERÍSTICAS PARA OS SITES ADOTADAS NOS ESTUDOS REALIZADOS

Estudos concluídos foram confirmados ou redefinidos os modelos das antenas transmissoras bem como suas orientações, transmissores e demais equipamentos da rede listados nas tabelas a seguir. Os campos colocados em destaque indicam valores definidos ou redefinidos após conclusão dos estudos, sendo apresentados adiante em tabelas de cada um dos sites com suas configurações finais.

5.1.1 Município de Guarapari

Tabela 23 - Município de Guarapari - Características do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	20 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	500 W
	Modelo	
	ANTENA	
	Modelo	TTSL4UA
	Polarização	Elíptica
	Ganho	8,6 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	53 m
	Azimute	310° NV
	Latitude	20° 40' 09,80"
	Longitude	40° 29' 40,20"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
	Modelo	AVA5-50 (7/8")
Atenuação	2,76 dB/100 m	
Comprimento	15 m	
Perda Conexões	0,5 dB	
Perda Total	0,9 dB	
ERP		
Polarização Horizontal	2060 W	
Polarização Vertical	883 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	20 μs	

Fonte: Autoria própria

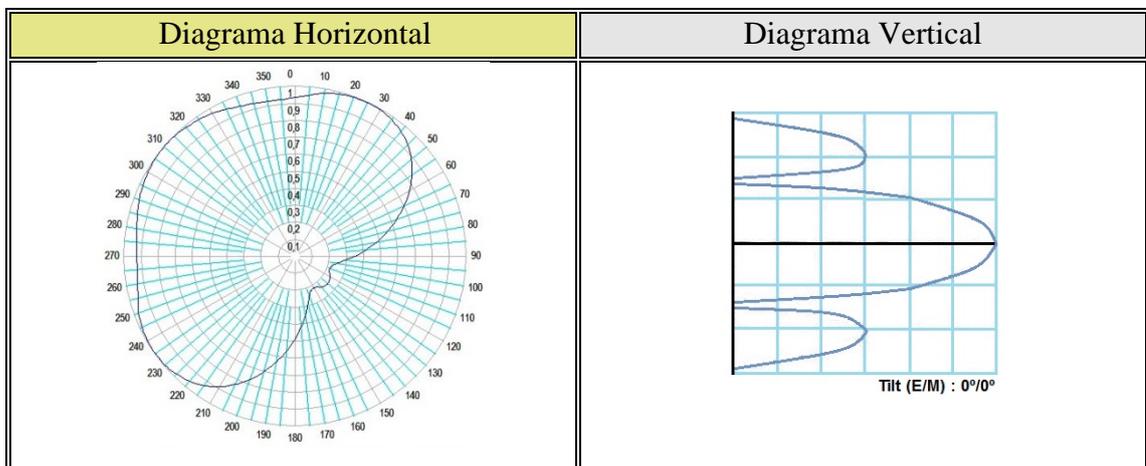
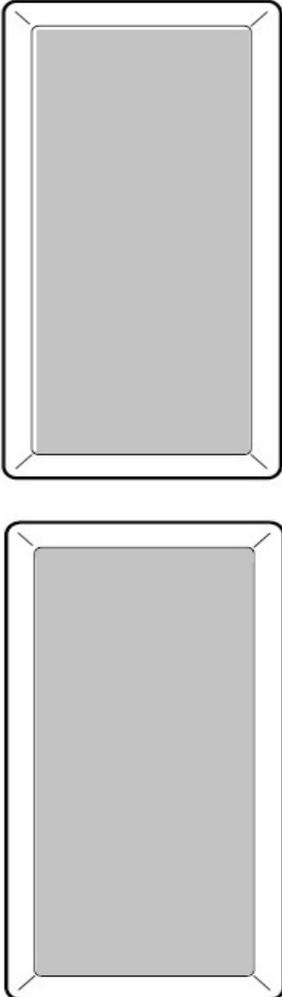


Gráfico 19 - Diagramas antena Guarapari

Fonte: Transtel Conti

5.1.2 Município de Serra

Tabela 24 - Município de Serra - Características do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	100 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	50 W
	Modelo	
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-1-2-22-1
	Polarização	Elíptica
	Ganho	14,0 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	30 m
	Azimute	90° NV
	Latitude	20° 07' 40,60"
	Longitude	40° 20' 03,08"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
Modelo	AVA5-50 (7/8")	
Atenuação	2,76 dB/100 m	
Comprimento	40 m	
Perda Conexões	0,5 dB	
Perda Total	1,6 dB	
ERP		
Polarização Horizontal	608 W	
Polarização Vertical	260 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	40 µs	
Em Relação à Guarapari	54 µs	

Fonte: Autoria própria

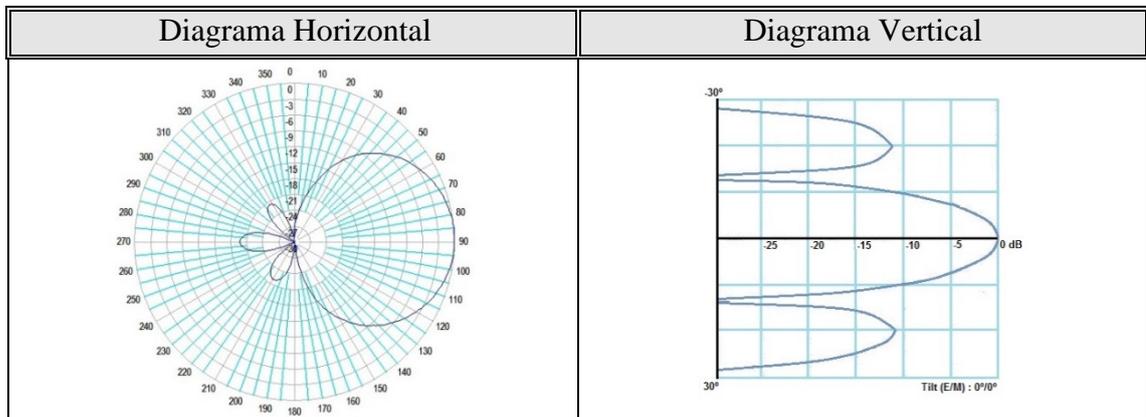
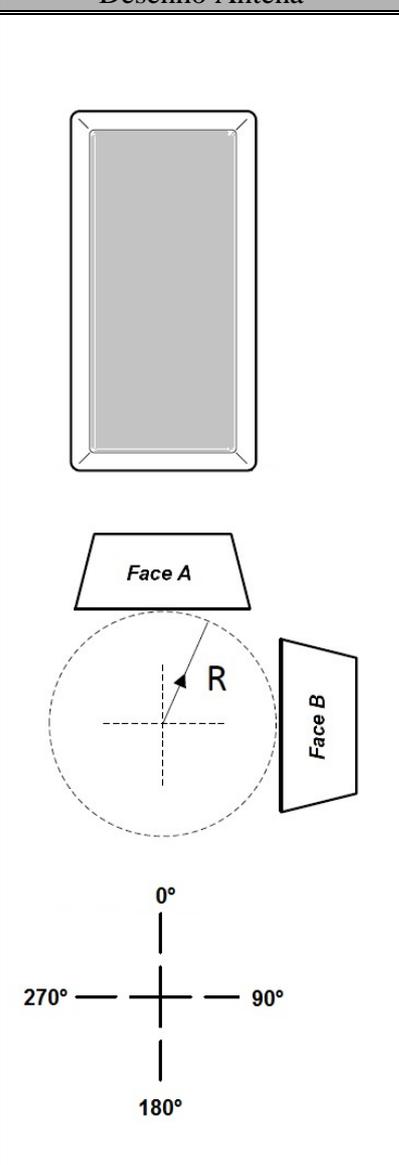


Gráfico 20 - Diagramas antena Serra

Fonte: Transtel Conti

5.1.3 Município de Viana

Tabela 25 - Município de Viana - Características do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	87 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	50 W
	Modelo	
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-2-1-22
	Polarização	Elíptica
	Ganho	7,9 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	25 m
	Azimute	15° NV
	Latitude	20° 23' 37,90"
	Longitude	40° 29' 29,80"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
Modelo	AVA5-50 (7/8")	
Atenuação	2,76 dB/100 m	
Comprimento	35 m	
Perda Conexões	0,5 dB	
Perda Total	1,46 dB	
ERP		
Polarização Horizontal	154 W	
Polarização Vertical	66 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	68 µs	
Em Relação à Guarapari	82 µs	

Fonte: Autoria própria

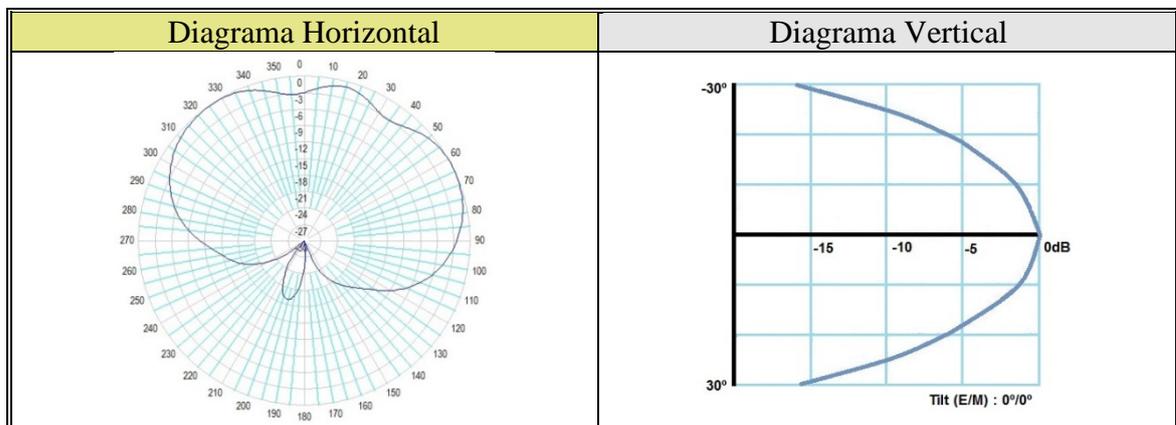
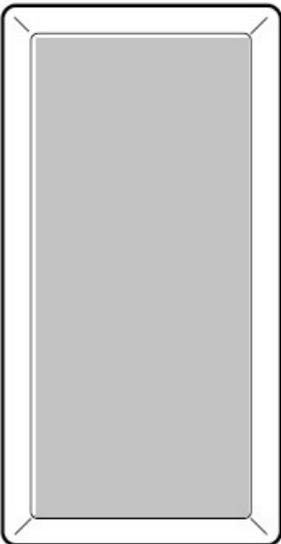


Gráfico 21 - Diagramas antena Viana

Fonte: Transtel Conti

5.1.4 Município de Vila Velha

Tabela 26 - Município de Vila Velha - Características do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	160 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	10 W
	Modelo	
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-1-1-22-1
	Polarização	Elíptica
	Ganho	11,0 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	20 m
	Azimute	130° NV
	Latitude	20° 19' 32,50"
	Longitude	40° 16' 37,40"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
	Modelo	AVA5-50 (7/8")
	Atenuação	2,76 dB/100 m
	Comprimento	30 m
Perda Conexões	0,5 dB	
Perda Total	1,3 dB	
ERP		
Polarização Horizontal	65 W	
Polarização Vertical	28 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	30 µs	
Em Relação à Guarapari	44 µs	

Fonte: Autoria própria

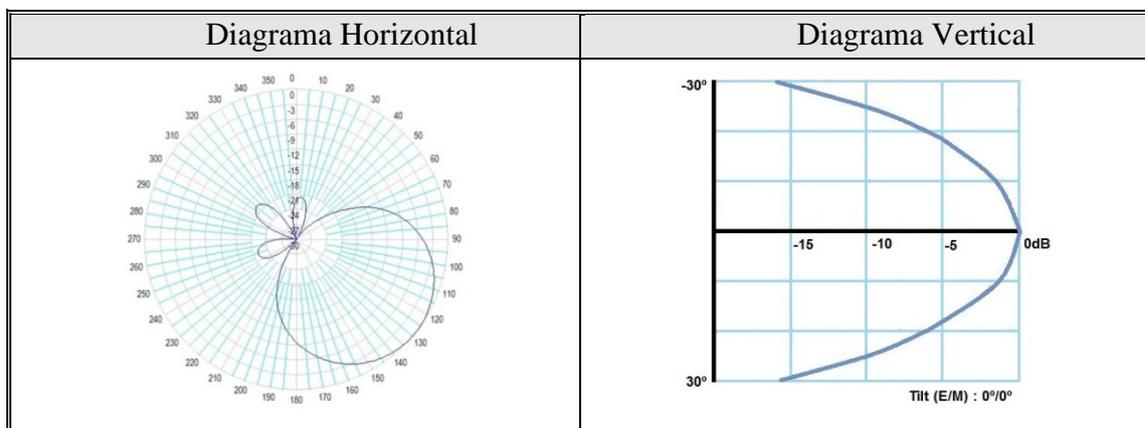


Gráfico 22 - Diagramas antena Vila Velha

Fonte: Transtel Conti

5.2 MAPAS DA REGIÃO EM ESTUDO

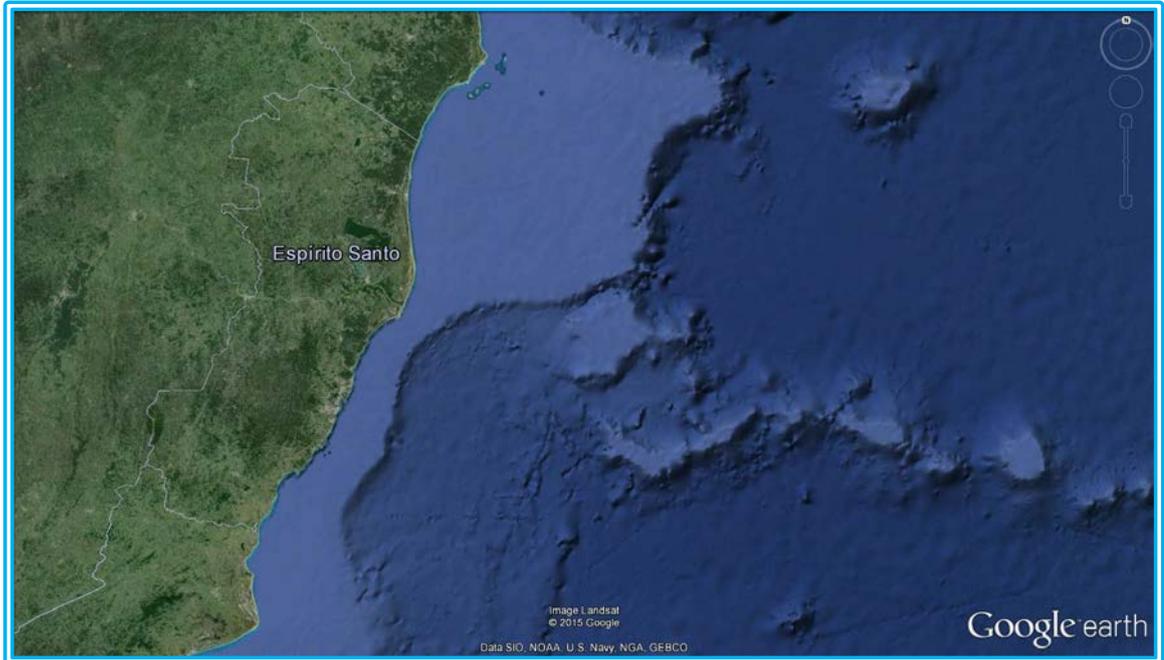


Figura 42 - Estado do Espírito Santo
Fonte: Autoria Própria

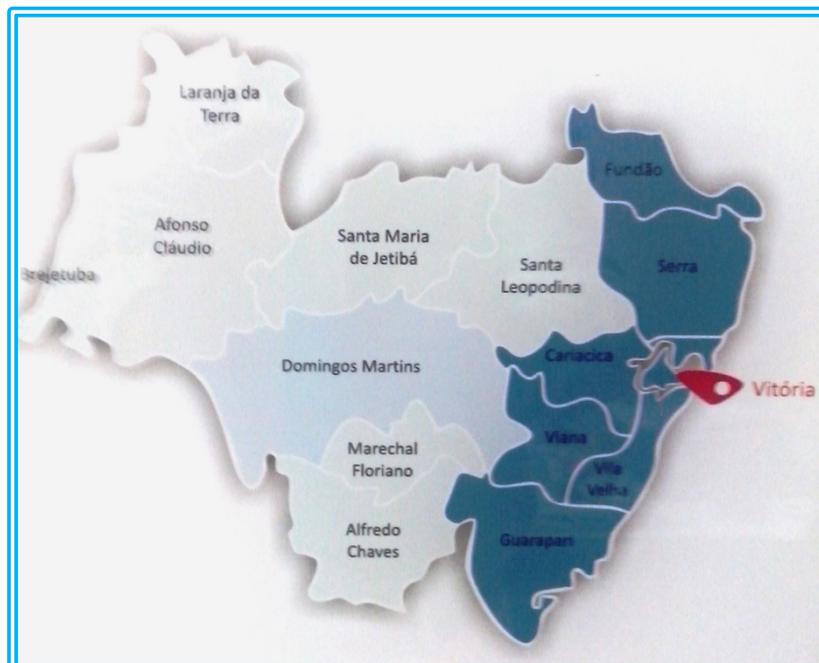


Figura 43 - Região estudada
Fonte: Engenharia TV Gazeta

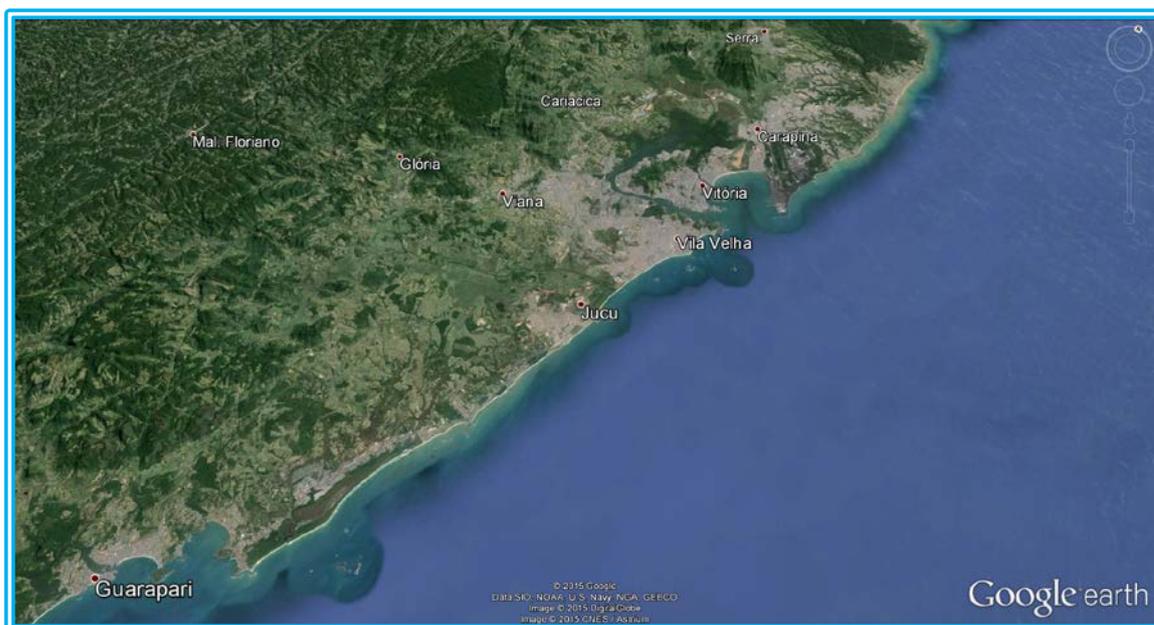


Figura 44 - Estado do Espírito Santo – Região em Estudo
Fonte: Autoria Própria

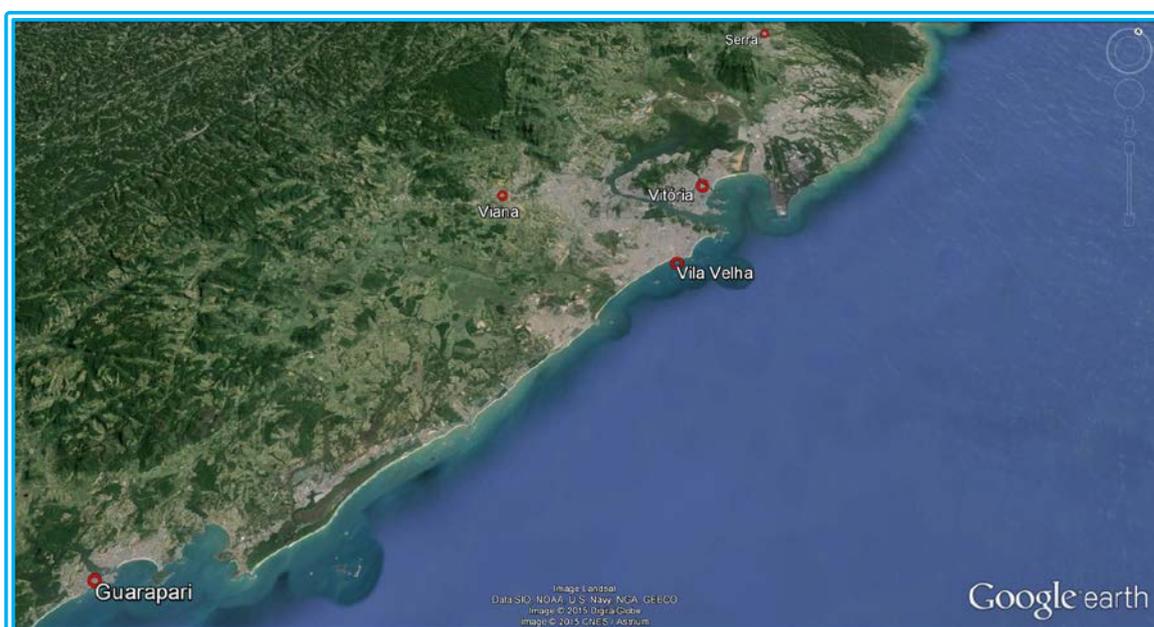


Figura 45 - Estado do Espírito Santo – Região em Estudo - Sede municípios
Fonte: Autoria Própria

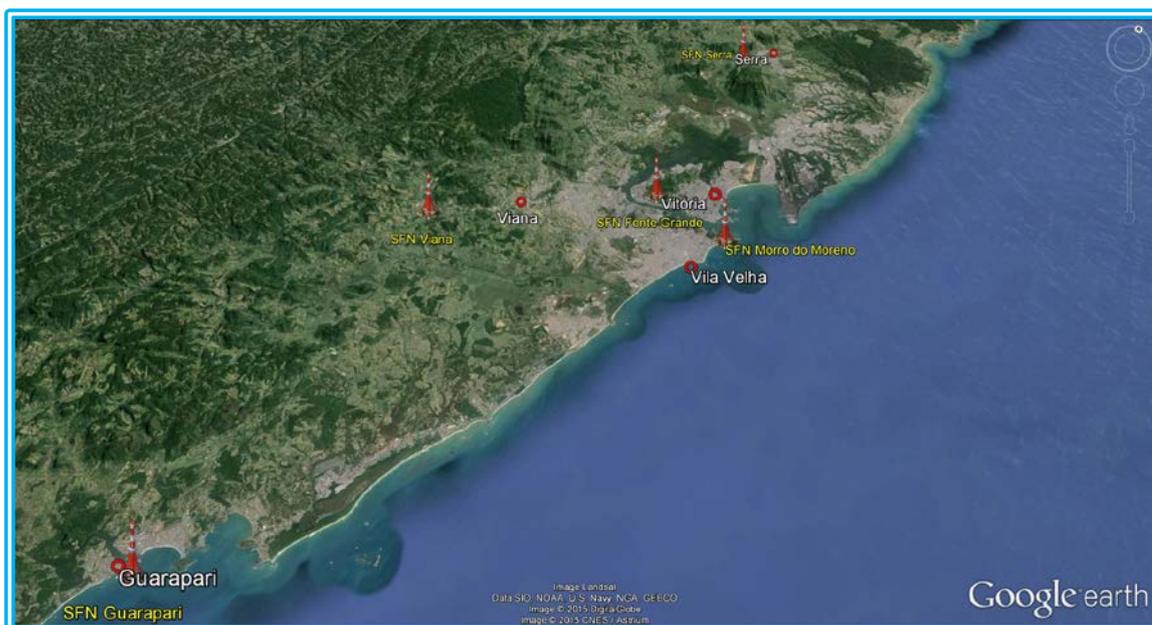


Figura 46 - Estações transmissoras

Fonte: Autoria Própria

Todo este estudo levou aos diagramas de cobertura apresentados em seguida. Nas combinações apresentadas à seguir ilustram a complementação de cobertura feita entre os transmissores dos diversos sites de transmissão.

5.3 DIAGRAMAS COMPARATIVOS DE COBERTURA

5.3.1 Cobertura Tx Vitória X Cobertura Tx Serra

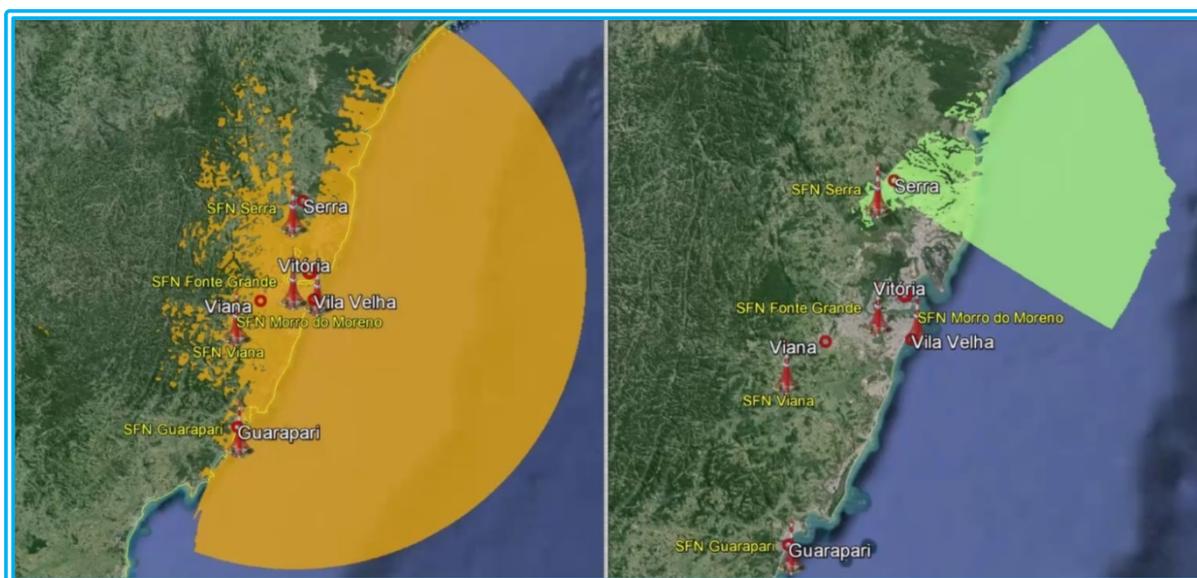


Figura 47 - Cobertura Tx Vitória X Cobertura Tx Serra

Fonte: Autoria Própria

5.3.2 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vitória



Figura 48 - Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vitória
Fonte: Autoria Própria

5.3.3 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vila Velha

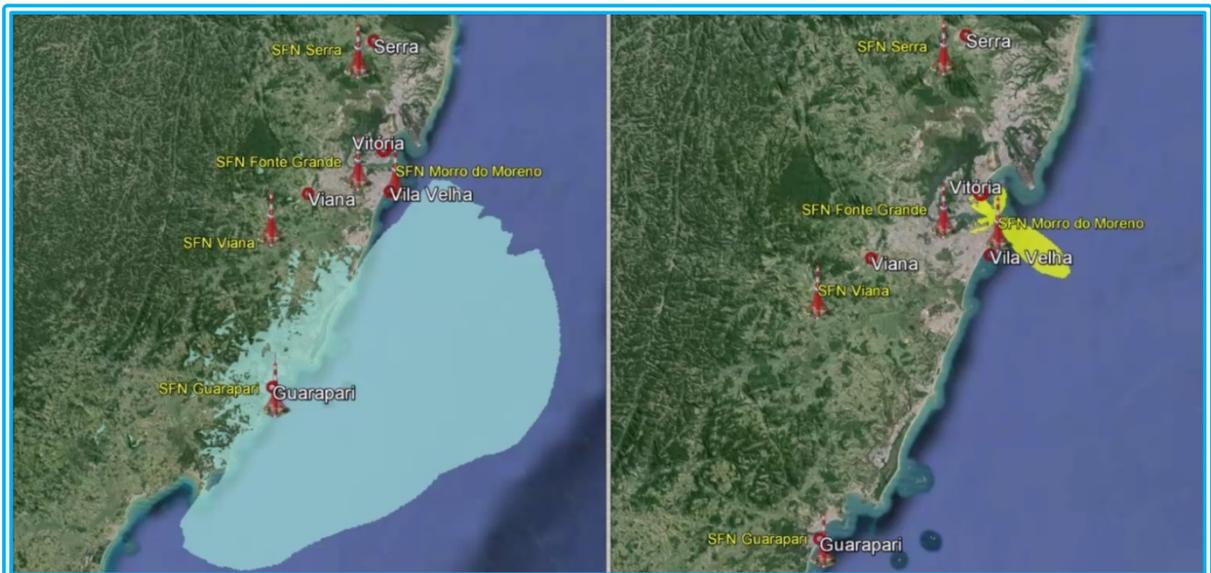


Figura 49 - Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Vila Velha
Fonte: Autoria Própria

5.3.4 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Serra

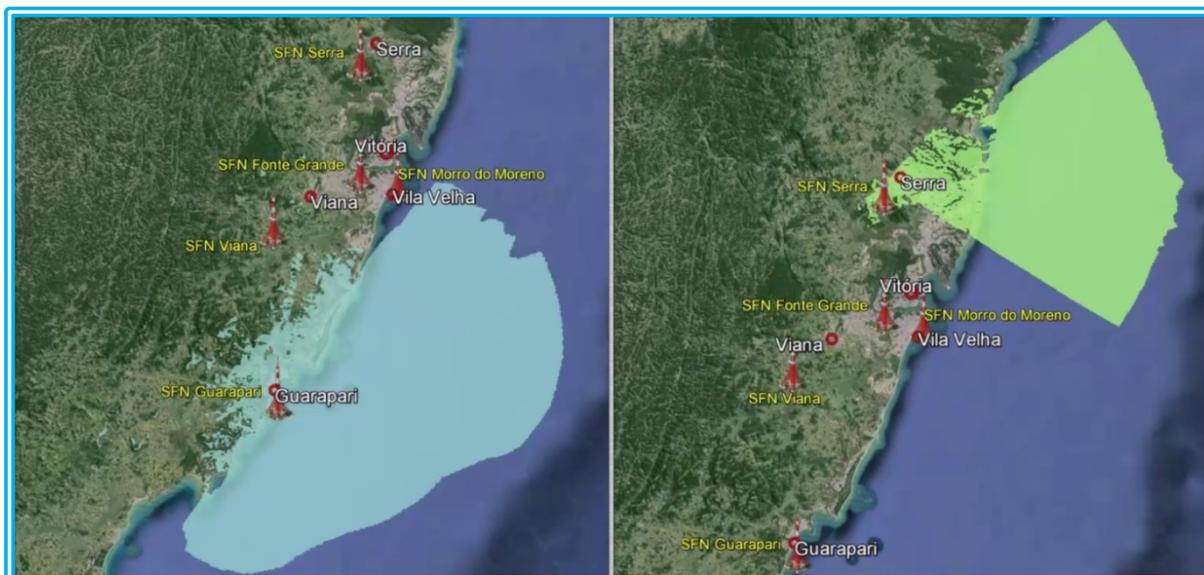


Figura 50 - Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Serra
Fonte: Autoria Própria

