



Serviço Público Federal

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR  
INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO

---

## NOTA TÉCNICA

---

**Número: Ditel/02/2011**

**Referência: Medições de Campo do Sistema DRM30 (*Digital Radio Mondiale*) na Faixa de Ondas Médias em São Paulo com a Rádio Cultura AM**

---



## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DRM30.....</b>	<b>16</b>
2.1. DESEMPENHO DO SERVIÇO DIGITAL .....	16
2.1.1. AVALIAÇÃO DA COBERTURA E ROBUSTEZ DO SINAL DIGITAL DRM30.....	16
2.1.2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁUDIO DRM30 .....	17
2.2. TESTES DE COMPATIBILIDADE COM SINAIS ANALÓGICOS .....	17
<b>3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS SISTEMAS .....</b>	<b>18</b>
3.1. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	18
3.1.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA TRANSMISSÃO .....	18
3.2. SISTEMA DE RECEPÇÃO .....	24
3.3. PARÂMETROS E PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO.....	26
<b>4. MEDIÇÕES DA RÁDIO CULTURA AM.....</b>	<b>29</b>
4.1. ESPECIFICAÇÕES DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA.....	29
4.2. DESCRIÇÃO DAS ROTAS DE MEDIÇÕES .....	29
4.3. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DIURNAS EM PONTOS FIXOS .....	32
4.3.1. VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS DIURNOS .....	33
4.3.2. VALIDAÇÃO DAS MEDIÇÕES.....	33
4.3.3. DADOS DE MEDIÇÕES DIURNAS.....	36
4.3.4. COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO MEDIDO E A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO PREDITO .....	38
4.3.5. AVALIAÇÃO SUBJETIVA DO ÁUDIO ANALÓGICO .....	40
4.3.6. AVALIAÇÃO SUBJETIVA DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTORES COMERCIAIS .....	44
4.3.7. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO PARA RECEPÇÃO DIGITAL.....	47
4.3.8. ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL DIURNO MEDIDO .....	49
4.3.9. COMPARAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA DIGITAL COM A ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA ANALÓGICO.....	57
4.3.10. CONCLUSÕES SOBRE RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DIURNAS DA RÁDIO CULTURA .....	65
4.4. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NOTURNAS EM PONTOS FIXOS DA RÁDIO CULTURA .....	68
4.4.1. VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS NOTURNOS .....	68
4.4.2. VALIDAÇÃO DAS MEDIÇÕES.....	69
4.4.3. DADOS DE MEDIÇÕES NOTURNAS.....	71
4.4.4. COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO MEDIDO E A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO PREDITO .....	72
4.4.5. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO PARA RECEPÇÃO DIGITAL.....	75
4.4.6. ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL NOTURNO MEDIDO .....	78
4.4.7. COMPARAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SISTEMA DIGITAL COM A COBERTURA DO SISTEMA ANALÓGICO.....	83
4.4.8. CONCLUSÕES SOBRE RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NOTURNAS DA RÁDIO CULTURA .....	90
4.5. TESTES DE COMPATIBILIDADE COM SINAIS ANALÓGICOS .....	92
4.5.1. IMPACTO NA RECEPÇÃO DO SINAL ANALÓGICO AM HOSPEDEIRO .....	92
4.5.2. IMPACTO DO SINAL DRM30 NA RECEPÇÃO AM DOS CANAIS ADJACENTES.....	93
4.5.3. CONCLUSÕES SOBRE TESTES DE COMPATIBILIDADE COM SINAIS ANALÓGICOS .....	97
4.6. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE.....	98
4.6.1. CONCLUSÕES DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE .....	102

ANEXO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SISTEMA DRM .....	I
I.1 – HISTÓRICO .....	I
I.2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	V
ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES DO LABORATÓRIO MÓVEL DE TELECOMUNICAÇÕES DO INMETRO .....	VIII
ANEXO III – DETALHAMENTO DAS ROTAS DE MEDIÇÃO DA RÁDIO CULTURA .....	X
ANEXO IV – ANÁLISES DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE DOS TESTES DO DRM30/RÁDIO CULTURA .....	XIX
ANEXO V – GRÁFICOS DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE DOS TESTES DE CAMPO DO DRM30/RÁDIO CULTURA .....	XX
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	XXI



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da estação transmissora da Fundação Padre Anchieta .....	18
Tabela 2- Configuração DRM30 utilizada na transmissão Rádio Cultura AM, período diurno.	23
Tabela 3- Configuração DRM30 utilizada na transmissão Rádio Cultura AM, período noturno	23
Tabela 4 – Características do <i>setup</i> de medição.....	25
Tabela 5 – Parâmetros de medição dos testes DRM30 na Rádio Cultura AM.....	27
Tabela 6 – Descrição das rotas de teste.....	30
Tabela 7 – Descritivo dos dados das medições da Rádio Cultura AM .....	31
Tabela 8 – Medições descartadas .....	33
Tabela 9 – Parâmetro de entrada do modelo de predição de intensidade de campo .....	35
Tabela 10 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM.....	37
Tabela 11- Medições diurnas de pontos fixos em 64QAM.....	38
Tabela 12 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Rec. UIT-R BS 1284 .....	40
Tabela 13 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho .....	40
Tabela 14 – Distribuição das notas do áudio analógico AM diurno medido da Rádio Cultura ..	41
Tabela 15 – Condição de recepção AM medida sobre as radiais .....	43
Tabela 16 – Comparação de SNR medido com o requerido pela UIT-R BS.1615 .....	48
Tabela 17 – Detalhamento de pontos 16QAM diurnos onde $AQ < 98\%$ , Rádio Cultura .....	50
Tabela 18 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 16QAM .....	52
Tabela 19 – Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 16QAM .....	52
Tabela 20- Detalhamento de pontos diurnos 64QAM onde $AQ < 98\%$ , Rádio Cultura .....	54
Tabela 21 - Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 64QAM.....	56
Tabela 22 - Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 64QAM.....	56
Tabela 23-Comparação entre o sinal digital 16QAM e o sinal analógico.....	58
Tabela 24 – Consolidação da comparação da cobertura digital 16QAM com analógica.....	61
Tabela 25- Comparação entre o sinal digital 64QAM e o sinal analógico.....	62
Tabela 26 - Consolidação da comparação da cobertura digital 64QAM com a analógica.....	65
Tabela 27-Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM.....	71

Tabela 28- Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM.....	71
Tabela 29 – Distribuição de notas dadas ao áudio analog. AM noturno medido Rádio Cultura	74
Tabela 30 - Comparação de SNR medido noturno com o requerido pela UIT-R BS.1615 .....	77
Tabela 31 - Detalhamento de pontos 16QAM noturnos onde $AQ < 98\%$ (Rádio Cultura) .....	79
Tabela 32 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas noturnas 16QAM .....	80
Tabela 33 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 16QAM.....	80
Tabela 34- Detalhamento de pontos 64QAM noturnos onde $AQ < 98\%$ , Rádio Cultura .....	82
Tabela 35 - Resultados gerais de qualidade de áudio de medições fixas noturnas 64QAM .....	83
Tabela 36 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 64QAM.....	83
Tabela 37 - Comparação do sinal digital noturno 16QAM e sinal analógico .....	84
Tabela 38 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 16QAM com analógica	86
Tabela 39 - Comparação do sinal digital noturno 64QAM e sinal analógico .....	87
Tabela 40 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 64QAM com analógica	89
Tabela 41 - Avaliação do impacto do sinal DRM30 no sinal AM hospedeiro.....	92
Tabela 42 – Características técnicas da estação em canal adjacente à Radio Cultura.....	93
Tabela 43 – Medições da estação de Sorocaba (1210 kHz) interferida pelo sinal DRM .....	95
Tabela 44 – Resultados das medições 16QAM diurnas em movimento .....	99
Tabela 45 – Resultados das medições 64QAM diurnas em movimento .....	100
Tabela 46 - Resultados das medições 16QAM noturnas em movimento.....	100
Tabela 47 - Resultados das medições 64QAM noturnas em movimento.....	100
Tabela 48 – Resumo dos SNR limiares diurnos e noturnos .....	101
Tabela 49 – Cobertura digital.....	101
Tabela 50 – Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 16QAM.....	X
Tabela 51 - Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 64QAM .....	XI
Tabela 52 - Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 16QAM .....	XII
Tabela 53 - Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 64QAM .....	XII

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estação transmissora da Rádio Cultura AM .....	19
Figura 2 – Processador de áudio analógico Orban (esq); modulador e servidor de conteúdo DIGIDIA (dir) .....	19
Figura 3 – Transmissor Harris 3DX-50 (esq). Detalhe do painel de controle (dir).....	19
Figura 4 – Base da torre e casa de sintonia .....	20
Figura 5 - Torres.....	20
Figura 6- Possibilidades de configuração <i>simulcast</i> para testes, sem shaping .....	21
Figura 7 – Configuração <i>simulcast</i> utilizada nos testes, com shaping .....	21
Figura 8- Espectro do sinal híbrido da Rádio Cultura AM .....	22
Figura 9 - Configuração da estação após a instalação do excitador DRM30 .....	22
Figura 10 – Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro .....	24
Figura 11 - Diagrama esquemático do setup de recepção .....	25
Figura 12 - Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22, NKS AC-125 respectivamente .....	26
Figura 13 - Localização da antena transmissora da Rádio Cultura AM de São Paulo .....	29
Figura 14 – Mapa das rotas de medição .....	30
Figura 15 – Pontos para medições estáticas diurnas da Rádio Cultura AM.....	32
Figura 16 – Localização dos pontos iniciais das rotas radiais.....	34
Figura 17 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo .....	35
Figura 18 – Medições diurnas em pontos fixos até 3.5 km, 16QAM (esq) e 64QAM (dir).....	36
Figura 19 – Medições diurnas do sinal AM durante medições 16QAM.....	39
Figura 20 – Medições diurnas do sinal AM durante medições 64QAM.....	40
Figura 21 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio Cultura.....	41
Figura 22 – Mapa com avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio Cultura .	41
Figura 23 – Registros do áudio analógico AM diurno nas radiais (Rádio Cultura) .....	43
Figura 24 – Diagrama representativo da recepção AM medida sobre as radiais .....	43
Figura 25 – Avaliação de áudio com receptor comercial Himalaya, para 16QAM .....	45
Figura 26 – Avaliação de áudio com receptor comercial Himalaya, para 64QAM .....	45

Figura 27-Avaliação de áudio comercial do Himalaya, 64QAM, por rota radial .....	46
Figura 28 – Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições diurnas .....	47
Figura 29 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições diurnas.....	48
Figura 30 – Classificação das medidas em 16QAM conforme parâmetro AQ .....	49
Figura 31 – Campo diurno versus distância para 16QAM, em função da AQ.....	50
Figura 32-Medições em 16QAM de C1P4, Rádio Cultura .....	51
Figura 33-Medições em 16QAM de C5P4, Rádio Cultura .....	51
Figura 34-Medições em 16QAM de R5P3, Rádio Cultura .....	51
Figura 35 - Classificação das medidas diurnas em 64QAM conforme parâmetro AQ .....	53
Figura 36 - Campo diurno versus distância para 64QAM, em função da AQ .....	53
Figura 37 – Medições em 64QAM de R1P2, Rádio Cultura.....	54
Figura 38-Medições em 64QAM de C5P2, Rádio Cultura .....	54
Figura 39-Medições em 64QAM de C5P3, Rádio Cultura .....	55
Figura 40-Medições em 64QAM de C5P4, Rádio Cultura .....	55
Figura 41-Medições em 64QAM de R5P3, Rádio Cultura .....	55
Figura 42 - Medições em 64QAM de R6P5, Rádio Cultura .....	56
Figura 43 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM e sinal analógico .....	58
Figura 44 – Visualização de recepção analógica boa e de recepção digital boa 16QAM.....	59
Figura 45 – Visualização de recepção analog. boa e de recepção digital boa ou ruim 16QAM .	59
Figura 46 – Visualização de recepção analógica ruim e de recepção digital 16QAM boa .....	60
Figura 47 – Mapa da comparação entre sinal digital 64QAM e sinal analógico.....	62
Figura 48 – Visualização de recepção analógica boa e de digital boa 64QAM .....	63
Figura 49 - Pontos com recepção analógica boa com digital 64QAM boa ou ruim.....	63
Figura 50 - Pontos com recepção analógica ruim com digital 64QAM boa .....	64
Figura 51- Pontos para medições noturnas em pontos fixos da Radio Cultura.....	68
Figura 52-Localização dos pontos iniciais das rotas radiais noturnas.....	69
Figura 53-Medições noturnas em pontos fixos até 5 km; 16QAM (esq) e 64QAM (dir) .....	70
Figura 54 – Registro do analisador de espectro no ponto R9P1 .....	70
Figura 55 – Medições noturnas do sinal AM durante medições noturnas em 16QAM .....	72

Figura 56 – Medições noturnas do sinal AM durante medições noturnas em 64QAM .....	73
Figura 57-Avaliação subjetiva do áudio analógico AM noturno medido da Rádio Cultura .....	73
Figura 58 – Mapa da avaliação subjetiva áudio analógico AM noturno .....	74
Figura 59-Registros de áudio analógico AM noturno nas radias (Rádio Cultura) .....	74
Figura 60 – Trecho do percurso entre ponto R8P4 e transmissor da Rádio Cultura .....	75
Figura 61 - Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições noturnas.....	76
Figura 62 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições noturnas.....	76
Figura 63- Classificação das medidas noturnas em 16QAM conforme parâmetro AQ .....	78
Figura 64 – Campo noturno versus distância para 16QAM, em função da AQ.....	78
Figura 65 - Medições noturnas em 16QAM de R7P2, Rádio Cultura.....	79
Figura 66 – Registros do espectro em R7P2, 16QAM: analógico (esq), <i>simulcast</i> (dir) .....	79
Figura 67 - Medições noturnas em 16QAM de R7P3, Rádio Cultura.....	80
Figura 68- Classificação das medidas noturnas em 64QAM conforme parâmetro AQ .....	81
Figura 69 – Campo noturno versus distância para 64QAM, em função da AQ.....	81
Figura 70 - Medições noturnas em 64QAM de R8P3, Rádio Cultura.....	82
Figura 71 - Medições noturnas em 64QAM de R8P4, Rádio Cultura.....	82
Figura 72 - Medições noturnas em 64QAM de R9P4, Rádio Cultura.....	83
Figura 73 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM noturno e sinal analog. noturno ..	84
Figura 74 - Pontos com recepção analógica noturna boa ou digital 16QAM noturna boa.....	85
Figura 75 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 16QAM noturna boa ou ruim	85
Figura 76 - Pontos com recepção analógica noturna ruim ou digital 16QAM noturna boa.....	86
Figura 77 - Mapa da comparação entre sinal dig. 64QAM noturno e sinal analógico noturno ..	87
Figura 78 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 64QAM noturna boa .....	88
Figura 79 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 64QAM noturna boa ou ruim	88
Figura 80 - Pontos com recepção analog. noturna ruim ou digital 64QAM noturna boa .....	89
Figura 81 – Situação espectral com sinal DRM30 desligado (esq) e ligado (dir) em R1P1 .....	92
Figura 82 – Situação espectral com sinal DRM30 desligado (esq) e ligado (dir) em R1P2 .....	93
Figura 83 – Máscara espectral do sinal AM da Rádio Cultura.....	93
Figura 84 – Registro do analisador de espectro da medição em R3P1 .....	94



Figura 85 - Registro do analisador de espectro da medição em R5P1 .....	94
Figura 86 – Resultados de medição da estação de Sorocaba interferida pelo sinal DRM30 .....	95
Figura 87 – Situação espectral no ponto PI1 .....	96
Figura 88 – Situação espectral no ponto R4P7.....	96
Figura 89 – Situação espectral no ponto R4P6.....	96
Figura 90 – Situação espectral no ponto R4P5.....	97
Figura 91 – Situação espectral no ponto R4P4.....	97
Figura 92 – Mapa com as rotas de teste da Rádio Cultura AM.....	98

## Apresentação

O Ministério das Comunicações publicou no Diário Oficial da União o Aviso de Chamamento Público nº 1/2009, em 22 de maio de 2009, com o objetivo de efetuar testes e avaliações com sistemas de radiodifusão sonora digital, visando a futura decisão para a escolha do Padrão de Rádio Digital a ser adotado no País.