5.3.5 Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Viana

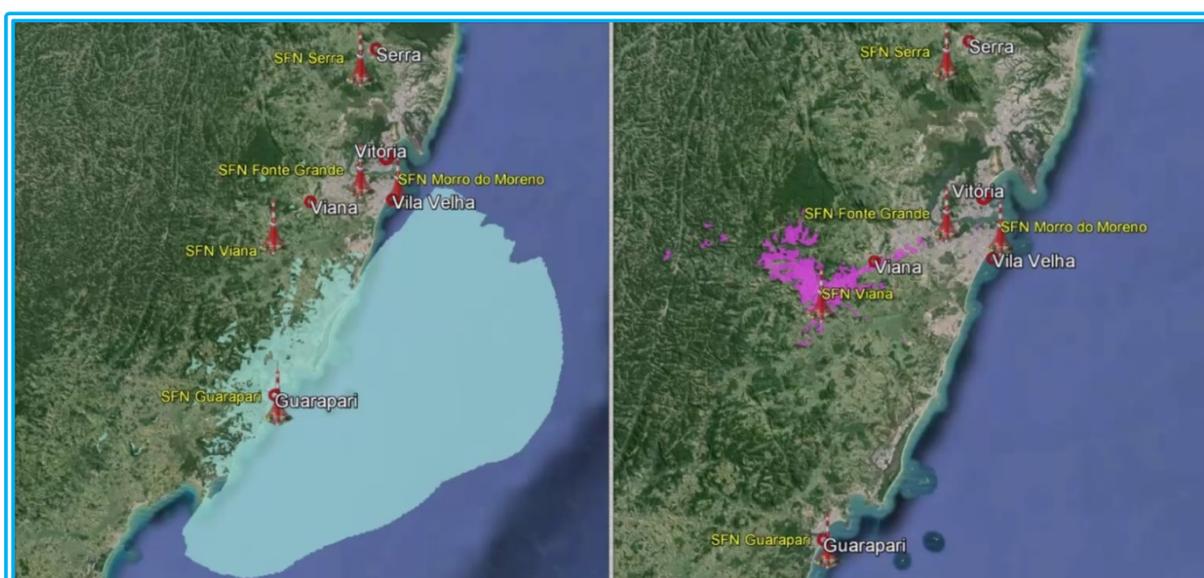


Figura 51 - Cobertura Tx Guarapari X Cobertura Tx Viana
Fonte: Autoria Própria

5.3.6 Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Vitória



Figura 52 - Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Vitória
Fonte: Autoria Própria

5.3.7 Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Serra

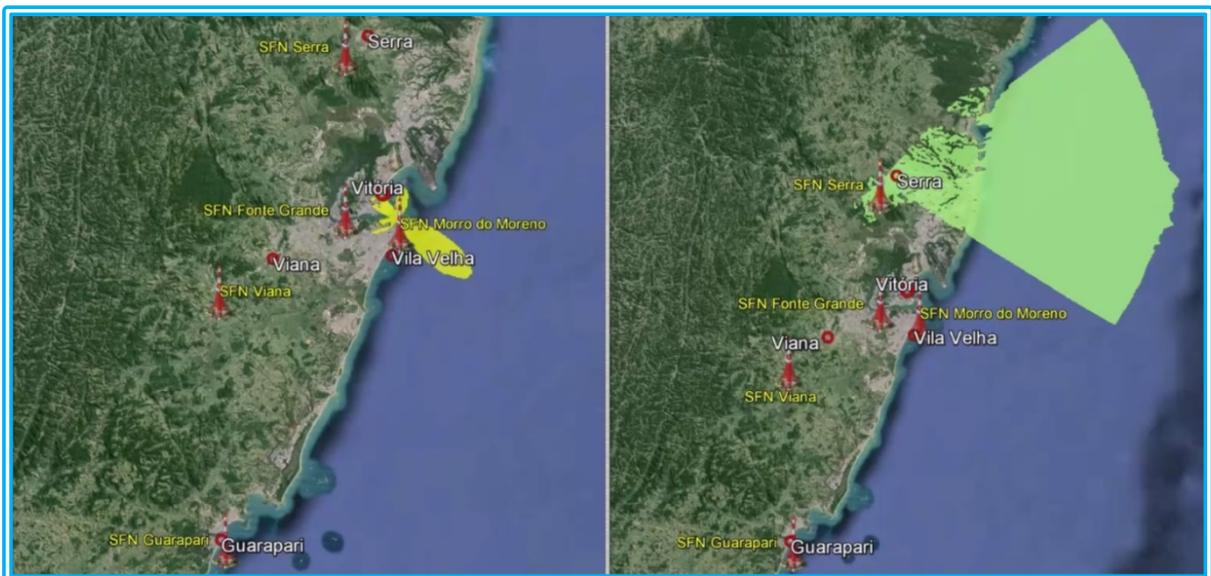


Figura 53 - Cobertura Tx Vila Velha X Cobertura Tx Serra
Fonte: Autoria Própria

5.3.8 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vitória



Figura 54 - Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vitória
Fonte: Autoria Própria

5.3.9 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vila Velha

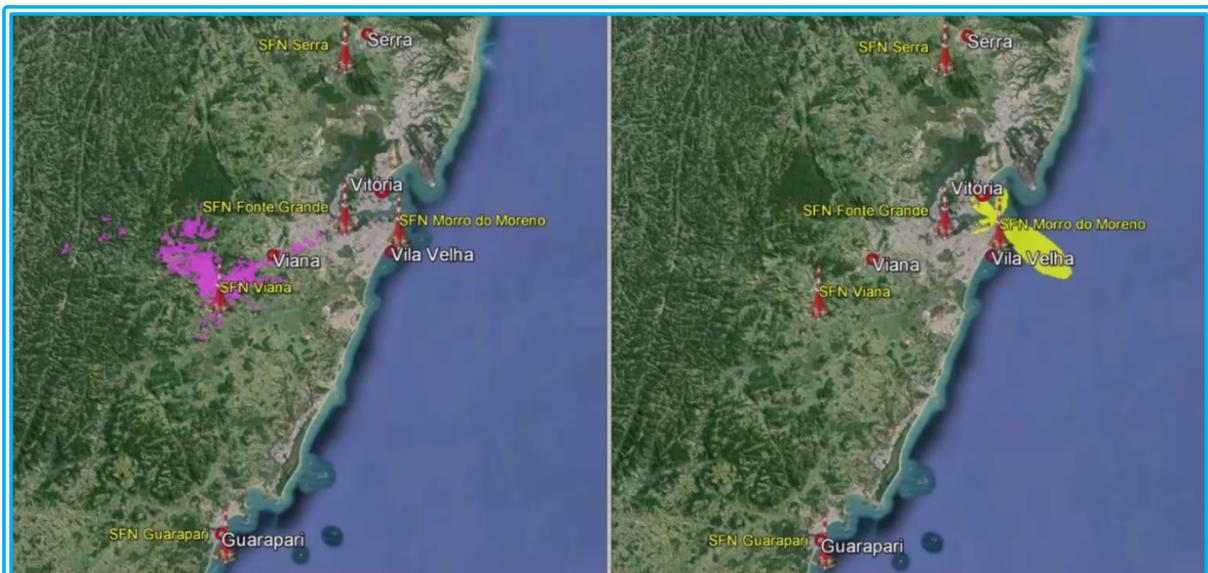


Figura 55 - Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Vila Velha
Fonte: Autoria Própria

5.3.10 Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Serra

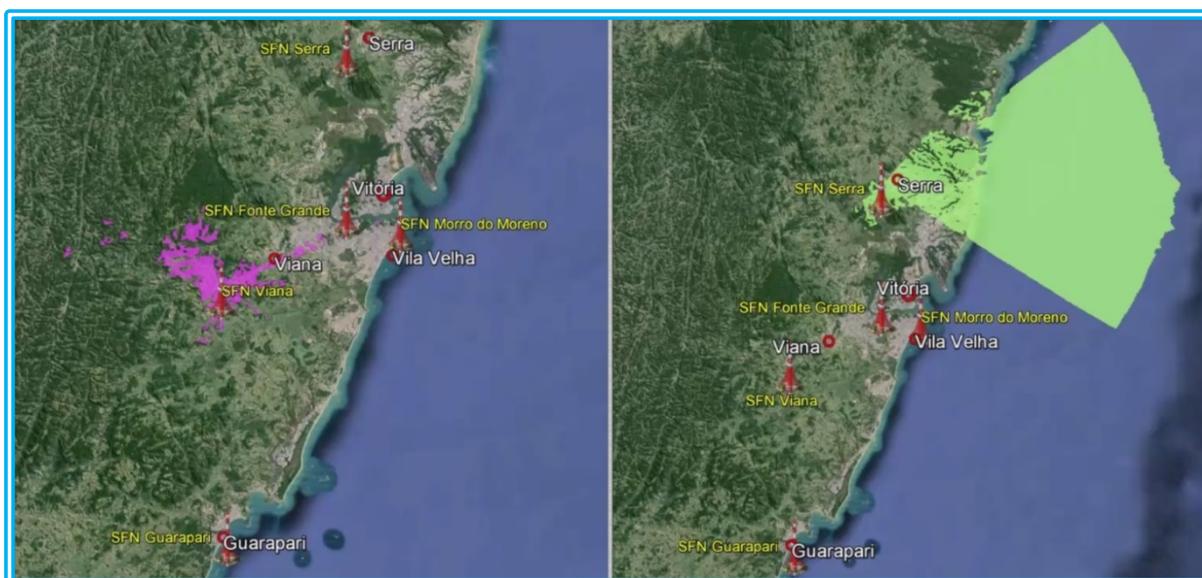


Figura 56 - Cobertura Tx Viana X Cobertura Tx Serra
Fonte: Autoria Própria

5.4 MAPAS DE ESTUDO DE OBSTRUÇÕES ENTRE TRANSMISORES

5.4.1 Alinhamentos Possíveis Entre os Transmissores

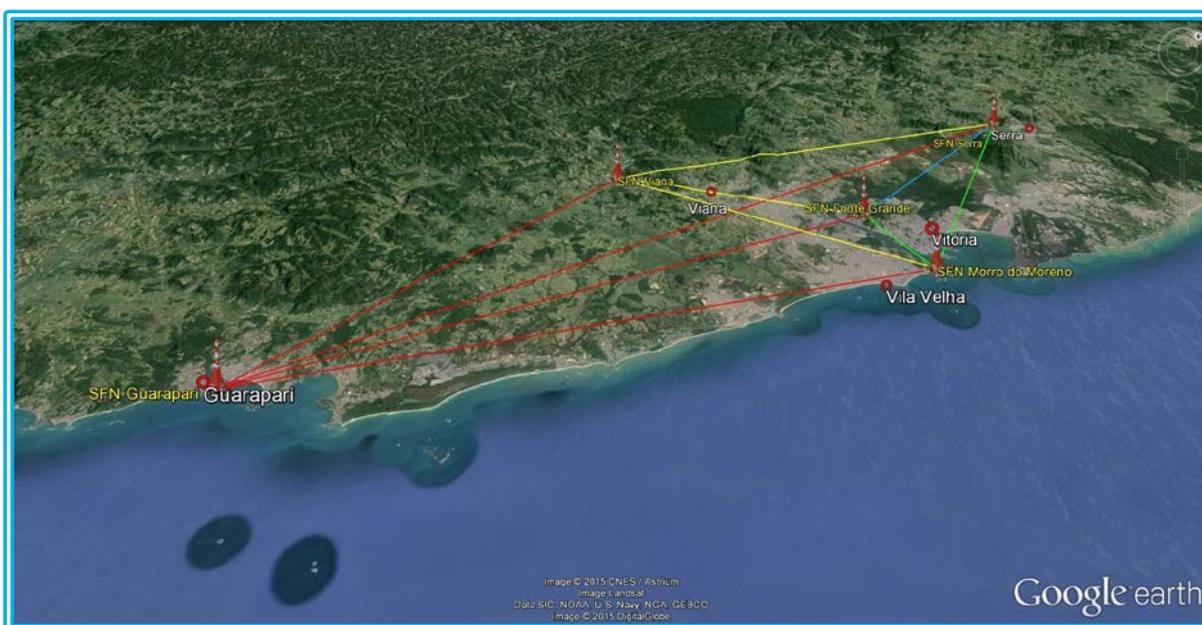


Figura 57 - Mapa Estudo Obstruções entre Transmissores
Fonte: Autoria Própria

5.4.2 Obstrução Alinhamento Guarapari – Viana

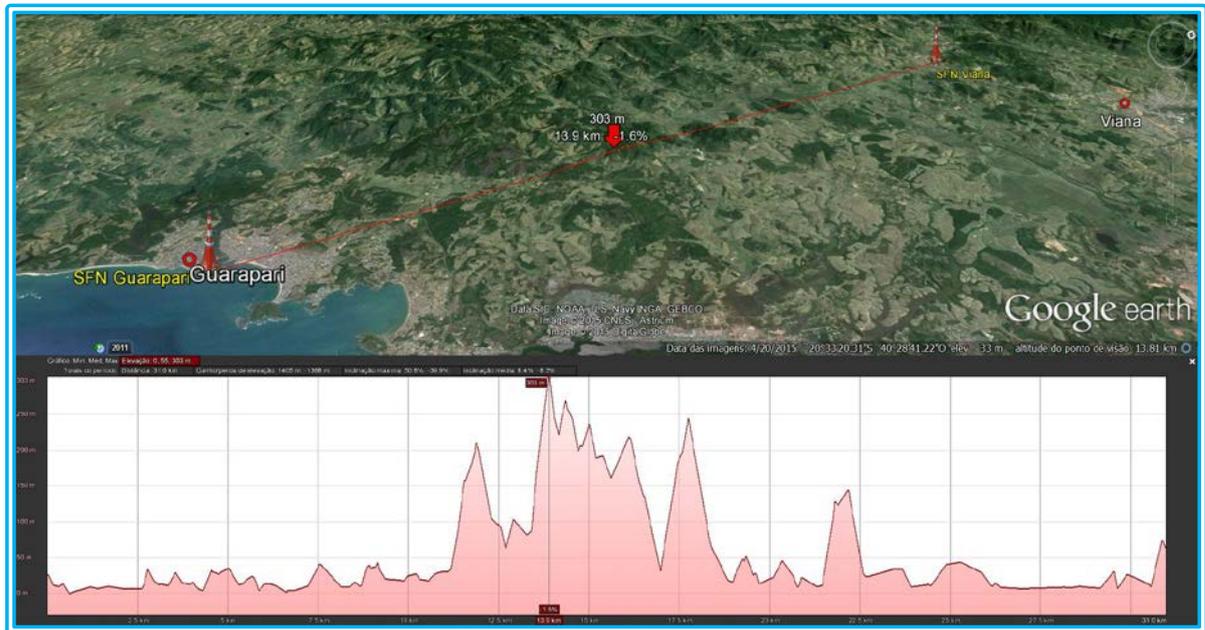


Figura 58 - Obstrução alinhamento Guarapari – Viana
 Fonte: Autoria Própria

5.4.3 Obstrução Alinhamento Vitória – Serra

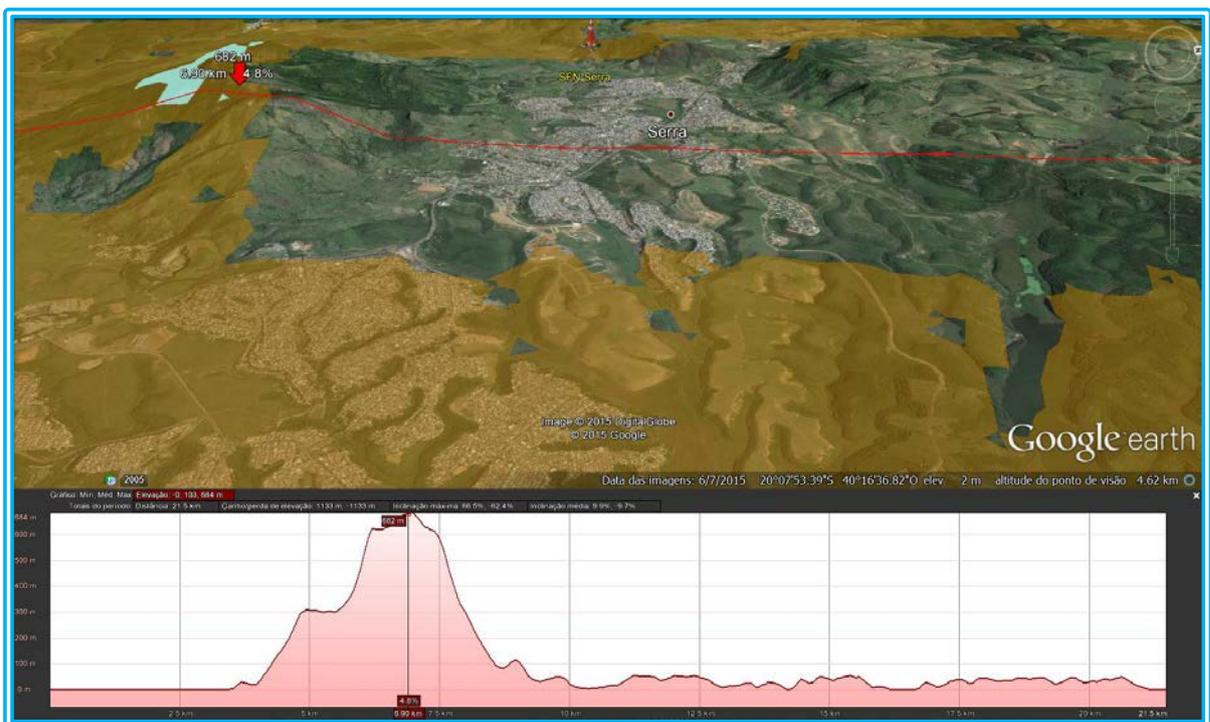


Figura 59 - Obstrução alinhamento Vitória - Serra
 Fonte: Autoria Própria

5.4.4 Obstrução Acentuada em Serra

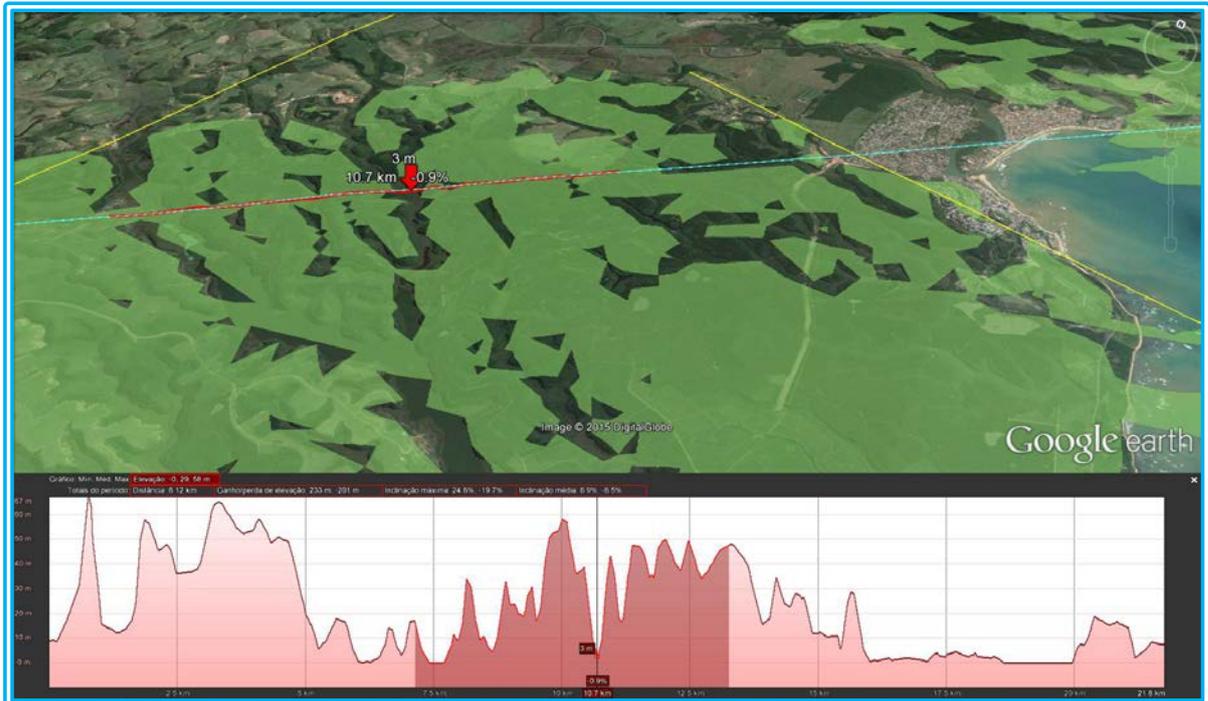


Figura 60 - Obstrução acentuada em Serra
 Fonte: Autoria Própria

5.4.5 Obstrução de Vitória à Viana



Figura 61 - Obstrução de Vitória à Viana
 Fonte: Autoria Própria

5.4.6 Obstrução de Serra à Vitória

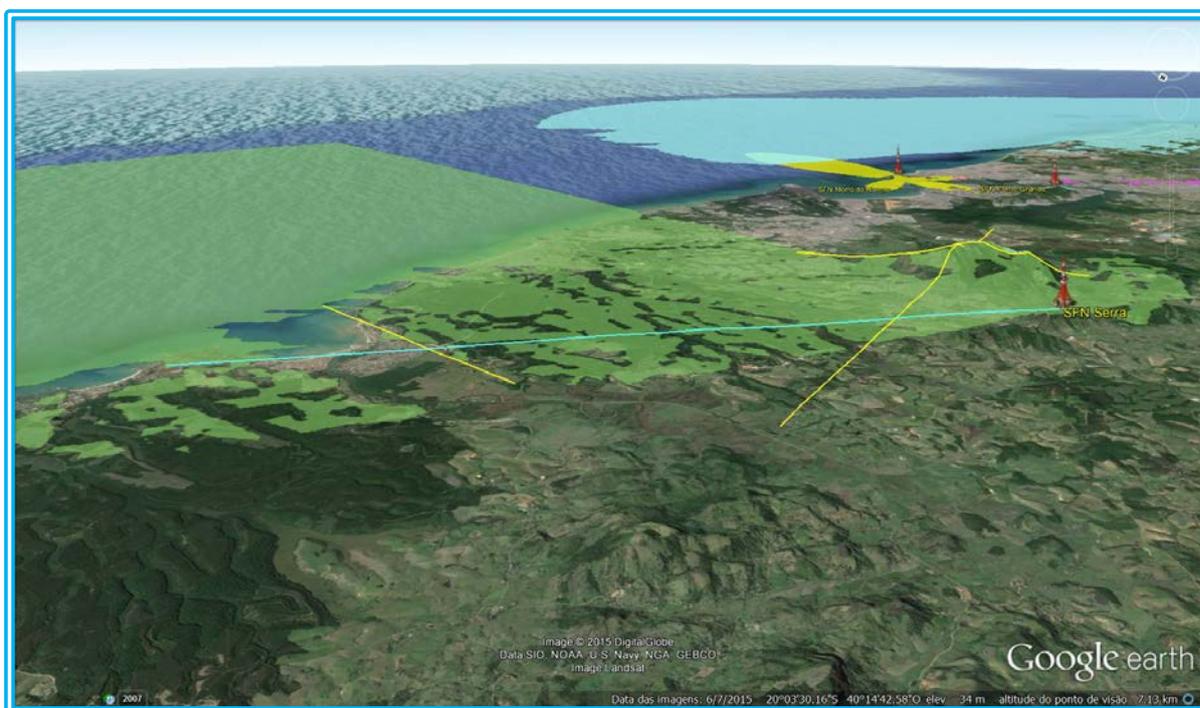


Figura 62 - Obstrução de Serra à Vitória

Fonte: Autoria Própria

5.5 OPERACIONALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PROJETADAS

Como abordado nas páginas anteriores, uma *SFN*, além de racionalizar o uso de canais disponíveis, propicia pelo reuso da frequência fazer com que dentro de uma microrregião a distribuição do sinal ocorra num mesmo canal.

Assim, a topografia encontrada na região contribuiu para este estudo.

5.6 RELEVO DA REGIÃO EM ESTUDO

Conforme pode ser observado nas imagens à seguir, o estado do Espírito Santo apresenta topografia muito acidentada, dificultando a cobertura do sinal digital.

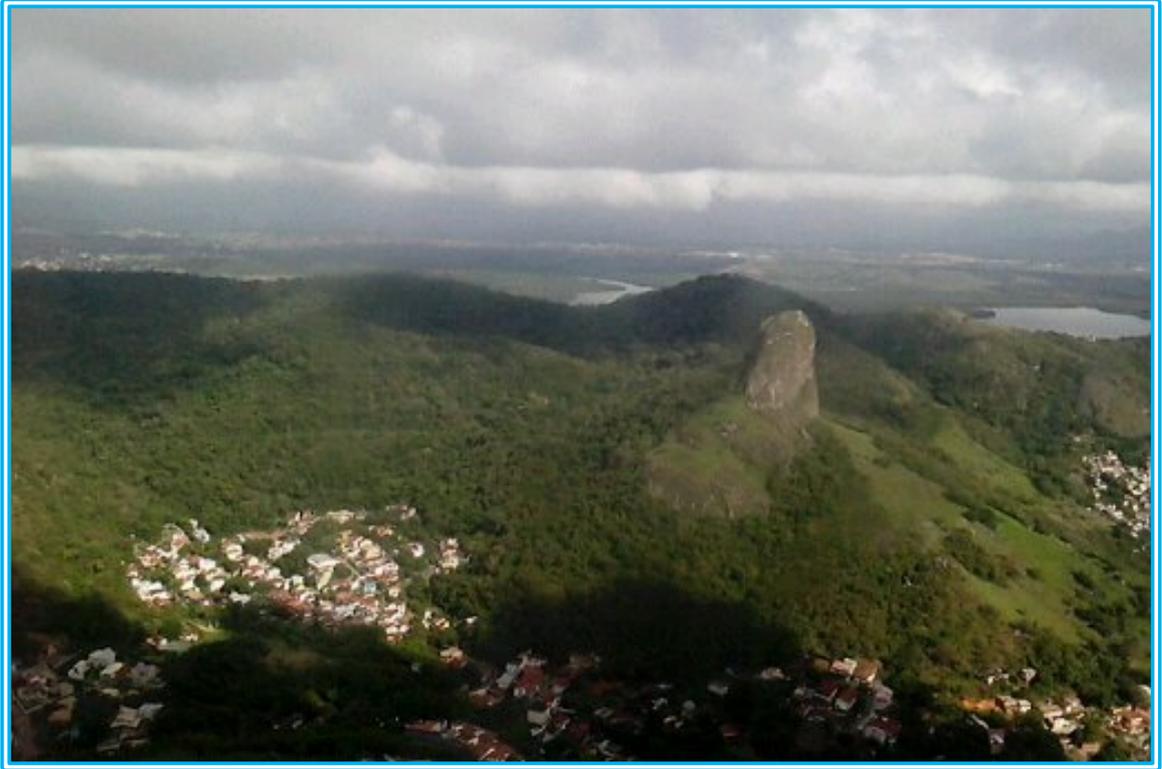


Figura 63 - Topografia do Espírito Santo
Fonte: Autoria Própria

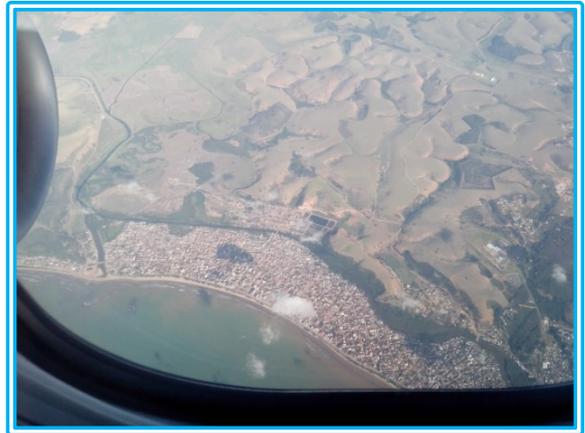
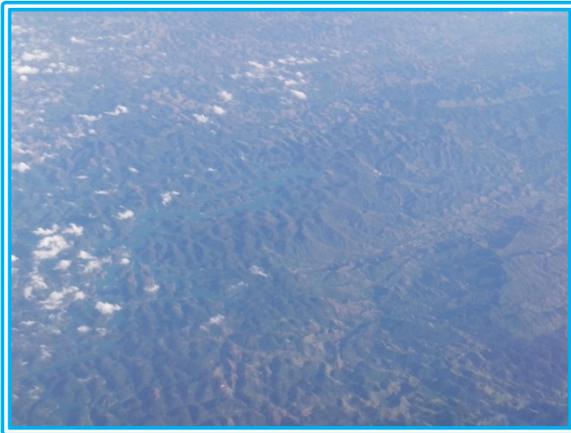


Figura 64 - Topografia do Espírito Santo
Fonte: Autoria Própria

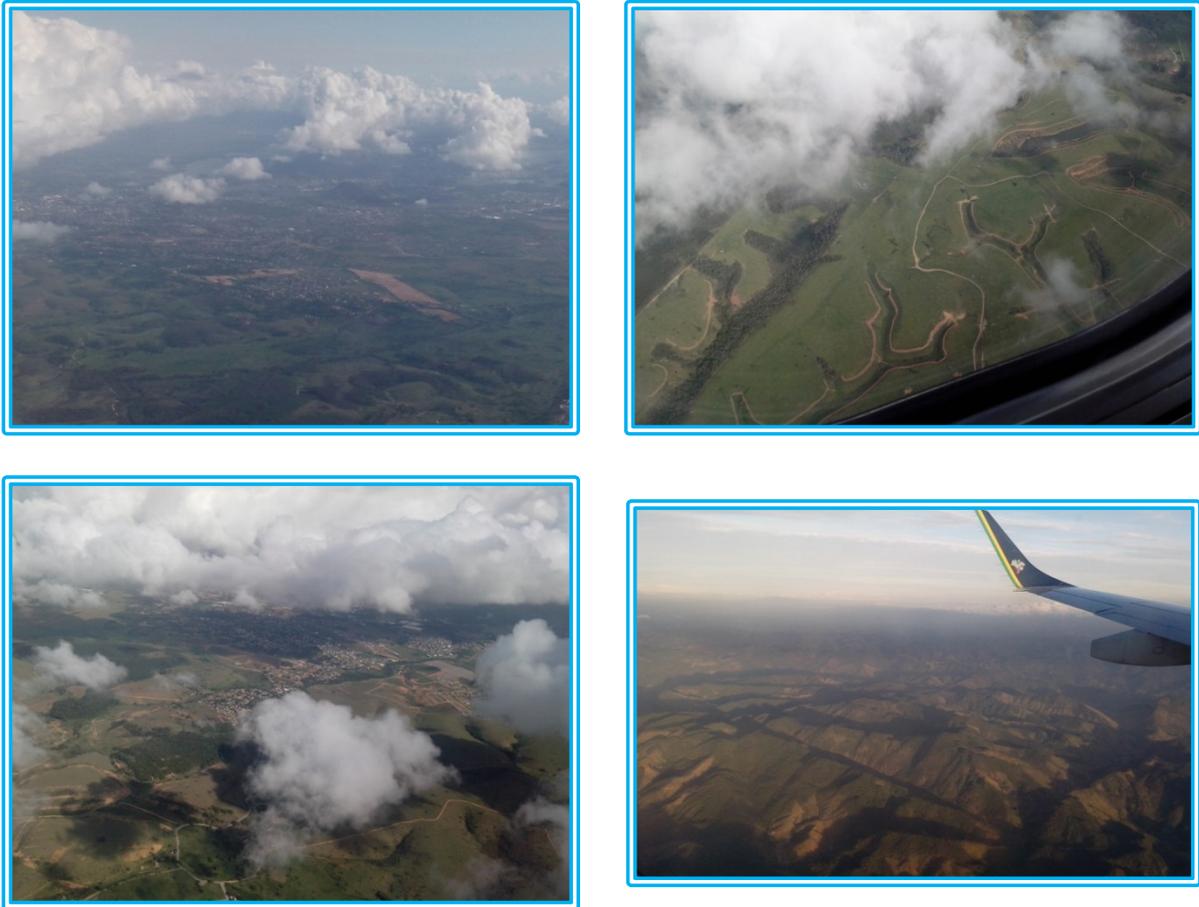


Figura 65 - Topografia do Espírito Santo
Fonte: Autoria Própria



Figura 66 - Relevo município de Vitória e Vila velha
Fonte: Autoria Própria

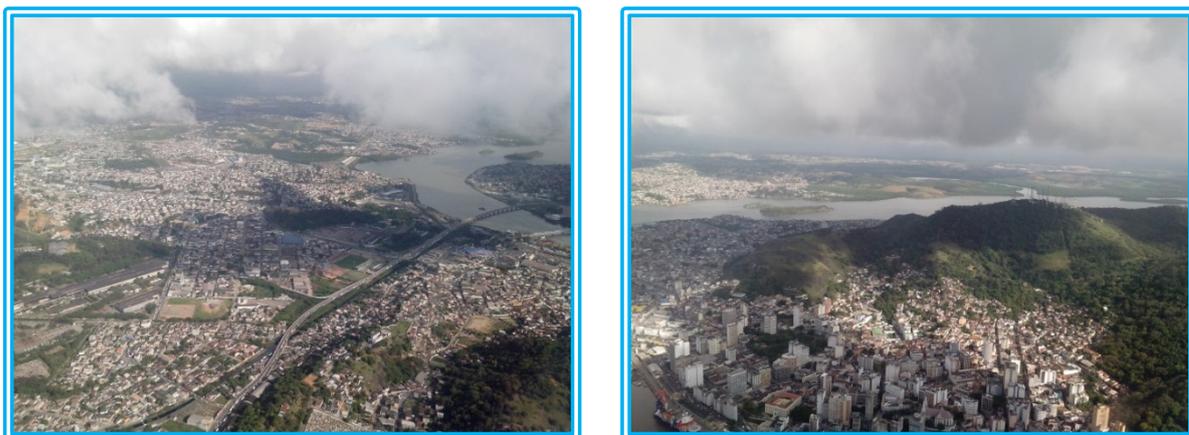


Figura 67 - Relevo município de Vitória e Vila velha
Fonte: Autoria Própria

Vitória e Vila Velha apresentam várias formações rochosas dispersas pela cidade, por entre os prédios e quarteirões.