A Portaria Nº 290 de 30 de março de 2010, promulgada pelo Ministério das Comunicações, criou o Sistema Brasileiro de Rádio Digital – SBRD, autorizando as emissoras AM e FM a realizarem testes para avaliar o desempenho dos sistemas radiodifusão digitais e a compatibilidade com os sistemas analógicos existentes.

O Consórcio DRM-Digital Radio Mondiale, a partir do Chamamento Público, apresentou os sistemas de Rádio Digital DRM30 e DRM+ para testes no Brasil. Os testes iniciaram-se e estão sendo realizados através do esforço conjunto e cooperação entre diversas entidades como o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), o INCT-CSF (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações sem Fio), composto pela UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), UFPA (Universidade Federal do Pará), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) e CETUC (Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC/Rio), criando uma equipe de trabalho composta por diversos profissionais, sob coordenação do Ministério das Comunicações, por meio da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com apoio da Anatel.

O presente trabalho apresenta os testes do sistema DRM30 com a emissora de radiodifusão sonora da Fundação Padre Anchieta – Centro Paulista de Rádio e TV Educativa (Rádio Cultura AM de São Paulo) realizado em São Paulo. A transmissão híbrida da Rádio Cultura AM foi realizada por um período de quatro semanas, entre as datas de 12 de janeiro de 2010 e 28 de fevereiro de 2010, nos quais foram realizados testes diurnos e noturnos.

Para a realização dos testes foi instalado um módulo excitador DRM30 na estação da Rádio Cultura AM de São Paulo, que transmitiu durante a campanha de medições um sinal híbrido constituído de um sinal analógico AM e de um sinal digital DRM30, ambos transportando o mesmo programa radiofônico.

A realização desses testes foi autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) por meio do Ato Nº 129, de 06 de janeiro de 2010, sob a classificação de Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais

Este documento tem como objetivo apresentar os resultados dos testes e oferecer a fundamentação técnica de futuros trabalhos para apoio a elaboração de Normas e Regulamentos dos Serviços de Radiodifusão.



## **Coordenação dos trabalhos**

GPET/DEAA-SCE

## **Entidades executantes**

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial  
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia - CSF

## **Equipe de engenheiros e técnicos do MC que participaram dos testes**

Engenheiros e técnicos do DEAA  
Engenheiros do DEOC / RadCom  
Engenheiros das DRMC-RJ / DRMC-SP / DRMC-MG / DRMC-SC

## **Equipe de engenheiros e técnicos do Inmetro que participaram dos testes**

Augusto Pereira da Soledade  
Jaci Rodrigues Nascimento Junior  
João Afonso Cal Braz  
Mauro Vieira de Lima  
Vinicius Rangel Duarte Carneiro  
Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos

## **Equipe de engenheiros e técnicos da Rádio Cultura que participaram dos testes**

Eng. Sebastiao Eduardo D. Alves  
Eng. Jose Carlos Moreno  
Eng. Bernardo  
Eng. Alexandre Dias Gomez Tauhata  
Eng. Cassio Jorge  
Eng. Francisco Sérgio Husni Ribeiro  
Eng. Edson Geraldo Benedito  
Eng. José Chaves Felipe de Oliveira  
Eng. Marcos Krisp de Lucena

## **Locais dos testes**

São Paulo – SP

## **Emissoras envolvidas**

Fundação Padre Anchieta – SP

## **Instituições de Ensino e Pesquisa envolvidas**

Universidade de Brasília - UnB  
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN  
Universidade Federal do Pará – UFPA  
Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC / Rio  
Universidade Nacional Autónoma do México UNAM  
Hannover University  
University of Kaiserslautern  
Bilbao University  
Fraunhofer Institut - FhG

## **Entidades internacionais parceiras**

BBC – Empresa inglesa  
RFMondial – Empresa alemã  
Digidia – Empresa francesa  
TDF (Tele Diffusion de France) – Empresa francesa



Nutel – Empresa canadense  
Thomson – Empresa francesa  
RTP (Radio e Televisão de Portugal) – Empresa portuguesa  
Deutsche Welle – Empresa alemã  
VT Group – Empresa inglesa  
Harris Corporation

### **Responsáveis pela análise dos dados:**

**Flávio Ferreira Lima**, PhD (Ministério das Comunicações): Doutor em Radiodifusão Digital, Propagação, Eletromagnetismo, Processamento de Sinais e Sistemas de Telecomunicações.

**José Maria Matias**, PhD (Universidade Nacional Autónoma do México UNAM): Doutor em Radiodifusão Digital e Propagação.

**Cássio Gonçalves do Rego**, PhD (UFMG): Doutor em Eletromagnetismo Aplicado

**Ronaldo de Andrade Martins**, PhD (UFRN): Doutor em Propagação, Eletromagnetismo e Comunicações Móveis.

**Luiz A. R. da Silva Mello**, PhD (CETUC/PUC-Rio): Doutor em Sistemas de Telecomunicações.

**Rodolfo Saboia Lima de Souza**, PhD (Inmetro): Doutor em Sistemas de Telecomunicações.

**Marta Pudwell Chaves de Almeida**, PhD (Inmetro): Doutora em Eletromagnetismo Aplicado.

**Rodrigo Pereira David**, MSc (Inmetro): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de Telecomunicações.



## Sumário Executivo

Os testes do sistema DRM30 em ondas médias feitos em São Paulo foram realizados pelo Inmetro com apoio do Ministério das Comunicações, da Anatel, da Fundação Padre Anchieta e do Consórcio DRM. Este documento apresenta os resultados dos testes para avaliação do sistema DRM30 instalado na estação transmissora da Fundação Padre Anchieta (Rádio Cultura AM de São Paulo) em transmissão *simulcast*.

O objetivo dos testes foi conhecer a operação do sistema DRM30 na faixa de ondas médias em cidades brasileiras, tendo como início a cidade São Paulo, SP. As medições foram realizadas em localidades com características distintas de ocupação do terreno, desde locais com ocupação densamente urbana até localidades rurais. A unidade móvel do Inmetro percorreu as rotas planejadas, realizando o registro das medições na situação de movimento e em pontos fixos pré-determinados.

O trabalho de análise dos dados foi realizado para as medições estáticas e em mobilidade, tendo sido obtidas conclusões a respeito da cobertura analógica e digital, e do desempenho do sistema digital através dos limiares de intensidade de campo, relação sinal-ruído e qualidade de áudio.

Para a interpretação adequada dos resultados dos testes do sistema digital foi necessário efetuar a estimativa da cobertura analógica da estação AM (Rádio Cultura AM) através de medições. A verificação do sistema AM foi realizada com o procedimento de avaliação subjetiva do áudio analógico gravado, com testes informais baseados na Recomendação UIT-R 1284 [24]. As classificações utilizadas foram “Recepção Boa” para áudio com presença de ruído imperceptível a leve, “Recepção Pobre” para áudio descrito como “incômodo” pelos ouvintes, onde a informação se torna ininteligível, e “Recepção Ruim”, na qual ocorre somente ruído.

Uma vez que foram realizadas medições ao longo de rotas, a cobertura analógica diurna foi avaliada sobre radiais orientadas conforme as direções dos pontos cardeais e tendo como referência o local do transmissor. A distância em cada radial até o último ponto com “Recepção Boa” variou entre 3 e 12 km, havendo uma radial (leste) onde esta situação ocorreu em local a 25 km e outro local a 33 km do transmissor. Uma das rotas circulares apresentou “Recepção Boa” em região a 15 km do transmissor. No entanto, verificou-se que ao longo das distâncias apresentadas houve local com “Recepção Pobre” próximo ao transmissor, a cerca de 4 km. As distâncias obtidas para “Recepção Pobre” variaram entre 13 km e 30 km sobre as radiais, havendo pontos com “Recepção Ruim” a 14, 15 e 24 km do transmissor.

Dentre os 58 (100%) pontos com registro analógico, 19 (33%) foram classificados como “Recepção Boa”, 15 (26%) foram classificados como “Recepção Pobre” e 24 (41%) como “Recepção Ruim”. A situação registrada sugere que há regiões de sombra, com recepção crítica, vizinhas a regiões onde a recepção é melhor, caracterizando uma cobertura intermitente, ainda que as intensidades de campo tenham atendido o valor do contorno diurno teórico de 2 mV/m, que ocorre a 31,7 km conforme modelo de predição de intensidade de campo elétrico da Anatel. Os limiares de intensidade de campo elétrico obtidos na situação de “Recepção Boa” estão na faixa de 75 a 80 dB $\mu$ V/m e na situação de “Recepção Ruim” estão na faixa de 64 a 75 dB $\mu$ V/m.

Para os testes noturnos a cobertura analógica com “Recepção Boa” atingiu 24,3 km (radial leste), tendo ponto com “Recepção Ruim” antes desta distância, e até 10 km (radial oeste e sul). Dos 17 pontos medidos, obteve-se 53% com “Recepção Boa”, 6% com “Recepção Pobre” e



41% com “Recepção Ruim”. Em relação às intensidades de campo elétrico registradas, a maior distância sobre a Rota 7 com “Recepção Boa”, que ocorreu a 24,3 km, teve intensidade de campo elétrico de 72 dB $\mu$ V/m. Todos os valores medidos até 30 km estiveram acima de 66 dB $\mu$ V/m, embora o áudio tenha sido classificado como “Recepção Ruim” entre 10 km e 20 km, em distâncias próximas ao transmissor. Também na cobertura noturna foram identificadas regiões de sombra vizinhas a regiões onde a recepção é melhor, ainda que as intensidades de campo tenham atendido o valor do contorno noturno teórico.

O áudio digital gravado com receptores DRM30 comerciais, acessíveis ao grande público, também foi verificado através da avaliação subjetiva baseada na Recomendação UIT-R 1284 [24]. As observações resultantes desta avaliação indicaram a extensão da área de cobertura 16QAM até aproximadamente 20 km do transmissor, e também em 64QAM, havendo neste caso pontos com “Recepção Ruim” a partir de 15 km. Na transmissão com a modulação 64QAM, menos robusta, percebe-se a maior sensibilidade do sinal ao ambiente de propagação, pois medições em pontos a distâncias similares apresentam as duas condições de recepção (“Recepção Boa” e “Recepção Ruim”).

Embora as medições de intensidade de campo elétrico analógico diurno tenham apresentado comportamento que segue a tendência do modelo de predição da Anatel, foram observadas variações dos valores medidos em torno do modelo. Estas variações ocorreram em virtude do modelo de predição de intensidade de campo elétrico da Anatel não considerar a presença de prédios e do perfil do terreno, e também devido ao uso de valor fixo de condutividade do solo no modelo de predição na região de São Paulo onde ocorreram as medições. Este valor é oriundo do mapa atual de condutividade do solo. Na prática este parâmetro varia ao longo da região conforme o tipo de solo e sua ocupação.

As medições de intensidade de campo analógico noturno seguem a tendência do modelo de predição da Anatel, e as diferenças observadas entre valores medidos e teóricos devem-se ao fato do modelo não considerar a presença de prédios e irregularidades do perfil do terreno no cálculo, e ao uso de valor fixo de condutividade do solo.

Nos testes noturnos houve o registro da presença dos sinais interferentes de estações AM, conforme demonstrado nas medições com analisador de espectro em toda a faixa medida. O sinal interferente adicionou-se aos valores medidos de campo. A situação registrada sugere que as estações AM não estão utilizando a potência noturna de transmissão, que é inferior à diurna, conforme exigido pela norma da Anatel.

A avaliação da recepção digital envolveu a obtenção do limiar da relação sinal-ruído, que constitui parâmetro de operação do sistema, relacionado ao atendimento à taxa de bits errados requerida. Foram obtidos os limiares em dois modos de transmissão para as situações diurna e noturna. Os limiares diurnos ficaram acima dos requisitos da Recomendação UIT-R BS.1615 [25], a qual estabelece parâmetros de planejamento de sistemas de radiodifusão digital em frequências abaixo de 30MHz. Estes resultados indicam que o ruído gerado pelo homem (*man made noise*) na cidade de São Paulo não é considerado no cálculo da UIT para obtenção do limiar de relação sinal ruído, que considera apenas o ruído térmico do receptor, tendo sido necessário nos testes um valor de relação sinal ruído maior que o da UIT para atendimento ao requisito da taxa de bits errados necessária ao funcionamento do sistema.



Os limiares de relação sinal ruído noturnos ficaram ligeiramente superiores aos requisitos da UIT. Estes valores contemplaram a interferência de outras estações AM, além do ruído noturno feito pelo homem (inferior ao diurno). A similaridade com os limiares diurnos parece sugerir que o comportamento do canal noturno foi parecido com o diurno, pois foi menos seletivo do que o esperado.

A cobertura do sistema digital foi verificada em função do limiar de intensidade de campo e do parâmetro qualidade de áudio (AQ). Os limiares de intensidade de campo foram aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m (Modo 16QAM Diurno), aproximadamente 63 dB $\mu$ V/m (Modo 64QAM Diurno), aproximadamente 66 dB $\mu$ V/m (Modo 16QAM Noturno) e aproximadamente 73,8 dB $\mu$ V/m (Modo 64QAM Noturno). Estes valores caracterizam o ambiente dos locais testados em São Paulo, e particularmente à noite foram registrados níveis de interferência no canal DRM30. Os limiares de campo noturnos ficaram maiores que os diurnos devido à contribuição dos sinais interferentes de outras estações AM. Em uma situação de ausência destes sinais os limiares seriam menores.

A cobertura digital é caracterizada nos locais onde o parâmetro AQ é igual ou superior a 98%. Este parâmetro representa o percentual de pacotes de áudio decodificados corretamente dentro do total de pacotes recebidos em um ponto fixo. Os ouvintes não percebem degradações no áudio reproduzido quando este percentual é atendido, e valores de AQ abaixo deste percentual representam trechos de silêncio e distorções no áudio. A cobertura digital no modo 16QAM diurno atingiu 24,5 km, com atendimento a 89% dos pontos medidos até esta distância. Considerando um raio de 15 km em torno do transmissor, o atendimento foi de 96%. No modo 64QAM diurno a distância atingida foi de 23 km, com 79% dos pontos atendidos até esta distância. Para o raio de 15 km, 90% dos pontos tiveram cobertura digital. Diferentemente da cobertura analógica, caracterizada por regiões de sombra, foi observado que a cobertura digital diurna testada ocorre sem falhas até as distâncias apresentadas. Para o caso noturno, a cobertura digital atingiu 18 km no modo 16QAM, com atendimento a 92% dos pontos medidos até esta distância, e dentro do raio de 15 km a cobertura atendeu 100% dos pontos medidos. No modo 64QAM a cobertura digital atingiu 10,3 km, com atendimento de 90% dos pontos medidos até esta distância.

A cobertura digital no caso 16QAM diurno pode ser um pouco mais extensa do que a distância apresentada de 24,5 km. Os registros de AQ das medições em mobilidade mostraram pontos com “Recepção Boa” em 2,5 km além de 24,5 km sobre a rota radial R2. No caso 64QAM noturno foram registrados pontos com “Recepção Boa” até cerca de 20 km sobre rota radial R9.

Foram verificados os locais nos quais ocorreu a recepção digital degradada nas medições de 16QAM e 64QAM, dentro das distâncias obtidas respectivamente de 24,5 km e 23 km. A degradação ocorreu provavelmente devido ao movimento de veículos, à proximidade de linhas de alta tensão, e quando os locais estavam próximos a ambientes com vegetação densa, a estruturas de concreto e estruturas metálicas. Houve um caso de verificação de forte interferência no momento da medição que degradou o sinal recebido.

Na comparação pontual das coberturas analógica e digital diurna na região dentro do contorno protegido teórico (31,7 km) obteve-se para o modo 16QAM diurno o valor de 81% de pontos atendidos pela cobertura digital, enquanto que a analógica atendeu 43%. No modo 64QAM



diurno, dentro do contorno protegido, foram atendidos pela cobertura digital 65% dos pontos, e a cobertura analógica atendeu 49% dos pontos medidos.

Comparando-se os limiares de intensidade de campo, os limiares diurnos dos sinais digitais obtidos são cerca de 12 a 15 dB inferiores aos limiares do sistema AM no caso de “Recepção Boa”, conforme esperado para sistema digitais.

Na comparação pontual das coberturas analógica e digital noturna na região dentro do contorno protegido teórico (22,3 km) obteve-se para o modo 16QAM diurno o valor de 85% de pontos atendidos pela cobertura digital, enquanto que a analógica atendeu 62%. No modo 64QAM diurno foram atendidos pela cobertura digital 46% dos pontos, e a cobertura analógica atendeu 62% dos pontos medidos.

Nos períodos diurno e noturno verificou-se maior robustez na transmissão 16QAM, conforme esperado.

As medições em mobilidade apresentaram resultados da relação-sinal ruído compatíveis com os resultados obtidos de qualidade de áudio ao longo das rotas percorridas.

Os testes realizados em São Paulo utilizaram a técnica de *spectral shaping*, que consiste na redução da potência digital para evitar interferência do sinal DRM30 no AM, na composição do sinal *simulcast*. O sinal digital teve sua potência de transmissão ajustada para 12 dB abaixo da potência do sinal analógico, e mesmo assim apresentou percentual maior de pontos com recepção digital boa do que com recepção analógica boa dentro da área de medição.

Em relação aos testes de compatibilidade com sinais analógicos existentes, foi verificado que a presença do sinal DRM30 não causou impacto no sinal AM hospedeiro da Rádio Cultura. A outra avaliação refere-se ao impacto do sinal DRM30 nos sinais AM existentes na região operando no mesmo canal e nos canais adjacentes (em relação ao analógico). Há uma única estação operando no 1º canal adjacente, em 1210 kHz, a estação Rádio Emissora Vanguarda Ltda, de Sorocaba, SP, distante 75,42 km da estação da Rádio Cultura. Para esta avaliação verificou-se primeiramente que o sinal DRM30 estava contido na máscara de proteção do AM analógico. As medições de interferência mostraram que a razão de proteção entre o sinal de Sorocaba e o sinal DRM30 não está sendo atendida, e isto deve-se provavelmente à baixa potência do sinal daquela estação, e não à interferência do sinal DRM30, uma vez que ele está dentro da máscara da Rádio Cultura AM.

Rio de Janeiro, 18 de janeiro de 2012

**Rodolfo Saboia Lima de Souza**

Chefe de Divisão de Metrologia em Telecomunicações  
Dimci – Ditel  
Inmetro





## 1. Introdução

Este documento apresenta os resultados dos testes realizados em São Paulo (SP) com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM30) de radiodifusão sonora digital [1-3] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão abaixo de 30 MHz.

Os testes foram realizados em conjunto com emissora de radiodifusão sonora em ondas médias (designação para a faixa de radiofrequências compreendida entre 300 kHz e 3000 kHz), Radio Cultura AM.

A estrutura do documento é definida da seguinte maneira: o Capítulo 2 aborda os critérios de avaliação dos sistemas DRM30, no Capítulo 3 é feita a descrição da montagem dos sistemas de transmissão e recepção, bem como da metodologia empregada nas medições e na descrição dos dados coletados. O Capítulo 4 descreve o detalhamento das medições com suas rotas de medição, os resultados obtidos e conclusões. Os anexos contêm uma revisão bibliográfica do sistema DRM30, com apresentação dos testes realizados em outros países e a evolução do sistema; a descrição das características técnicas com especificações dos modos de transmissão OFDM, modulações e taxas de codificação; o detalhamento e mapas das rotas e os resultados processados que nortearam as conclusões deste trabalho.

## 2. Critérios de avaliação do sistema DRM30

Nesta Seção são descritas metodologias aplicadas com o objetivo de verificar a robustez do sinal digital, incluindo a determinação da área de cobertura e a medição da qualidade do áudio digital.

O sistema DRM30 foi avaliado em dois aspectos:

- Desempenho do serviço digital: verificação da robustez do sinal digital, determinação da sua área de cobertura e a qualidade do áudio digital;
- Compatibilidade do sinal digital DRM30 com os sinais analógicos AM existentes: avaliação da interferência mútua entre o sinal digital e os sinais analógicos AM existentes, incluindo aquele que hospeda o sinal digital.

### 2.1. Desempenho do serviço digital

#### 2.1.1. Avaliação da cobertura e robustez do sinal digital DRM30

A área de cobertura de um sinal digital de radiodifusão é determinada por um contorno com valor fixo de intensidade de campo elétrico. Nesta área a recepção do sinal ocorre sem perdas ou interrupções perceptíveis. Para obtenção da área de cobertura e realização dos testes do sistema o procedimento adotado é a escolha de um conjunto de rotas tendo como referência a estação AM, nas quais desloca-se a unidade móvel contendo o sistema de medição e processamento.

As rotas são de dois tipos:

- Rotas radiais: avaliação do alcance do sinal digital ou os limites da área de cobertura;



- Rotas circulares: avaliação da homogeneidade da cobertura do sinal digital e sua robustez em relação a fatores e elementos degradantes da recepção tais como ruído, túneis, linhas de alta tensão e linhas de ônibus elétricos.

Ao longo de cada rota são realizadas medidas em movimento e medidas estáticas. Durante o percurso de cada rota foi feita continuamente o registro da medida da intensidade do campo elétrico do sinal DRM30 e o processamento desse sinal para avaliar a qualidade da recepção. Visando comparar o desempenho do sistema para ambas situações, o mesmo procedimento é adotado para as medidas estáticas, executadas em determinados pontos fixos ao longo de cada rota.

### 2.1.2. Avaliação da Qualidade de Áudio DRM30

A qualidade do sinal digital entregue aos ouvintes pelo sistema DRM30 depende da qualidade do áudio que é transmitido e da fidelidade com que esse áudio é reproduzido pelo receptor. A qualidade do áudio transmitido depende da taxa de bits de transmissão disponível. Com uma banda de 10 kHz e com os modos de transmissão testados espera-se que essa qualidade seja no mínimo equivalente àquela propiciada atualmente pela radiodifusão sonora em FM.

A fidelidade com que o áudio transmitido é reproduzido pelo receptor profissional será avaliada de forma objetiva por meio de um parâmetro denominado  $AQ$ , que é definido em termos percentuais da seguinte forma:

$$AQ = \frac{\text{Número de quadros de áudio decodificados corretamente}}{\text{Número total de quadros transmitidos}} \times 100\%$$

Os ouvintes geralmente não percebem degradações no áudio reproduzido se o valor de  $AQ$  é superior a 98%. Para valores de  $AQ$  abaixo deste limiar são percebidos trechos de silêncio e distorções no áudio.

Quando se tratar de avaliação subjetiva de áudio (em receptores DRM30 comerciais), esta será feita com testes informais baseados nos critérios estabelecidos na Recomendação ITU-R BS.1284.

## 2.2. Testes de compatibilidade com sinais analógicos

A avaliação da interferência do sinal digital DRM30 nos sinais analógicos AM existentes é realizada para percepção da degradação causada na recepção analógica. A degradação depende do receptor analógico utilizado, particularmente da sua banda passante e da seletividade. Os testes avaliam o impacto no sinal analógico que hospeda o sinal digital em transmissão *simulcast*, denominado de “hospedeiro”. O procedimento envolve a verificação da qualidade do áudio nas situações em que o sinal DRM30 está sendo transmitido (ligado) e quando está desligado.

O impacto nas estações analógicas existentes próximas à localidade dos testes que operam no 1º e no 2º canais adjacentes é avaliado. Deve-se ressaltar que o canal de referência é o canal AM, e considerando que o sinal digital DRM30 é inserido na máscara do sinal AM da Radio Cultura, ele é adjacente ao canal hospedeiro. Desta forma, a frequência do sinal digital é a mesma do 1º canal adjacente, o qual está sujeito a uma interferência co-canal.



### 3. Características técnicas dos sistemas

Nesta Seção apresenta-se a composição dos sistemas de transmissão e recepção. A respeito do sistema de transmissão, além da apresentação de sua estrutura é também descrita a formação do sinal híbrido *simulcast*. Compõem a descrição do sistema de recepção, a apresentação da unidade móvel e os equipamentos envolvidos na captação do sinal DRM30 e no processamento dos dados.

#### 3.1. Sistema de Transmissão

##### 3.1.1. Características técnicas da transmissão

A transmissão foi realizada por meio da estação de ondas médias da Fundação Padre Anchieta em Guarapiranga, SP. Os dados da estação e do excitador DRM30 que foi instalado na estação da Rádio Cultura para geração do sinal híbrido são apresentados na Tabela 1. A Figura 1 até Figura 5 apresentam detalhes da estação de transmissão.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS OPERACIONAIS
<b>FREQUENCIA</b> : 1200 kHz <b>CLASSE</b> : B <b>CAMPO CARACTERÍSTICO</b> : E = 315 mV/m <b>POTÊNCIA DIURNA</b> : 50 kW / <b>POTÊNCIA NOTURNA</b> : 20 kW
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA
<b>ENDEREÇO</b> : Avenida Robert Kennedy s/nº, Bairro Nova Guarapiranga, São Paulo, SP <b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b> : 23°40'37.16"S / 46°42'53.84"W <b>DATUM</b> : WGS 84
TRANSMISSOR
<b>FABRICANTE</b> : Harris Corporation <b>MODELO</b> : 3DX-50 <b>POTÊNCIA NOMINAL</b> : 100 kW (O transmissor possui dois amplificadores acoplados de 50 kW. Para a realização dos testes apenas um foi utilizado) <b>POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES (diurna / noturna)</b> : 50/20 kW
EXCITADOR
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>SERVIDOR DE CONTEÚDO</b>: <b>FABRICANTE</b>: Digidia / <b>MODELO</b>: Alto</li><li>• <b>MODULADOR</b>: <b>FABRICANTE</b>: Digidia / <b>MODELO</b>: Soprano</li></ul>
PROCESSADOR DE ÁUDIO ANALÓGICO
<b>FABRICANTE</b> : ORBAN / <b>MODELO</b> : 9100 B
SISTEMA RADIANTE
<b>DIAGRAMA DE RADIAÇÃO</b> : Omnidirecional. <b>TIPO</b> : Antena monopolo vertical, 2 torres. Nos testes uma torre estava ativa <b>ALTURA</b> : 70 metros <b>RAZÃO DE ONDA ESTACIONÁRIA</b> : f=1,0049; f+5 kHz=1,0749; f+10 kHz=1,1647; f+15 kHz=1,26; f-5 kHz=1,0796; f-10 kHz=1,1501; f-15 kHz=1,2216 <b>DADOS DO DIRETIVO do PBOM</b> : F2= 0,55; Az2=174; S2=90; PSI2=178
LINHA DE TRANSMISSÃO
<b>FABRICANTE</b> : RF Systems Radio Frequency Systems <b>MODELO</b> : HCA 4 1/8" <b>DIÂMETRO</b> : 4 1/8" <b>COMPRIMENTO</b> : 235 m <b>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA</b> : 50 Ohm <b>ATENUAÇÃO</b> : 0,03 dB/100 m
SINAL DIGITAL DRM30
<b>FREQUENCIA</b> : 1210kHz <b>POTÊNCIA DIGITAL DIURNA</b> : 3.15 kW / <b>POTÊNCIA DIGITAL NOTURNA</b> : 1.26 kW <b>RELAÇÃO DE POTÊNCIA AM/DRM30</b> : 12 dB Uso de técnica "Spectral Shaping" <b>BIT-RATE</b> : entre 14.5 kbps and 26.5 kbps, dependendo do modo DRM30

Tabela 1 – Características técnicas da estação transmissora da Fundação Padre Anchieta





Figura 1 – Estação transmissora da Rádio Cultura AM



Figura 2 – Processador de áudio analógico Orban (esq); modulador e servidor de conteúdo DIGIDIA (dir)



Figura 3 – Transmissor Harris 3DX-50 (esq). Detalhe do painel de controle (dir)



Figura 4 – Base da torre e casa de sintonia



Figura 5 - Torres

A modalidade de transmissão utilizada é denominada *simulcast*, na qual é transmitido um sinal híbrido que contém um sinal analógico AM e um sinal digital DRM30, ambos portando a mesma programação sonora. A transmissão *simulcast* é obtida com a instalação de excitador DRM30 junto ao transmissor da estação sob teste. O sinal híbrido transmitido pode ter uma das configurações espectrais mostradas na Figura 6.

A largura espectral do sinal digital DRM30 escolhida foi de 10 kHz e o sinal foi transmitido na faixa de frequência adjacente superior àquela ocupada pelo sinal analógico AM, conforme apresentado na Figura 7. A escolha dessa largura espectral deveu-se primeiramente ao fato de se considerar que essa é a largura de um canal AM no Brasil e, portanto, o sinal digital DRM30 ocupou o canal adjacente àquela ocupado pelo sinal analógico AM da emissora. Um sinal digital DRM30 com largura espectral de 20 kHz teria a vantagem de disponibilizar uma capacidade de transmissão muito maior, contudo, é provável que muitos transmissores e sistemas radiantes em uso atualmente não tenham uma resposta de frequência larga o bastante para permitir uma transmissão híbrida com um sinal digital DRM30 de 20 kHz. Por último, a adição de um sinal digital DRM30 de 20 kHz a um sinal analógico AM existente poderá causar interferência inaceitável na recepção do sinal analógico AM de uma emissora que utiliza o segundo canal adjacente àquela da emissora que está transmitindo o sinal DRM30.

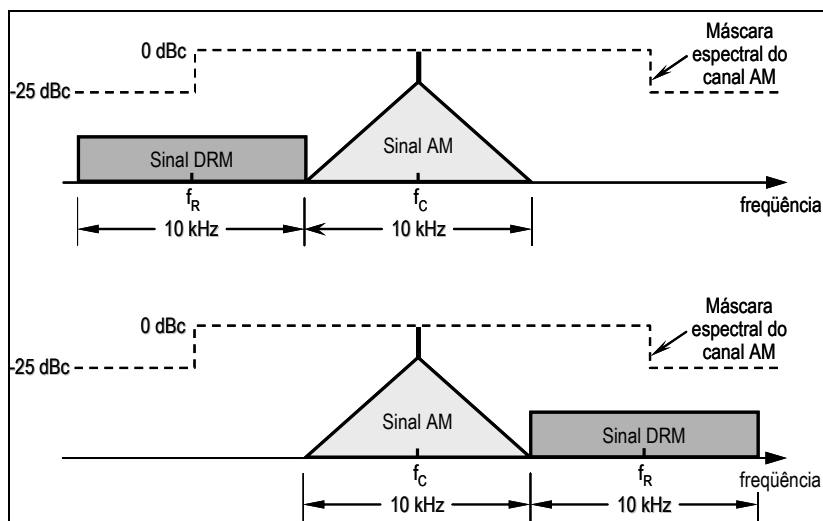


Figura 6- Possibilidades de configuração *simulcast* para testes, sem shaping

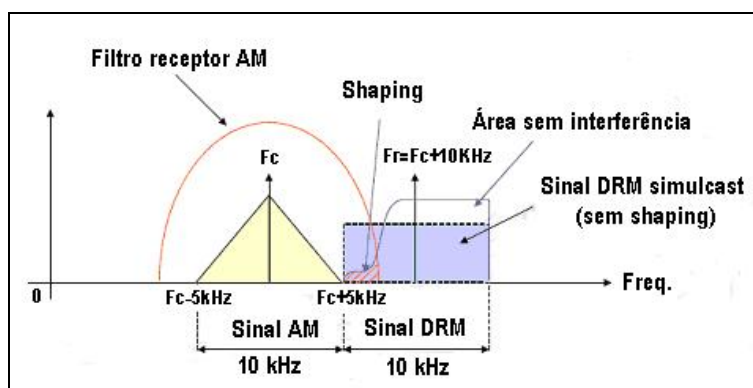


Figura 7 – Configuração *simulcast* utilizada nos testes, com shaping

Utilizando configuração como apresentada na Figura 6 a potência do sinal digital DRM30 será aproximadamente 16 dB menor que a potência da portadora do sinal analógico AM. Da forma proposta na Figura 7, esta relação é de 12 dB, utilizando a técnica de *spectral shaping*. Esta técnica reduz a intensidade do sinal DRM30 na vizinhança do sinal AM para causar menos interferência nos receptores AM. Embora o sinal DRM30 seja degradado em 2dB, isto permite a redução da razão de proteção para 12 dB. Essas relações propiciam um compromisso satisfatório entre a cobertura do sinal digital DRM30 e a degradação que ele causa na recepção do sinal analógico AM hospedeiro. Com esse nível de potência, o sinal híbrido fica contido dentro da máscara espectral que especifica, em função da frequência, os limites para as emissões de uma estação AM [5].

A Figura 8 apresenta o espectro medido no ponto de monitoração da estação da Rádio Cultura AM.