Figura 68 - Formações no relevo de Vitória e Vila Velha
Fonte: Autoria Própria

5.7 SEDE DA TV GAZETA - VITÓRIA, ES

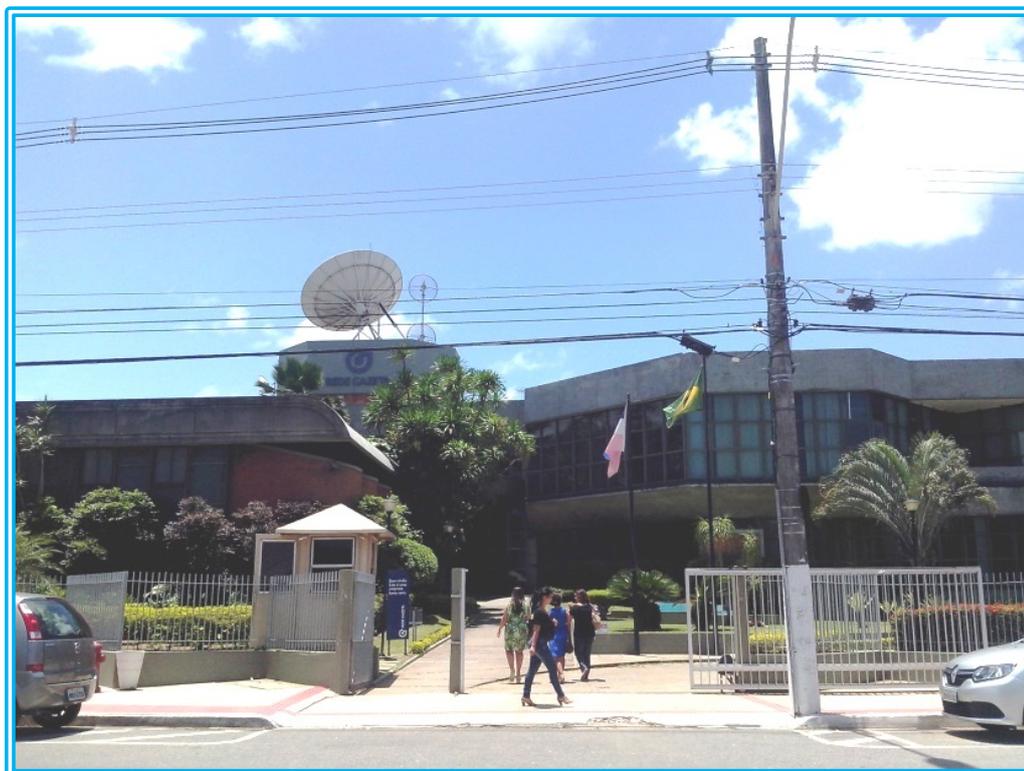


Figura 69 - Sede da TV Gazeta - Vitória, ES
Fonte: Autoria Própria



Figura 70 - Primeira câmera TV Gazeta
Fonte: Autoria Própria



Figura 71 - TV Gazeta - entrada principal - demonstração diferença entre a transmissão analógica e digital
 Fonte: Autoria Própria

Após todo o processamento dentro da estação,



Figura 72 - Controle Mestre
 Fonte: Autoria Própria



Figura 73 - Controle Mestre
 Fonte: Autoria Própria

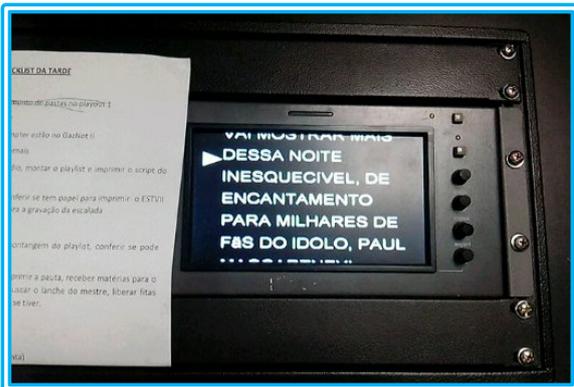


Figura 74 - Controle A
Fonte: Autoria Própria



Figura 75 - Controle A
Fonte: Autoria Própria



Figura 76 - Central técnica
Fonte: Autoria Própria



Figura 77 - Central técnica
Fonte: Autoria Própria

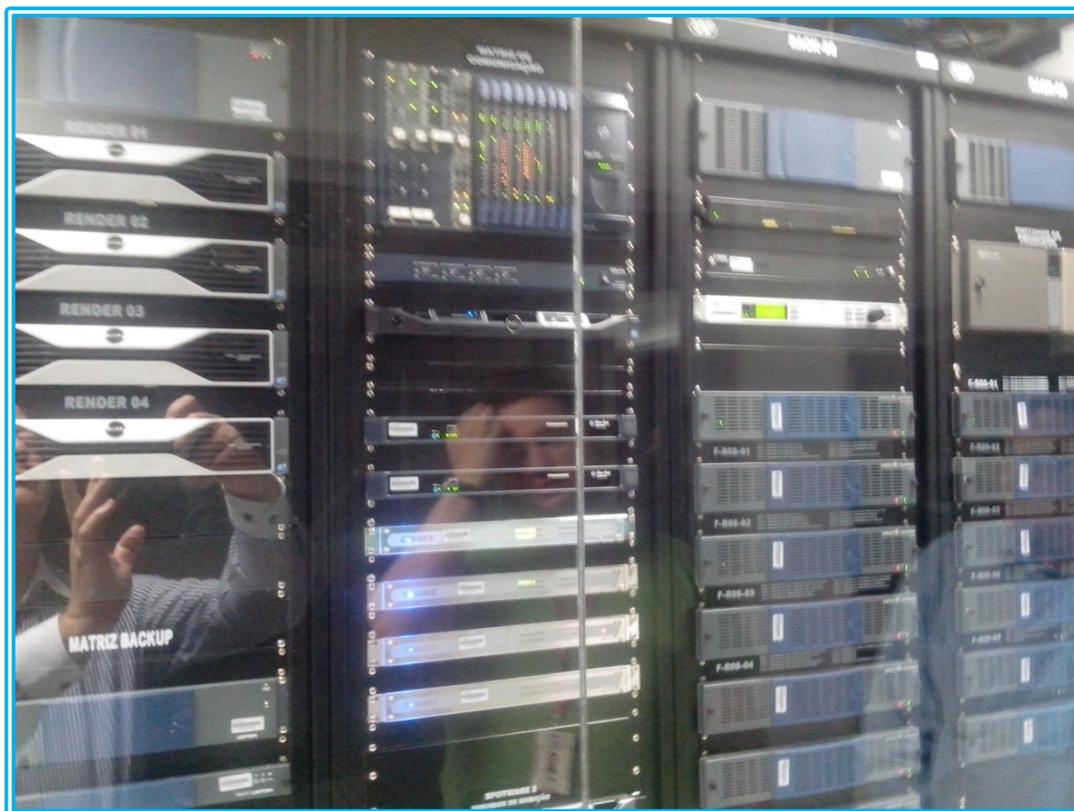


Figura 78 - Central técnica
Fonte: Autoria Própria



Figura 79 - Central técnica
Fonte: Autoria Própria

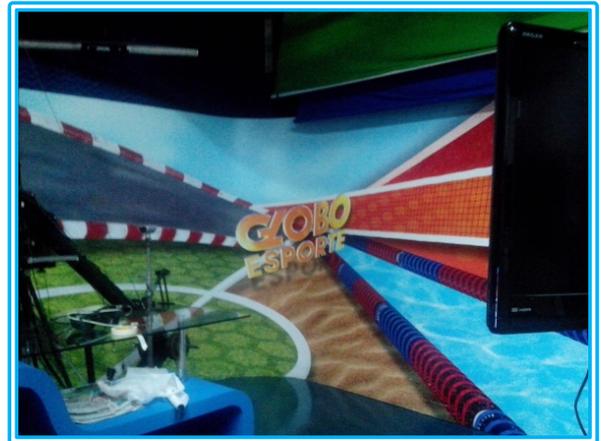


Figura 80 - Estúdio
Fonte: Autoria Própria

O sinais saem prontos por estas antenas rumo ao transmissor principal no Morro da Fonte Grande em Vitória.



Figura 81 - Links ao transmissor da Fonte Grande - Vitória
Fonte: Autoria Própria

5.8 MORRO DA FONTE GRANDE – TRANSMISSOR PRINCIPAL

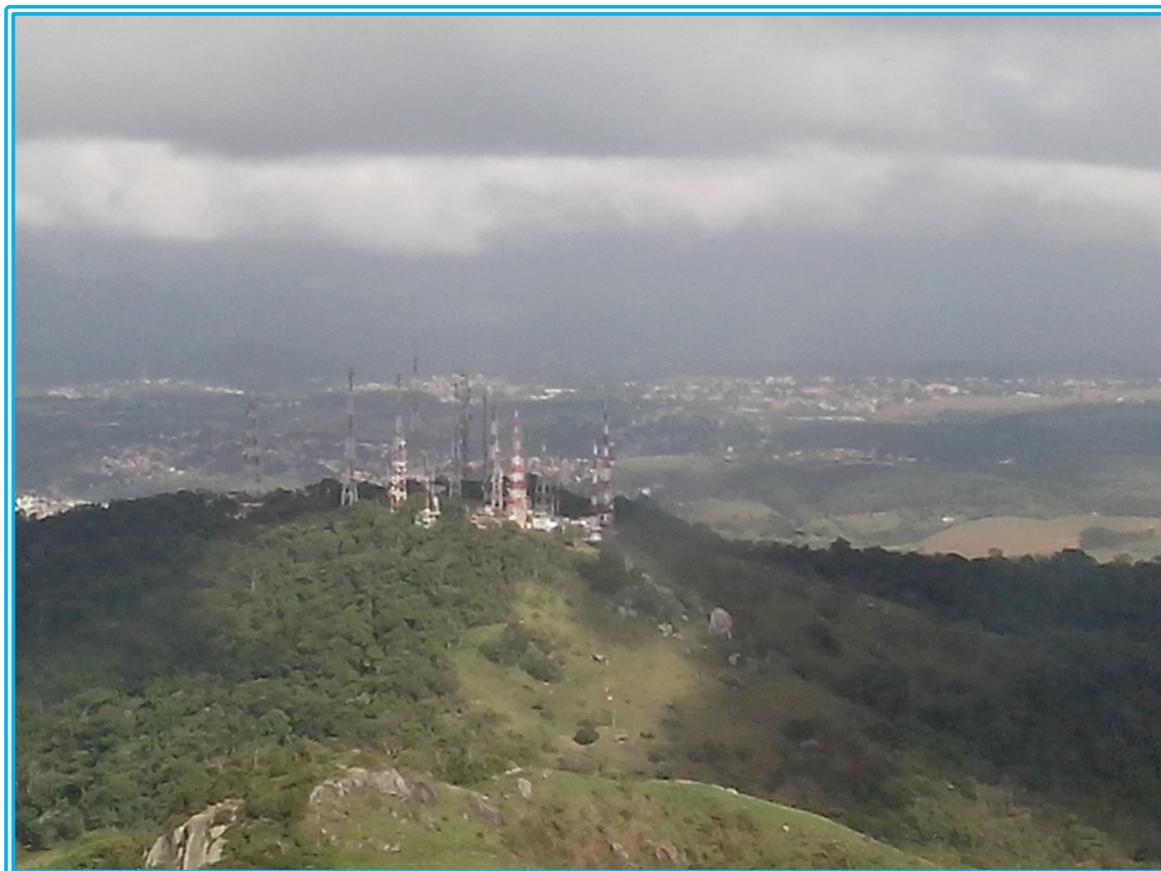


Figura 82 - Morro da Fonte Grande – Transmissor Principal
Fonte: Autoria Própria



Figura 83 - Torre, antena e links com o estúdio
Fonte: Autoria Própria



Figura 84 - Transmissor Digital
Fonte: Autoria Própria

E aqui, nesse site, se forma o TS.

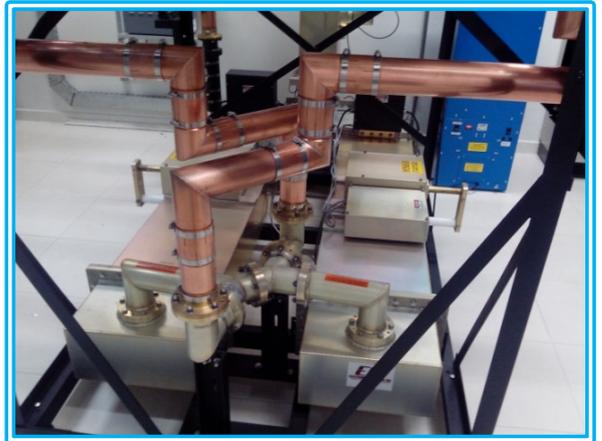
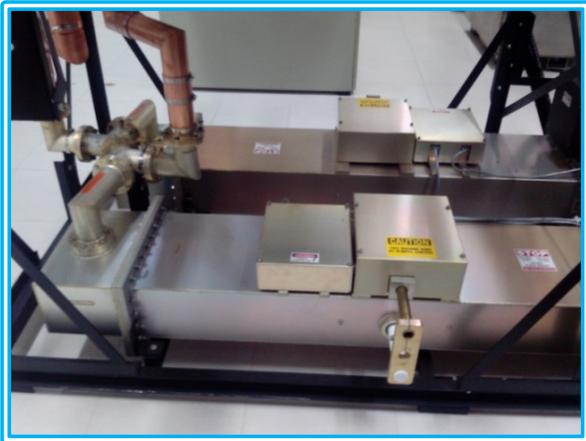


Figura 85 - Site principal TV Gazeta - Vitória
Fonte: Autoria Própria

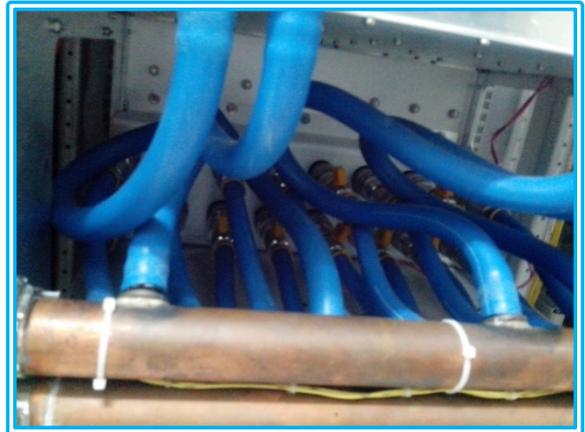
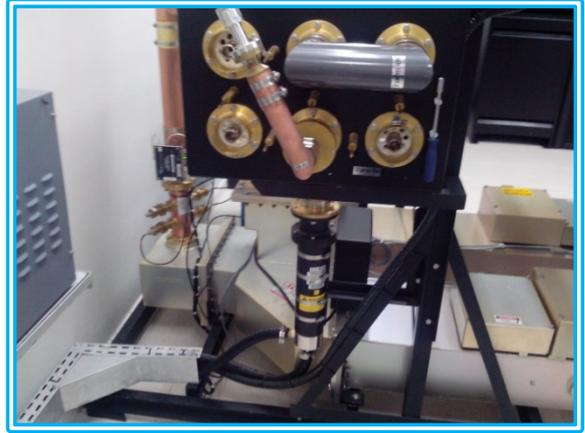
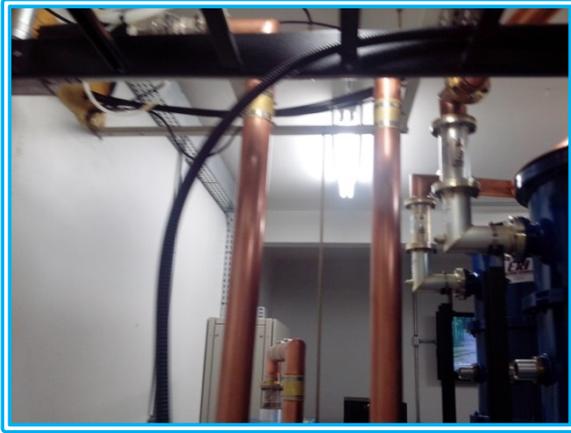


Figura 86 - Site principal TV Gazeta - Vitória
Fonte: Autoria Própria



Figura 87 - Site principal TV Gazeta - Vitória
Fonte: Autorial Própria



Figura 88 - Site Tx principal TV Gazeta - Vitória
Fonte: Autoria Própria

Deste ponto o sinal, sincronizado por *GPS* é transmitido pela rede que atende os pontos de retransmissão. O adaptador *SFN / MUX* é alimentado com os atrasos de rede, conforme descrito anteriormente.

5.9 TELAS DO GERENCIAMENTO DO MULTIPLEXADOR

Para alimentar esta tabela, utiliza-se a própria interface do equipamento, no caso um módulo Selenio fornecido pela Imagine, acessada por *IP* por intermédio de um computador.

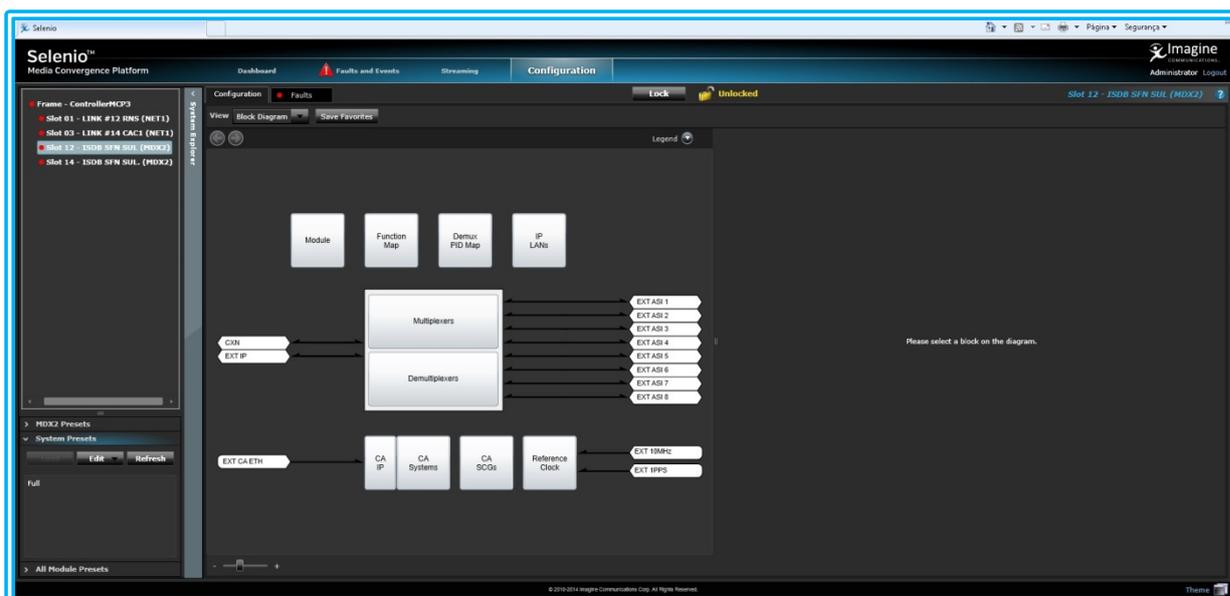


Figura 89 - Visão Alto Nível do Funcionamento do Multiplexador ISDB-T
Fonte: Autoria Própria

Como visto anteriormente, só é possível sincronismo entre os transmissores integrantes de uma rede de frequência única se todos, inclusive a origem do sinal, possuam a mesma referência *GPS*, nesse caso o sinal 1 PPS.

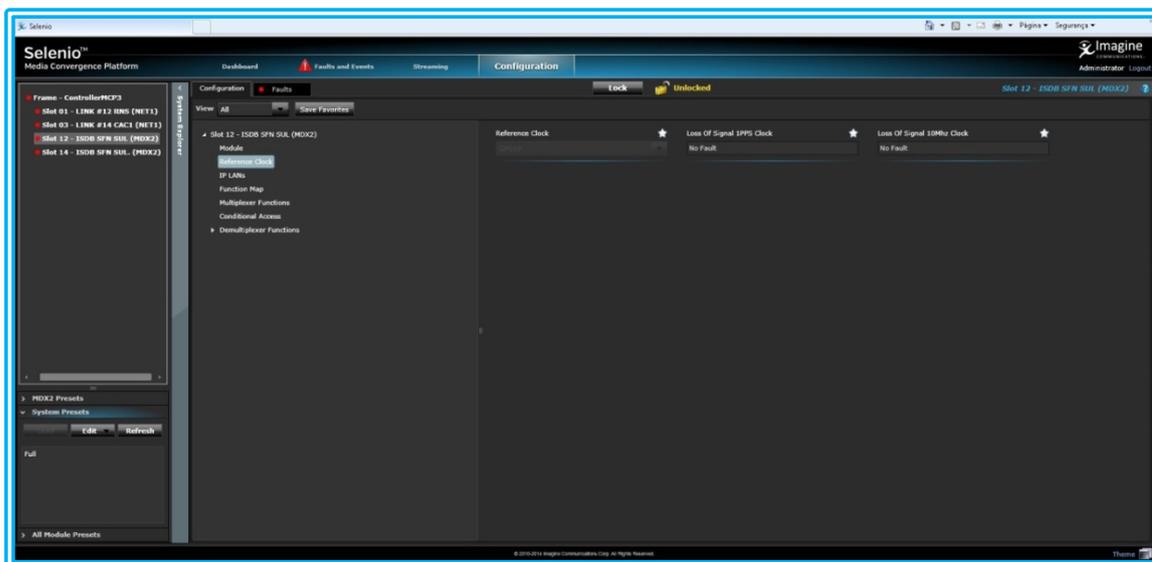


Figura 90 - Tela Sincronismo GPS
Fonte: Autoria Própria

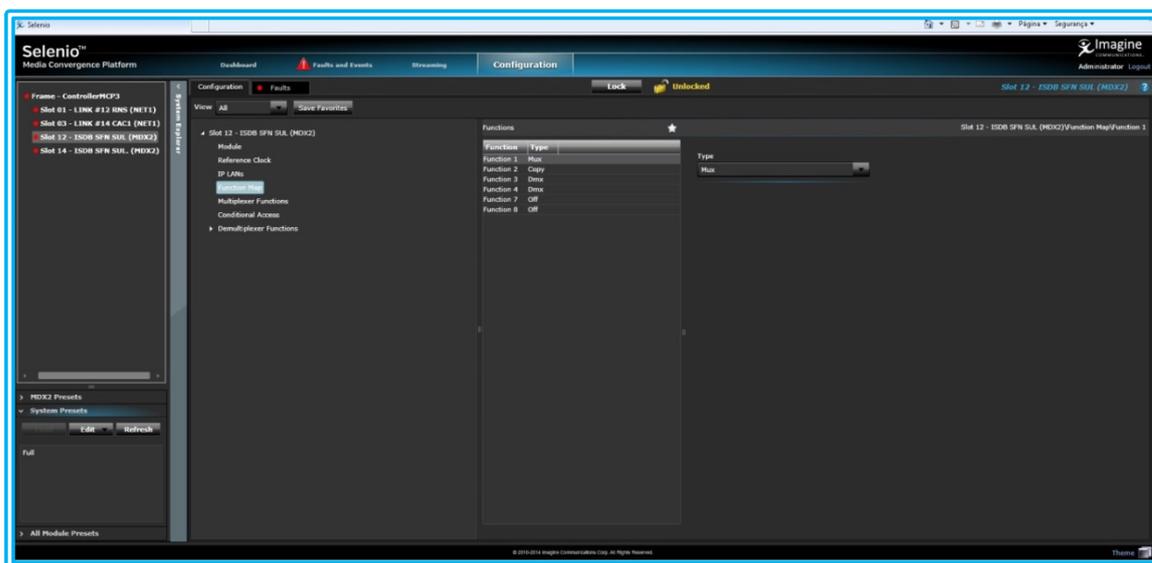


Figura 91 - Funções Habilitadas no Módulo
Fonte: Autoria Própria

As tabelas essenciais são demultiplexadas a partir de um sinal universal na rede.

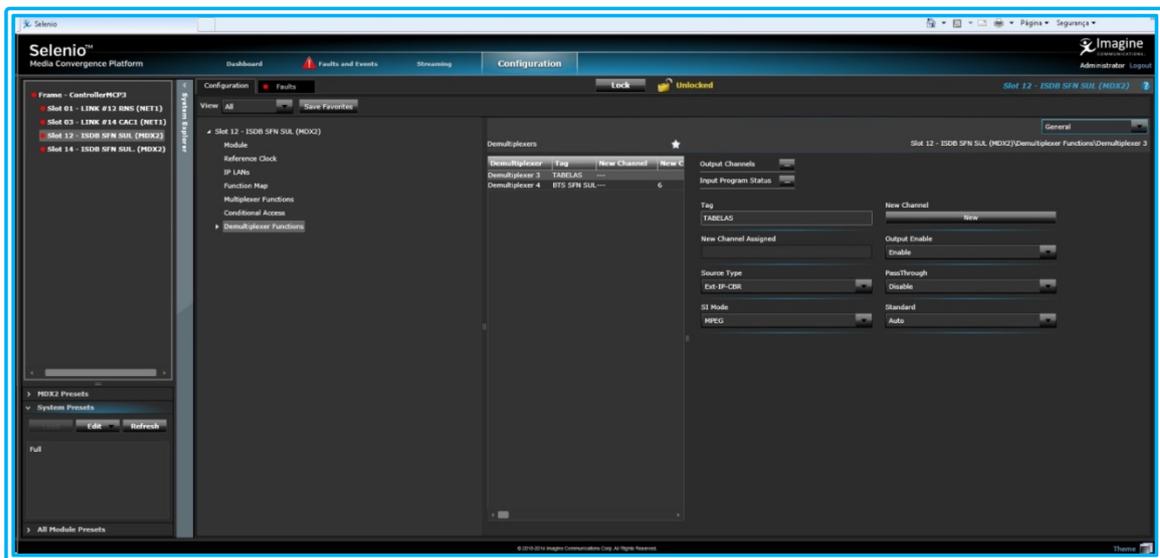


Figura 92 - Acesso às Tabelas da Rede
Fonte: Autoria Própria

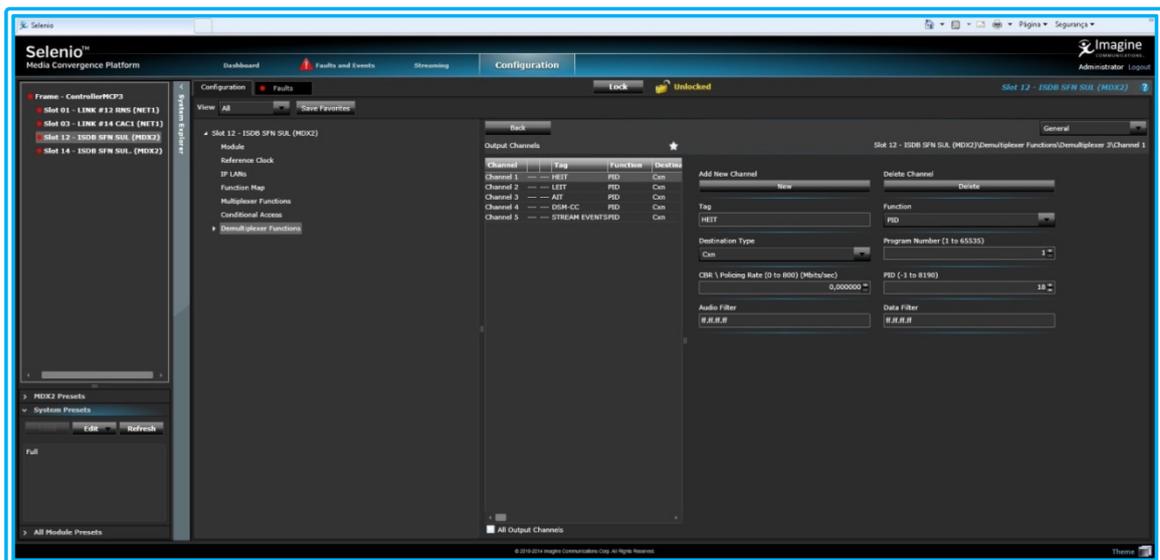


Figura 93 - Tabelas essenciais para a composição do Transport Stream ISDB-T
Fonte: Autoria Própria

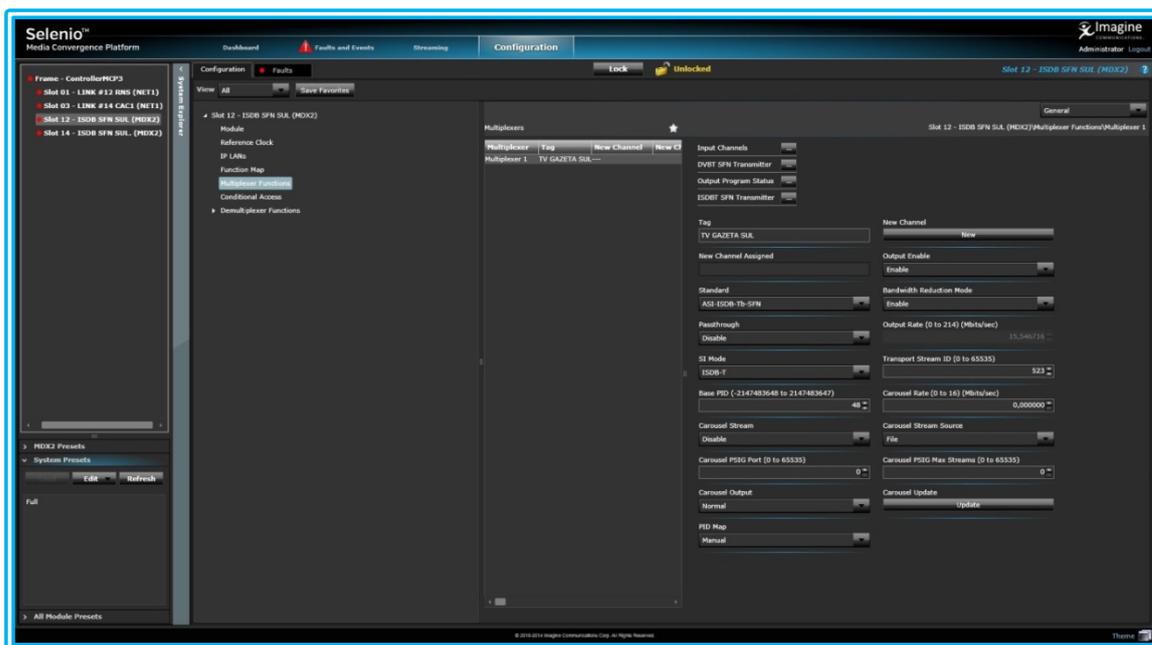


Figura 94 - Interface de Configuração do Multiplexador do Transport Stream ISDB-T
Fonte: Autoria Própria

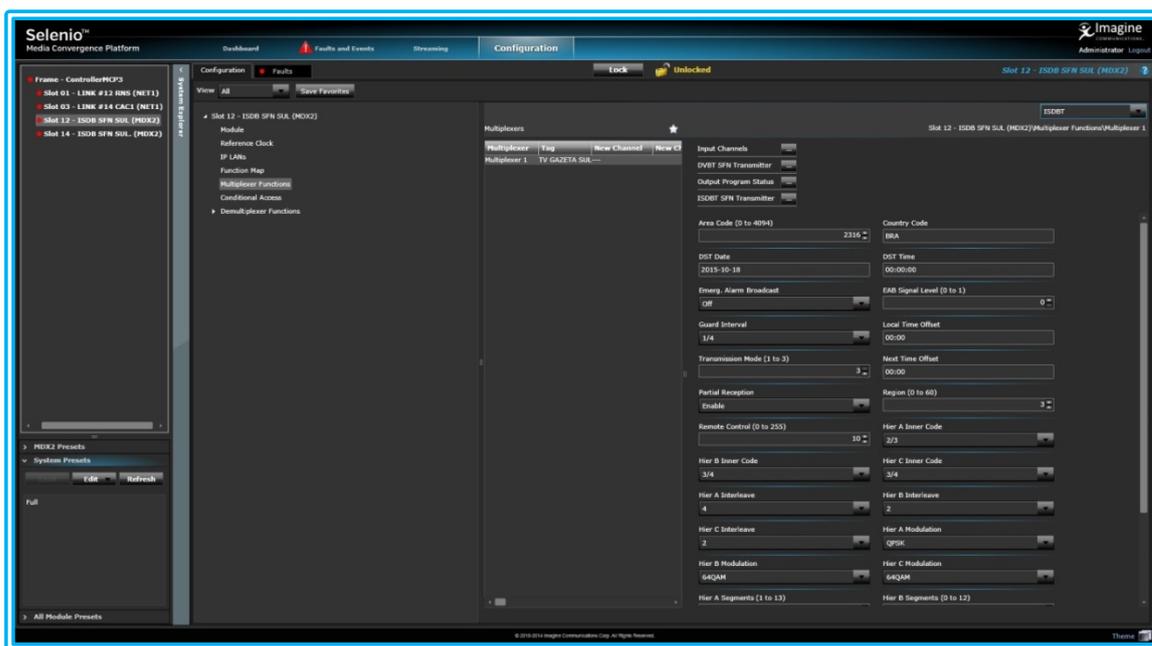


Figura 95 - Características de Transmissão do Transport Stream
Fonte: Autoria Própria

Em complemento à tela anterior, na seguinte observa-se a definição do atraso máximo para a rede de frequência única (*SFN Maximum Delay* – 600 μ s).

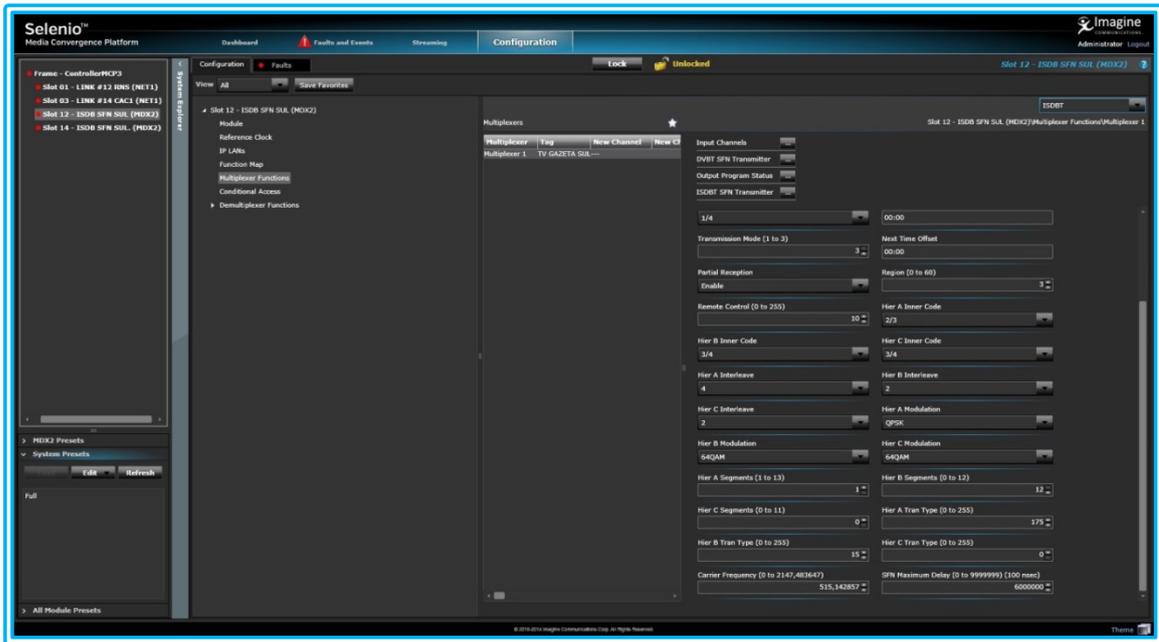


Figura 96 - SFN Maximum Delay
 Fonte: Autoria Própria

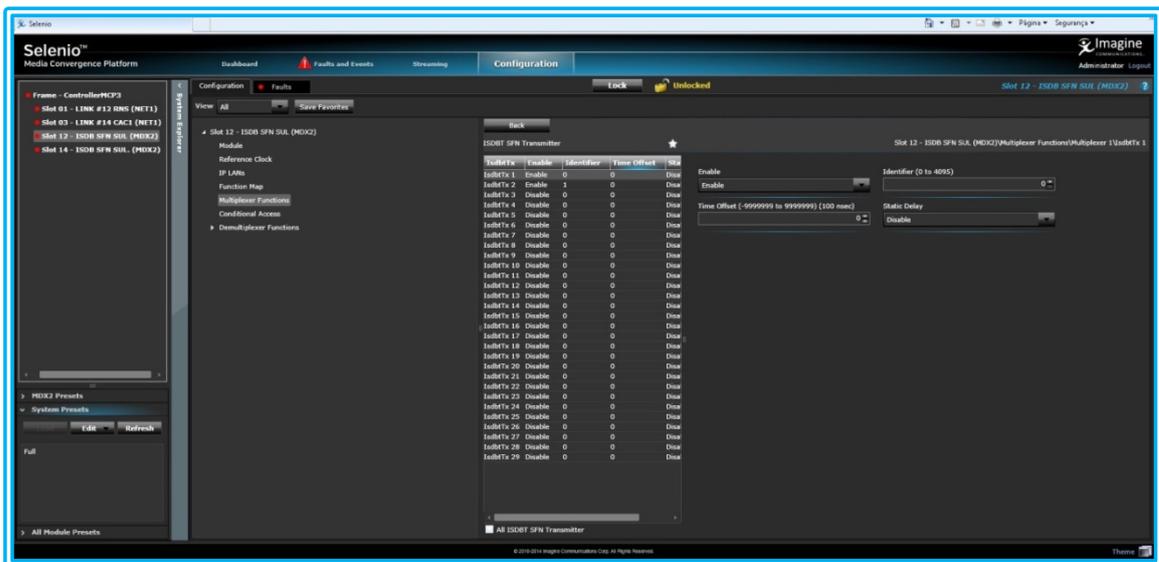


Figura 97 - SFN – Transmissores na Rede
 Fonte: Autoria Própria

É possível acompanhar os sinais necessários à formulação do *Transport Stream ISDB-T* para transmissão.

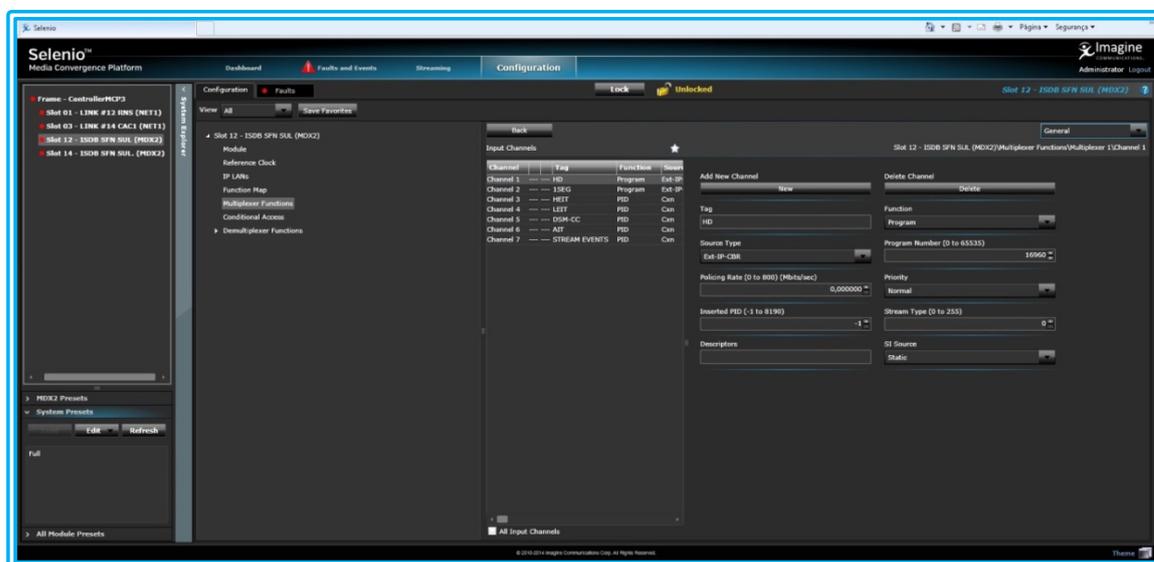


Figura 98 - Sinais formadores do Transport Stream ISDB-T
Fonte: Autoria Própria

O multiplexador, *MUX* ou multiplex recebe este nome por ter um fluxo total de dados transmitidos em múltiplos canais independentes dentro dele.

5.9.1 PID

À cada fluxo de dados é atribuído um *ID* único, possibilitando ao receptor sua identificação e separação dos demais fluxos.

À essa identificação dá-se o nome de *Packet Identifier* ou *Program ID (PID)*.

Assim, para que o receptor seja capaz de separar as informações presentes no *Transport Stream*, é necessário que sejam mapeados, o que é feito na tela seguinte.

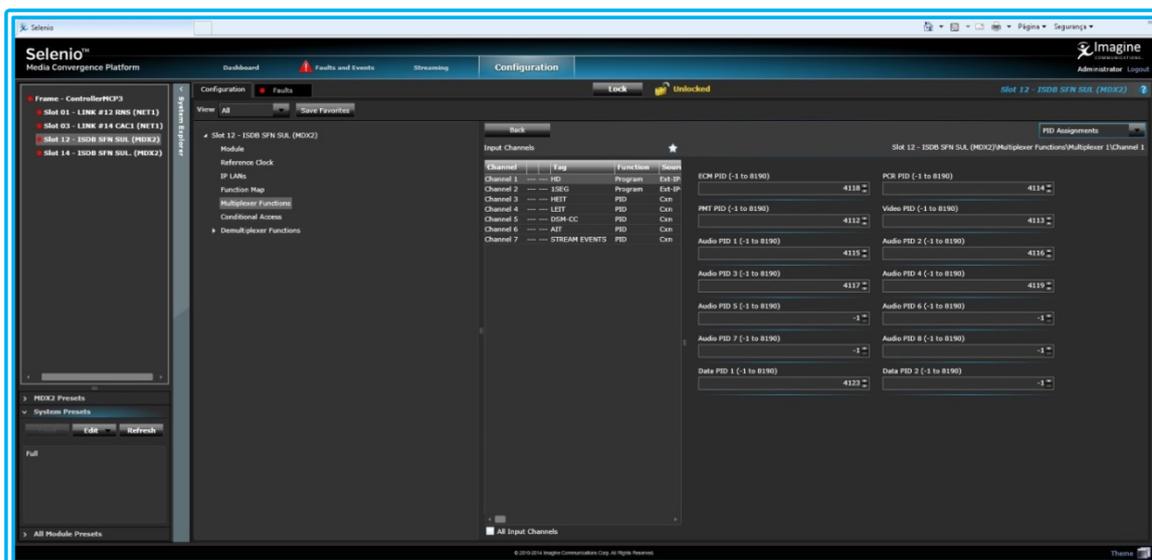


Figura 99 - Mapeamento de PIDs

Fonte: Autoria Própria

Com o sinal principal no ar, e sendo distribuído na rede, foram ativadas as demais estações, sendo apresentado a seguir em duas delas.

5.10 ESTAÇÃO GUARAPARI

As imagens a seguir, foram obtidas do alto do edifício onde o site foi instalado.



Figura 100 - Edifício site estação SFN TV Gazeta - Guarapari

Fonte: Autoria Própria

Ao fundo, as características do relevo da região, criando obstáculos à transmissão digital.

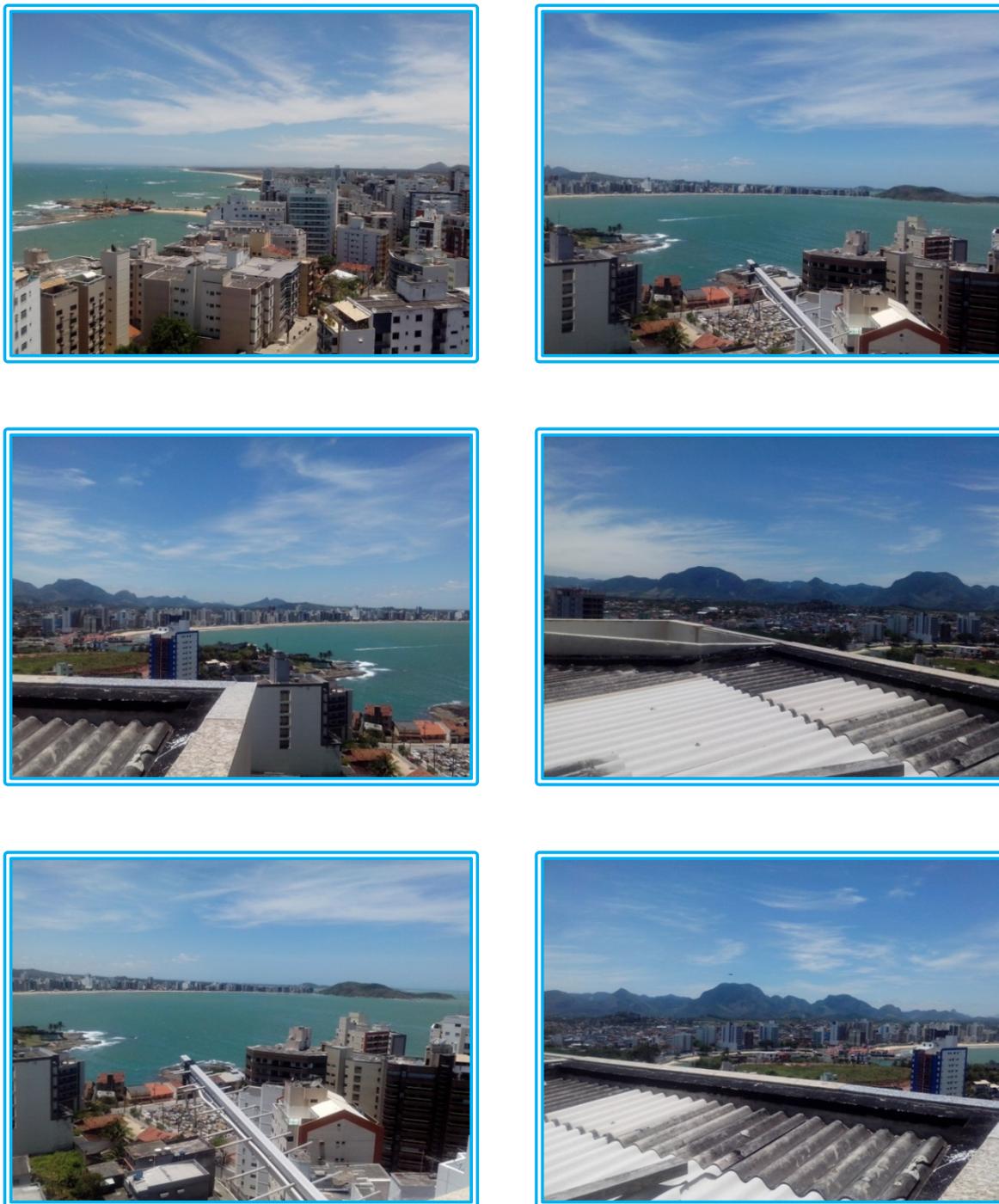


Figura 101 - Vista do relevo da região de Guarapari
Fonte: Autoria Própria

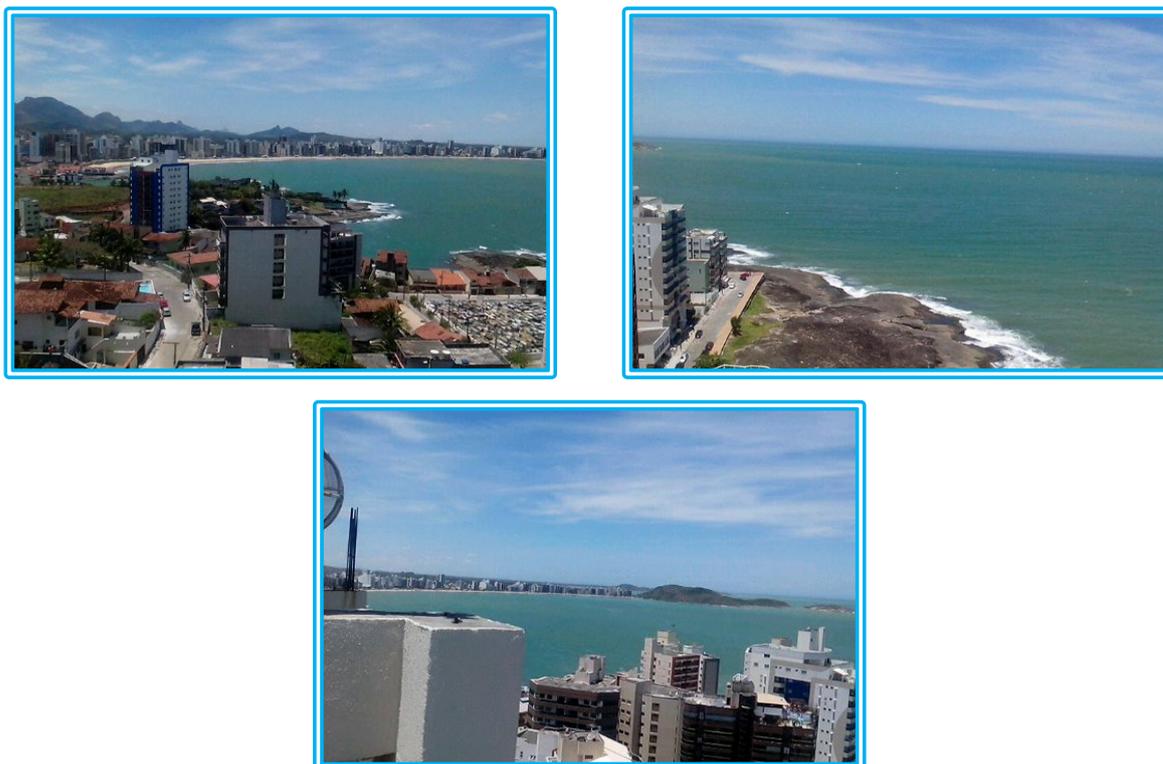


Figura 102 - Vista do relevo da região de Guarapari
Fonte: Autoria Própria

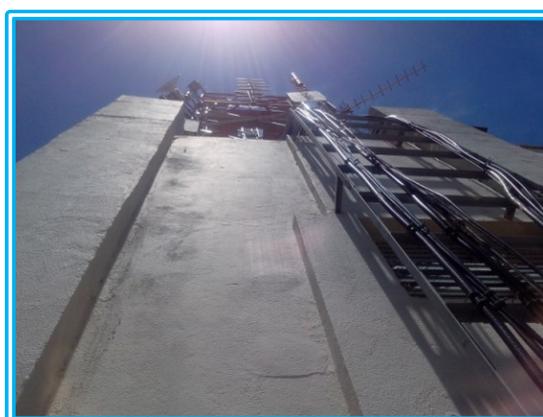


Figura 103 - Estrutura instalada em Guarapari
Fonte: Autoria Própria



Figura 104 - Infraestrutura
Fonte: Autoria Própria



Figura 105 - Transmissor digital - Guarapari
Fonte: Autoria Própria

5.11 ESTAÇÃO VIANA



Figura 106 - Relevo estação Viana
Fonte: Autoria Própria

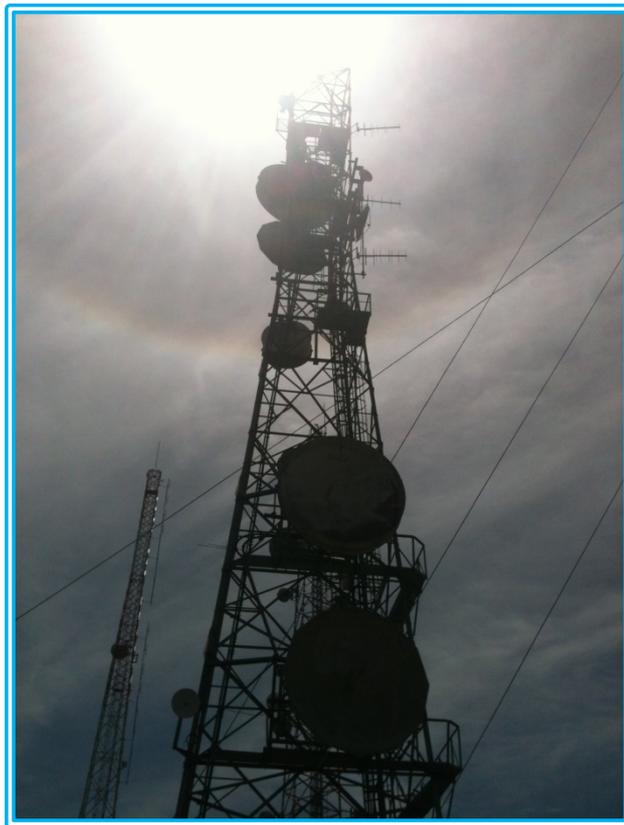


Figura 107 - Estação Viana
Fonte: Autoria Própria



Figura 108 - Estação Viana - montagem dos equipamentos
Fonte: Autoria Própria



Figura 109 - Transmissor Viana
Fonte: Autoria Própria

5.12 VERIFICANDO O PROJETO REALIZADO

Após todas as etapas de projeto e construção das redes apresentados até aqui, seguiram-se às medições em campo nas diversas regiões de cobertura do sistema *SFN* da Televisão Gazeta de Vitória.

5.12.1 Material Utilizado nas Medições

Nesta etapa, utilizou-se um veículo do departamento de engenharia da TV Gazeta, dotado de inversor de energia 12V/127V/3000W, antena sobre o veículo para medições móveis do sinal de televisão, *GPS*, tripé e antena para medições fixas e analisador de espectro modelo Rohde & Schwarz ETH – Handheld TV Analyzer – 8 GHz.



Figura 110 - Veículo utilizado
Fonte: Autoria Própria

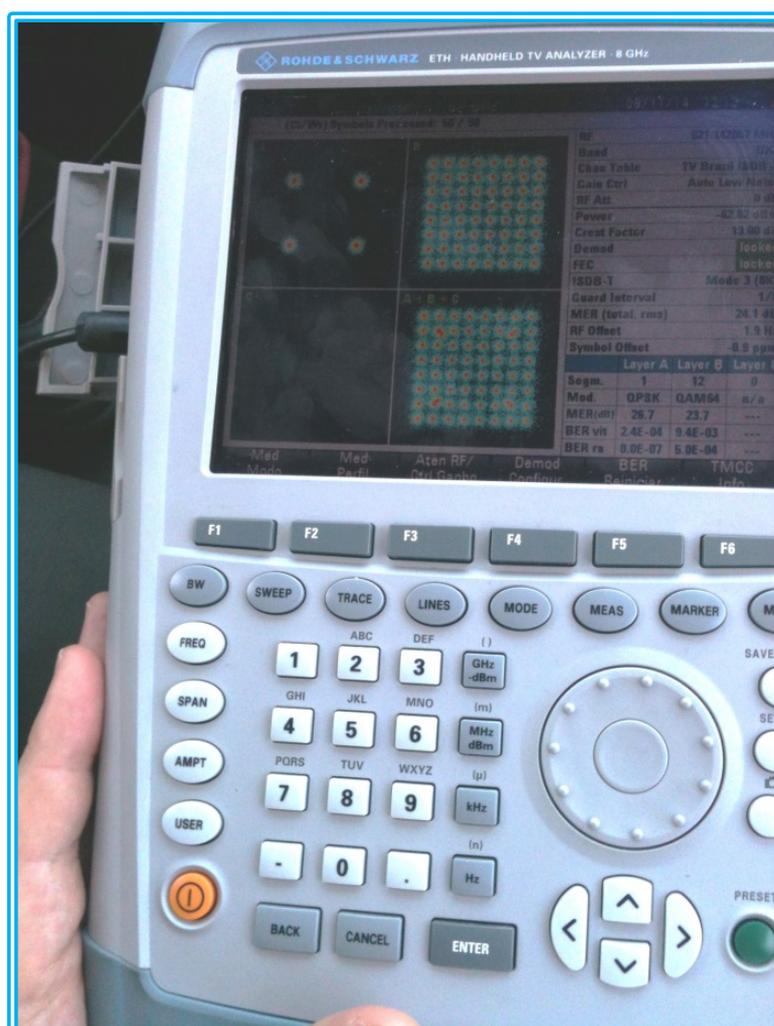


Figura 111 - Analisador de espectro modelo Rohde & Schwarz ETH – Handheld TV Analyzer – 8 GHz
Fonte: Autoria Própria

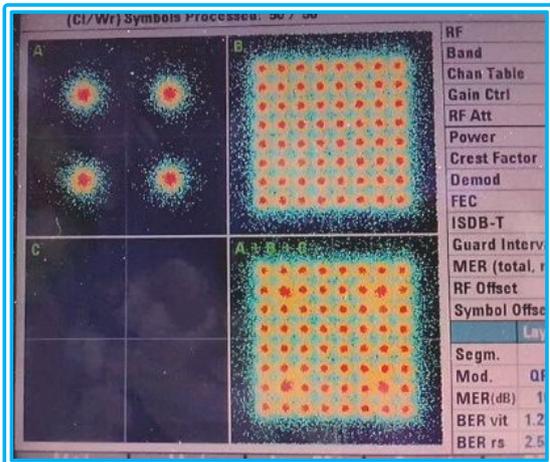
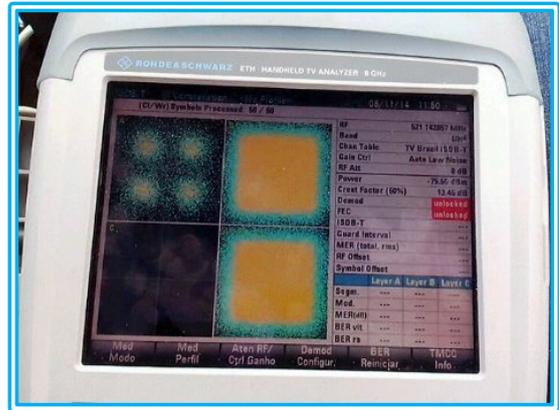
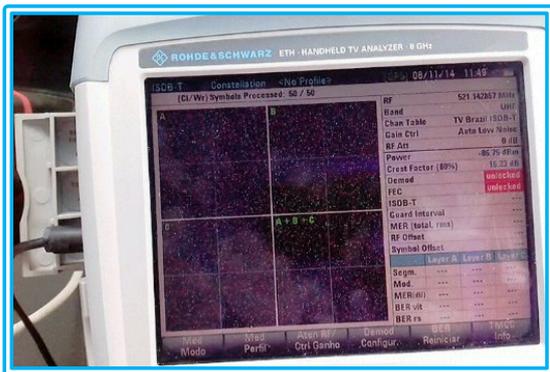


Figura 112 - Leituras analisador de espectro
Fonte: Autoria Própria

Sob o ponto de vista de engenharia, montar uma estação *SFN* envolve os mesmos procedimentos de construção e montagem de energia, refrigeração, no-breaks, torres e links de comunicação habituais.

Difere-se porém nos cuidados adicionais com as orientações das antenas transmissoras, preenchimento correto das tabelas dos multiplexadores com os devidos tempos de rede e uma completa e detalhada verificação pós ativação das disponibilidades e qualidade dos sinais na região conforme o projetado.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A operacionalização das estações *SFN* ocorreu com alguns atrasos provocados por algumas indisponibilidades físicas na infraestrutura dos sites tais como energia, refrigeração e acabamento.

Quanto a problemas imediatos inerentes à funcionalidade *SFN* o mais marcante e difícil de localizar a causa ocorreu no site Viana.

Neste, a estação foi colocada no ar normalmente e após alguns instantes de funcionamento começou a apresentar anomalias, tanto em áudio, tais como ruídos estridentes e áudio fragmentado bem como em vídeo, com imagens congeladas, sobrepostas ou disformes, comprometendo por completo a recepção, conforme ilustrado nas imagens abaixo.



Figura 113 - Problemas na transmissão por perda de sincronismo *SFN*
Fonte: Autoria Própria



Figura 114 - Problemas na transmissão por perda de sincronismo SFN
Fonte: Autorial Própria



Figura 115 - Problemas na transmissão por perda de sincronismo SFN
Fonte: Autorial Própria

Buscando a origem do problema, foram realizadas várias simulações, alterando-se valores nos tempos de rede acompanhado de reinicializações de todo o sistema.

Foi analisado então, o espectro fora da frequência de transmissão do canal junto ao site, não sendo nada constatado.

Seguiram-se então, testes junto ao site onde o *TS* é gerado. Observaram-se sinais que poderiam estar interferindo no sincronismo do *GPS*.

Foi constatado que, o segundo harmônico da portadora de vídeo de um canal 23 analógico de outra empresa, operando junto ao site, batia em cima da portadora do *GPS*, atrapalhando todo o sincronismo da rede *SFN*.

Tal fato ocorria por defeito naquele transmissor.

Retornado então à configuração inicial das tabelas dos tempos de rede, foi solicitado à empresa o desligamento daquele transmissor.

Religado o sistema *SFN* o problema desapareceu.

6.1 AJUSTES REALIZADOS PÓS-IMPLANTAÇÃO

O sinal, isto é, a densidade de potência dentro do município de Guarapari, originado de Vitória, é muito pequena. A antena de Guarapari concentra o sinal na cidade. Constatou-se, porém, que o caminho entre Vitória e Guarapari é extremamente crítico.

Diante destas constatações, foi dada a preferência ao sincronismo dos dois sinais na Rodovia do Sol, onde a contribuição de ambos os transmissores é igual.

Em quase a totalidade dos sites houve a necessidade de ajustes. De todos, destaca-se uma curiosidade no município de Viana. Neste, o software de predição de cobertura PROGIRA não sinalizou nenhum tipo de problema. Após ativação do transmissor, constatou-se que uma determinada área do município não estava sendo atendida por sinal direto de nenhum dos transmissores. Cabe ressaltar que o PROGIRA não processa multipercursos.

Em novo deslocamento ao local e utilizando novamente o ETH, identificou-se ambas as portadoras, facilitando o ajuste sem o comprometimento das demais áreas de cobertura.

No município de Serra, assim como ocorreu no município de Viana, apresentou grande área com cobertura por reflexão, tanto pelo transmissor de Vitória, Fonte Grande, quanto pelo transmissor de Serra, a solução dada foi a mesma de Viana.

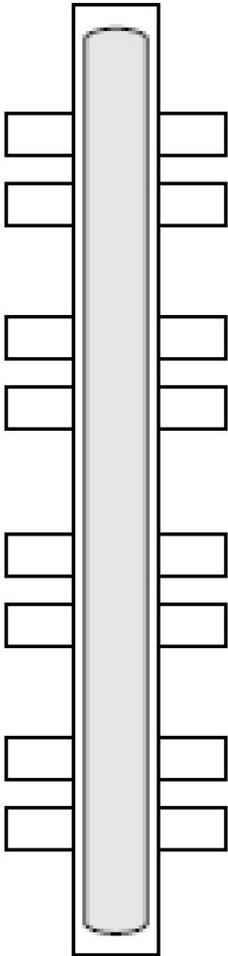
Em Vila Velha, o transmissor do Morro do Moreno, não necessitou nenhum ajuste.

Observa-se em todo o processo de implantação que é de suma importância que, antes de ligar os segundos transmissores, tenha-se um levantamento detalhado de toda a área coberta pelo transmissor principal, comparando-se na sequência as influências dos segundos transmissores sobre os primeiros. Os transmissores foram colocados no ar na seguinte sequência : Vitória (Tx principal), Viana, Guarapari, Serra e Vila Velha.

É importante saber que os receptores digitais têm maior sensibilidade em relação aos analógicos e por esta característica dão a sensação do sinal ir mais longe.