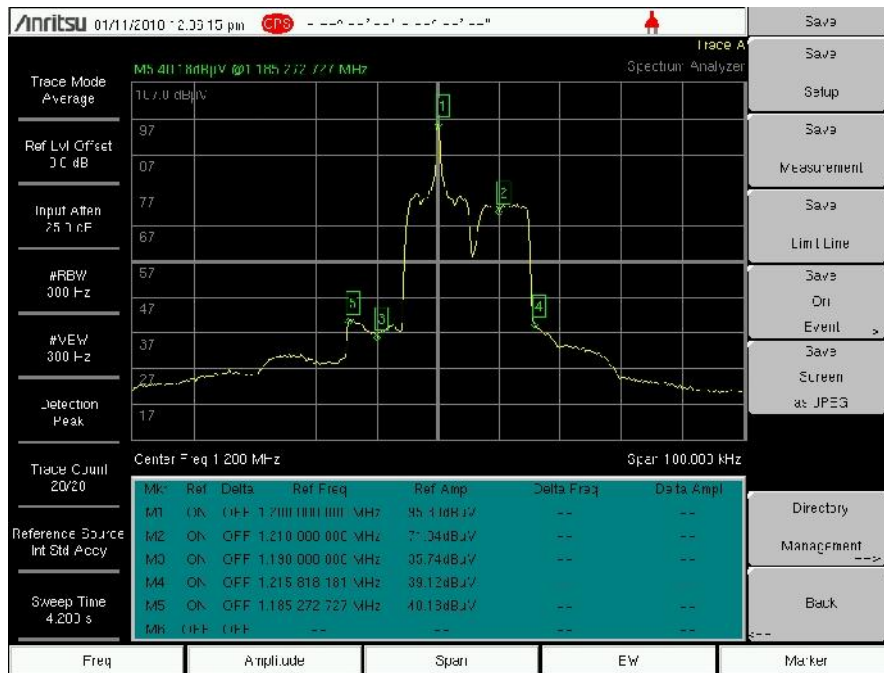


Figura 8- Espectro do sinal híbrido da Rádio Cultura AM

A Figura 9 apresenta de forma simplificada a configuração da estação transmissora AM após a instalação do excitador DRM30. O áudio analógico foi utilizado na transmissão híbrida. O modelo do processador é Orban 9100B. O transmissor da estação consiste de dois equipamentos transmissores Harris 3DX-50, cuja saída é direcionada para um acoplador. Cada equipamento 3DX-50 gera 50 kW, resultando em potência total transmitida de 100 kW. O sinal DRM30 é gerado por um servidor de conteúdo DRM30 e modulador DRM30. O modulador é conectado em um dos 3DX-50, e conseqüentemente a potência máxima de transmissão foi de 50 kW. O servidor de conteúdo é o equipamento onde o áudio é codificado e onde os parâmetros de transmissão são configurados. O modulador gera os sinais que são conectados ao transmissor, gerando o sinal DRM30. Neste caso, o sinal AM e o sinal DRM30 estão em canais adjacentes, e o sinal na saída do transmissor AM constitui o sinal *simulcast* ou híbrido.

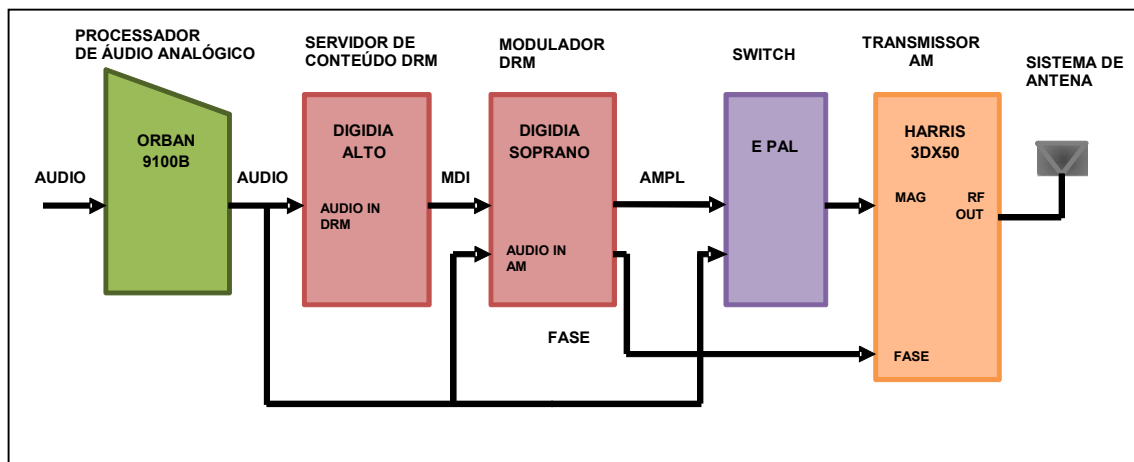


Figura 9 - Configuração da estação após a instalação do excitador DRM30

O sistema DRM30 permite que se ajuste vários parâmetros de transmissão, oferecendo um grande número de configurações possíveis para a transmissão [1, 3], conforme apresentado no Anexo, item I.2. Essas configurações propiciam diferentes níveis de robustez em relação ao ruído, multipercurso e interferências. Contudo, quanto mais robusta for a configuração, menor será a taxa de bits disponível para a transmissão do áudio e dos dados e, conseqüentemente, pior será a qualidade do áudio transmitido.

Na transmissão feita em São Paulo pela Rádio Cultura AM, as configurações DRM30 utilizadas são apresentadas na Tabela 2 e na Tabela 3, que apresentam as duas configurações adotadas para cada período, respectivamente diurno e noturno. O sistema DRM30 oferece possibilidade de escolha de configurações conforme o ambiente de propagação, para proporcionar uma robustez suficiente para cobertura adequada em São Paulo/SP, e um áudio transmitido com qualidade equivalente àquela propiciada atualmente por uma emissora FM, para atender aos aspectos básicos dispostos pelo Chamamento Público n. 1/2009, dentre os quais destacam-se: “área de cobertura do sinal digital igual da atual (analógico), com menor potência de transmissão” e “a qualidade de áudio superior ao atual, em modo estéreo, comparável ao de transmissões em FM hoje em dia”. O codificador de áudio AAC+SBR foi utilizado com ambas as configurações.

Para o período diurno, foi utilizado o modo de robustez OFDM tipo A. A configuração menos robusta quanto à modulação (64QAM) foi utilizada para transmissão de áudio do tipo estéreo real, que possui maior taxa de bits. A configuração mais robusta (16QAM) transmite áudio estéreo paramétrico, conforme Tabela 2.

Para o período noturno, foi utilizado o modo de robustez OFDM tipo B com áudio do tipo estéreo paramétrico e mono, conforme Tabela 3.

Modo de robustez OFDM	Banda (kHz)	Modulação		Taxa de codificação média	Taxa de bits (kbps)	Interleaving	Áudio
		MSC	SDC				
A	10	64-QAM	16-QAM	0,6	26,6	Longo	Estéreo
A	10	16-QAM	4-QAM	0,62	18,4	Longo	Estéreo Paramétrico

Tabela 2- Configuração DRM30 utilizada na transmissão Rádio Cultura AM, período diurno.

Modo de robustez OFDM	Banda (kHz)	Modulação		Taxa de codificação média	Taxa de bits (kbps)	Interleaving	Áudio
		MSC	SDC				
B	10	64-QAM	16-QAM	0,6	20,4	Longo	Estéreo Paramétrico
B	10	16-QAM	4-QAM	0,62	14,5	Longo	Mono

Tabela 3- Configuração DRM30 utilizada na transmissão Rádio Cultura AM, período noturno

Quanto à codificação de canal do tipo FEC (*Forward Error Correction*), para identificação e correção de bits recuperados com o erro pelo receptor, foi utilizada uma combinação de códigos que resulta em taxa média de 0,6 e 0,62 para as modulações mais e menos robusta, respectivamente. Essa não é a combinação de códigos com taxa média mais baixa que o sistema DRM30 possui, no entanto oferece boa proteção.



### 3.2. Sistema de recepção

As medições do sistema DRM30 foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro, um veículo totalmente preparado e configurado para execução de trabalhos em campo, conforme Figura 10. A estrutura disponível para o laboratório móvel conta com o compartilhamento dos equipamentos e recursos do laboratório de comunicações sem fio do Inmetro, ampliando as possibilidades de configurações de medição do veículo. Este laboratório possui facilidade de adaptação de novos equipamentos e conjuntos de antenas para realizar todos os tipos de experimentos em diferentes sistemas de comunicações e frequências. O detalhamento da estrutura é apresentado no Anexo.



Figura 10 – Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro

Os dois equipamentos principais de medição são o receptor profissional DRM30 e o analisador de espectro. O receptor DRM30 é constituído do software *Fraunhofer* instalado no laptop e o receptor de áudio digital AOR7030. Os demais equipamentos utilizados no *setup* de medição são antena loop de recepção omnidirecional, laptop com *softwares* de captura e processamento, GPS e três rádios analógicos. Os dados do analisador de espectro foram gravados em software dedicado, conjuntamente com informação de localização e hora fornecidos pelo GPS.

A Tabela 4 apresenta a descrição dos equipamentos e a Figura 11 apresenta o diagrama esquemático da recepção.

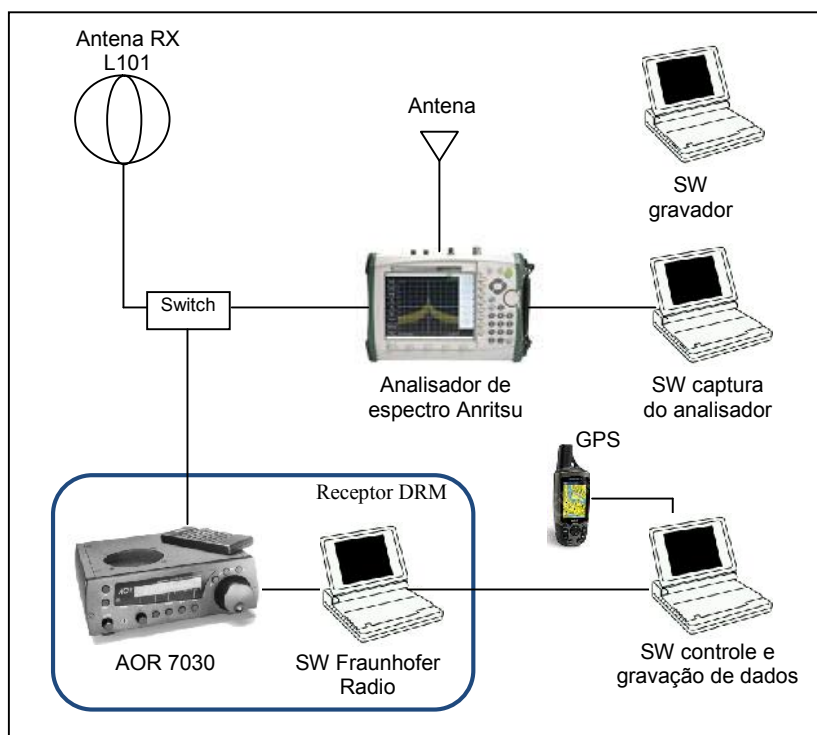


Figura 11 - Diagrama esquemático do setup de recepção

Item	Descrição	
<b>Antena de Recepção</b>	Fabricante	CIAOradio
	Modelo	L101
	Tipo	Antena loop ativa
<b>Receptor DRM30</b>	Fabricante	Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen (IIS)
	Modelo	AOR7030
<b>Analisador de espectro</b>	Fabricante	ANRITSU
	Modelo	MS2724B (9 kHz – 20 GHz)
<b>GPS</b>	Modelo	Garmin 60 CSX
<b>Computadores</b>	Laptop com Matlab para controlador do analisador Laptop Thomson para demodulador Laptop Linux para controlador sistema recepção	
<b>Acessórios</b>	Cabos, fonte de alimentação, cabos UTP, cabo serial	

Tabela 4 – Características do *setup* de medição

Os *softwares* de aquisição utilizados são o *Fraunhofer Measurement Software (Fraunhofer ISS Software Radio 4.0.50)* e o *TSR DRM30 Measurement System*. O primeiro está conectado diretamente ao receptor e nele são determinados os parâmetros que serão coletados e armazenados. O segundo *software* fornece controle e armazenamento dos dados obtidos do rádio AOR e do laptop Thomson. Ele recebe informações do GPS e tem a função de processar e gerar o arquivo de medições.

No diagrama da Figura 11 o receptor padrão AOR 7030 realiza as funções de conversão do sinal em ondas médias, captado pela antena *loop*, para a frequência intermediária de 12 kHz e

também a filtragem passa-faixa do sinal em 12,2 kHz. Este sinal, exportado por saída adaptada, é amostrado à taxa de 48 kHz por uma placa de som externa, cujo controle automático de ganho foi desabilitado. No *notebook* que está conectado à placa de som externa, encontra-se instalado o *software Fraunhofer Measurement Software*, que realiza a reamostragem, demodulação e decodificação do sinal. Neste *software* podem ser visualizados parâmetros importantes do sinal recebido, como o esquema de modulação e a codificação de canal empregados, níveis instantâneos de potência recebida, relação sinal-ruído, erro de modulação e demais parâmetros. As informações geradas pelo *Fraunhofer* são estruturadas e pré-processadas pelo *software* *TSR DRM30 Measurement System*, que está instalado em um segundo *notebook*, conectado ao primeiro através de uma conexão *Ethernet/IP*. Neste *software*, a informação gerada pelo GPS é utilizada na geração de arquivos de controle que armazenam todos os parâmetros registrados ao longo do percurso de medição a uma taxa de 400 ms.

Para registro do áudio analógico são utilizados três receptores analógicos não profissionais (comerciais): Motobras RM-PF22, NKS AC-125 e Toshiba TR949GL. Eles são conectados à placa de áudio do computador. São apresentados na Figura 12 (sem escala de tamanho).



Figura 12 - Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22, NKS AC-125 respectivamente

### 3.3. Parâmetros e procedimentos de medição

Os equipamentos e sistema de medição são planejados para oferecer ampla possibilidade de parâmetros [28]. A Tabela 5 apresenta os parâmetros de medição registrados durante os testes. Eles são classificados em três tipos, que são os parâmetros que informam sobre RF e o canal de propagação, os parâmetros de banda básica os parâmetros auxiliares, referentes às informações complementares que apóiam o entendimento das causas e efeitos das diversas situações de recepção.

Os três parâmetros mais importantes são a intensidade de campo, a relação sinal-ruído (SNR, a MER do sinal DRM30) e os quadros de áudio recebidos corretamente.

As amostras IQ e dados RSCI são especialmente importantes porque permitem reproduzir o sinal recebido no laboratório.

O registro do espectro permite a verificação de interferência e ruído, além da potência e intensidade de campo dos sinais.

O GPS fornece a localização e horário das medições, permitindo a apresentação de mapas para avaliação dos ambientes de recepção, em função da distância ao transmissor.

Os registros de áudio são utilizados para avaliação subjetiva de áudio.

Os eventos e as fotografias obtidas pela equipe auxiliam no diagnóstico das situações de recepção e na avaliação da qualidade do sinal recebido.

Parâmetro	Tipo	Equipamento	Intervalo de medição
Intensidade de campo	RF e canal propag.	Receptor DRM30	400 ms
SNR (MER)	RF e canal propag		400 ms
Quadros de audio corretos (AQ)	Banda básica		400 ms
Delay spread	RF e canal propag		400 ms
Espalhamento em frequência	RF e canal propag		400 ms
Amostras IQ	Auxiliar		1/12000 s
Dados RSCI	Auxiliar		400 ms
Espectro	RF e canal propag	Analizador de espectro	Medições estáticas
Localização	Auxiliar	GPS	1 s
Hora	Auxiliar		1 s
Velocidade	Auxiliar		1 s
Registro de audio AM	Banda básica	Receptores AM	Medições estáticas
Registro de audio DRM30	Banda básica	Receptores DRM30	Medições estáticas
Eventos	Auxiliar	Equipe	Cada evento
Fotografias	Auxiliar	Equipe	Medições estáticas

Tabela 5 – Parâmetros de medição dos testes DRM30 na Rádio Cultura AM

Foram realizadas medições com a unidade móvel, denominadas medições estáticas em pontos fixos determinados e medições em movimento, conforme recomendado pelo Guia da Anatel [26].

O procedimento de medição iniciava-se com o registro no ponto de referência, para verificação do equipamento e comparação com medições prévias no mesmo local.