Por efeito de norma, a área coberta por um sinal digital deve apresentar um campo elétrico maior ou igual a 51 dB μ V/m. No final de todos os ajustes, os pontos de transmissão ficaram com as seguintes características :

Tabela 27 - Município de Guarapari - Características finais do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	29 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	300 W
	Modelo	UAX500IS
	ANTENA	
	Modelo	TTSL4UA
	Polarização	Elíptica
	Ganho	8,6 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	53 m
	Azimute	20° NV
	Latitude	20° 40' 09,80"
	Longitude	40° 29' 40,20"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
	Modelo	AVA5-50 (7/8")
	Atenuação	2,76 dB/100 m
	Comprimento	15 m
	Perda Conexões	0,5 dB
	Perda Total	0,9 dB
	ERP	
	Polarização Horizontal	2060 W
Polarização Vertical	883 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	20 µs	

Fonte: Autoria própria

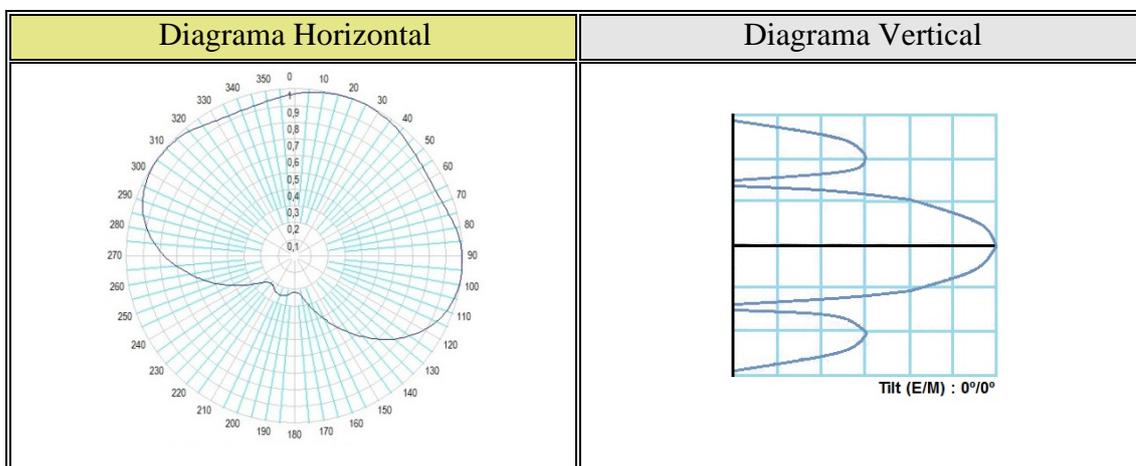
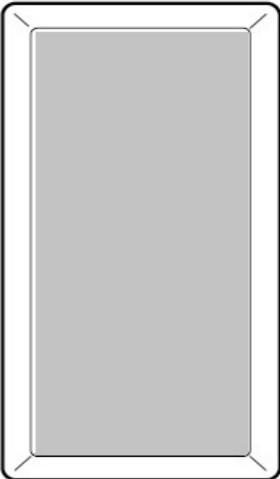
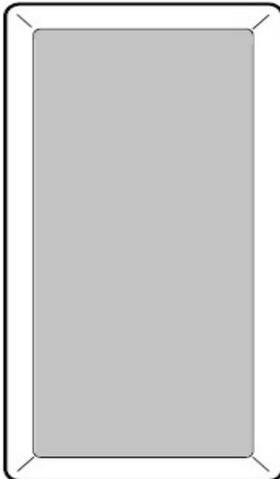


Gráfico 23 - Diagramas antena Guarapari - final

Fonte: Transtel Conti

Tabela 28 - Município de Serra - Características finais do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	122 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	50 W
	Modelo	UAX50IS
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-1-2-22-1
	Polarização	Elíptica
	Ganho	14,0 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	32 m
	Azimute	90° NV
	Latitude	20° 07' 40,60"
	Longitude	40° 20' 03,08"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
	Modelo	AVA5-50 (7/8")
	Atenuação	2,76 dB/100 m
	Comprimento	40 m
	Perda Conexões	0,5 dB
	Perda Total	1,6 dB
	ERP	
	Polarização Horizontal	608 W
	Polarização Vertical	260 W
	ATRASOS	
	Em Relação à Vitória	40 µs
	Em Relação à Guarapari	54 µs

Fonte: Autoria própria

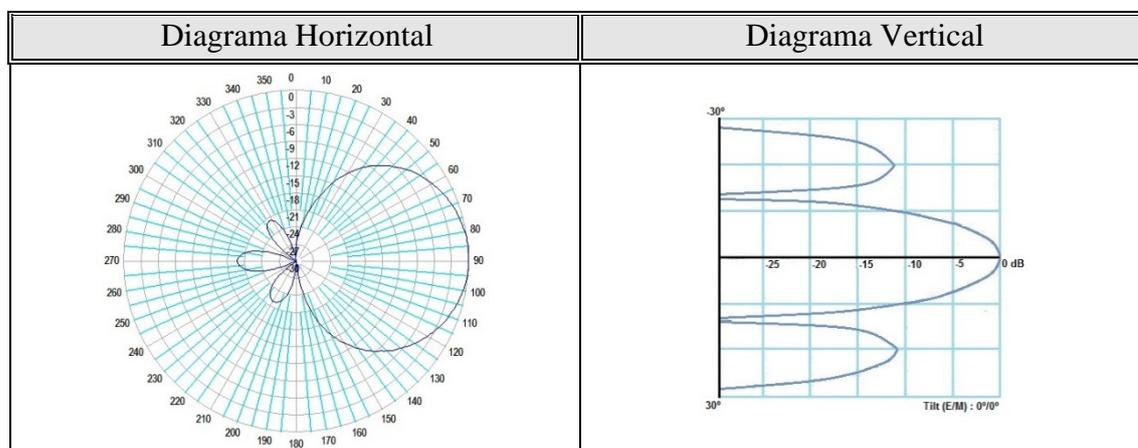
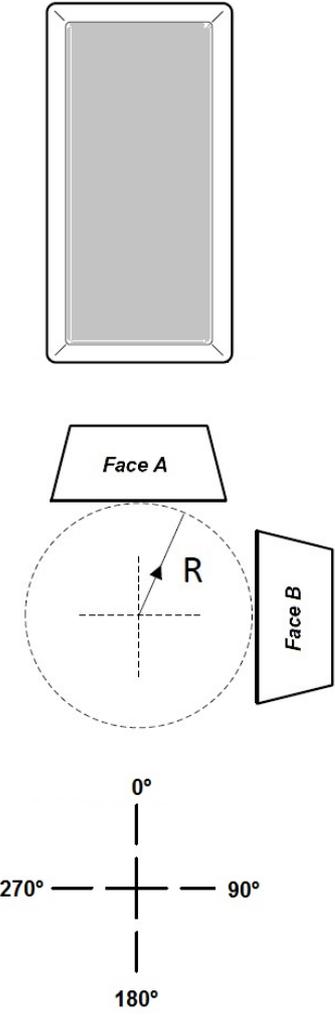


Gráfico 24 - Diagramas antena Serra - final

Fonte: Transtel Conti

Tabela 29 - Município de Viana - Características finais do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	87 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	50 W
	Modelo	UAX50IS
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-2-1-22
	Polarização	Elíptica
	Ganho	7,9 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	25 m
	Azimute	330° NV
	Latitude	20° 23' 37,90"
	Longitude	40° 29' 29,80"
	TILT	
	Elétrico	0°
	Mecânico	0°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
Modelo	AVA5-50 (7/8")	
Atenuação	2,76 dB/100 m	
Comprimento	35 m	
Perda Conexões	0,5 dB	
Perda Total	1,46 dB	
ERP		
Polarização Horizontal	154 W	
Polarização Vertical	66 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	68 μs	
Em Relação à Guarapari	82 μs	

Fonte: Autoria própria

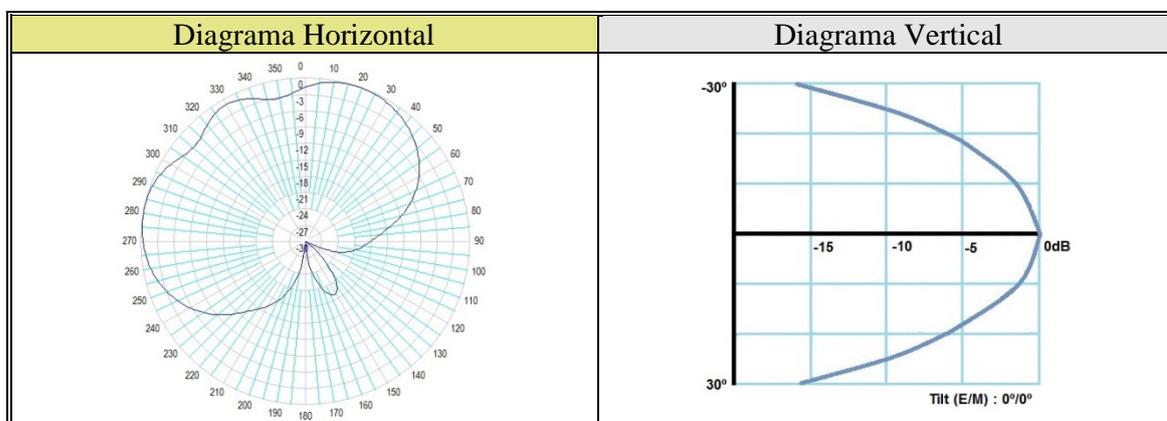
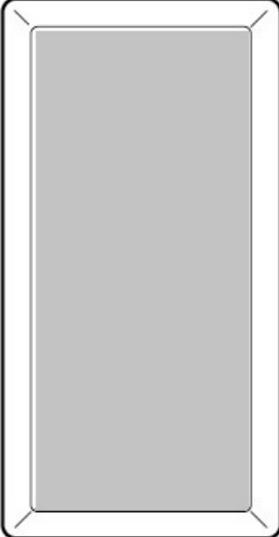


Gráfico 25 - Diagramas antena Viana - final

Fonte: Transtel Conti

Tabela 30 - Município de Vila Velha - Características finais do site

Desenho Antena	Característica	Valor
	Canal	22 D
	Altitude Base Torre	160 m
	TRANSMISSOR	
	Tipo	Sincronizado
	Potência Nominal	10 W
	Modelo	UAX10IS
	ANTENA	
	Modelo	TTUM-1-1-22-1
	Polarização	Elíptica
	Ganho	11,0 dBd
	Polarização	70 % H / 30% V
	Altura Centro Fase	20 m
	Azimute	130° NV
	Latitude	20° 19' 32,50"
	Longitude	40° 16' 37,40"
	TILT	
	Elétrico	-15°
	Mecânico	-30°
	CABO	
	Fabricante	Andrew
	Modelo	AVA5-50 (7/8")
	Atenuação	2,76 dB/100 m
	Comprimento	30 m
	Perda Conexões	0,5 dB
	Perda Total	1,3 dB
	ERP	
Polarização Horizontal	65 W	
Polarização Vertical	28 W	
ATRASOS		
Em Relação à Vitória	30 µs	
Em Relação à Guarapari	44 µs	

Fonte: Autoria própria

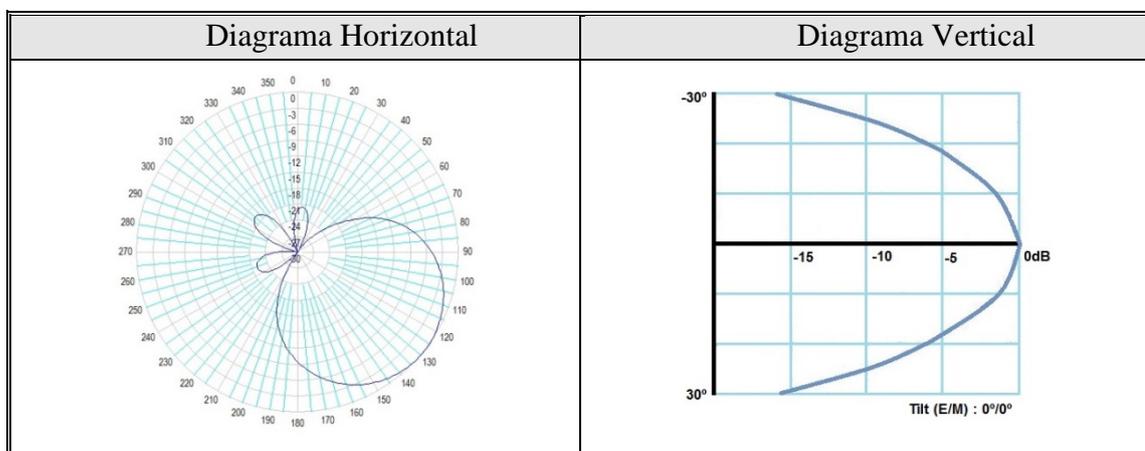


Gráfico 26 - Diagramas antena Vila Velha - final

Fonte: Transtel Conti

6.2 AJUSTE FINO DO PROJETO

6.2.1 Linhas Equitemporais

Considerando-se o exposto anteriormente sobre os transmissores localizados nos focos de uma hipérbole, são apresentadas imagens com todas as combinações possíveis de alinhamentos ligando os sites transmissores da rede *SFN* instalada.

Cada um apresenta hipérboles sobrepostas localizadas num mesmo eixo, isto é, o alinhamento entre pontos de transmissão, porém com variações de distância entre os focos e os vértices de cada hipérbole.

Estas hipérboles representam curvas onde um receptor, localizado em qualquer ponto sobre ela, está submetido a uma mesma relação de atraso entre os transmissores considerados. As escalas das imagens não são iguais.

Servem como referência, porém, nos casos onde foram constatados obstáculos relevantes, bloqueando os sinais transmitidos de um a outro transmissor, anulando o efeito interferente, não foi necessária a utilização de todos.

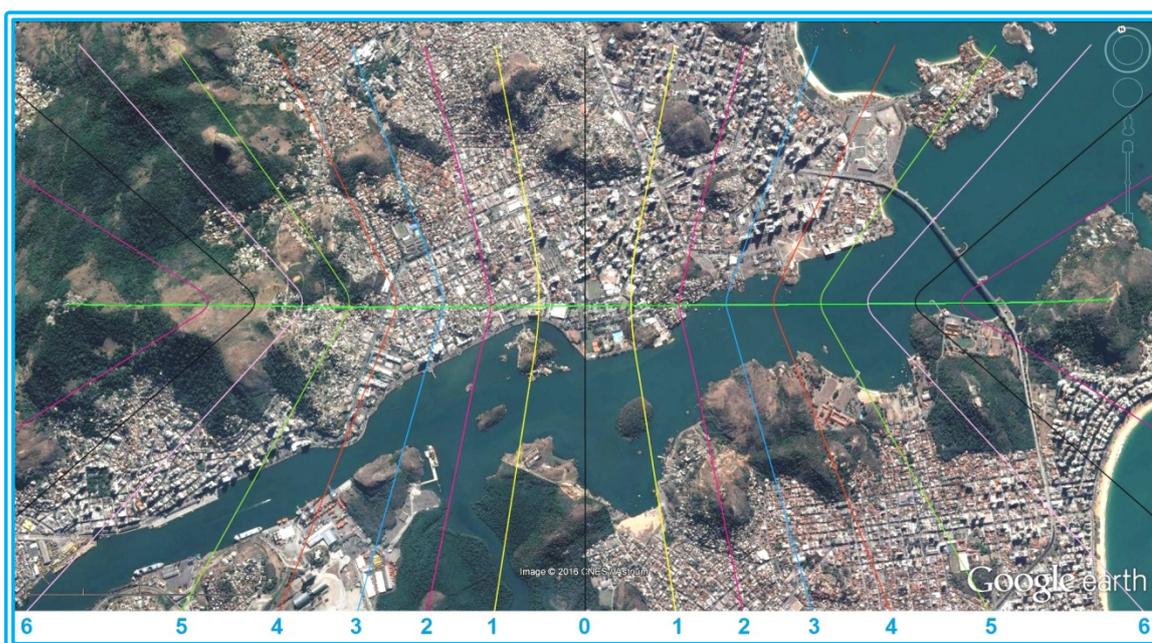


Figura 116 - Alinhamento Tx Vitória – Tx Vila Velha – 6,83 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 31 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vitória → Tx Vila Velha

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	308,8235294	617,6470588	2,058824
2	617,6470588	1235,294118	4,117647
3	926,4705882	1852,941176	6,176471
4	1235,294118	2470,588235	8,235294
5	1544,117647	3088,235294	10,29412
6	1852,941176	3705,882353	12,35294
7	2161,764706	4323,529412	14,41176
8	2470,588235	4941,176471	16,47059
9	2779,411765	5558,823529	18,52941
10	3088,235294	6176,470588	20,58824

Fonte: Autoria própria

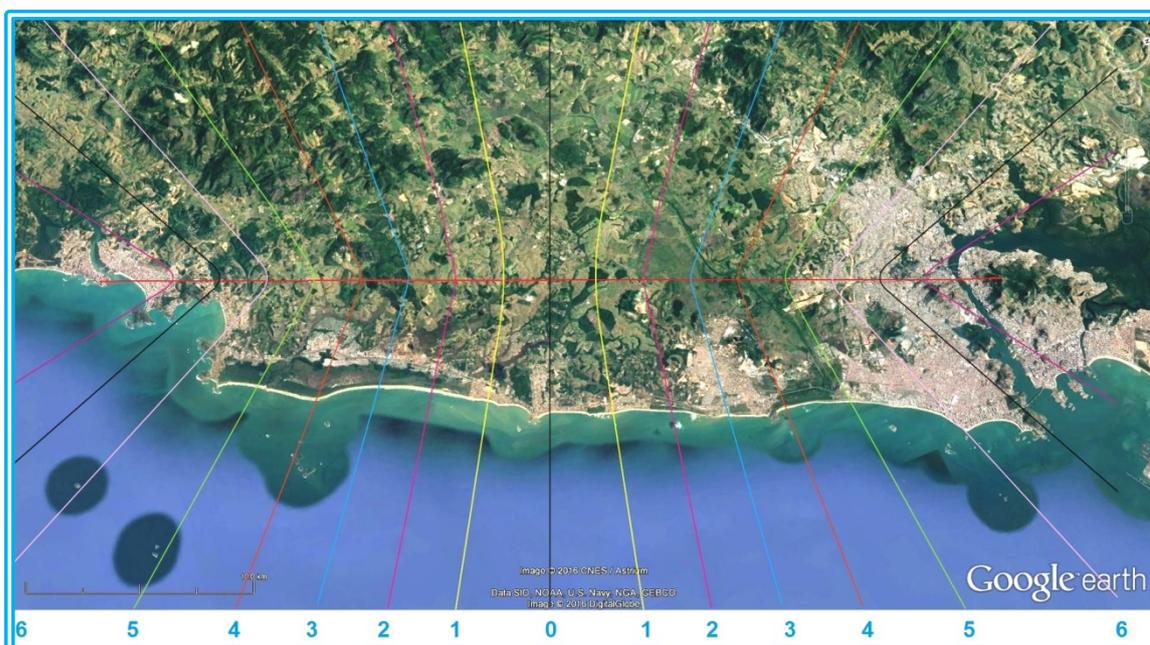


Figura 117 - Alinhamento Tx Vitória – Tx Guarapari – 43,00 km

Fonte: Autoria Própria

Tabela 32 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vitória → Tx Guarapari

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	2058,823529	4117,647059	13,72549
2	4117,647059	8235,294118	27,45098
3	6176,470588	12352,94118	41,17647
4	8235,294118	16470,58824	54,90196
5	10294,11765	20588,23529	68,62745
6	12352,94118	24705,88235	82,35294
7	14411,76471	28823,52941	96,07843
8	16470,58824	32941,17647	109,8039
9	18529,41176	37058,82353	123,5294
10	20588,23529	41176,47059	137,2549

Fonte: Autoria própria

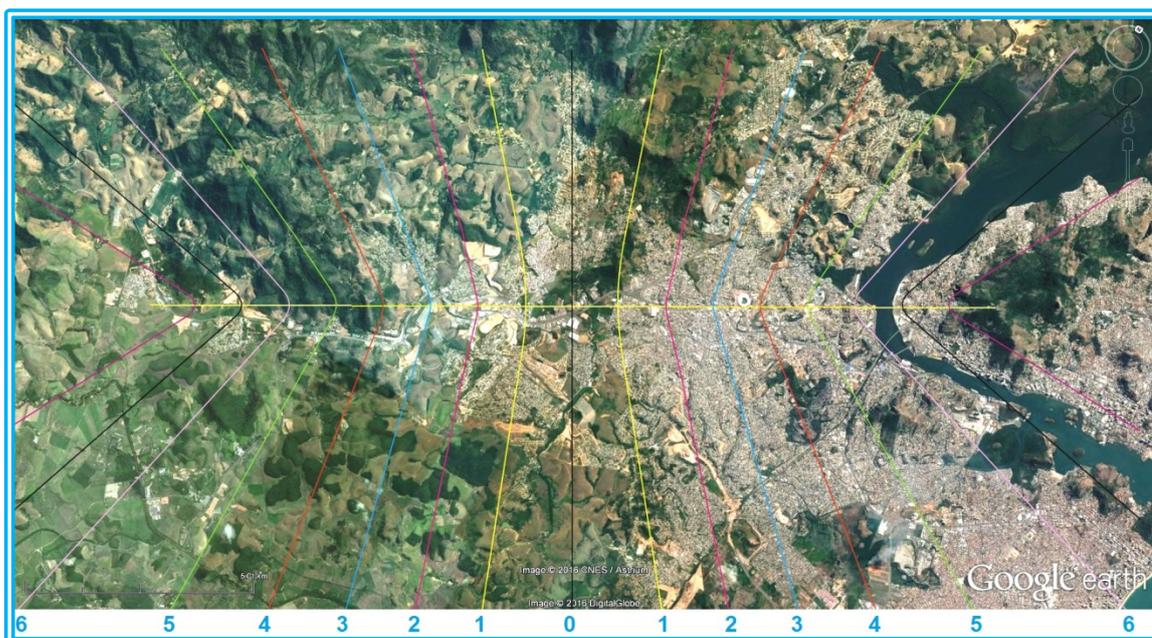


Figura 118 - Alinhamento Tx Vitória – Tx Viana – 18,40 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 33 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vitória → Tx Viana

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	1029,411765	2058,823529	6,862745
2	2058,823529	4117,647059	13,72549
3	3088,235294	6176,470588	20,58824
4	4117,647059	8235,294118	27,45098
5	5147,058824	10294,11765	34,31373
6	6176,470588	12352,94118	41,17647
7	7205,882353	14411,76471	48,03922
8	8235,294118	16470,58824	54,90196

Fonte: Autoria própria

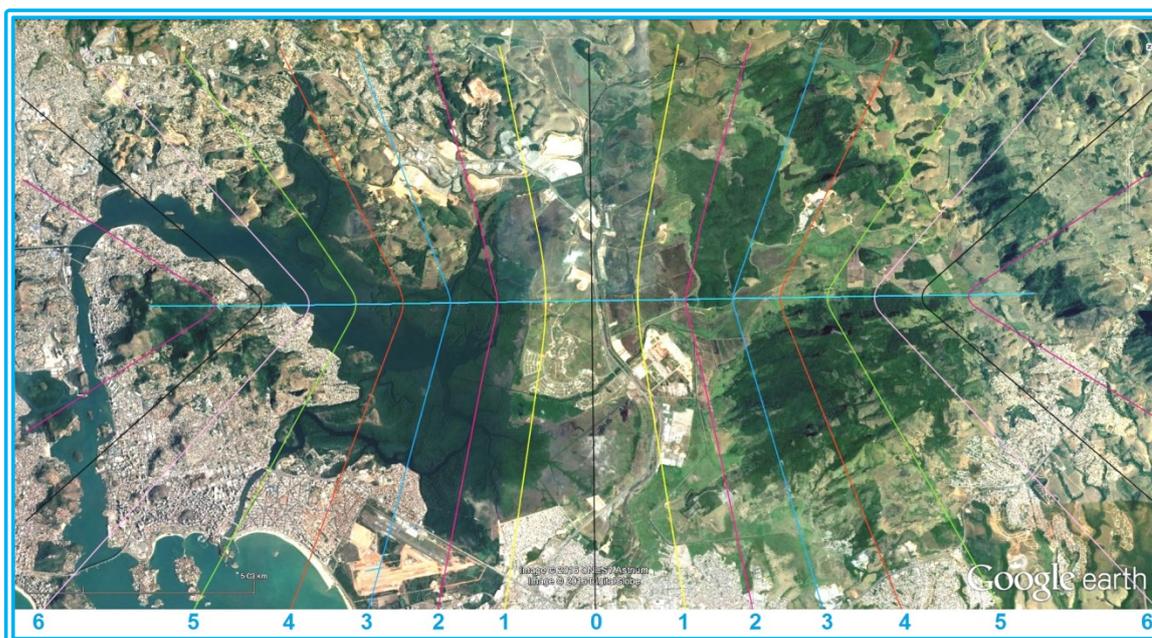


Figura 119 - Alinhamento Tx Vitória – Tx Serra – 20,00 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 34 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vitória → Tx Serra

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	1029,411765	2058,823529	6,862745
2	2058,823529	4117,647059	13,72549
3	3088,235294	6176,470588	20,58824
4	4117,647059	8235,294118	27,45098
5	5147,058824	10294,11765	34,31373
6	6176,470588	12352,94118	41,17647
7	7205,882353	14411,76471	48,03922
8	8235,294118	16470,58824	54,90196
9	9264,705882	18529,41176	61,76471

Fonte: Autoria própria

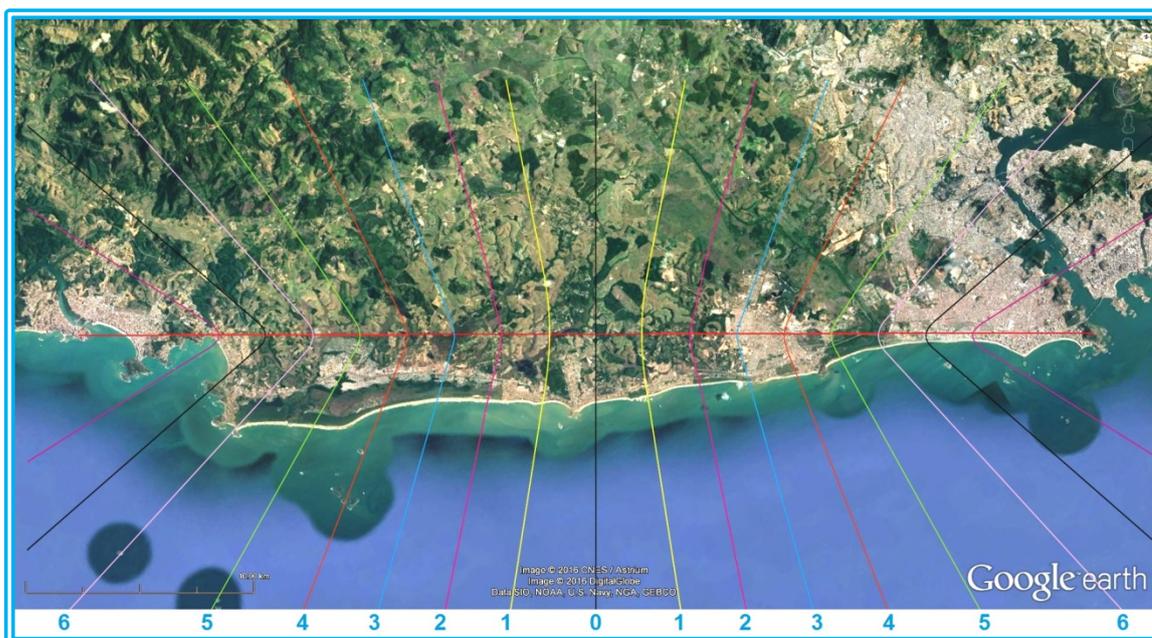


Figura 120 - Alinhamento Tx Vila Velha – Tx Guarapari – 44,30 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 35 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vila Velha → Tx Guarapari

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	2058,823529	4117,647059	13,72549
2	4117,647059	8235,294118	27,45098
3	6176,470588	12352,94118	41,17647
4	8235,294118	16470,58824	54,90196
5	10294,11765	20588,23529	68,62745
6	12352,94118	24705,88235	82,35294
7	14411,76471	28823,52941	96,07843
8	16470,58824	32941,17647	109,8039
9	18529,41176	37058,82353	123,5294
10	20588,23529	41176,47059	137,2549

Fonte: Autoria própria

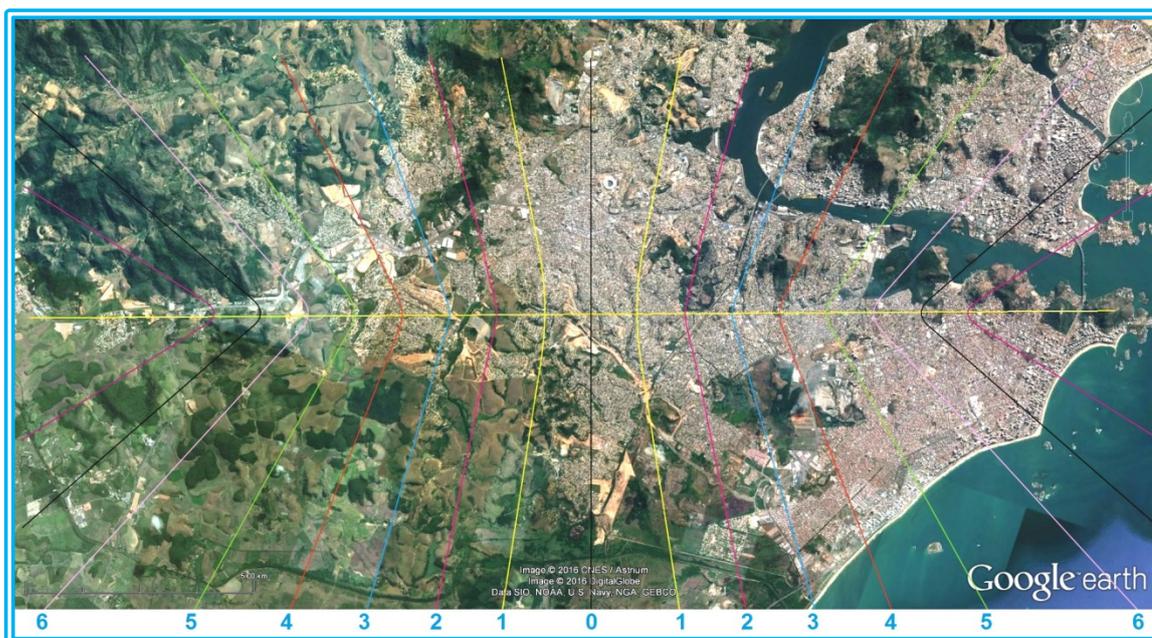


Figura 121 - Alinhamento Tx Vila Velha – Tx Viana – 23,60 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 36 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vila Velha → Viana

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	1029,411765	2058,823529	6,862745
2	2058,823529	4117,647059	13,72549
3	3088,235294	6176,470588	20,58824
4	4117,647059	8235,294118	27,45098
5	5147,058824	10294,11765	34,31373
6	6176,470588	12352,94118	41,17647
7	7205,882353	14411,76471	48,03922
8	8235,294118	16470,58824	54,90196
9	9264,705882	18529,41176	61,76471
10	10294,11765	20588,23529	68,62745

Fonte: Autoria própria

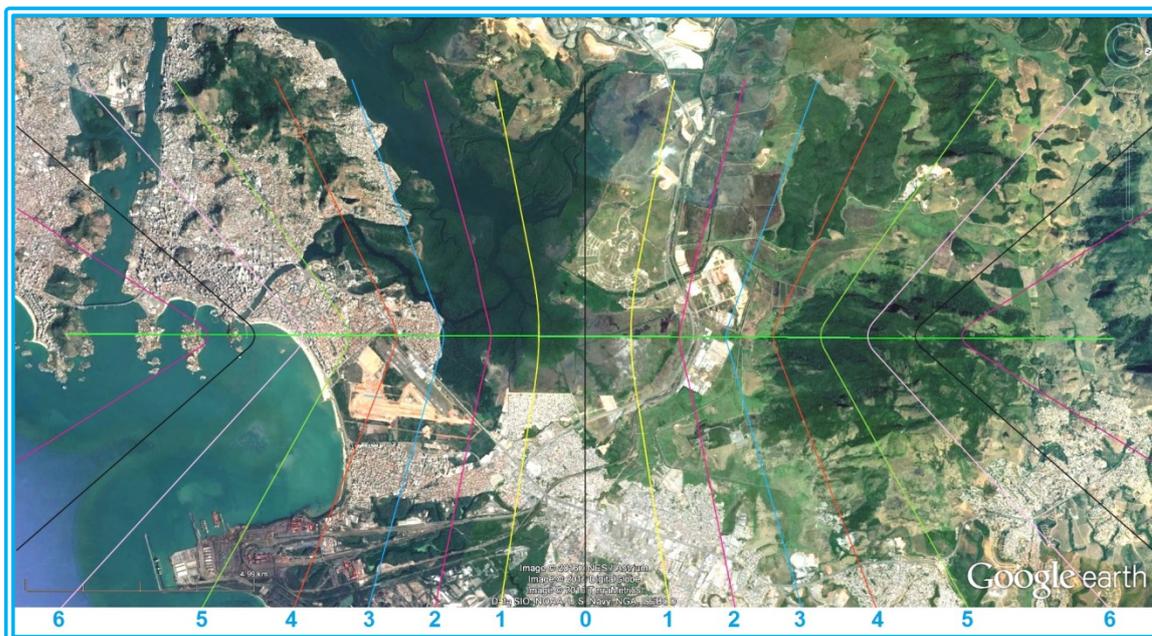


Figura 122 - Alinhamento Tx Vila Velha – Tx Serra – 22,70 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 37 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Vila Velha → Serra

Hiperbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	1029,411765	2058,823529	6,862745
2	2058,823529	4117,647059	13,72549
3	3088,235294	6176,470588	20,58824
4	4117,647059	8235,294118	27,45098
5	5147,058824	10294,11765	34,31373
6	6176,470588	12352,94118	41,17647
7	7205,882353	14411,76471	48,03922
8	8235,294118	16470,58824	54,90196
9	9264,705882	18529,41176	61,76471
10	10294,11765	20588,23529	68,62745

Fonte: Autoria própria

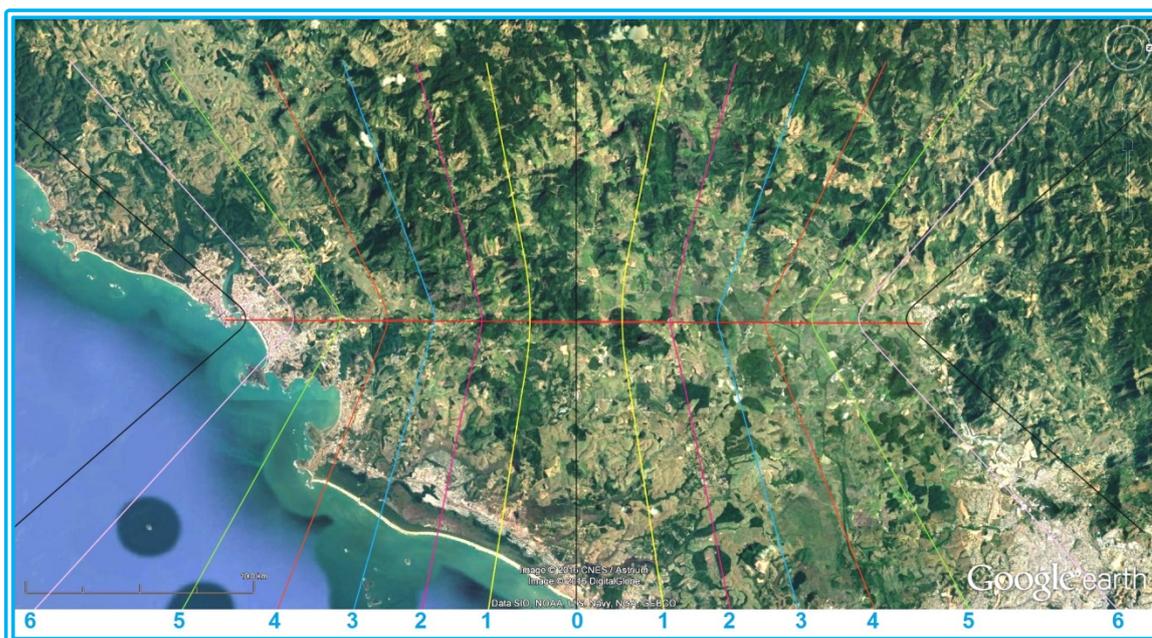


Figura 123 - Alinhamento Tx Guarapari - Tx Viana – 30,50 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 38 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Guarapari → Tx Viana

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	2058,823529	4117,647059	13,72549
2	4117,647059	8235,294118	27,45098
3	6176,470588	12352,94118	41,17647
4	8235,294118	16470,58824	54,90196
5	10294,11765	20588,23529	68,62745
6	12352,94118	24705,88235	82,35294
7	14411,76471	28823,52941	96,07843

Fonte: Autoria própria

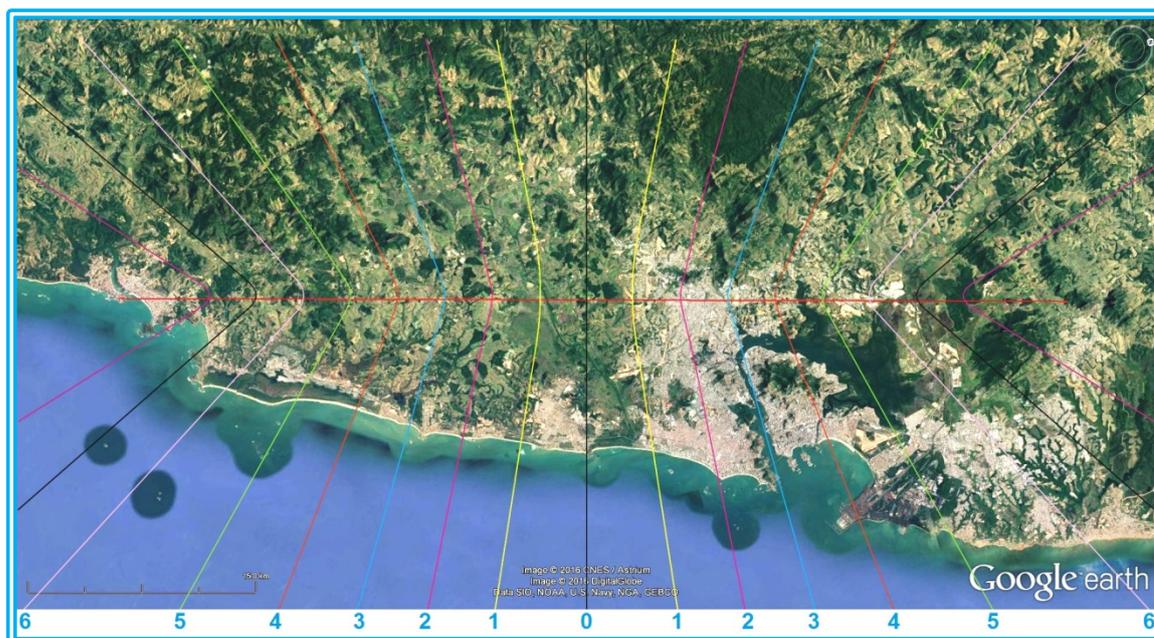


Figura 124 - Alinhamento Tx Guarapari - Tx Serra – 62,20 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 39 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Guarapari → Tx Serra

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	3088,235294	6176,470588	20,58824
2	6176,470588	12352,94118	41,17647
3	9264,705882	18529,41176	61,76471
4	12352,94118	24705,88235	82,35294
5	15441,17647	30882,35294	102,9412
6	18529,41176	37058,82353	123,5294
7	21617,64706	43235,29412	144,1176
8	24705,88235	49411,76471	164,7059
9	27794,11765	55588,23529	185,2941
10	30882,35294	61764,70588	205,8824

Fonte: Autoria própria

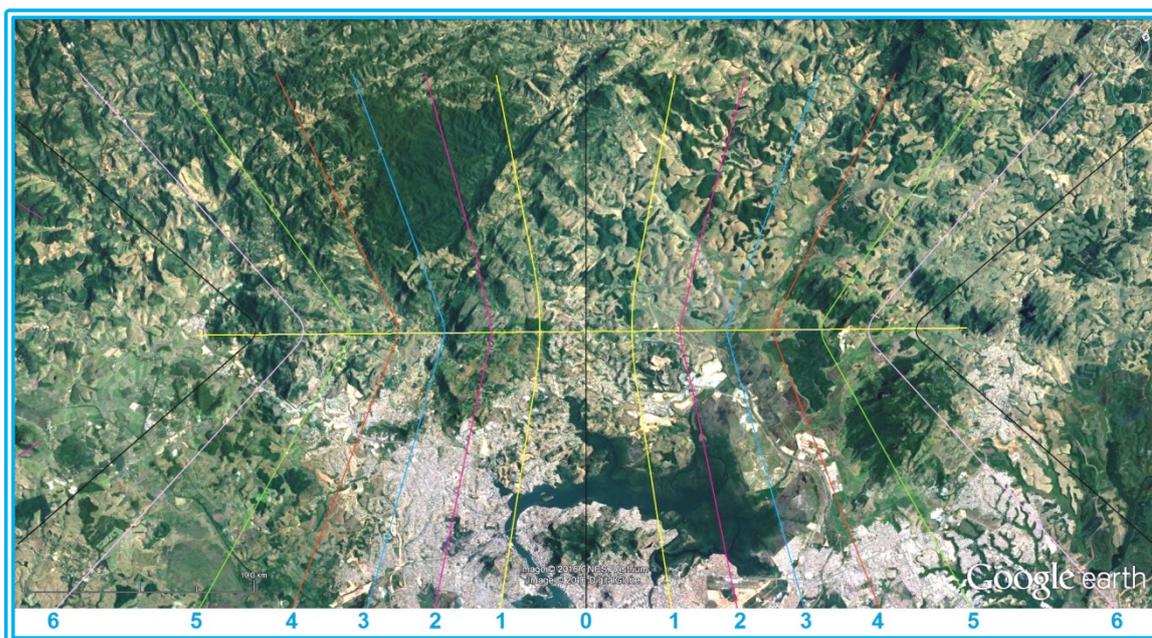


Figura 125 - Alinhamento Tx Viana – Tx Serra – 33,70 km
Fonte: Autoria Própria

Tabela 40 - Linhas equitemporais de atrasos para o alinhamento Tx Viana → Tx Serra

Hipérbole	a (m)	2a (m)	Δt (μs)
0	0,00000	0,00000	0,000000
1	2058,823529	4117,647059	13,72549
2	4117,647059	8235,294118	27,45098
3	6176,470588	12352,94118	41,17647
4	8235,294118	16470,58824	54,90196
5	10294,11765	20588,23529	68,62745
6	12352,94118	24705,88235	82,35294
7	14411,76471	28823,52941	96,07843
8	16470,58824	32941,17647	109,8039

Fonte: Autoria própria

6.2.2 Analisador de Espectro

A figura a seguir é a tela do Analisador de Espectro ajustada para determinado tipo de medição. Nela, observa-se nas abcissas, Y, uma escala em dB enquanto nas ordenadas, X, uma escala em μs . Ao centro, na vertical em amarelo, está marcado o tempo 0 μs .

À esquerda desta marca, entre -150 μs e -100 μs , em verde, observa-se uma marca vertical na posição -75 μs , representando o início do intervalo de guarda.

À direita da marca vertical em amarelo, 0 μs , observa-se outra marca vertical em verde na posição 125 μs , representando o fim do intervalo de guarda.



Figura 126 - Analizador de espectro - tela
Fonte: Autoria Própria

Durante as medições as portadoras surgem, deslocam-se pela tela se aproximando e se afastando, podendo ser analisadas em relação ao intervalo de guarda.

A verificação da rede instalada foi realizada com o veículo e os equipamentos descritos.

O analisador de espectro em uso permite, com o auxílio de software também da Rohde & Schwarz, o R&S Broadcast Drive Test, transferir os dados georeferenciados coletados durante o percurso para o computador.

6.3 SOFTWARE

Sendo interesse tabular, consultar e comparar estes dados utilizando-se a totalidade das coordenadas obtidas foi projetado e programado um sistema em linguagem Delphi acessando banco de dados SQL Server.

Numa primeira etapa, os dados foram descompactados, rastreados, separados e colocados em tabelas com integridade referencial numa base SQL Server.

6.3.1 Tabelas do Banco de Dados

Tabela 41 - Tabelas do banco de dados SQL Server

TABLE_CATALOG	TABLE_NAME	TABLE_NAME
SFN_GAZETA	AC_MER	SYNC
SFN_GAZETA	ATTENUATION	TMCC_MER
SFN_GAZETA	B	V0
SFN_GAZETA	COORDINATES	V1
SFN_GAZETA	COORDINATES_GRAU_DECIMAL	V10
SFN_GAZETA	DESCRIPTION	V11
SFN_GAZETA	DISTRIBUICAO_TABELAS	V12
SFN_GAZETA	ECHO_POWER	V13
SFN_GAZETA	G0	V14
SFN_GAZETA	INTENSITY	V15
SFN_GAZETA	LAYER_A_BER_A_RE	V16
SFN_GAZETA	LAYER_A_BER_B_RE	V17
SFN_GAZETA	LAYER_A_BER_B_VI	V2
SFN_GAZETA	LAYER_A_MER	V3
SFN_GAZETA	LAYER_B_BER_A_RE	V4
SFN_GAZETA	LAYER_B_BER_B_RE	V5
SFN_GAZETA	LAYER_B_BER_B_VI	V6
SFN_GAZETA	LAYER_B_MER	V7
SFN_GAZETA	LAYER_C_BER_A_RE	V8
SFN_GAZETA	LAYER_C_BER_B_RE	V9
SFN_GAZETA	LAYER_C_BER_B_VI	VALIDITY
SFN_GAZETA	LAYER_C_MER	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V0	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V1	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V10	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V11	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V12	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V13	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V14	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V15	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V16	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V17	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V2	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V3	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V4	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V5	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V6	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V7	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V8	
SFN_GAZETA	LEGENDA_V9	
SFN_GAZETA	LEVEL	
SFN_GAZETA	LOGO	
SFN_GAZETA	NO_ERROR	
SFN_GAZETA	OVERALL_MER	
SFN_GAZETA	PLACEMARK	
SFN_GAZETA	POINT	
SFN_GAZETA	SPEED	
SFN_GAZETA	SPOT	
SFN_GAZETA	SUBSTITUICOES	

Fonte: Autoria própria

6.3.2 Sistema e Funcionalidades

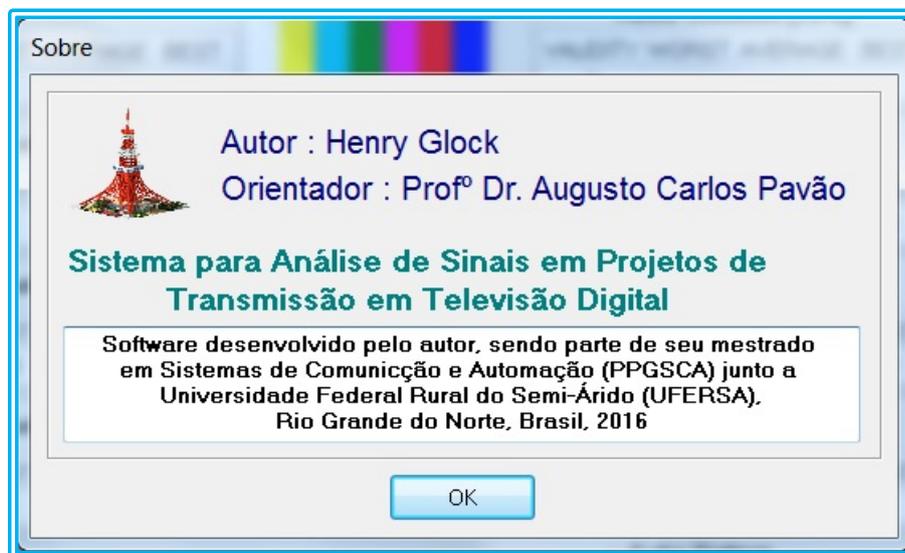


Figura 127 - Créditos do Sistema
Fonte: Autoria Própria

Na sequência, o sistema foi desenvolvido e conectado à base de dados anteriormente construída, atingindo-se o resultado desejado.

Foram coletadas 22049 latitudes e 15204 longitudes durante os deslocamentos com o veículo.

Fixando-se uma latitude, estando esta associada a mais de uma longitude, tem-se uma relação um-para-muitos no banco de dados, permitindo observar as variações nas características do sinal variando-se a longitude, (LAT1;LON1), (LAT1;LON2), (LAT1;LON3).

Da mesma forma, fixando-se uma longitude, estando esta associada a mais de uma latitude, tem-se uma relação um-para-muitos no banco de dados, permitindo observar as variações nas características do sinal variando-se a latitude, (LAT1;LON1), (LAT2;LON1), (LAT3;LON1).

Esta forma de visualização das informações obtidas torna fácil acompanhar eventuais distúrbios no sinal comparando coordenadas contíguas.

6.3.3 Exemplo de Uso do Sistema

- 1) Latitude fixa, variando-se a longitude

Confirmação de Coordenadas - Latitude-Longitude

	LATITUDE	LONGITUDE
<input checked="" type="checkbox"/>	20° 06' 30,5424" S	40° 10' 10,0344" O
<input checked="" type="checkbox"/>	20° 06' 30,5424" S	40° 14' 08,8476" O
<input checked="" type="checkbox"/>	20° 06' 30,5424" S	40° 15' 28,4508" O
<input checked="" type="checkbox"/>	20° 06' 30,5424" S	40° 16' 48,0576" O
<input checked="" type="checkbox"/>	20° 06' 30,5424" S	40° 18' 07,6608" O

Confirma seleção destas coordenadas ?

11:18:20 11:18:24 11:20:20

Sim **Não**

Figura 128 - Tela confirmação escolha latitudes e longitudes - latitudes fixas
Fonte: Autoria Própria

Nas figuras seguintes, as telas do sistema com os gráficos e leituras dos sinais encontrados em cada uma das coordenadas P1 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O), P2 (20° 06' 30,5424" S;40° 14' 08,8476" O), P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 15' 28,4508" O), P4 (20° 06' 30,5424" S;40° 16' 48,0576" O) e P5 (20° 06' 30,5424" S;40° 18' 07,6608" O).

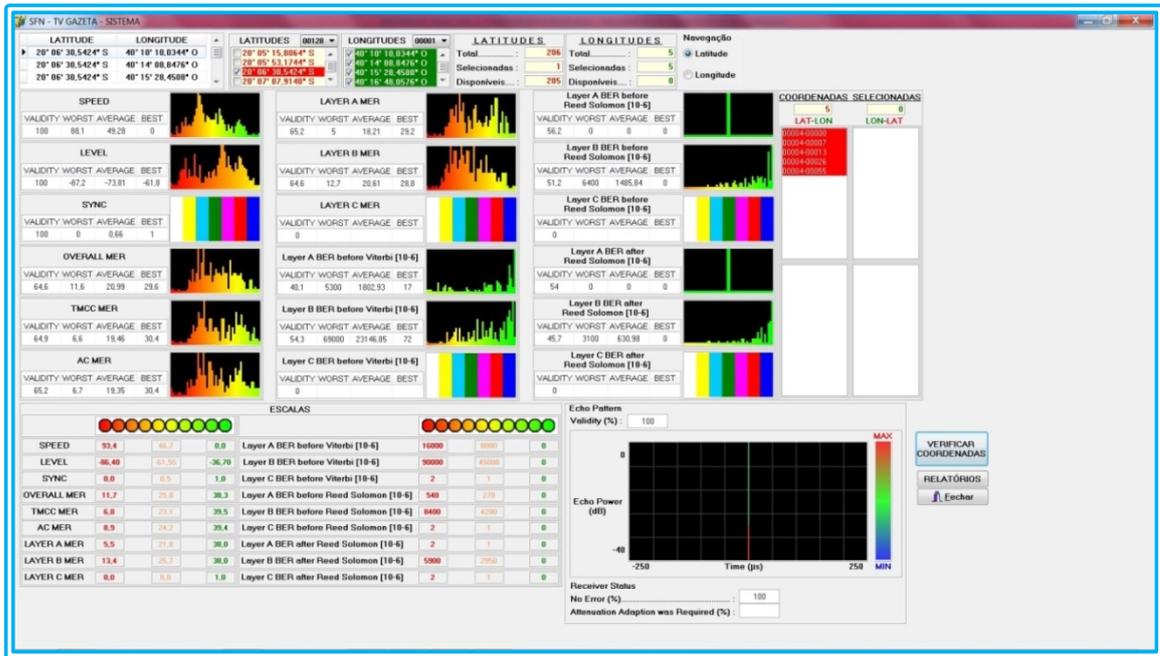


Figura 129 – Tela gráficos e leituras para coordenada P1 (20° 06' 30,5424" S ; 40° 10' 10,0344" O)
Fonte: Autoria Própria

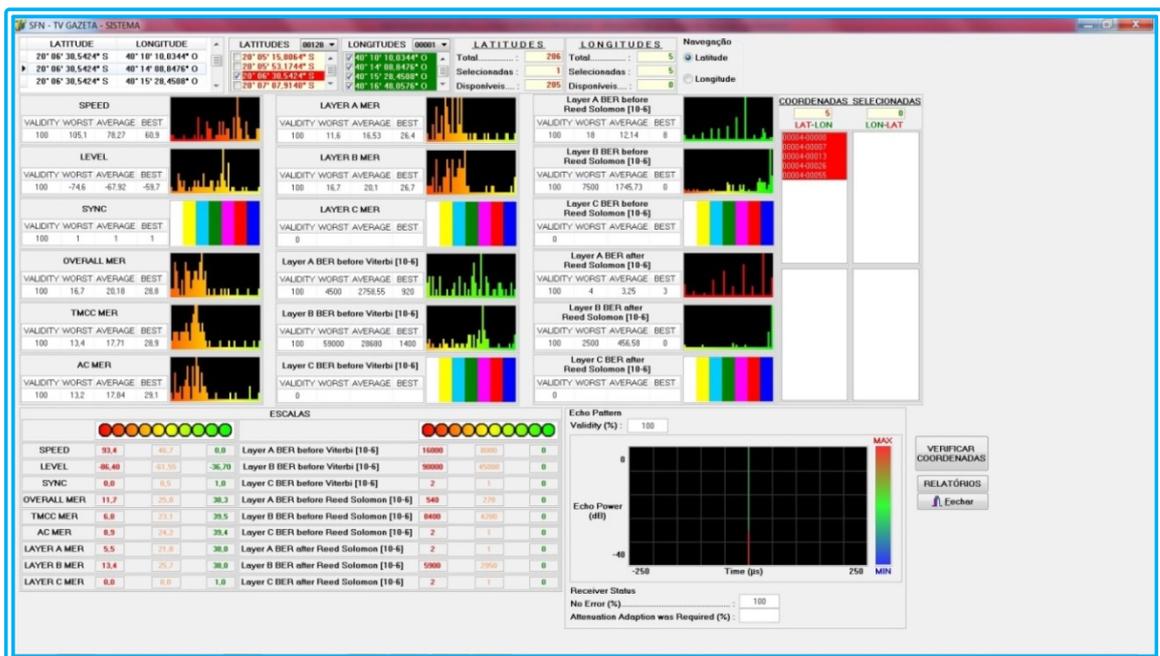


Figura 130 - Tela gráficos e leituras para coordenada P2 (20° 06' 30,5424" S ; 40° 14' 08,8476" O)
Fonte: Autoria Própria



Figura 131 - Tela gráficos e leituras para coordenada P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 15' 28,4508" O)
 Fonte: Autoria Própria

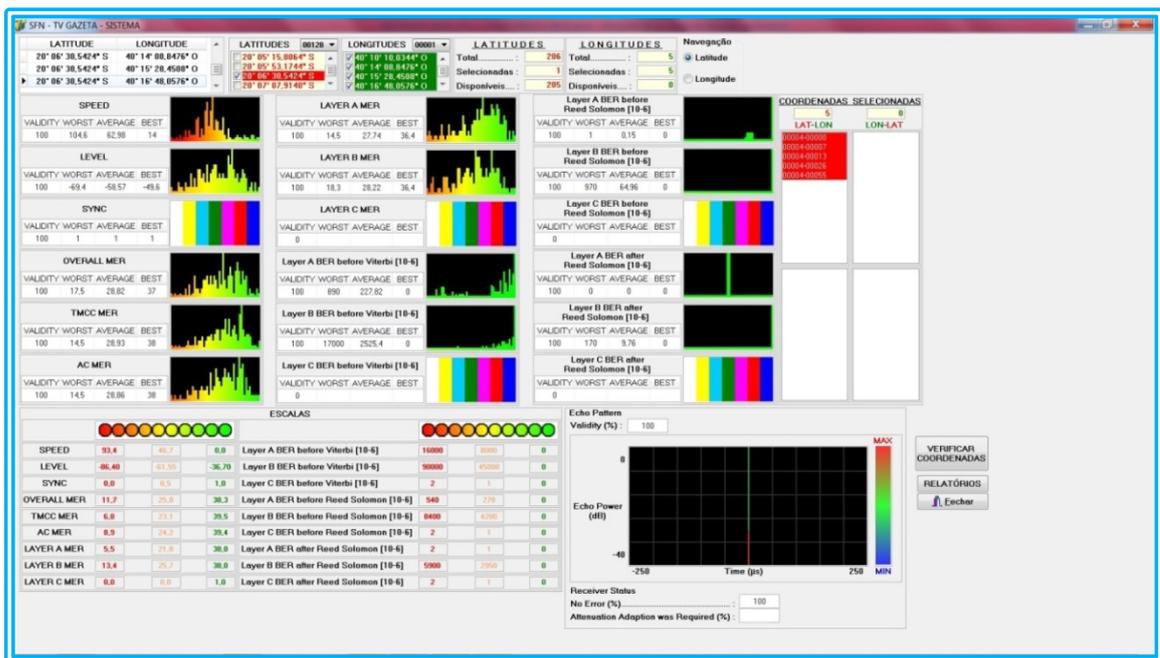


Figura 132 - Tela gráficos e leituras para coordenada P4 (20° 06' 30,5424" S;40° 16' 48,0576" O)
 Fonte: Autoria Própria

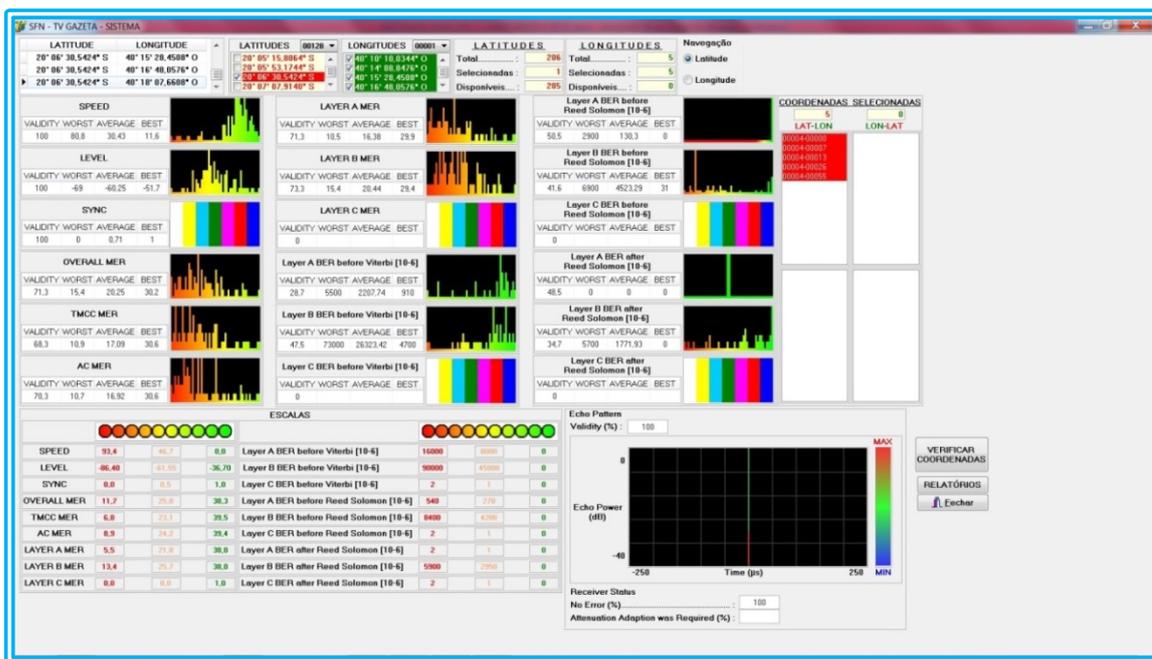


Figura 133 - Tela gráficos e leituras para coordenada P5 (20° 06' 30,5424" S;40° 18' 07,6608" O)
 Fonte: Autoria Própria

Na figuras seguintes, cada página do relatório emitido com cada um dos pontos considerados.

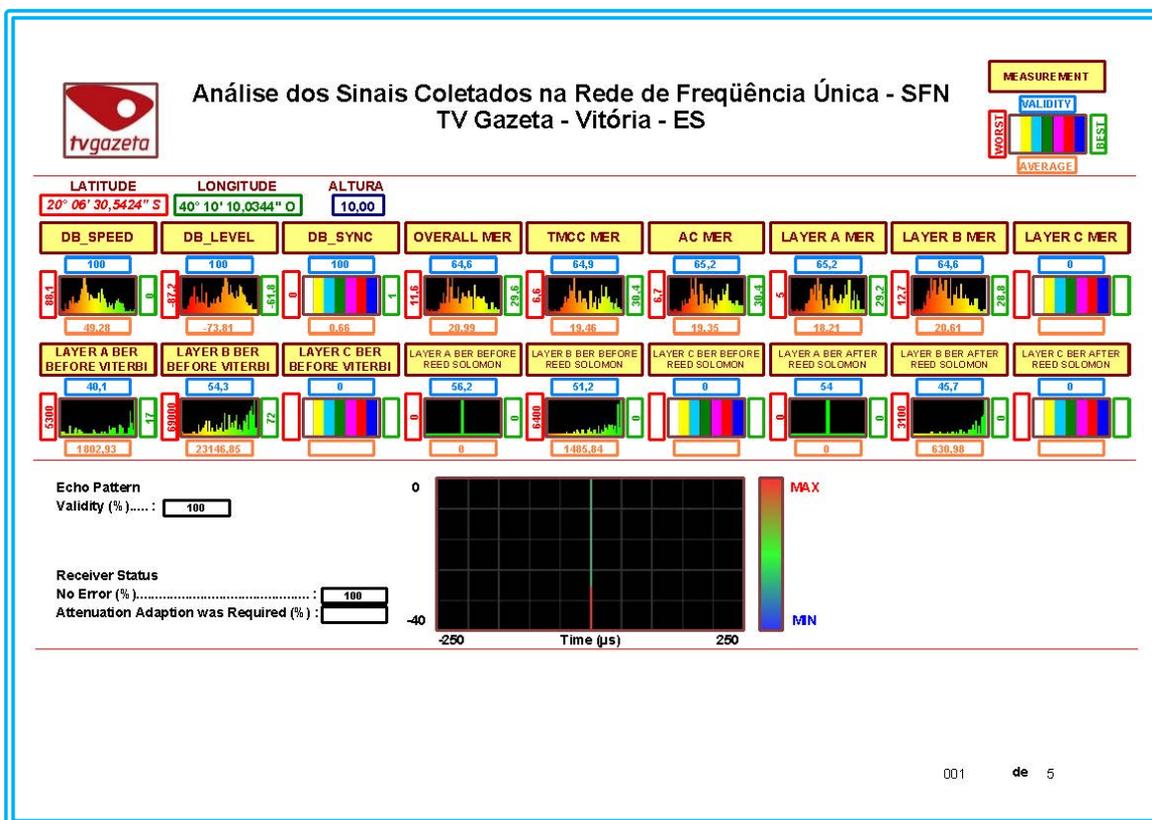


Figura 134 - Página relatório referente a coordenada P1 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria

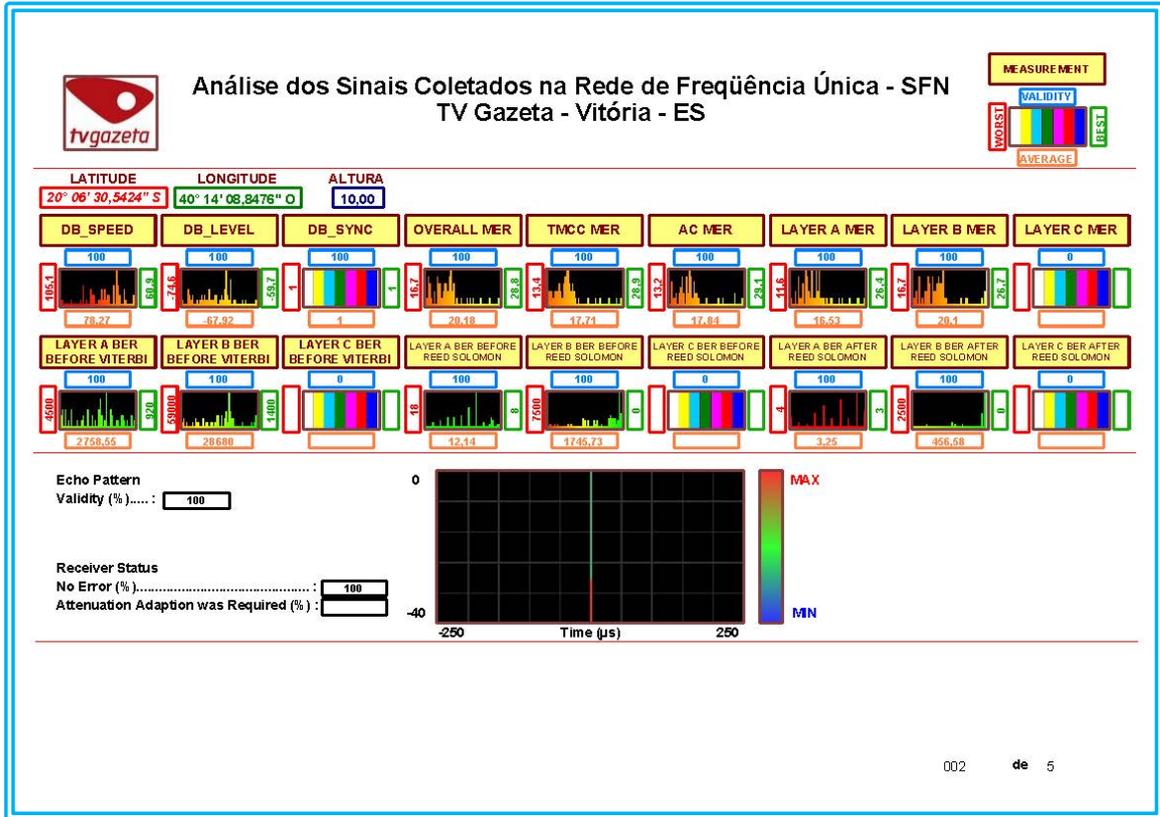


Figura 135 - Página relatório referente a coordenada P2 (20° 06' 30,5424" S;40° 14' 08,8476" O)
 Fonte: Autoria Própria