Nos pontos fixos foram feitas as seguintes medições e registros:

- Espectro do sinal *simulcast*.
- Captura dos dados do sinal *simulcast* com receptor DRM30.
- Gravação do áudio analógico *simulcast* com o mesmo receptor.
- Gravação do áudio AM analógico *simulcast* com 3 receptores comerciais.
- Gravação do espectro.
- Fotografias do local do ponto fixo.

Durante as medições em mobilidade:

- Captura de dados do sinal *simulcast* DRM30 com receptor DRM30 durante toda a rota.
- Registro de eventos com software designado.

As medições referem-se à transmissão do sinal DRM30 *simulcast* nas duas modulações (16 e 64QAM), com o registro da intensidade de campo elétrico, relação sinal ruído do sinal DRM30, qualidade de áudio, sincronismo, integridade dos quadros de áudio recuperados, desvio Doppler, *delay*, posicionamento (GPS), data e horário.

A relação sinal-ruído registrada é do canal de serviço principal, MSC (Main Service Channel) [1][3], que contém áudio e dados e detém a maior parte da capacidade de transmissão do sinal DRM30. Os detalhes das características técnicas são apresentados no Anexo.

A medição de relação sinal-ruído é baseada na Modulation Error Ratio (MER), que é uma medida da qualidade do sinal recebido que inclui toda a deterioração presente no sinal que chega ao circuito de decisão do receptor e não apenas a deterioração causada pelo ruído. Assim, essa medida fornece uma indicação da capacidade do receptor para decodificar corretamente o sinal. O receptor AOR7030 calcula a MER a cada 400 ms, ou seja, a cada quadro de transmissão do sinal DRM30.

Nas medições analógicas é feito o registro da intensidade de campo da portadora da Radio Cultura AM, na situação em que o sinal digital está desligado. As medições analógicas foram realizadas nas três rotas (R7, R8 e R9) especificadas para o período noturno, cujo objetivo é verificar o alcance da cobertura noturna, e quando é a melhor situação para identificar os sinais interferentes de outras emissoras. No período noturno existe a contribuição da onda ionosférica e os sinais interferentes são registrados com maior intensidade.

## 4. Medições da Rádio Cultura AM

### 4.1. Especificações da estação transmissora

A emissora tem a situação aprovada no Plano Básico de Distribuição de Canais de Radiodifusão Sonora em Onda Média (OM) – PBOM: frequência de 1200 kHz, potência de 100/20 kW e sistema irradiante diretivo, com 2 torres. Contudo, devido a problemas no seu sistema irradiante, na ocasião dos testes, a estação estava operando com a potência diurna/noturna reduzida para 50/20 kW e diagrama omnidirecional.

A Figura 13 mostra um mapa com a localização da estação e os contornos protegidos diurno (2 mV/m, localizado a 31,70 km da estação transmissora) e o noturno (2,5 mV/m localizado a 22,3 km da estação transmissora), segundo o modelo de previsão de intensidade de campo elétrico da Anatel [5].

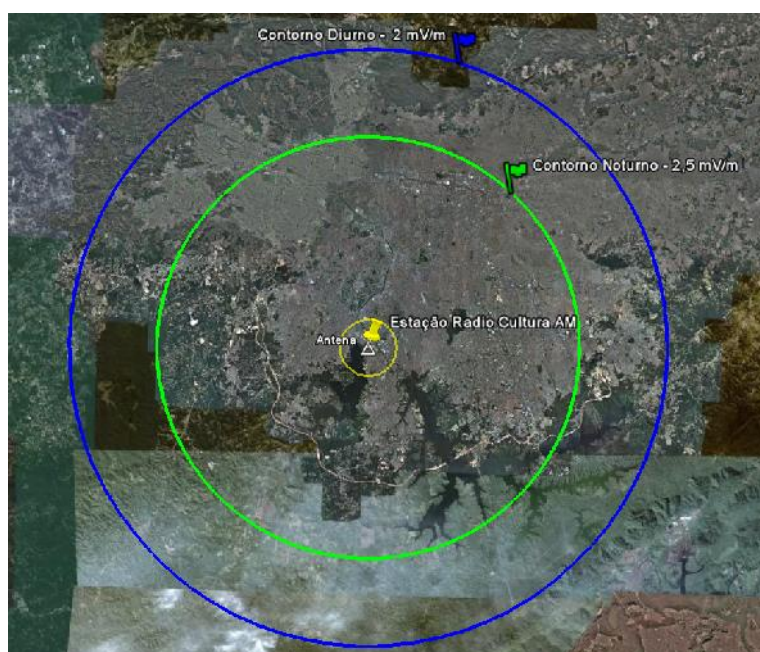


Figura 13 - Localização da antena transmissora da Rádio Cultura AM de São Paulo

### 4.2. Descrição das rotas de medições

As medições foram realizadas ao longo de rotas radiais e circulares, tendo sido registrados dados em situação de movimento e em pontos fixos. A determinação destas rotas procurou caracterizar diversos ambientes de propagação.

As rotas para teste da transmissão DRM30 a partir da estação da Rádio Cultura são apresentadas na Tabela 6. A Figura 14 ilustra a disposição geográfica das rotas, onde em azul estão traçadas as rotas radiais e em vermelho as circulares. O mapeamento dos pontos fixos que estabelecem a rota, contendo endereços e coordenadas geográficas, está no Anexo. Nos pontos fixos foram realizadas as medições estáticas.

RÁDIO CULTURA AM		
Tipo de rota	Rota	Descrição
Radial	R1	Rota Sul
	R2	Rota Leste
	R3	Rota Norte
	R4	Rota Noroeste
	R5	Rota Oeste
	R6	Rota Sudoeste
	R7	Rota Leste Noturna
	R8	Rota Oeste Noturna
	R9	Rota Sul Noturna
Circular	C1	Circular - Urbana Leste
	C2	Circular - Urbana Oeste
	C3	Setor Contorno Protegido Diurno
	C4	Industrial
	C5	Rural

Tabela 6 – Descrição das rotas de teste

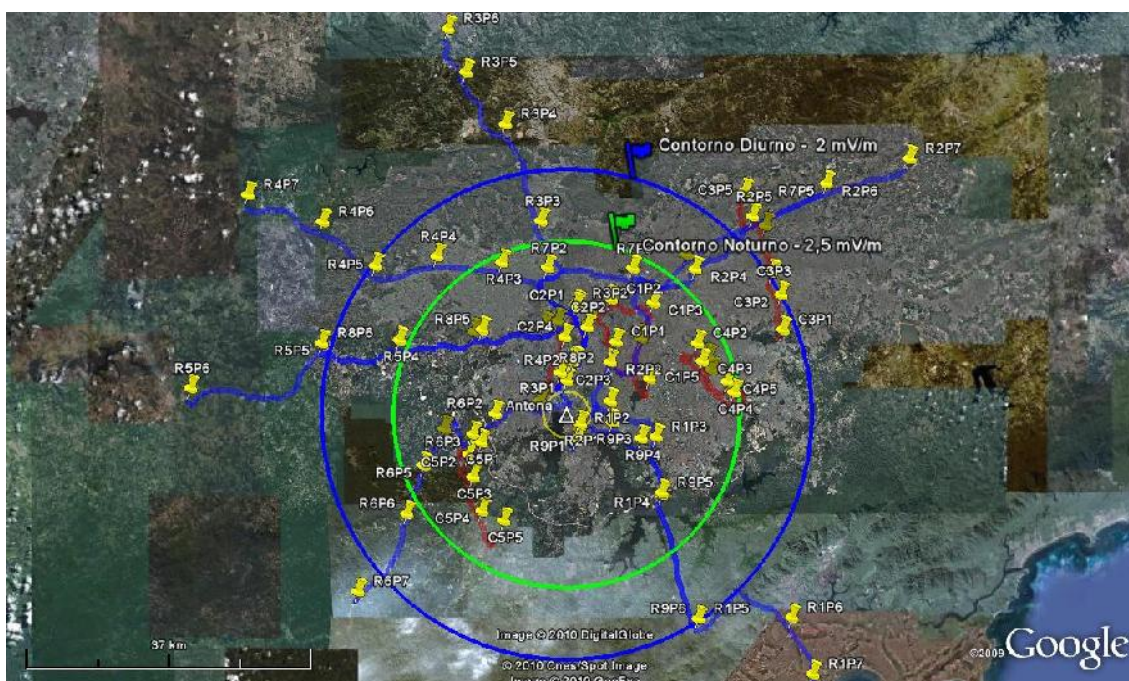


Figura 14 – Mapa das rotas de medição

Para avaliar o alcance da cobertura da onda de superfície no período noturno, foram escolhidas 3 rotas que partem do transmissor em direções radiais: Rota 7, Rota 8 e Rota 9.

As medições iniciaram em 12 de janeiro de 2010 e com término em 28 de fevereiro de 2010. A Tabela 7 apresenta as rotas e os tipos de medições realizadas durante os testes diurnos e noturnos.

Rota	Datas	Tipo	Medição	Período	Sistema	Modulação
Rota Radial 1	12/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 2	15/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 3	20 e 22/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 4	14/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 5	27 e 30/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 6	01/02/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 7	12 e 13/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	19 a 20/01/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	--
Rota Radial 8	13 a 15/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	13 e 14/01/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	--
Rota Radial 9	17 e 18/01/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	17 e 18/01/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	--
Rota Circular 1	24/01 e 07/02/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 2	12 e 13/01/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 3	05 e 06/02/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 4	09 e 10/02/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 5	23 e 28/02/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM

Tabela 7 – Descritivo dos dados das medições da Rádio Cultura AM





### 4.3.1. Verificação da consistência dos dados diurnos

Os trabalhos experimentais envolvendo medições requerem a etapa de verificação da consistência dos dados registrados. Diversos fatores podem influenciar os dados ou mascarar erros em medições aparentemente consistentes. Estes fatores podem ser falhas no sistema de transmissão ou na recepção, ou durante o registro dos dados devido a conexões instáveis de cabos entre os equipamentos ou com a antena.

Para a garantia de obtenção de resultados gerados a partir de dados consistentes das medições diurnas, foram aplicados os seguintes critérios de verificação:

- Medições digitais diurnas:
  - Variabilidade da intensidade de campo registradas com as transmissões com modulação 16QAM e 64QAM. A propagação das ondas de superfície, predominante na transmissão diurna da faixa de AM, apresenta valores de intensidade de campo bastante estáveis quando se trata da repetibilidade das medições. Dado que as medições nas duas modulações foram feitas em datas distintas, porém no mesmo local de medição, a observância de variabilidade nestes valores sugere a ocorrência de alguma falha na medição. Portanto, foi utilizado o valor de 5 dB como valor máximo aceitável para a variabilidade.
  - Medições em que a relação sinal-ruído é nula. Nestes casos não houve o registro do sinal de forma adequada, impossibilitando a interpretação da medição de campo. Esta situação pode ser atribuída à falha de conexão da entrada USB que interliga a placa de áudio ao notebook de recepção.

A verificação de consistência resultou no descarte das medições apresentadas na Tabela 8. As medições foram feitas em dias consecutivos, indicando que ocorreu um problema comum a estas medições.

Nome da Rota	Justificativa do descarte
Rota C1 - 64 QAM - 07 February 2010 - Day	Variabilidade de 16 dB no ponto C1P5
Rota C4 - 16 QAM - 09 February 2010 – Day	Variabilidade de 13 dB de um mesmo ponto C4P5 e 7 dB no ponto C4P1
Rota C4 - 64 QAM - 10 February 2010 – Day	Variabilidade de 13 dB no ponto C4P5 e de 7 dB no ponto C4P1

Tabela 8 – Medições descartadas

### 4.3.2. Validação das medições

A validação consiste na utilização dos valores medidos de intensidade de campo elétrico no primeiro ponto fixo (P1) de rotas radiais que estejam localizados no entorno de 1 km, para comparação com o valor do campo característico teórico da estação da Rádio Cultura AM. A Figura 16 apresenta a localização destes pontos. O círculo amarelo indica a distância de 3 km apenas como referência.

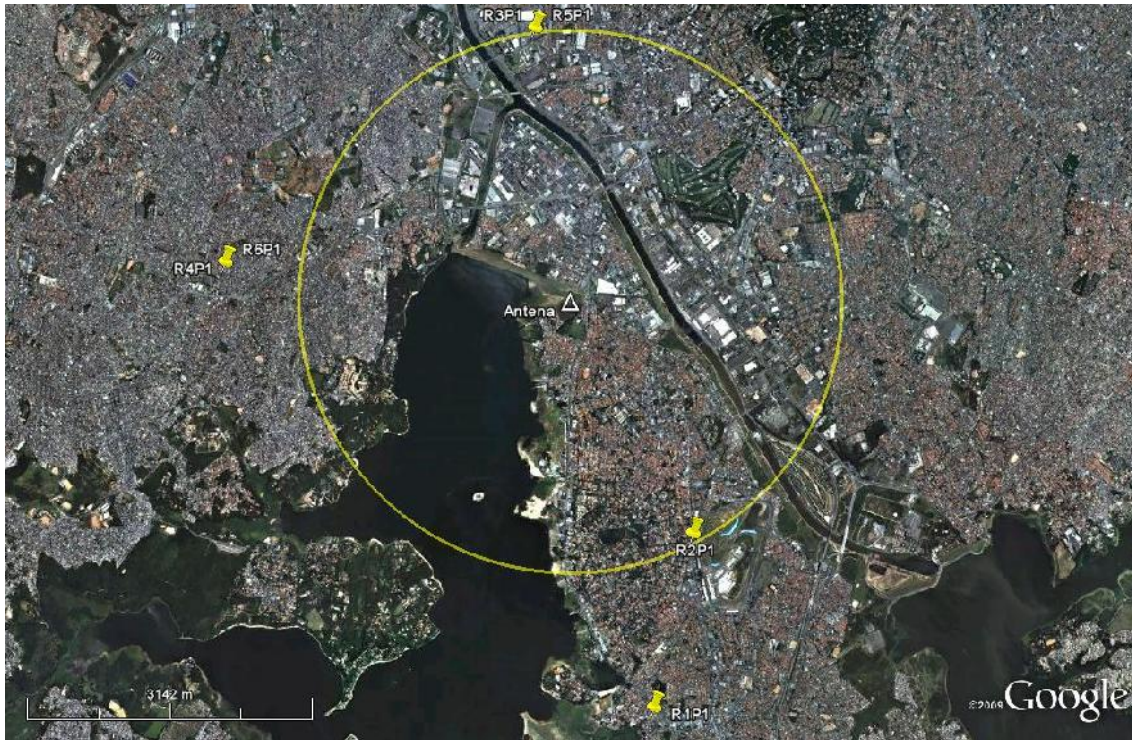


Figura 16 – Localização dos pontos iniciais das rotas radiais

#### 4.3.2.1. Predição teórica de intensidade de campo (sinal analógico predito)

Para as predições teóricas de intensidade de campo elétrico são usadas duas metodologias: o método da Anatel [5] e o método da Recomendação UIT-R P.368 [11].

A intensidade de campo teórica prevista pelo modelo da Anatel baseia-se no método da UIT descrito na Conferência Regional – Região 2 no Rio de Janeiro em 1981 [23]. Com este modelo, o contorno de serviço de 2 mV/m (66 dB $\mu$ V/m) está aproximadamente a 31,7 km da estação transmissora. O parâmetro “campo característico” refere-se ao valor de campo elétrico na distância de 1 km da estação transmissora, correspondendo ao valor de 315 mV/m (110 dB $\mu$ V/m). Este modelo é adequado para a propagação por onda de superfície, que depende majoritariamente dos parâmetros de condutividade elétrica e permissividade do solo. Este modelo não considera a influência da variação do perfil do terreno no cálculo da atenuação. Há estudos relacionados à propagação de onda sobre terreno irregular, conforme descrito no trabalho de Ott [27].

Os parâmetros condutividade e permissividade do solo para a região de São Paulo são obtidos do atlas mundial de condutividade do solo, conforme descrito na Recomendação UIT-R P.832-2 [22]. Neste mapa observamos que o valor de condutividade é 1 mS/m, conforme Figura 17.