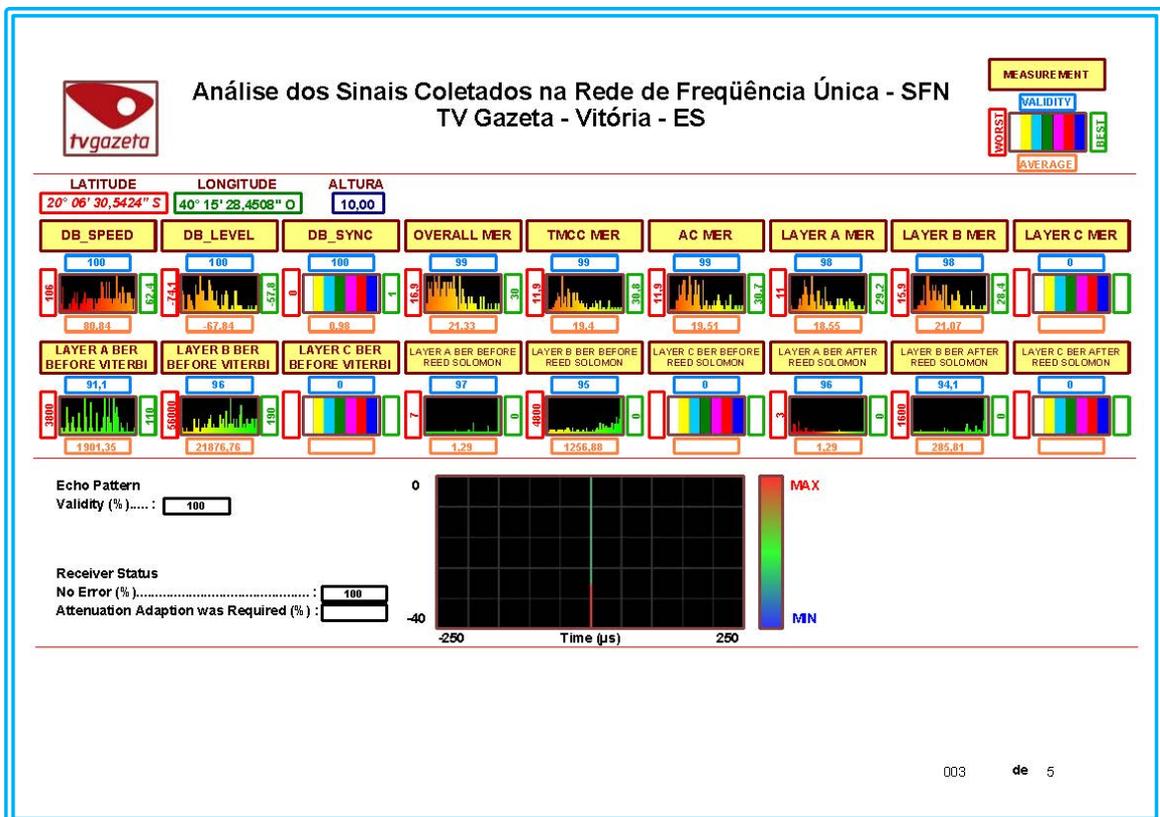


Figura 136 - Página relatório referente a coordenada P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 15' 28,4508" O)
 Fonte: Autoria Própria

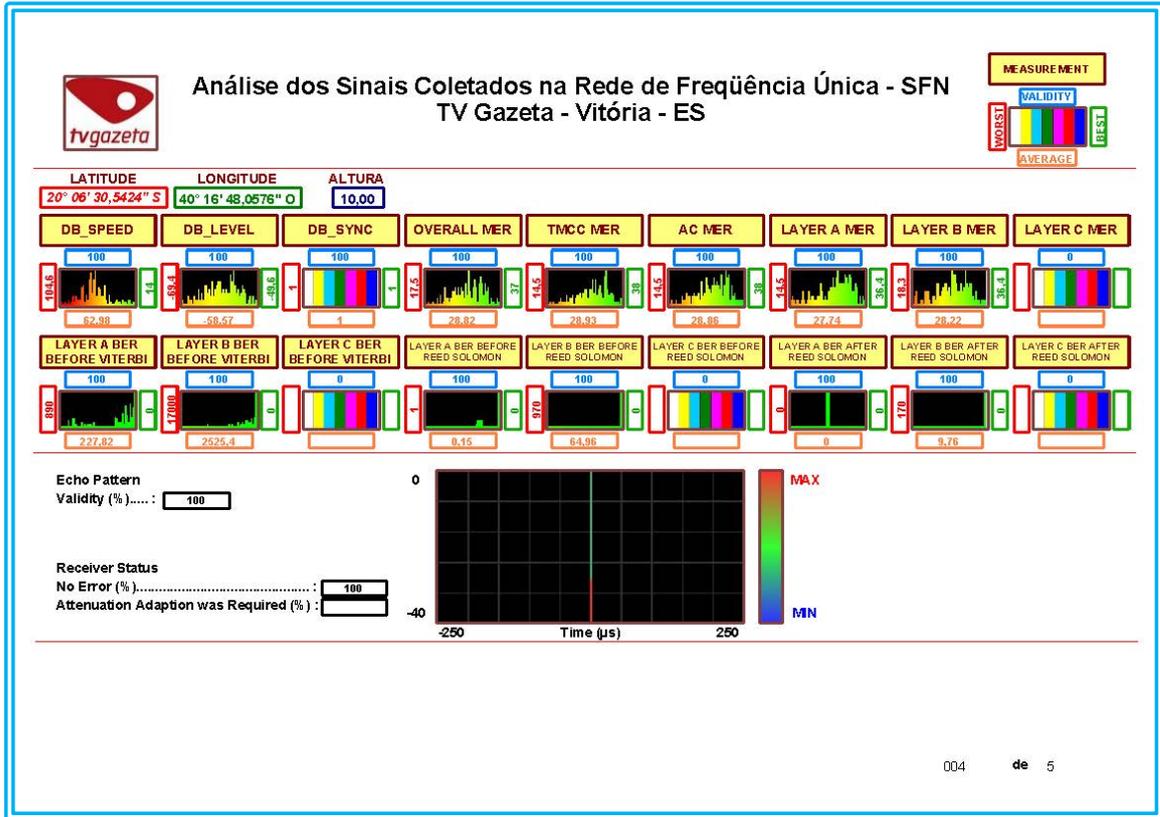


Figura 137 - Página relatório referente a coordenada P4 (20° 06' 30,5424" S;40° 16' 48,0576" O)
Fonte: Autoria Própria

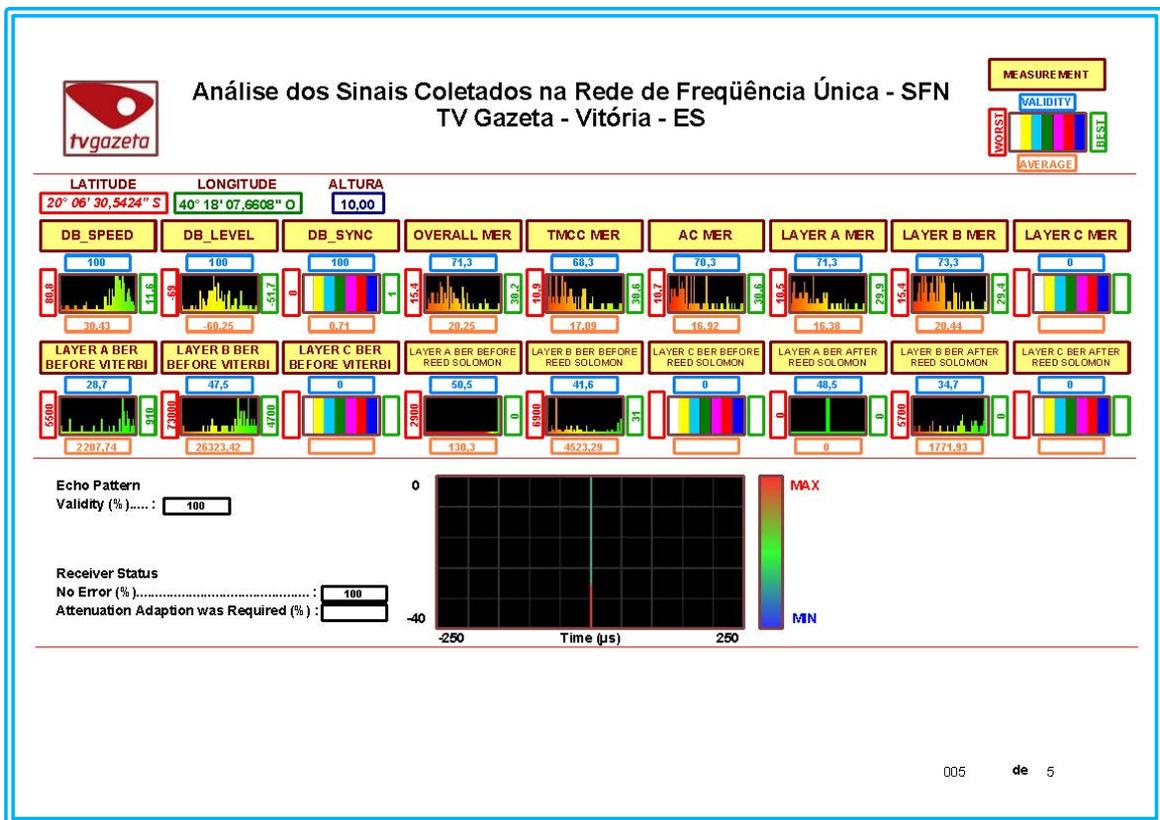


Figura 138 - Página relatório referente a coordenada P5 (20° 06' 30,5424" S;40° 18' 07,6608" O)
Fonte: Autoria Própria

Na figura seguinte, página inicial do relatório emitido com todas as coordenadas obtidas nas medições, para cada latitude, com a variação das longitudes possíveis obtidas para cada latitude.



TV Gazeta - Vitória - ES

Rede de Freqüência Única - SFN

Coordenadas dos Pontos - LAT-LON

LAT	LON	LAT	LON								
20° 03' 23,8904" S	00001	02 40° 11' 39,9012" O	01 40° 11' 28,3956" O	01 40° 11' 25,9080" O	02 40° 11' 27,1500" O	20° 03' 38,8800" S	00052	01 40° 11' 18,4452" O			
01 40° 11' 30,5700" O	20° 03' 26,0352" S	00008	02 40° 11' 35,8584" O	02 40° 11' 28,3956" O	03 40° 11' 32,1252" O	01 40° 11' 20,9328" O					
02 40° 11' 31,1928" O	01 40° 11' 27,1500" O	03 40° 11' 38,3460" O	03 40° 11' 33,3708" O	20° 03' 35,6688" S	00041	02 40° 11' 28,3956" O					
03 40° 11' 34,3032" O	02 40° 11' 32,1252" O	04 40° 11' 40,8336" O	04 40° 11' 35,8584" O	01 40° 11' 24,2528" O	03 40° 11' 28,3956" O	04 40° 11' 30,8832" O					
04 40° 11' 34,9224" O	20° 03' 29,8296" S	00021	05 40° 11' 38,3460" O	02 40° 11' 31,8156" O	04 40° 11' 30,8832" O	20° 03' 39,1716" S	00053				
05 40° 11' 35,5452" O	04 40° 11' 42,0756" O	01 40° 11' 28,0824" O	06 40° 11' 40,8336" O	20° 03' 35,9604" S	00042	01 40° 11' 19,9968" O					
06 40° 11' 36,1680" O	20° 03' 26,3268" S	00009	02 40° 11' 40,5204" O	20° 03' 32,1660" S	00029	02 40° 11' 22,7976" O	01 40° 11' 19,9968" O				
07 40° 11' 36,7908" O	01 40° 11' 29,9472" O	03 40° 11' 41,1432" O	01 40° 11' 26,8404" O	02 40° 11' 24,0396" O	02 40° 11' 29,9472" O	02 40° 11' 29,9472" O					
08 40° 11' 37,4136" O	02 40° 11' 39,9012" O	20° 03' 30,1212" S	00022	02 40° 11' 33,0576" O	03 40° 11' 31,5024" O	20° 03' 39,4632" S	00054				
09 40° 11' 38,0328" O	20° 03' 26,6184" S	00010	01 40° 11' 27,7728" O	03 40° 11' 33,6804" O	20° 03' 36,2520" S	00043	01 40° 11' 19,0644" O				
10 40° 11' 38,6556" O	01 40° 11' 29,0148" O	02 40° 11' 36,4776" O	20° 03' 32,4576" S	00030	01 40° 11' 23,1072" O	02 40° 11' 20,3100" O					
11 40° 11' 39,2784" O	02 40° 11' 30,2604" O	03 40° 11' 37,232" O	01 40° 11' 26,5272" O	02 40° 11' 23,7300" O	03 40° 11' 29,0148" O						
20° 03' 24,2956" S	00002	03 40° 11' 40,2108" O	04 40° 11' 40,2108" O	02 40° 11' 32,7480" O	03 40° 11' 31,1928" O	04 40° 11' 30,2604" O					
01 40° 11' 30,2604" O	20° 03' 26,9100" S	00011	05 40° 11' 41,4528" O	03 40° 11' 33,9900" O	20° 03' 36,5472" S	00044	20° 03' 39,7584" S	00055			
02 40° 11' 31,5024" O	01 40° 11' 29,3280" O	20° 03' 30,4164" S	00023	20° 03' 32,7492" S	00031	01 40° 11' 20,9328" O	01 40° 11' 18,7548" O				
03 40° 11' 32,7480" O	02 40° 11' 29,9472" O	01 40° 11' 27,4596" O	01 40° 11' 26,2176" O	02 40° 11' 26,2176" O	02 40° 11' 23,4204" O	02 40° 11' 19,3776" O					
04 40° 11' 33,9900" O	03 40° 11' 39,9012" O	02 40° 11' 36,1680" O	02 40° 11' 33,0576" O	03 40° 11' 33,0576" O	03 40° 11' 30,8832" O	03 40° 11' 19,9968" O					
05 40° 11' 35,2356" O	04 40° 11' 40,5204" O	03 40° 11' 36,7908" O	20° 03' 33,0408" S	00032	20° 03' 36,8388" S	00045	04 40° 11' 20,6196" O				
06 40° 11' 36,4776" O	20° 03' 27,2016" S	00012	04 40° 11' 37,4136" O	01 40° 11' 19,6872" O	01 40° 11' 22,4844" O	05 40° 11' 29,3280" O					
07 40° 11' 37,232" O	01 40° 11' 28,3956" O	05 40° 11' 39,9012" O	05 40° 11' 39,9012" O	02 40° 11' 39,5880" O	02 40° 11' 23,1072" O	20° 03' 40,0500" S	00056				
08 40° 11' 38,9652" O	02 40° 11' 30,8832" O	06 40° 11' 40,5204" O	20° 03' 33,3324" S	00033	03 40° 11' 31,1928" O	01 40° 11' 17,1996" O					
20° 03' 24,5772" S	00003	03 40° 11' 40,8336" O	20° 03' 30,7080" S	00024	01 40° 11' 25,5948" O	20° 03' 37,1304" S	00046	02 40° 11' 22,1748" O			
01 40° 11' 29,9472" O	20° 03' 27,4968" S	00013	01 40° 11' 27,1500" O	02 40° 11' 26,2176" O	02 40° 11' 26,2176" O	01 40° 11' 21,5520" O	03 40° 11' 27,1500" O				
02 40° 11' 30,5700" O	01 40° 11' 29,3280" O	02 40° 11' 32,1252" O	02 40° 11' 32,1252" O	03 40° 11' 32,4348" O	02 40° 11' 22,7976" O	04 40° 11' 32,1252" O					
03 40° 11' 31,8156" O	02 40° 11' 40,5204" O	03 40° 11' 37,1004" O	03 40° 11' 37,1004" O	04 40° 11' 33,0576" O	03 40° 11' 30,2604" O	20° 03' 40,3416" S	00057				
04 40° 11' 33,0576" O	20° 03' 27,984" S	00014	04 40° 11' 42,0756" O	20° 03' 33,6276" S	00034	04 40° 11' 31,5024" O	01 40° 11' 18,1320" O				
05 40° 11' 33,6804" O	01 40° 11' 29,0148" O	20° 03' 30,9996" S	00025	01 40° 11' 25,2852" O	20° 03' 37,4220" S	00047	02 40° 11' 18,7548" O				
06 40° 11' 34,3032" O	02 40° 11' 40,2108" O	01 40° 11' 27,4596" O	02 40° 11' 26,5272" O	01 40° 11' 26,5272" O	01 40° 11' 21,8652" O	03 40° 11' 19,3776" O					
07 40° 11' 39,2784" O	20° 03' 28,0800" S	00015	02 40° 11' 34,3032" O	03 40° 11' 32,7480" O	02 40° 11' 22,4844" O	04 40° 11' 21,2424" O					
20° 03' 24,8688" S	00004	01 40° 11' 28,7052" O	03 40° 11' 34,9224" O	20° 03' 33,8192" S	00035	03 40° 11' 30,5700" O	06 40° 11' 29,3280" O				
01 40° 11' 30,8832" O	02 40° 11' 40,5204" O	04 40° 11' 35,5452" O	04 40° 11' 35,5452" O	01 40° 11' 25,5948" O	04 40° 11' 31,1928" O	20° 03' 40,6332" S	00058				
02 40° 11' 33,3708" O	20° 03' 28,3716" S	00016	05 40° 11' 38,0328" O	02 40° 11' 32,4348" O	20° 03' 37,7196" S	00048	01 40° 11' 17,8224" O				
03 40° 11' 35,8584" O	01 40° 11' 24,6624" O	06 40° 11' 38,6556" O	06 40° 11' 38,6556" O	20° 03' 34,2108" S	00036	01 40° 11' 14,7120" O	02 40° 11' 19,0644" O				
04 40° 11' 38,3460" O	02 40° 11' 34,6128" O	07 40° 11' 39,2784" O	07 40° 11' 39,2784" O	01 40° 11' 25,9080" O	02 40° 11' 24,6624" O	03 40° 11' 21,5520" O					
05 40° 11' 40,8336" O	03 40° 11' 44,5632" O	08 40° 11' 39,9012" O	08 40° 11' 39,9012" O	02 40° 11' 30,8832" O	03 40° 11' 34,6128" O	04 40° 11' 22,7976" O					
20° 03' 25,1604" S	00005	20° 03' 28,6632" S	00017	20° 03' 31,2912" S	00026	03 40° 11' 33,3708" O	20° 03' 38,0052" S	00049	05 40° 11' 29,0148" O		
01 40° 11' 29,9472" O	01 40° 11' 28,7052" O	01 40° 11' 26,5272" O	20° 03' 34,5024" S	00037	01 40° 11' 21,2424" O	20° 03' 40,3248" S	00059				
02 40° 11' 32,4348" O	02 40° 11' 40,5204" O	02 40° 11' 27,7728" O	01 40° 11' 25,5948" O	02 40° 11' 25,5948" O	02 40° 11' 21,8652" O	01 40° 11' 17,5092" O					
03 40° 11' 33,0576" O	03 40° 11' 41,1432" O	03 40° 11' 33,9900" O	02 40° 11' 32,4348" O	02 40° 11' 32,4348" O	03 40° 11' 30,5700" O	02 40° 11' 18,1320" O					
04 40° 11' 39,2784" O	20° 03' 28,9548" S	00018	04 40° 11' 35,2356" O	20° 03' 34,7940" S	00038	20° 03' 38,2368" S	00050	03 40° 11' 21,8652" O			
05 40° 11' 39,9012" O	01 40° 11' 27,7728" O	05 40° 11' 37,232" O	05 40° 11' 37,232" O	01 40° 11' 25,2852" O	01 40° 11' 20,3100" O	04 40° 11' 22,4844" O					
20° 03' 25,4520" S	00006	02 40° 11' 29,0148" O	06 40° 11' 38,9652" O	02 40° 11' 31,5024" O	02 40° 11' 21,5520" O	05 40° 11' 29,3280" O					
01 40° 11' 30,2604" O	03 40° 11' 40,2108" O	07 40° 11' 40,2108" O	07 40° 11' 40,2108" O	03 40° 11' 32,7480" O	03 40° 11' 30,2604" O	20° 03' 41,2164" S	00060				
02 40° 11' 32,7480" O	04 40° 11' 41,4528" O	20° 03' 31,5828" S	00027	20° 03' 35,0856" S	00039	20° 03' 38,5884" S	00051	01 40° 11' 15,9576" O			
03 40° 11' 38,9652" O	20° 03' 29,2464" S	00019	01 40° 11' 26,8404" O	01 40° 11' 24,9720" O	01 40° 11' 20,6196" O	02 40° 11' 18,4452" O					
04 40° 11' 40,2108" O	01 40° 11' 28,0824" O	02 40° 11' 33,6804" O	02 40° 11' 33,6804" O	02 40° 11' 31,8156" O	02 40° 11' 21,2424" O	03 40° 11' 20,9328" O					
20° 03' 25,7436" S	00007	02 40° 11' 41,1432" O	03 40° 11' 34,3032" O	20° 03' 35,3772" S	00040	03 40° 11' 23,4204" O					
01 40° 11' 29,9472" O	20° 03' 29,5380" S	00020	20° 03' 31,8744" S	00028	01 40° 11' 22,1748" O	04 40° 11' 30,5700" O	06 40° 11' 28,3956" O				

Figura 139 - Relatório longitudes agrupadas por latitudes

Fonte: Autoria Própria

2) Longitude fixa, variando-se a latitude

Confirmação de Coordenadas - Longitude-Latitude

LATITUDE	LONGITUDE	
20° 04' 01,0704" S	40° 10' 10,0344" O	<input checked="" type="checkbox"/>
20° 05' 15,8064" S	40° 10' 10,0344" O	<input checked="" type="checkbox"/>
20° 06' 30,5424" S	40° 10' 10,0344" O	<input checked="" type="checkbox"/>
20° 07' 45,2820" S	40° 10' 10,0344" O	<input checked="" type="checkbox"/>

Confirma seleção destas coordenadas ?

11:28:28 11:28:42 11:30:28

Figura 140 - Tela confirmação escolha latitudes e longitudes - longitudes fixas
Fonte: Autoria Própria

Nas figuras seguintes, as telas do sistema com os gráficos e leituras dos sinais encontrados em cada uma das coordenadas P1 (20° 04' 01,0704" S;40° 10' 10,0344" O), P2 (20° 05' 15,8064" S;40° 10' 10,0344" O), P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O), P4 (20° 07' 45,2820" S;40° 10' 10,0344" O).

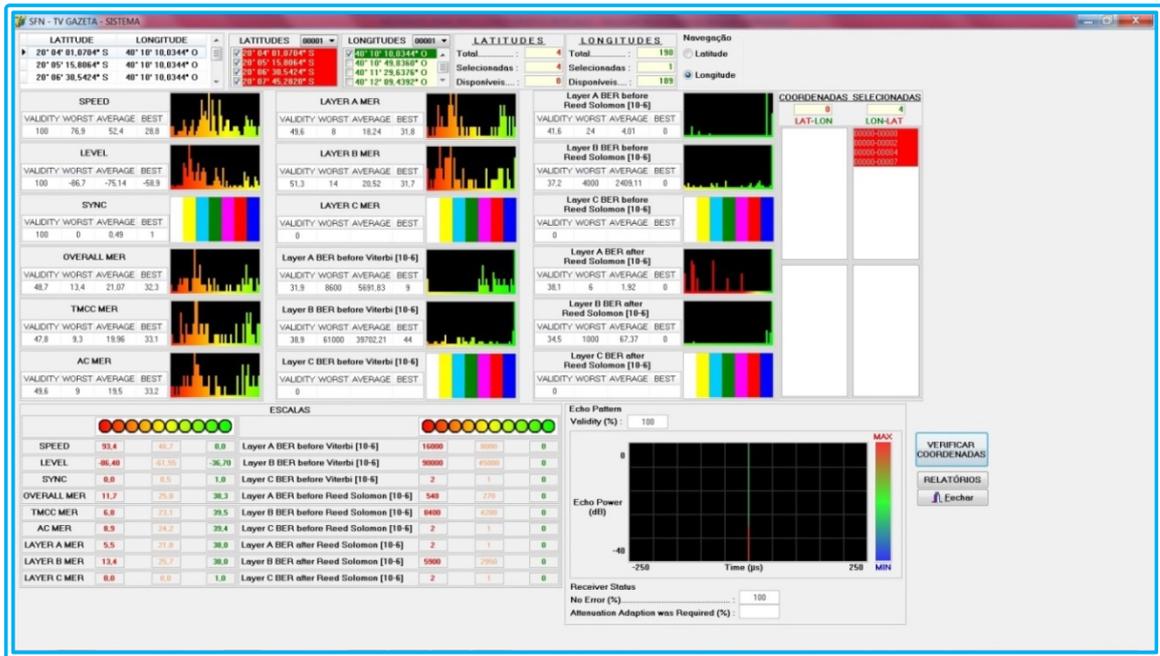


Figura 141 - Tela gráficos e leituras para coordenada P1 (20° 04' 01,0704" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria

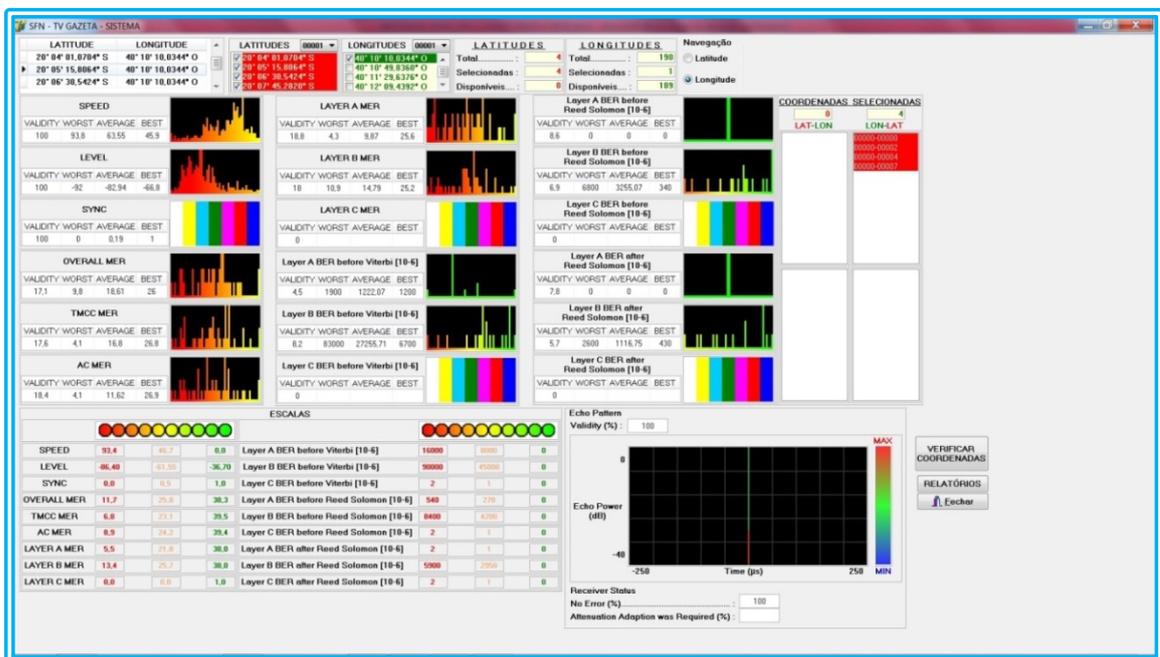


Figura 142 - Tela gráficos e leituras para coordenada P2 (20° 05' 15,8064" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria



Figura 143 - Tela gráficos e leituras para coordenada P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria



Figura 144 - Tela gráficos e leituras para coordenada P4 (20° 07' 45,2820" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria

Na figuras seguintes, cada página do relatório emitido com cada um dos pontos considerados.