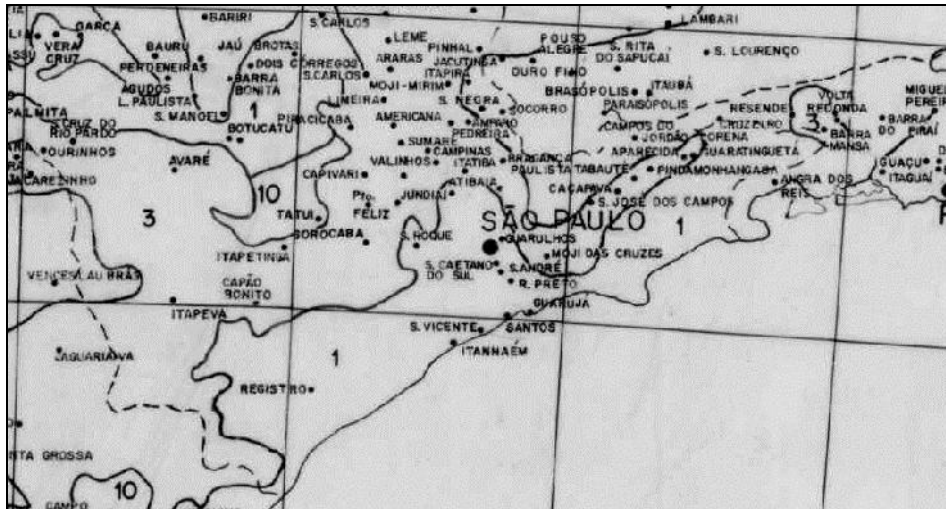


Figura 17 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo  
Assim, os parâmetros de entrada dos modelos são apresentados na Tabela 9 abaixo.

Parâmetro de entrada	Valores para Rádio Cultura AM
Permissividade Relativa do solo	15
Condutividade do solo	1 mS/m
Potência Transmitida	Analogico Diurno 50kW (*) Analogico Noturno 20kW
Campo Característico	315 mV/m (110dB $\mu$ V/m)

Tabela 9 – Parâmetro de entrada do modelo de predição de intensidade de campo

(\*) Valor aprovado no Plano Básico é de 100kW

O modelo da Recomendação UIT-R P.368 baseia-se em curvas geradas para vários valores de condutividade e permissividade relativa do solo, considerando o valor de potência padrão de 1 kW. Faz-se a conversão para o caso real utilizando-se a potência real de transmissão e valor de campo característico.

#### 4.3.2.2. Comparação da predição teórica com medições de campo

As medições de intensidade de campo diurnas feitas nos testes em 16QAM e em 64QAM são comparadas com os valores gerados pelo modelo de predição da Anatel em cada ponto de medição em distâncias até 3.5 km do transmissor, para validação.

Na Figura 18 observa-se variabilidade nos valores medidos no ponto P1 das rotas apresentadas. A variabilidade temporal do campo das ondas de superfície em meio urbano deve-se principalmente ao desvanecimento causados pelo movimento de carros e ônibus nas regiões próximas a rodovias [21]. Nestes testes a variabilidade observada em cada ponto foi de aproximadamente 5 dB.

As distâncias de medições mais próximas da estação estão no entorno de 3 km, onde se observam valores próximos a 110 dB $\mu$ V/m, valor do campo característico em 1 km. Considerando o decaimento da intensidade de campo com a distância, verifica-se que os valores medidos estão de acordo com o campo característico da estação da Rádio Cultura.

Os pontos R3P1 e R5P1 são muito próximos, apresentando valores similares de intensidade de campo.

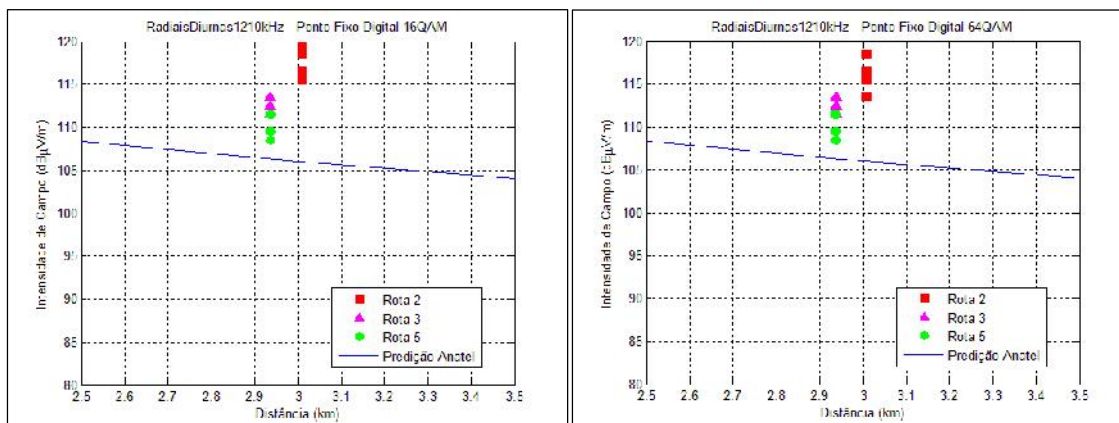


Figura 18 – Medições diurnas em pontos fixos até 3.5 km, 16QAM (esq) e 64QAM (dir)

#### 4.3.3. Dados de medições diurnas

Após as etapas de verificação da consistência dos dados e validação das medidas obteve-se um conjunto de dados sobre os quais foram feitas as análises do comportamento do sistema DRM30.

Os pontos fixos válidos nas rotas escolhidas nas medições em 16QAM e 64QAM estão na Tabela 10 e Tabela 11. Para cada ponto fixo foi obtida a intensidade de campo elétrico digital mediana, intensidade de campo elétrico analógico, a relação sinal-ruído mediana e o valor de qualidade de áudio (AQ), que são utilizados nas análises dos itens seguintes deste relatório.

A intensidade de campo analógica é obtida a partir do valor de intensidade de campo digital acrescido de 12 dB. Conforme apresentado no item 4.1, esta redução de 12 dB aplicada ao sinal digital decorre do uso da técnica de *shaping*, que é empregada para que haja um compromisso satisfatório entre a cobertura do sinal digital DRM30 e a degradação que ele causa na recepção do sinal analógico AM hospedeiro [3] [4]. Com esse nível de potência, o sinal híbrido fica contido dentro da máscara espectral que especifica, em função da frequência, os limites para as emissões de uma estação AM [5].

Dentre as 49 medições de 16QAM válidas para as análises, 42 estão dentro do contorno protegido diurno de 2 mV/m. Para o caso de 64QAM, dentre as 44 medições válidas para as análises, 37 estão dentro do contorno protegido diurno de 2 mV/m.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E digital mediano (dBµV/m)	E analógico (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	C1P1	16 QAM	Fixo	100	73.50	85.50	24.66	9.92
2	C1P3	16 QAM	Fixo	99.19	62.50	74.50	16.79	16.87
3	C1P4	16 QAM	Fixo	94.46	64.50	76.50	17.80	12.31
4	C1P5	16 QAM	Fixo	99.69	80.50	92.50	26.64	10.55
5	C2P1	16 QAM	Fixo	99.98	74.50	86.50	22.38	12.61
6	C2P2	16 QAM	Fixo	99.98	76.50	88.50	26.71	9.79
7	C2P3	16 QAM	Fixo	100	100.50	112.50	27.58	4.14
8	C2P4	16 QAM	Fixo	100	81.50	93.50	26.94	8.64
9	C3P1	16 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	9.88	29.29
10	C3P2	16 QAM	Fixo	0	55.50	67.50	10.24	30.78
11	C3P3	16 QAM	Fixo	0	52.50	64.50	7.06	31.16
12	C3P5	16 QAM	Fixo	0	56.50	68.50	9.72	35.54
13	C5P1	16 QAM	Fixo	99.97	65.50	77.50	20.78	12.60
14	C5P2	16 QAM	Fixo	99.98	65.50	77.50	20.03	14.82
15	C5P3	16 QAM	Fixo	98.00	63.50	75.50	16.44	15.83
16	C5P4	16 QAM	Fixo	0	56.50	68.50	7.64	18.04
17	C5P5	16 QAM	Fixo	99.98	65.50	77.50	20.59	17.27
18	R1P1	16 QAM	Fixo	100	100.50	112.50	27.09	4.67
19	R1P2	16 QAM	Fixo	99.97	93.50	105.50	23.67	5.34
20	R1P3	16 QAM	Fixo	99.97	86.50	98.50	27.18	12.01
21	R1P4	16 QAM	Fixo	100	74.50	86.50	25.73	17.08
22	R1P5	16 QAM	Fixo	99.92	63.50	75.50	17.93	23.31
23	R2P1	16 QAM	Fixo	99.97	106.50	118.50	26.75	3.00
24	R2P2	16 QAM	Fixo	99.89	78.50	90.50	26.96	7.20
25	R2P3	16 QAM	Fixo	99.71	63.50	75.50	19.78	13.84
26	R2P4	16 QAM	Fixo	98.00	63.50	75.50	16.57	24.51
27	R2P5	16 QAM	Fixo	87.63	59.50	71.50	13.85	33.73
28	R2P6	16 QAM	Fixo	0	51.50	63.50	5.82	43.80
29	R3P1	16 QAM	Fixo	100	101.50	113.50	19.80	2.92
30	R3P2	16 QAM	Fixo	99.97	69.50	81.50	19.56	13.03
31	R3P3	16 QAM	Fixo	100	63.50	75.50	16.16	23.68
32	R3P4	16 QAM	Fixo	0	54.50	66.50	7.81	36.94
33	R4P1	16 QAM	Fixo	99.74	72.50	84.50	20.25	4.19
34	R4P2	16 QAM	Fixo	100	81.50	93.50	27.10	5.15
35	R4P3	16 QAM	Fixo	98.82	64.50	76.50	13.68	20.04
36	R4P4	16 QAM	Fixo	99.99	66.50	78.50	18.24	24.47
37	R4P5	16 QAM	Fixo	90.68	60.50	72.50	14.15	29.50
38	R4P6	16 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	5.11	39.90
39	R4P7	16 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	3.00	49.92
40	R5P1	16 QAM	Fixo	99.99	99.50	111.50	26.90	2.93
41	R5P2	16 QAM	Fixo	100	67.50	79.50	21.92	10.68
42	R5P3	16 QAM	Fixo	75.00	60.50	72.50	11.88	15.58
43	R5P4	16 QAM	Fixo	99.63	62.50	74.50	14.58	24.24
44	R5P5	16 QAM	Fixo	0	57.00	69.00	10.13	33.20
45	R6P1	16 QAM	Fixo	100	77.50	89.50	27.07	3.86
46	R6P2	16 QAM	Fixo	100	86.50	98.50	27.25	9.81
47	R6P3	16 QAM	Fixo	100	68.50	80.50	22.58	13.33
48	R6P4	16 QAM	Fixo	99.95	66.50	78.50	18.27	16.68
49	R6P5	16 QAM	Fixo	0	53.50	65.50	5.24	20.62

Tabela 10 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM



Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E digital Mediano (dBµV/m)	E analógico (dBµV/m)	SNR Mediano	Distância (km)
1	C2P1	64 QAM	Fixo	100	76.50	88.50	21.81	12.61
2	C2P2	64 QAM	Fixo	100	76.50	88.50	26.59	9.80
3	C2P3	64 QAM	Fixo	100	100.50	112.50	27.96	4.15
4	C2P4	64 QAM	Fixo	100	81.50	93.50	26.77	8.65
5	C3P1	64 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	11.30	29.23
6	C3P2	64 QAM	Fixo	0	52.50	64.50	14.42	30.74
7	C3P3	64 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	15.28	31.21
8	C3P5	64 QAM	Fixo	0	57.50	69.50	2.15	35.53
9	C5P1	64 QAM	Fixo	99.98	67.50	79.50	22.70	12.60
10	C5P2	64 QAM	Fixo	81.63	61.50	73.50	17.75	14.81
11	C5P3	64 QAM	Fixo	0	59.00	71.00	15.36	15.83
12	C5P4	64 QAM	Fixo	0	59.00	71.00	16.03	18.05
13	C5P5	64 QAM	Fixo	100	66.50	78.50	21.93	17.28
14	R1P1	64 QAM	Fixo	100	100.50	112.50	27.44	4.68
15	R1P2	64 QAM	Fixo	89.97	81.50	93.50	20.56	5.33
16	R1P3	64 QAM	Fixo	100	87.50	99.50	27.21	12.01
17	R1P4	64 QAM	Fixo	100	74.50	86.50	25.88	17.09
18	R1P5	64 QAM	Fixo	0	51.50	63.50	5.81	32.50
19	R2P1	64 QAM	Fixo	100	104.50	116.50	27.24	3.00
20	R2P2	64 QAM	Fixo	100	76.50	88.50	26.98	7.19
21	R2P3	64 QAM	Fixo	99.52	64.50	76.50	21.06	13.81
22	R2P4	64 QAM	Fixo	0	61.50	73.50	17.09	24.30
23	R2P5	64 QAM	Fixo	0	61.50	73.50	16.29	33.74
24	R2P6	64 QAM	Fixo	0	51.50	63.50	6.16	43.78
25	R3P1	64 QAM	Fixo	100	99.50	111.50	27.27	2.93
26	R3P2	64 QAM	Fixo	100	69.50	81.50	20.56	13.04
27	R3P3	64 QAM	Fixo	99.98	64.50	76.50	19.56	23.68
28	R3P4	64 QAM	Fixo	0	51.50	63.50	11.28	36.94
29	R4P1	64 QAM	Fixo	99.94	93.50	105.50	26.49	4.09
30	R4P2	64 QAM	Fixo	99.98	72.50	84.50	23.51	5.14
31	R4P3	64 QAM	Fixo	99.36	63.50	75.50	19.11	20.40
32	R4P4	64 QAM	Fixo	0	53.50	65.50	11.01	24.47
33	R4P5	64 QAM	Fixo	0	53.50	65.50	8.39	29.44
34	R4P6	64 QAM	Fixo	0	55.50	67.50	4.89	39.90
35	R5P1	64 QAM	Fixo	100	97.50	109.50	27.81	2.94
36	R5P2	64 QAM	Fixo	99.98	67.50	79.50	22.75	10.68
37	R5P3	64 QAM	Fixo	5.00	61.50	73.50	17.47	15.59
38	R5P4	64 QAM	Fixo	0	61.50	73.50	17.35	24.24
39	R5P5	64 QAM	Fixo	0	55.50	67.50	13.87	33.20
40	R6P1	64 QAM	Fixo	100	78.50	90.50	27.02	3.86
41	R6P2	64 QAM	Fixo	100	87.50	99.50	26.69	9.82
42	R6P3	64 QAM	Fixo	100	69.50	81.50	23.77	13.33
43	R6P4	64 QAM	Fixo	99.86	65.50	77.50	21.09	16.68
44	R6P5	64 QAM	Fixo	0	56.00	68.00	9.56	20.62

Tabela 11- Medições diurnas de pontos fixos em 64QAM

O Anexo III apresenta a localização dos pontos de medição.

#### 4.3.4. Comparação entre a área de cobertura do sinal analógico medido e a área de cobertura do sinal analógico predito

Esta avaliação destina-se a verificar o grau de ajuste das medições do sinal analógico ao modelo de predição de intensidade de campo elétrico. O modelo teórico empregado é a curva de



predição da Anatel [5], gerada a partir dos dados técnicos de transmissão da estação da Rádio Cultura apresentados na Tabela 9.

Considerando o contorno diurno teórico de 2 mV/m (66 dB $\mu$ V/m), o qual corresponde à distância de 31,7 km em relação à estação da Rádio Cultura observa-se que os valores medidos estão em conformidade com a curva de predição da Anatel. Esta curva é apresentada na Figura 19 e na Figura 20, onde a linha horizontal tracejada indica o campo de 66 dB $\mu$ V/m.

Para esta análise são utilizados os valores medianos de intensidade de campo analógico do sinal AM medidos em cada ponto fixo das rotas radiais (Rota R1 a Rota R6) e das rotas circulares (C1 a C5). São apresentas as medidas analógicas feitas conjuntamente com as medições do sinal DRM30 com modulações de 16QAM e 64QAM.

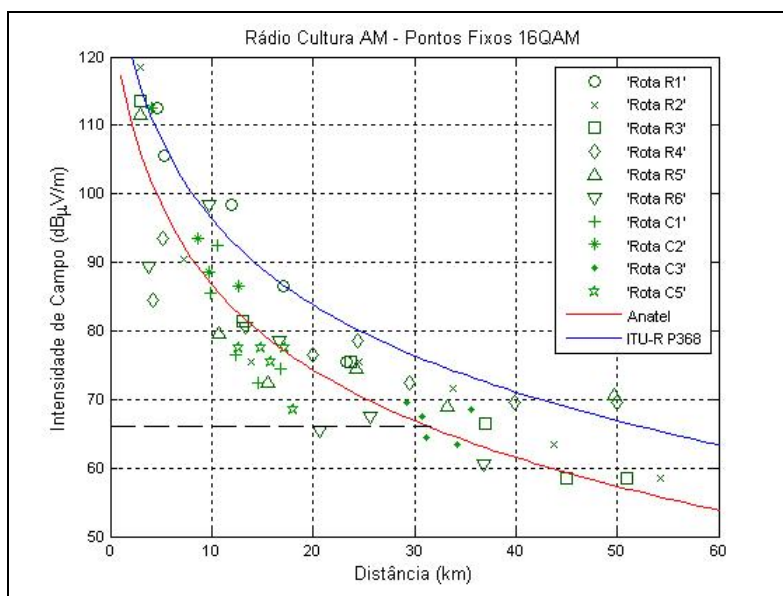


Figura 19 – Medições diurnas do sinal AM durante medições 16QAM

A comparação dos valores medianos de campo mostra que o modelo de predição de intensidade de campo elétrico da Anatel acompanha os valores medidos, representando seu comportamento de queda da intensidade de campo elétrico com a distância. As diferenças observadas entre valores medidos e o predito deve-se ao fato de que o modelo de predição não considera as irregularidades do terreno e a ocupação urbana. Outro motivo é que a curva teórica é calculada com os parâmetros de condutividade e permissividade do solo fixos, conforme a informação disponível na mapa de condutividade do solo na região de São Paulo. Na prática a condutividade do solo varia ao longo do terreno, conforme o tipo de solo e os materiais nele existentes. A permissividade depende do grau de umidade do solo, sendo também variável ao longo do terreno.

A predição de intensidade de campo elétrico pela Recomendação UIT-R P.368 é apresentada para fins de comparação. Consta-se que o modelo da recomendação superestima a maioria dos valores de campo elétrico obtidos nestas medições.



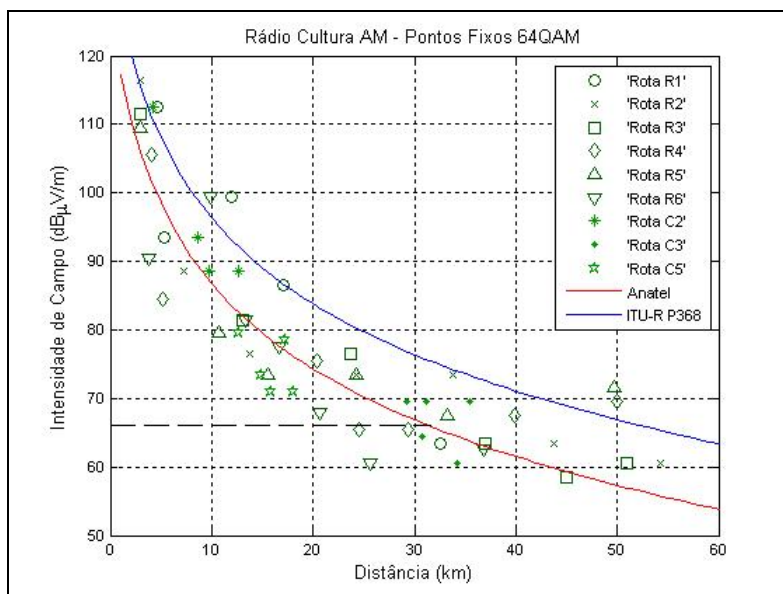


Figura 20 – Medições diurnas do sinal AM durante medições 64QAM

#### 4.3.5. Avaliação subjetiva do áudio analógico

Além da concordância com a predição teórica, outra questão verificada é a avaliação de desempenho do áudio analógico registrado nesta campanha de medição. Esta avaliação é feita através da análise subjetiva do áudio. Ela envolve o julgamento da qualidade do áudio por diversos ouvintes com atribuição de notas, sendo o procedimento executado conforme a padronização da UIT, seguindo as orientações da Recomendação UIT-R. BS 1284 [24]. Para esta análise são utilizadas as medições registradas nos pontos fixos, obtidas com áudio gravado de três receptores comerciais de AM, apresentados na Figura 12

A Tabela 12 apresenta as notas empregadas na avaliação e suas descrições conforme a Recomendação UIT-R BS 1284.

Quality	Impairment
5 Excellent	5 Imperceptible
4 Good	4 Perceptible, but not annoying
3 Fair	3 Slightly annoying
2 Poor	2 Annoying
1 Bad	1 Very annoying

Tabela 12 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Rec. UIT-R BS 1284

Para consolidação dos resultados obtidos neste trabalho foram definidos três limiares de recepção. A Recepção Boa contém as notas entre 5 e 3 inclusive, a Recepção Pobre contém notas entre 3 e 2, e a Recepção Ruim contém as notas iguais ou menores que 2. A Tabela 13 apresenta a definição da classificação das notas empregados neste trabalho.

Notas	Classificação	Definição
5	Recepção Boa	Áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve
4		
3		
2	Recepção Pobre	Presença de ruído ao ponto da informação do áudio tornar-se ininteligível
1	Recepção Ruim	Somente ruído

Tabela 13 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho

A classificação da qualidade do áudio analógico AM diurno obtido em cada ponto fixo a partir de medições nesta campanha é apresentada na Figura 21. O áudio analógico foi registrado em 58 locais e a distribuição das notas está na Tabela 14.

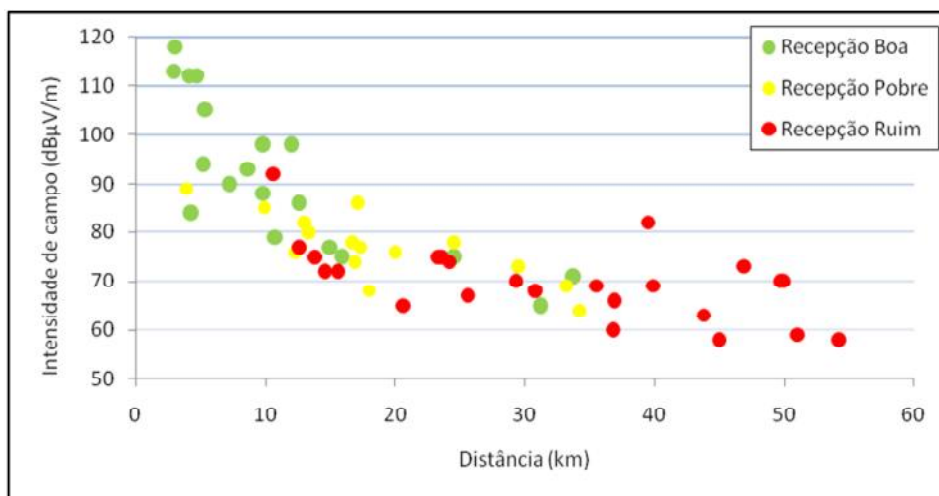


Figura 21 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio Cultura

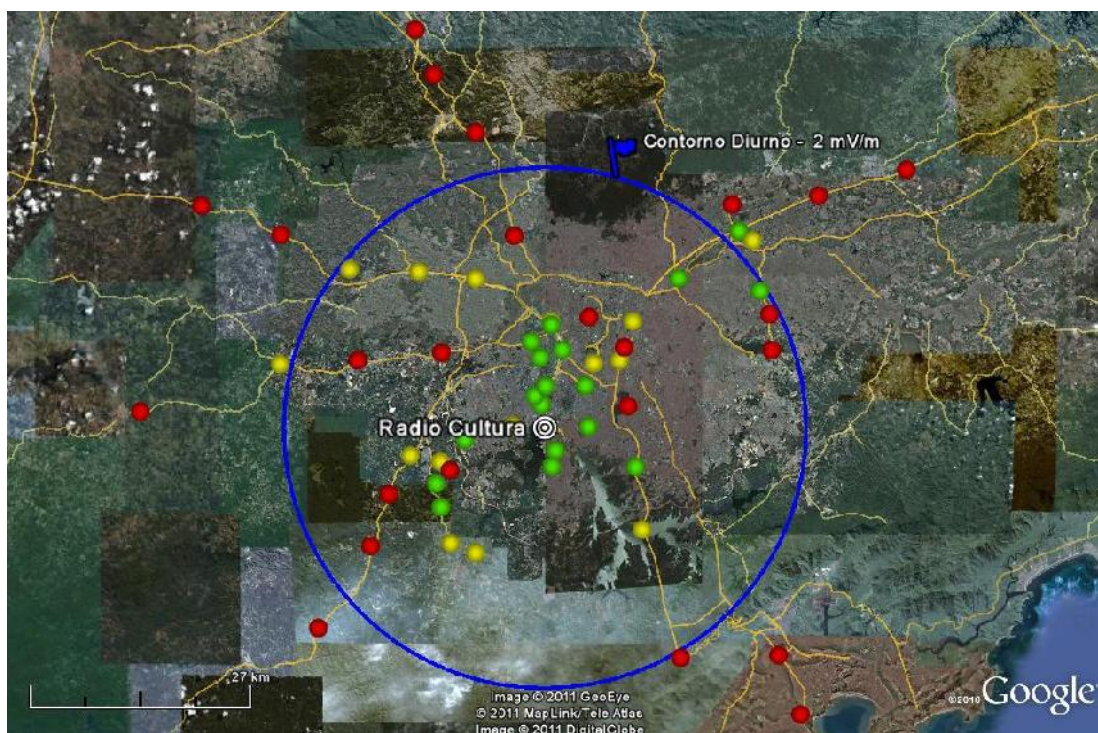


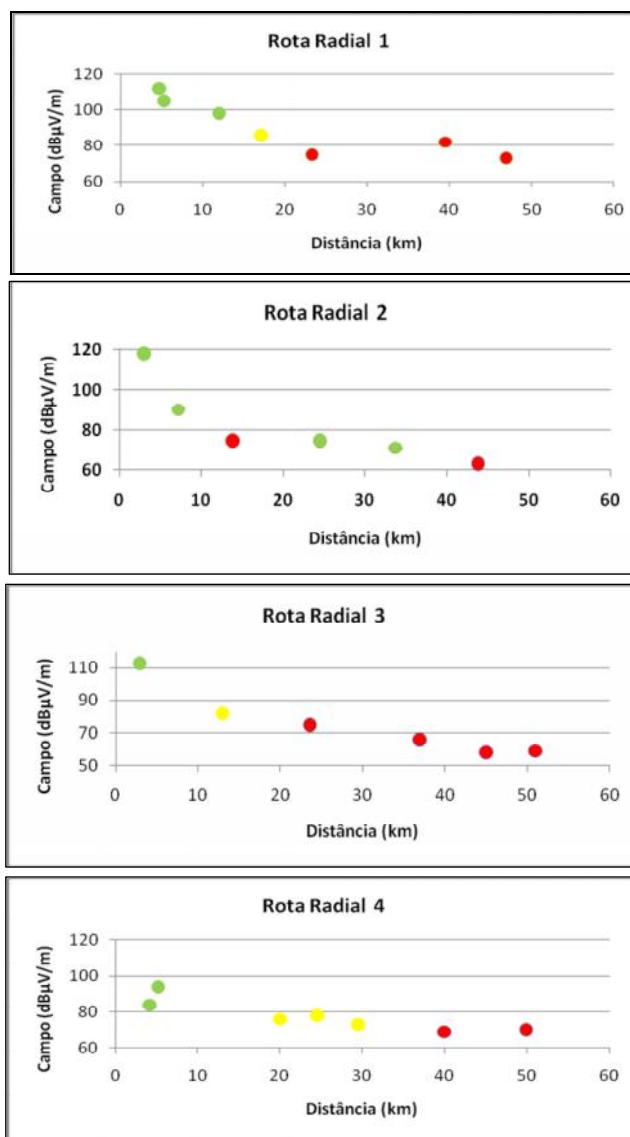
Figura 22 – Mapa com avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio Cultura

Classificação	Quantidade de locais	
Recepção Boa	19	33%
Recepção Pobre	15	26%
Recepção Ruim	24	41%
Total	58	100%

Tabela 14 – Distribuição das notas do áudio analógico AM diurno medido da Rádio Cultura

Os resultados mostram que em distâncias relativamente próximas ao transmissor, cerca de 10 km, já se observam pontos com “Recepção Pobre” e “Recepção Ruim”, que por definição ocorrem onde o ruído torna-se incômodo para a audição. Esta situação persiste até cerca de 35 km, sendo registrados, entretanto, alguns locais onde a recepção é considerada boa. Esta alternância de qualidades de recepção deve-se provavelmente às variações no perfil do terreno entre o ponto de medida e o transmissor, constituindo obstáculos que atenuam o sinal e acabam por reduzir a qualidade do áudio recebido, quando o ruído torna-se mais audível.

A apresentação dos valores da Figura 21 por rotas radiais detalha o comportamento da cobertura AM ao longo das rotas. Os gráficos da Figura 23 apresentam os valores de campo elétrico para cada rota radial.



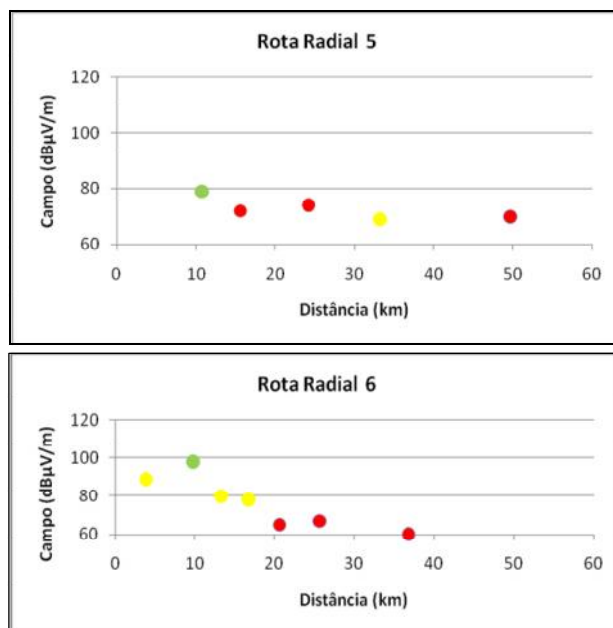


Figura 23 – Registros do áudio analógico AM diurno nas radiais (Rádio Cultura)

Rota/Azim (aproximado)	Direção	Distância até o último ponto com “Recepção Boa”	Observações
R1 – 120°	Sul	12 km	“Recepção Pobre” em 17 km
R2 – 30°	Leste	33 km	“Recepção Ruim” em 14 km
R3 – 350°	Norte	3 km	“Recepção Pobre” em 13 km
R4 – 315°	Noroeste	5 km	“Recepção Pobre” de 20 a 30 km
R5 – 270°	Oeste	11 km	“Recepção Ruim” em 15 e 24 km
R6 – 225°	Sudoeste	10 km	“Recepção Pobre” até 17 km

Tabela 15 – Condição de recepção AM medida sobre as radiais

A Figura 24 representa as distâncias da Tabela 15 em diagrama, no qual a “Recepção Boa” está em verde, a “Recepção Pobre” em amarelo e a “Recepção Ruim” em vermelho.

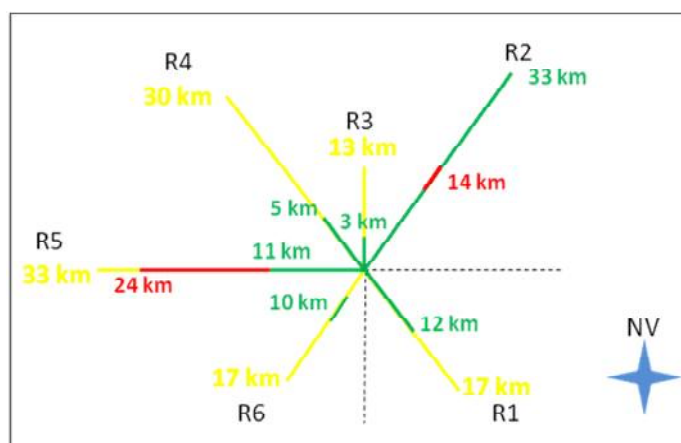


Figura 24 – Diagrama representativo da recepção AM medida sobre as radiais

Conforme apresentado na Figura 23, a distância em cada radial até o último ponto com “Recepção Boa” (verde) variou entre 3 km e 12 km, havendo uma radial onde esta situação ocorreu em local a 25 km e outro local a 33 km do transmissor. Uma das rotas circulares (não mostrada no diagrama) apresentou pontos com “Recepção Boa” nas distâncias de 14,9 e 15,9 km do transmissor.