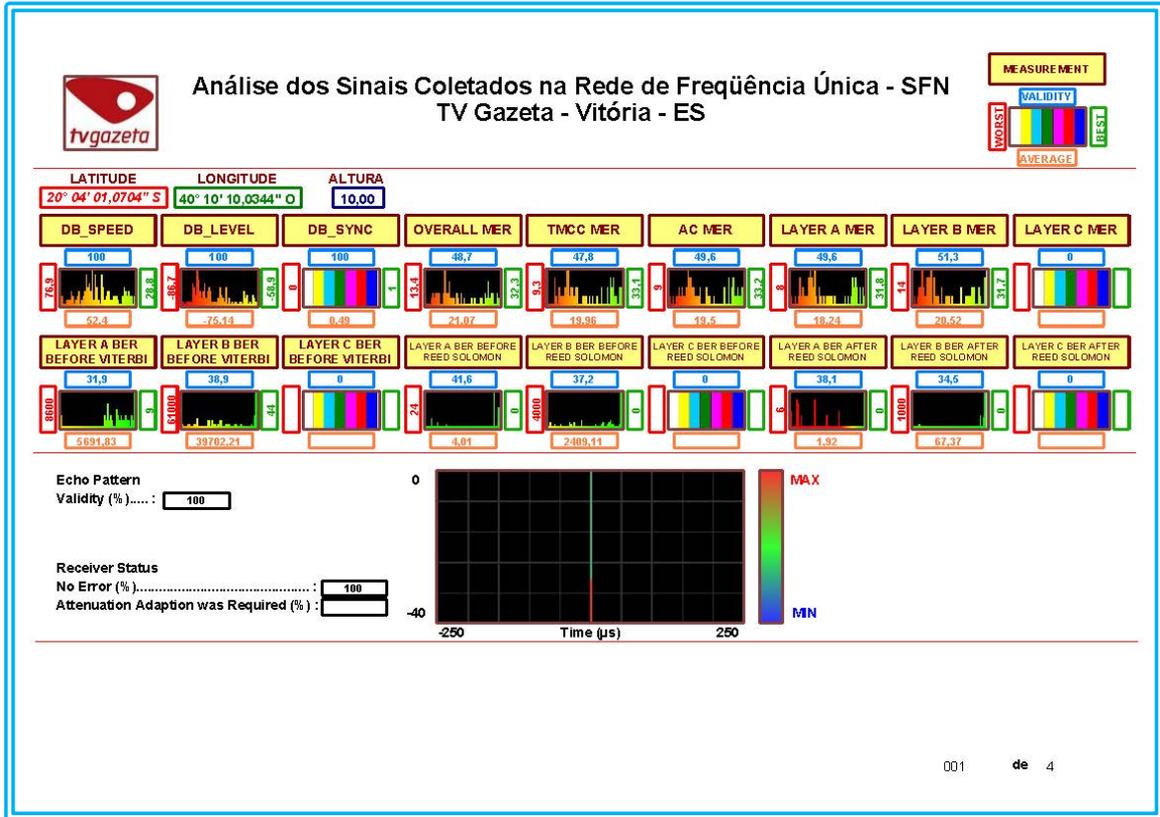


Figura 145 - Página relatório referente a coordenada P1 (20° 04' 01,0704" S;40° 10' 10,0344" O)
Fonte: Autoria Própria

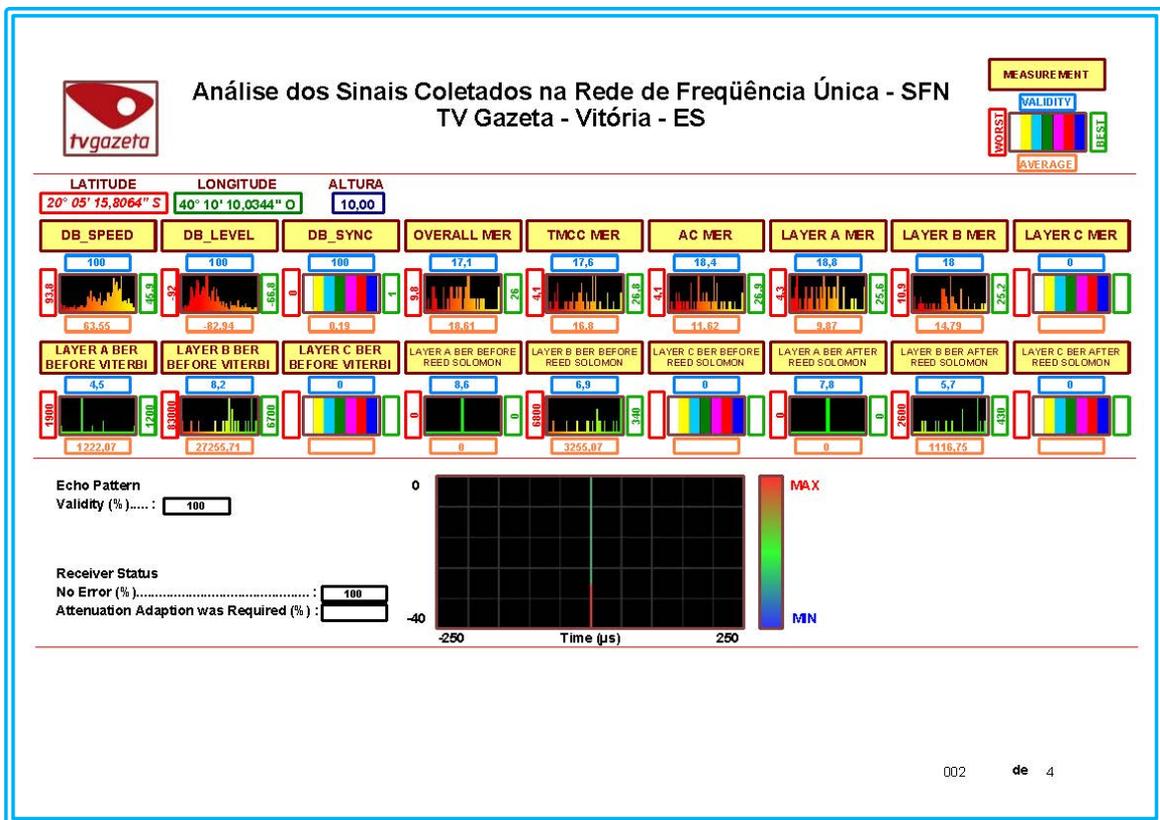


Figura 146 - Página relatório referente a coordenada P2 (20° 05' 15,8064" S;40° 10' 10,0344" O)
Fonte: Autoria Própria

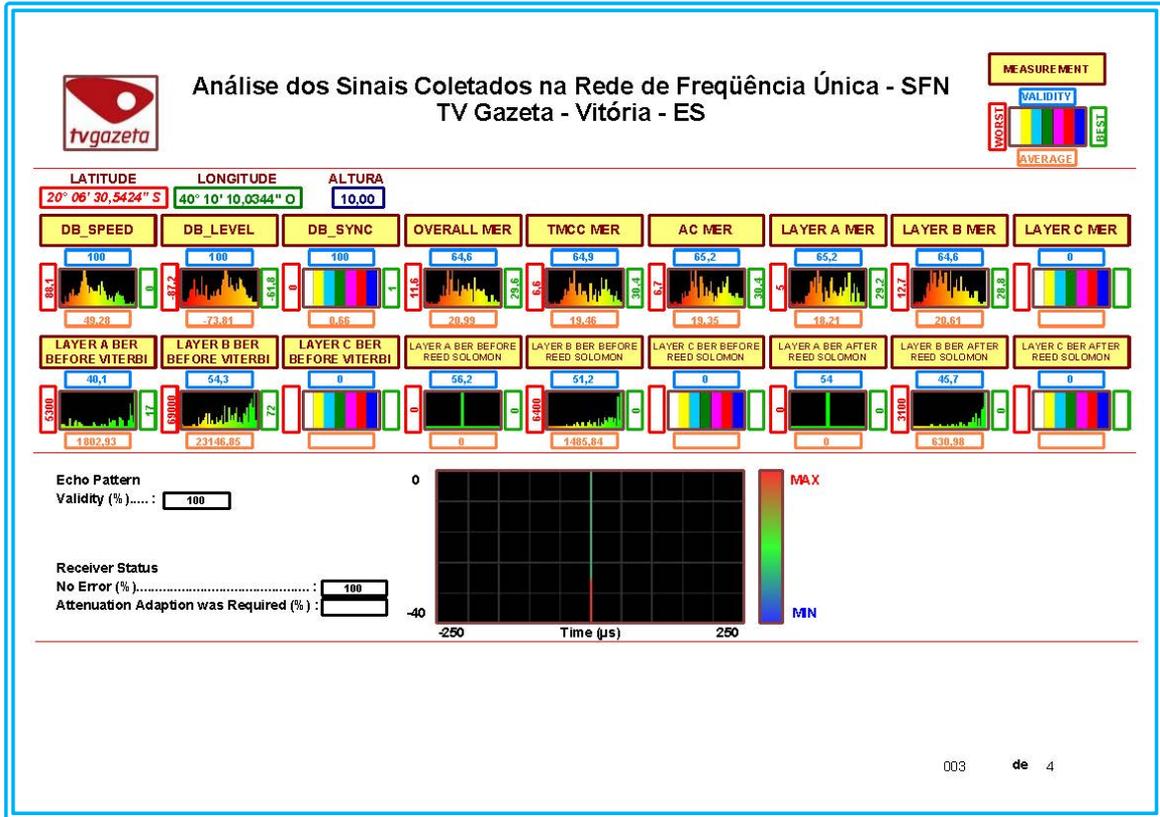


Figura 147 - Página relatório referente a coordenada P3 (20° 06' 30,5424" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria

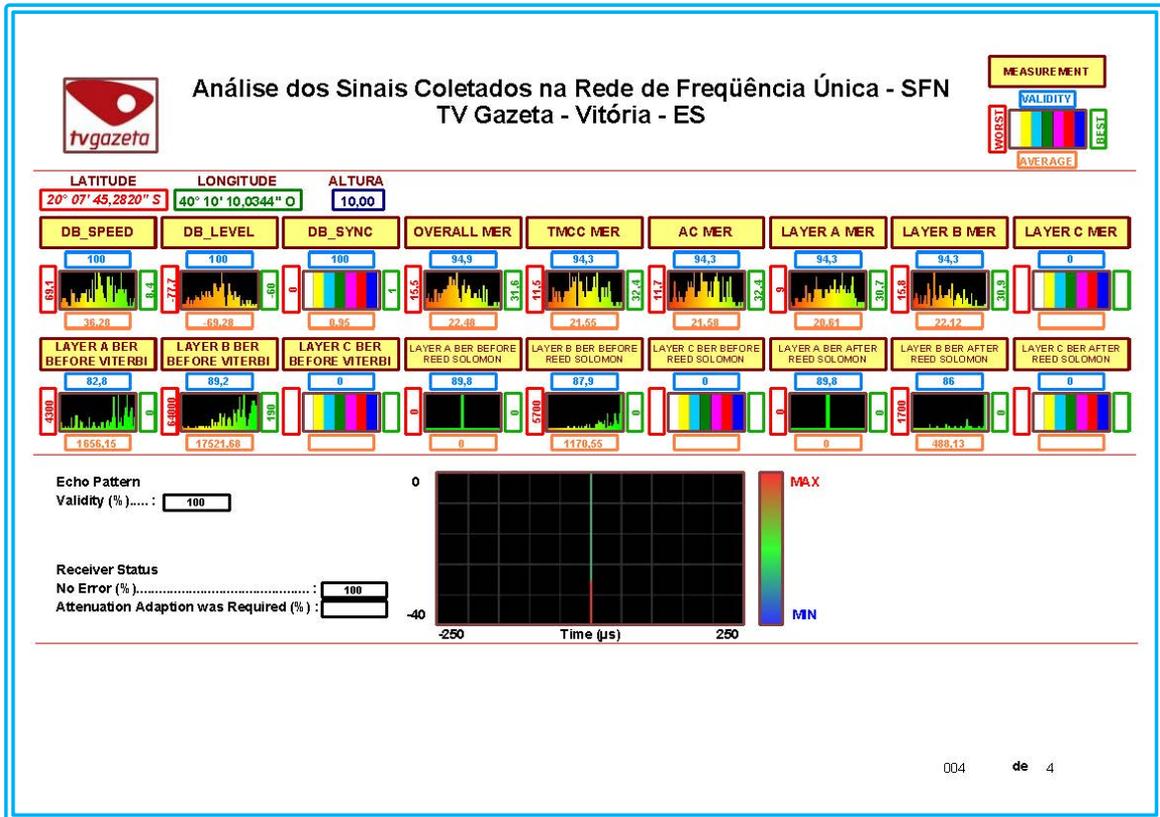


Figura 148 - Página relatório referente a coordenada P4 (20° 07' 45,2820" S;40° 10' 10,0344" O)
 Fonte: Autoria Própria

Na figura seguinte, página inicial do relatório emitido com todas as coordenadas obtidas nas medições, para cada longitude, com a variação das latitudes possíveis obtidas para cada longitude.



TV Gazeta - Vitória - ES

Rede de Freqüência Única - SFN

Coordenadas dos Pontos - LON-LAT

LAT	LON	LAT	LON	LAT	LON	LAT	LON	LAT	LON	LAT	LON
00001	40° 10' 10,0344" O	20° 06' 37,2600" S	10	20° 06' 26,7480" S	01	20° 04' 32,3076" S	01	20° 04' 36,6852" S	04	00025	40° 10' 32,7324" O
20° 04' 01,0704" S	01	20° 06' 37,8432" S	11	20° 06' 27,3312" S	02	20° 04' 32,8908" S	02	20° 04' 37,2684" S	05	20° 04' 29,3880" S	01
20° 05' 15,8064" S	02	20° 06' 38,4264" S	12	20° 06' 27,9180" S	03	20° 04' 33,4740" S	03	20° 04' 37,8516" S	06	20° 04' 29,9712" S	02
20° 06' 30,5424" S	03	20° 06' 39,0096" S	13	20° 06' 28,5012" S	04	20° 04' 34,0572" S	04	20° 04' 38,4348" S	07	20° 04' 30,5544" S	03
20° 07' 45,2820" S	04	20° 06' 39,5928" S	14	20° 06' 29,0844" S	05	20° 04' 34,6404" S	05	20° 06' 18,2808" S	08	20° 04' 40,4796" S	04
00002	40° 10' 19,3848" O	20° 06' 40,1796" S	15	20° 06' 29,6680" S	06	20° 04' 35,2232" S	06	20° 06' 18,8640" S	09	20° 04' 41,0664" S	05
20° 06' 21,2004" S	01	20° 06' 40,7628" S	16	20° 06' 30,2512" S	07	20° 04' 35,8064" S	07	20° 06' 19,4472" S	10	20° 04' 41,6496" S	06
20° 06' 39,8844" S	02	20° 06' 41,3460" S	17	00014	40° 10' 29,3124" O	20° 04' 36,3896" S	08	20° 06' 20,0304" S	11	20° 04' 42,2328" S	07
00003	40° 10' 24,3600" O	20° 06' 41,9292" S	18	20° 06' 25,2900" S	01	20° 06' 22,6620" S	09	20° 06' 20,6136" S	12	20° 06' 08,6472" S	08
20° 06' 25,8732" S	01	00008	40° 10' 27,4476" O	20° 06' 26,4564" S	02	20° 06' 23,2452" S	10	20° 06' 21,1968" S	13	20° 06' 09,2304" S	09
20° 06' 35,2152" S	02	20° 06' 23,5368" S	01	20° 06' 27,6228" S	03	20° 06' 23,8284" S	11	20° 06' 21,7800" S	14	20° 06' 09,8172" S	10
20° 06' 44,5572" S	03	20° 06' 24,1200" S	02	20° 06' 28,2064" S	02	20° 06' 24,4116" S	12	20° 06' 22,3632" S	15	20° 06' 10,4004" S	11
00004	40° 10' 26,2020" O	20° 06' 32,8788" S	03	20° 06' 28,7896" S	03	20° 06' 24,9948" S	13	20° 06' 22,9464" S	16	20° 06' 10,9836" S	12
20° 06' 31,7124" S	01	20° 06' 33,4620" S	04	20° 06' 29,3732" S	04	20° 06' 25,5784" S	14	20° 06' 23,5296" S	17	20° 06' 11,5668" S	13
20° 06' 34,0488" S	02	20° 06' 42,2208" S	05	00015	40° 10' 29,6220" O	20° 06' 26,1616" S	15	20° 06' 24,1128" S	18	20° 06' 12,1500" S	14
20° 06' 36,3816" S	03	20° 06' 42,8040" S	06	20° 06' 26,7452" S	01	00020	40° 10' 31,1772" O	20° 06' 24,6952" S	19	20° 06' 12,7332" S	15
20° 06' 38,7180" S	04	00009	40° 10' 27,7572" O	20° 06' 27,3284" S	02	20° 04' 30,2628" S	01	20° 06' 25,2784" S	20	20° 06' 13,3164" S	16
20° 06' 41,0544" S	05	20° 06' 30,2508" S	01	20° 06' 27,9116" S	03	20° 04' 30,8464" S	02	20° 06' 25,8616" S	21	20° 06' 13,9032" S	17
00005	40° 10' 26,5152" O	20° 06' 30,8340" S	02	20° 06' 28,4952" S	04	20° 04' 31,4300" S	03	20° 06' 26,4448" S	22	20° 06' 14,4864" S	18
20° 06' 34,3404" S	01	20° 06' 41,9292" S	03	20° 06' 29,0784" S	05	20° 04' 32,0136" S	04	20° 06' 27,0280" S	23	20° 06' 15,0696" S	19
20° 06' 34,9236" S	02	20° 06' 42,5124" S	04	20° 06' 29,6616" S	06	20° 04' 32,5972" S	05	20° 06' 27,6112" S	24	20° 06' 15,6528" S	20
20° 06' 35,5068" S	03	20° 06' 43,0956" S	05	20° 06' 30,2448" S	07	20° 04' 33,1808" S	06	20° 06' 28,1944" S	25	20° 06' 16,2360" S	21
20° 06' 36,0900" S	04	20° 06' 43,6788" S	06	00016	40° 10' 29,9352" O	20° 06' 20,0340" S	07	20° 06' 28,7776" S	26	20° 06' 16,8192" S	22
20° 06' 36,6732" S	05	00010	40° 10' 28,0668" O	20° 04' 19,7544" S	01	20° 06' 20,6172" S	08	20° 06' 29,3608" S	27	20° 06' 17,4024" S	23
20° 06' 37,2564" S	06	20° 06' 28,6500" S	01	20° 04' 57,1224" S	02	20° 06' 21,2004" S	09	20° 06' 29,9440" S	28	20° 06' 17,9856" S	24
20° 06' 38,4264" S	07	20° 06' 29,2332" S	02	20° 05' 34,4904" S	03	20° 06' 21,7836" S	10	20° 06' 30,5272" S	29	20° 06' 18,5688" S	25
20° 06' 39,0096" S	08	20° 06' 31,1292" S	03	20° 06' 11,8584" S	04	20° 06' 22,3668" S	11	20° 06' 31,1104" S	30	20° 06' 19,1520" S	26
00006	40° 10' 26,8248" O	20° 06' 41,6376" S	04	20° 06' 49,2264" S	05	20° 06' 22,9500" S	12	20° 06' 31,6936" S	31	20° 06' 19,7352" S	27
20° 06' 31,1292" S	01	20° 06' 42,8040" S	05	20° 07' 26,5980" S	06	00021	40° 10' 31,4904" O	20° 04' 40,7748" S	04	00026	40° 10' 33,0456" O
20° 06' 32,2956" S	02	20° 06' 43,9740" S	06	00017	40° 10' 30,2448" O	20° 04' 31,1376" S	01	20° 04' 41,3580" S	05	20° 04' 29,6796" S	01
20° 06' 33,4620" S	03	20° 06' 45,1404" S	07	20° 06' 23,8284" S	01	20° 04' 31,7212" S	02	20° 04' 41,9412" S	06	20° 04' 30,2628" S	02
20° 06' 34,6320" S	04	00011	40° 10' 28,3800" O	20° 06' 24,4116" S	02	20° 04' 32,3064" S	03	20° 05' 13,4700" S	07	20° 04' 40,1880" S	03
20° 06' 35,7984" S	05	20° 06' 29,5012" S	01	20° 06' 25,5816" S	03	20° 04' 32,8900" S	04	20° 05' 14,0532" S	08	20° 04' 40,7712" S	04
20° 06' 36,9648" S	06	20° 06' 29,0844" S	02	20° 06' 48,3516" S	04	20° 04' 33,4736" S	05	20° 05' 14,6364" S	09	20° 04' 41,3544" S	05
20° 06' 38,1348" S	07	20° 06' 29,6676" S	03	20° 06' 48,9348" S	05	20° 04' 34,0572" S	06	20° 05' 15,2196" S	10	20° 04' 41,9376" S	06
20° 06' 39,3012" S	08	20° 06' 43,6824" S	04	00018	40° 10' 30,5580" O	20° 04' 34,6404" S	07	20° 05' 15,8028" S	11	20° 04' 42,5208" S	07
20° 06' 40,4712" S	09	20° 06' 44,2656" S	05	20° 04' 32,0160" S	01	20° 06' 20,3256" S	08	20° 05' 16,3860" S	12	20° 05' 59,5968" S	08
20° 06' 41,6376" S	10	20° 06' 44,8488" S	06	20° 04' 33,1824" S	02	20° 06' 20,9088" S	09	20° 05' 16,9692" S	13	20° 06' 00,7668" S	09
00007	40° 10' 27,1344" O	00012	40° 10' 28,6896" O	20° 04' 34,3488" S	03	20° 06' 21,4920" S	10	20° 06' 17,5524" S	14	20° 06' 01,3500" S	10
20° 06' 31,4208" S	01	20° 06' 24,7032" S	01	20° 04' 35,5188" S	04	20° 06' 22,0752" S	11	20° 06' 18,1356" S	15	20° 06' 01,9332" S	11
20° 06' 32,0040" S	02	20° 06' 25,2864" S	02	20° 04' 36,6888" S	05	20° 06' 22,6584" S	12	20° 06' 18,7188" S	16	20° 06' 02,5164" S	12
20° 06' 32,5872" S	03	20° 06' 25,8696" S	03	20° 06' 22,9536" S	06	20° 06' 23,2416" S	13	20° 06' 19,3020" S	17	20° 06' 03,0996" S	13
20° 06' 33,1704" S	04	20° 06' 26,4528" S	04	20° 06' 23,5368" S	07	20° 06' 23,8248" S	14	20° 06' 19,8852" S	18	20° 06' 03,6828" S	14
20° 06' 33,7536" S	05	20° 06' 41,0544" S	05	20° 06' 24,1200" S	08	20° 06' 24,4080" S	15	20° 06' 20,4684" S	19	20° 06' 04,2660" S	15
20° 06' 34,3404" S	06	20° 06' 43,9908" S	06	20° 06' 25,2900" S	09	20° 06' 24,9912" S	16	20° 06' 21,0516" S	20	20° 06' 04,8492" S	16
20° 06' 34,9236" S	07	20° 06' 45,7236" S	07	20° 06' 48,6432" S	08	00022	40° 10' 31,8000" O	20° 06' 21,6348" S	21	20° 06' 05,4324" S	17
20° 06' 35,5068" S	08	20° 06' 46,3068" S	08	20° 06' 49,2264" S	09	20° 04' 29,6796" S	01	20° 06' 22,2180" S	22	20° 06' 06,0156" S	18
20° 06' 36,0900" S	09	00013	40° 10' 29,0028" O	00019	40° 10' 30,8676" O	20° 04' 30,2628" S	02	20° 06' 22,8012" S	23	20° 06' 06,5988" S	19
20° 06' 36,6732" S	09	20° 06' 46,8896" S	09	20° 04' 30,8464" S	03	20° 04' 30,8464" S	03	20° 07' 00,9048" S	24	20° 06' 07,1820" S	20

Figura 149 - Relatório latitudes agrupadas por longitudes
Fonte: Autoria Própria

7 CONCLUSÕES

Após concluídos os estudos, projeto implantado, medições em campo realizadas, ajustes feitos, obteve-se a funcionalidade esperada do sistema. Uma *Single Frequency Network (SFN)* apresenta melhor distribuição do sinal de cobertura, tanto para o *Full-seg* como *One-seg*.

Não menos importante é a racionalização do consumo de energia. Uma rede com apenas um transmissor centralizando a transmissão, necessita potência elevada para cobrir áreas mais distantes. Esta situação, além do consumo, coloca no ar potência maior que a necessária junto ao transmissor.

Fica no sincronismo de rede e interferências espúrias no *GPS* das estações o detalhe mais crítico a ser observado. Tempos de propagação e atraso gerado no enlace para transmissão do sinal BTS, quando mal considerados leva a rede a falhas graves. O máximo atraso permitido e o intervalo de guarda projetados são fundamentais.

Cabe ressaltar que os softwares de predição oferecem grande contribuição ao projeto mas podem apresentar algumas divergências no momento da ativação da rede.

Apesar dos *sites* transmissores de uma rede *SFN* serem acessados remotamente pela rede para ajustes, faz-se necessário uma equipe constituída por profissionais com bom embasamento técnico e operacional, tanto do mecanismo de transmissão bem como da forma como os dados e sincronismos viajam pela rede.

8 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros é bem vinda a possibilidade de projetar, implantar, medir e observar a funcionalidade de uma *Single Frequency Network (SFN)* aplicada à Frequência Modulada (FM).

São também interessantes estudos mais avançados no sentido de aperfeiçoar os softwares de predição em relação comportamentos da geomorfologia e dos diversos tipos de edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A HISTÓRIA, **A História da Televisão – Invenção**, Disponível em : <<http://www.ahistoria.com.br/televisao-invencao>> Acesso em: 05 jun 2015.
- ABNT NBR 15601, **Televisão Digital Terrestre – Sistema de Transmissão ISDB-T**, ABNT, 2007.
- ABREU K., SILVA R., **História e Tecnologias da Televisão**, 2012 Disponível em : <<http://www.bocc.ubi.pt>> Acesso em: 05 jun 2015.
- ANTEBOLICAS, **História da TV**, Disponível em : <<http://www.antebolicas.com/seccao.php?s=historia>> Acesso em: 08 jun 2015.
- ARCIR BENTO JÚNIOR, **Hipérbole Excentricidade**, Disponível em : <<https://www.youtube.com/watch?v=f6UYQRe1kcw>> Acesso em: 05 jun 2015.
- ARIB ASSOCIATION OF RADIO INDUSTRIES AND BUSINESSES, **Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting**, Arib Standard, Disponível em: <<http://www.arib.or.jp/english/index.html>> Acesso em: 11 out 2015.
- ASSIS, M. S. , **Introdução à Propagação das Ondas Radioelétricas**, IECOM, out 2012.
- ASSIS, M. S.; LUIZ, A. V. P. **Contribuição Ao Estudo Da Difração por Irregularidades do Terreno nas Faixas VHF e UHF**, Revista da Radiodifusão, Jul 2013.
- BEDICKS J., G. **Sintonizador-Demodulador para o Sistema Brasileiro de Tv Digital**, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-26092008-101922/pt-br.php>> Acesso em: 08 jul 2015.
- BORDA, M. **Fundamentals in Information Theory and Coding**, Springer, 2011.
- BRAGA, N. C. **Conceitos De Modulação Digital**, 2008 Disponível em: <<http://newtoncbraga.com.br/index.php/telecom-artigos/5018-tel048.html>> Acesso em: 05 abr 2015.
- CARVALHO A., BADINHAN L., HORTA E., **Eletrônica – Telecomunicações**, Fundação Padre Anchieta, 2011.
- CHANG, R. W., **Synthesis of Band-limited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission**. Bell Systems Technology Journal, New York, 1966.
- CLARKE, C. K. P., **Reed-Solomon Error Correction**. British Broadcasting Corporation Research & Development, London, 2002.
- COLORIZE MEDIA, **História da Televisão**, Disponível em : <<http://www.colorizemedia.com>> Acesso em: 06 jun 2015.

DE RERUM NATURA, Disponível em : <<http://dererummundi.blogspot.com.br>> Acesso em: 08 jun 2015.

DEE PUC-RIO OBJETOS EDUCACIONAIS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, Guilherme Penello Temporão, **Convolução Discreta**, Disponível em : <<http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21581/introducao.html>> Acesso em: 06 jun 2015.

DECRETO 5.820, **Implantação do SBTVD-T; Diretrizes para a Transição do Sistema de Analógico para Digital e outras Providências**. Brasília, jun 2006.

FELICE, F. **Análise do Desempenho de Enlaces Ponto-a-Ponto Utilizando a Faixa de Frequência não Licenciada de 2,4GHz em Tecnologia Spread Spectrum**. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/3133/1/Disserta%C3%A7%C3%A3oFernandoFelice.pdf>> Acesso em: 15 jun 2015.

FERREIRA, M. T. **Detecção da Sincronização de Fase em Sistemas Caóticos por Meio da Transformada Wavelet Complexa Dual-Tree**, INPE, São José dos Campos, 2014 Disponível em: Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/06.10.12.28/doc/publicacao.pdf?ibiurl.language=pt-BR>> Acesso em: 11 out 2015.

FLEMING, C **A Tutorial on Convolutional Coding with Viterbi Decoding**, 2011. Disponível em: <<http://home.netcom.com/~chip.f/viterbi/tutorial.html>> Acesso em: 10 jun 2015.

GENI, **Adriano de Paiva de Faria Leite Brand**, Disponível em: <<https://www.geni.com/people/Adriano-de-Paiva-de-Faria-Leite-Brand%C3%A3o/6000000027935061739>> Acesso em: 10 jun 2015.

GGTE-UNICAMP, **Propagação de Ondas e Antenas** Disponível em: <<http://www.ggte.unicamp.br/ggte>> Acesso em: 05 jun 2015.

HISTÓRIAS COM HISTÓRIA, **Adriano Paiva**, Disponível em: <<http://historiaschistoria.blogspot.com.br/2015/02/adriano-de-paiva.html>> Acesso em: 07/06/2015.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em : <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 08 jun 2015.

IEEE XPLORE DIGITAL LIBRARY, **Single Frequency Networks in DTV**, Disponível em : < <http://ieeexplore.ieee.org/document/1542378>> Acesso em: 07 jun 2015.

JEITA HANDBOOK, **Methods of Measurement for Digital Terrestrial Broadcasting Transmission Network**, 2006.

- KIOSHINI, A.; AKAMINE, C. **Técnicas de Estimação de Canal para o Sistema ISDB-T**, Revista de Radiodifusão Vol 03 nº 03, 2009.
- LIMA V., MACHADO L., BARCIA F., **Redes de Frequência Única**, SET abril 2013.
- LEE, YONG-TAE, **A Design of equalization Digital On-Channel repeater for Single Frequency Network ATSC System**, IEEE, 2007.
- MASPRO, Top Japanese Brand in Tv Receiving Equipmentweb Disponível em : <http://www.maspro.co.jp/en/corp_info/catalog.html>. Acesso em: 06 jun 2015.
- MINASSIAN, ARA A. **Plano Básico de Distribuição de Canais Digitais ANATEL**, 2005.
- MATTSSON, A. **Single Frequency Network in DTV**, IEEE, 2006.
- MAY, G.; UNGER, P. **A New Approach for Transmitting Local Content within Digital Single Frequency Broadcast Networks**, IEEE, 2007.
- MASAYUKI TAKADA, M.; SAITO, M. **Transmission System For ISDB-T**, Proceedings of The IEEE, Vol. 94, Jan 2006 Disponível em: <<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo352/Experiencia%20TVD%20web/PaperTVD.pdf>. > Acesso em: 12 jul 2015.
- MAXWELL, **Sistemas SFN**, Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20538/20538_4.PDF> Acesso em: 12 mar 2015.
- MOON K., STIRLING W., **Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing**, Prentice Hall, 1999.
- NATIONAL INSTRUMENTS, **OFDM and Multi-Channel Communication System**, 2007. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3740>> Acesso em: 06 jun 2015.
- NOVAES, C. D. **Reforçadores Auxiliares em São Paulo e Região Metropolitana**, SET 2012.
- NOVAES, C.; YAMADA, F. **Distribuição de Sinais para o Sistema Brasileiro de Tv Digital**, Revista de Radiodifusão Vol. 03 nº 03, 2009.
- O BARICENTRO DA MENTE, **A Equação da Hipérbole**, Disponível em : <<http://obaricentrodamente.blogspot.com.br/2011/05/equacao-da-hiperbole.html>> Acesso em: 06 jun 2015.
- PIRES M., **Princípios de Telecomunicações**, Disponível em: <<http://www.ele.ita.br/~fpires/EE05.htm>> Acesso em: 06 jun 2015.
- PROGIRA, Progira Software, Disponível em: <<http://www.progira.com/>> Acesso em: 06 jun 2015.

RADIO-ELETRONICS, Poole I., **Tutorial OFDM Synchronization**, Disponível em: <<http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ofdm/synchronization-timing-frequency.php>> Acesso em 10 jun 2015.

RIBEIRO, J. B. **Telecomunicações**, 2º Volume, Rio de Janeiro, 2013.

RIBEIRO R., **Códigos de Reed-Solomon**, Disponível em: <<pt.slideshare.net/RodrigoMagalhes/seminrio-reed-solomon>> Acesso em 10 jun 2015.

RICNY, V. **Single Frequency Networks in Terrestrial Broadcasting**, Radioengineering, Vol. 16 n° 4, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228923275_Single_Frequency_Networks_SFN_in_Digital_Terrestrial_Broadcasting> Acesso em: 11 jul 2015.

SANCHES, C. A., **Projetando Redes WLAN**, São Paulo : Erica, 2007.

SANTOS P.; LUZ C., **História da Televisão: do Analógico ao Digital**, Inovcom, Vol. 04 n° 01, 2013.

SARMENTO CAMPOS, **Padre Roberto Landell de Moura** Disponível em: <http://www.sarmiento.eng.br/Padre_Roberto_Landell_de_Moura.htm> Acesso em 10 jun 2015.

TELECO, Laska M., **Tutorial Rádio Enlace : Estudo de Caso de Dimensionamento Empregando Geociências**, Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrenlace1/default.asp>> Acesso em 10 jun 2015.

TELECO, Fernandes L., **Tutorial Redes Ópticas** Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfec/pagina_1.asp> Acesso em 10 jun 2015.

TELECO, Carvalho A., **Tutorial Entrelaçadores Temporais para Sistemas de Transmissão**, Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvdentr1/default.asp>> Acesso em 10 jun 2015.

TELECO, Akamine C.; Sukys F., **Tutorial TV Digital**, Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialtvd/default.asp>> Acesso em 10 jun 2015.

TOME T., **Tecnologias Digitais em Radiodifusão - Aspectos Tecnológicos e Potencialidades do Uso**, 2007.

TUDO SOBRE, **História da TV** Disponível em: <<http://www.tudosobretv.com.br/histortv>> Acesso em: 10 jun 2015.

VARELLA, M. **Portugal nas Origens Históricas da Televisão**, Casa do Pessoal da Radiotelevisão Portuguesa, 1981.

ROHDE & SCHWARZ, Disponível em: <https://www.rohde-schwarz.com/br/pagina-inicial_48230.html> Acesso em: 21/10/15.

SILVA E., MIRANDA M. D. **A Transmissão Digital com Múltiplas Portadoras**, Cadernos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Mackenzie, São Paulo, 2003

Disponível em: <http://www.mackenzie.com.br/fileadmin/Pos_Graduacao/Mestrado/Engenharia_Eletrica/volume_III/05.pdf> Acesso em: 21/10/15.

SKLAR, B. **Digital Communications Fundamentals and Applications**, Prentice Hall, jan 2001.

SÓ FÍSICA, **Surgimento da Televisão** Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/HistoriaDaFisica/surgimentodatelevisao.php>> Acesso em: 06 jun 2015.

TRANSTEL CONTI, Disponível em: <<http://www.transtelconti.com.br/downloads>> Acesso em: 06 jun 2015.

YAMADA, F.; NOVAES, C. D.; BEDICKS, G. **A Eficiência da Rede de Frequência Única na Tv Digital**, Revista Ciência e Tecnologia Jan/Dez 2009.

YNOG, C. A. **Processamento Digital de Sinais Convulsão**, Disponível em: <<http://www.inatel.br/docentes/ynoguti/downloads-arquivos/dsp-s886637-1>> Acesso em: 11 out 2015.