Conforme apresentado na Figura 23, as distâncias até os últimos pontos com “Recepção Pobre” (amarelo) variaram entre 13 km e 30 km sobre as radiais, havendo pontos com “Recepção Ruim” a 14, 15 e 24 km do transmissor. Ressalta-se que nos pontos de “Recepção Pobre” a informação do áudio é percebida, porém contendo muito ruído, sendo classificado pelos ouvintes como situação incômoda, a ponto da informação do áudio tornar-se ininteligível.

Neste trabalho a obtenção das distâncias limite segundo a percepção do usuário pretende auxiliar uma estimativa da cobertura real analógica da Rádio Cultura para fins dos testes do sistema DRM30 e não devem ser tomadas como definitivas, em detrimento do serviço oferecido por este radiodifusor e do planejamento realizado para a operação do sistema.

Em relação às intensidades de campo registradas, observa-se que até a distância de 35 km há valores acima de 64 dB $\mu$ V/m. Os limiares obtidos na situação de “Recepção Boa” estão na faixa de 75 a 80 dB $\mu$ V/m e na situação de “Recepção Ruim” estão na faixa de 64 a 75 dB $\mu$ V/m.

A situação registrada sugere que há regiões de sombra, com recepção crítica, vizinhas a regiões onde a recepção é melhor, caracterizando uma cobertura intermitente, ainda que as intensidades de campo atendam o valor do contorno diurno teórico de 2mV/m ou 66 dB $\mu$ V/m, que ocorre a 31,7 km conforme modelo da Anatel.

#### **4.3.6. Avaliação subjetiva do áudio digital de receptores comerciais**

A avaliação da recepção do áudio DRM30 com receptores comerciais foi realizada com o objetivo de verificação do áudio recebido pelo grande público. Foram utilizados dois aparelhos para esta avaliação.

A metodologia deste teste consistiu na classificação das intensidades de campo obtidas com o receptor profissional AOR7030, em função da qualidade dos áudios gravados de cada receptor comercial.

Durante a avaliação constatou-se que em um dos receptores comerciais o áudio estava muito ruim, e quando associado aos valores de intensidade de campo registrada pelo receptor profissional, observou-se que somente níveis mais altos de intensidade de campo correspondiam ao áudio razoável deste receptor. Esta grande diferença indicou o mau funcionamento do aparelho, tendo sido descartado o seu registro.

Os resultados são apresentados para as modulações 16QAM e 64QAM em medições diurnas, conforme classificação subjetiva do áudio do receptor comercial Himalaya. O critério foi o uso de notas de 5 a 1, conforme Tabela 12. Para fins de consolidação dos resultados as notas 5, 4 e 3 são descritas como “Recepção Boa” e as demais como “Recepção Ruim”.

A Figura 25 apresenta a classificação de medições em 16QAM dispostas no mapa e graficamente. As rotas ali presentes são a radial 6 (R6) e a circular 3 (C3).

O áudio do receptor comercial foi registrado com “Recepção Boa” até cerca de 20 km do transmissor. A cobertura obtida é menor cerca de 4,5 km inferior quando comparada ao resultado com o receptor profissional, de cerca de 24,5 km, conforme apresentado no item 5.3.6.2. A diferença pode ter ocorrido devido ao reduzido número de registros do áudio do receptor Himalaya realizado durante os testes, 12, dentro do conjunto de 49 medições em 16QAM do receptor profissional (conforme Tabela 10). O limiar de intensidade de campo obtido para o teste em 16QAM foi de aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m.

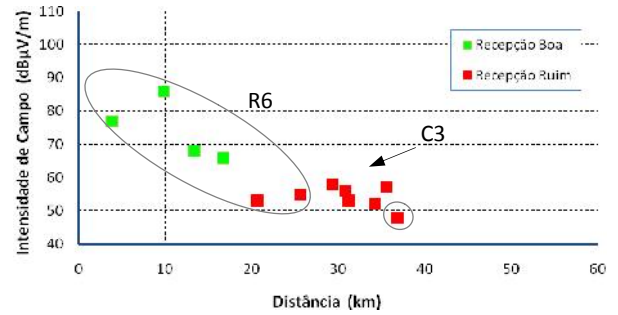


Figura 25 – Avaliação de áudio com receptor comercial Himalaya, para 16QAM

A Figura 26 apresenta a classificação de medições em 64QAM dispostas no mapa e graficamente. As rotas ali presentes são a C2, C5, R4 e R6.

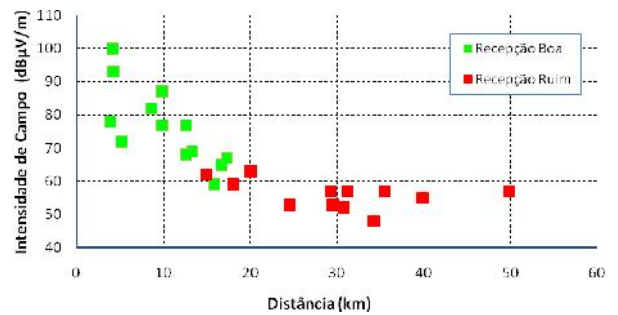
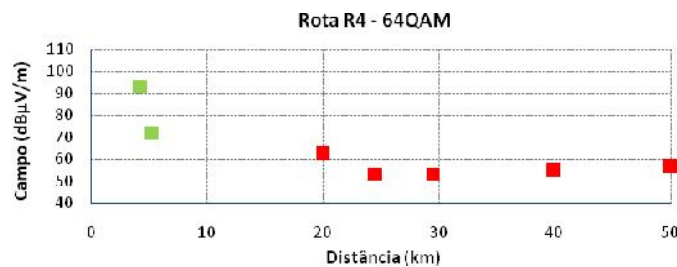


Figura 26 – Avaliação de áudio com receptor comercial Himalaya, para 64QAM

A análise por radial é feita graficamente, onde se observa que todos os pontos de R6 e C2 tiveram Recepção Boa. Na rota C5 observa-se que há dois pontos intermediários com Recepção Ruim, enquanto que na rota R4 a recepção fica ruim a partir de 20 km.



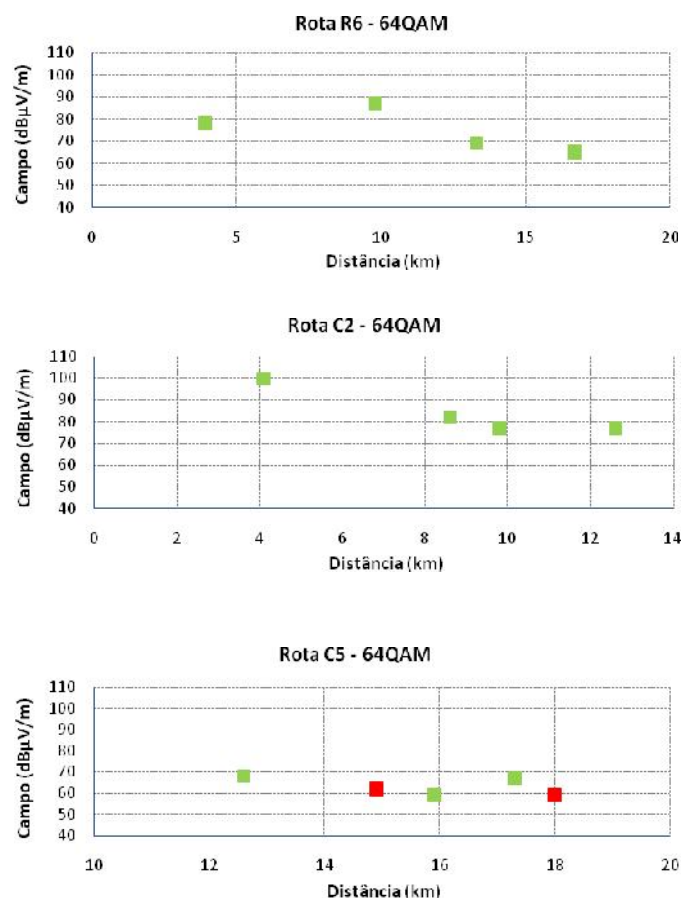


Figura 27-Avaliação de áudio comercial do Himalaya, 64QAM, por rota radial

Para o caso de 64QAM os registros de “Recepção Boa” também ocorreram até cerca de 20 km, tendo sido registrados pontos de “Recepção Ruim” já a partir de 15 km. O número de registros de áudio do receptor Himalaya foi de 25, dentro do conjunto de 44 medições em 64QAM. O limiar de intensidade de campo obtido para o teste em 64QAM foi de aproximadamente 65 dBµV/m.

Desta forma, as observações resultantes da avaliação do áudio com receptores digitais comerciais indicaram a extensão da área de cobertura até aproximadamente 20 km do transmissor, para os dois modos de transmissão. Na transmissão com a modulação 64QAM, menos robusta, percebe-se a maior sensibilidade do sinal ao ambiente de propagação, pois medições em pontos a distâncias similares apresentam as duas condições de recepção (boa e ruim).

Esta avaliação tem o objetivo de verificação da extensão de cobertura com receptores comerciais comuns. É esperado que o resultado dependa da qualidade do receptor comercial, bastante variável por se tratar de produto comercial de larga escala. Por este motivo esta avaliação não será utilizada para critério de comparação com o sistema analógico.

#### 4.3.7. Avaliação da relação sinal-ruído para recepção digital

A obtenção da relação sinal-ruído limiar do sistema DRM30 é um dos objetivos dos testes porque constitui parâmetro importante no planejamento do sistema. Este valor é obtido a partir de avaliação conjunta dos valores medidos da relação sinal-ruído e da qualidade de áudio (denominada AQ).

Para esta análise são utilizados os valores medianos de intensidade de campo e relação sinal-ruído de cada ponto fixo das rotas radiais e das rotas circulares, separadamente para as modulações de 16QAM e 64QAM. Para cada par verificou-se o valor registrado de AQ, identificando-se os pontos onde  $AQ \geq 98\%$ . A Figura 28 e Figura 29 apresentam de forma gráfica o comportamento dos valores, nas quais se observa claramente a separação dos valores de AQ abaixo e acima de 98%.

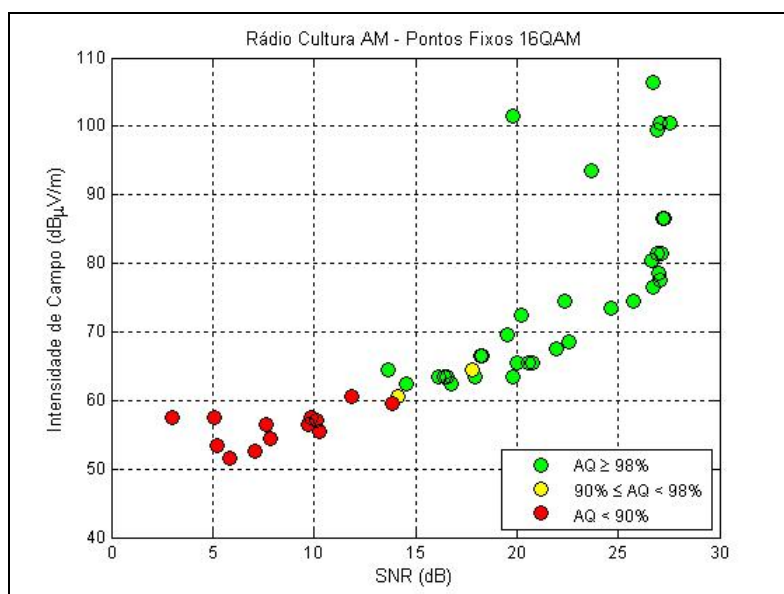


Figura 28 – Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições diurnas

Para avaliação dos valores de AQ, no modo de transmissão 16QAM foi apresentado o intervalo de AQ entre 90% e 98%, pois este caracterizou uma faixa de transição da relação sinal-ruído onde ocorreram 2 casos ( $AQ=94,4\%$  e  $90,7\%$ ). No conjunto de  $AQ < 90\%$  houve apenas dois valores acima de zero ( $AQ=87,6\%$  e  $AQ=75\%$ ) e todos os demais são  $AQ=0$ . Na transmissão em 16QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar é de aproximadamente 14,2 dB.

No modo de transmissão 64QAM não houve valores de AQ entre 90% e 98%. No gráfico da Figura 29 o ponto fixo em  $SNR=20$  dB em vermelho teve intensidade de campo de 82,5  $dB\mu V/m$  com  $AQ = 89,9\%$  (ponto R1P2). Abaixo deste valor de AQ há apenas dois valores acima de zero ( $AQ=81,6\%$  e  $AQ=5\%$ ) e os demais são  $AQ=0$ . Na transmissão em 64QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar é de aproximadamente 19,0 dB.

O resultado apresentado demonstra que para os pontos fixos a ocorrência do parâmetro AQ esteve concentrada nos valores extremos, ou seja, atendendo valores superiores a 98% ou sendo igual a zero. Esta situação demonstra o comportamento do sistema digital de oferta de qualidade de áudio excelente para a operação acima da relação sinal-ruído limiar. O resultado mostra



também a maior robustez da transmissão em 16QAM através do decréscimo do valor de AQ e transição mais suave do que observado no modo 64QAM.

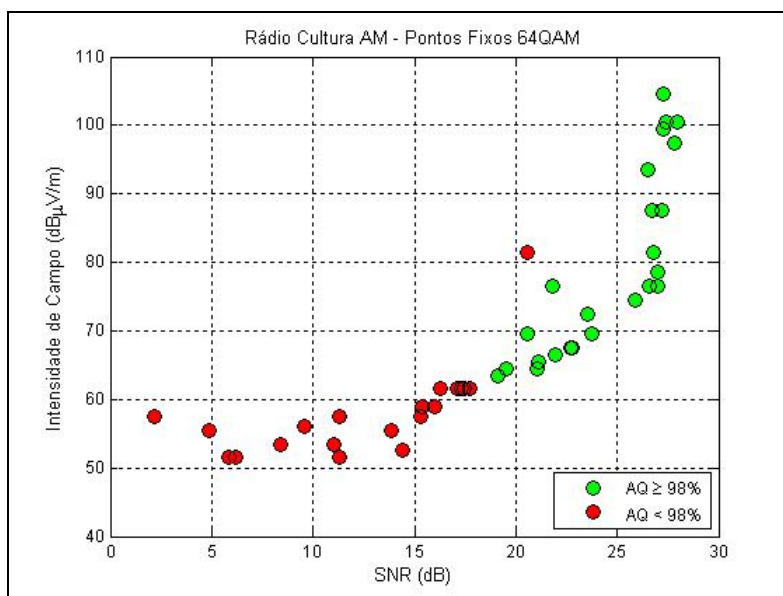


Figura 29 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições diurnas

A Recomendação UIT-R BS 1615 [25] apresenta os parâmetros de planejamento para radiodifusão sonora digital em frequências abaixo de 30 MHz e contém os valores de relação sinal-ruído requeridos para o sistema DRM30 para atendimento da taxa de erro (BER) de  $1 \times 10^{-4}$  no canal. Para os testes diurnos realizados com o modo de robustez A, com ocupação do espectro de 10 kHz, para modelo de canal com propagação de onda terrestre nesta faixa de frequência tem-se os valores mínimos requeridos de relação sinal-ruído para o modo *simulcast*. A comparação com os valores de referência da Tabela 8 do referido documento, conforme apresentado na Tabela 16 abaixo, mostrou que os valores obtidos nos testes estão acima dos requisitos da UIT para atender a BER requerida.

No período diurno, além do ruído térmico, existe o ruído feito pelo homem (ruído de ignição de veículos, linhas de alta tensão, linha férrea, ônibus elétricos), ocorrendo também interferência de outros sistemas de comunicação, conforme uma ocorrência registrada durante as medições.

A comparação dos valores medidos diurnos com os requeridos pela UIT mostrou que os valores medidos ficaram maiores que os valores da UIT. Esta situação sugere que, além da degradação no desempenho de 2dB provocada pelo uso da técnica de *spectral shaping*, a contribuição do tipo do ruído feito pelo homem característico do ambiente da cidade de São Paulo não é considerada neste cálculo da ITU, que para o tipo de canal associado considera apenas o ruído térmico gaussiano, sendo necessário assim um SNR maior para atender o requisito de BER de  $10^{-4}$ .

Modulação/Modo Robustez/Ocupação do espectro/Taxa Codificação	SNR requerido UIT (dB)	SNR medido (dB) (aproximadamente)
16QAM/A3/0,62	10,9	14,2
64QAM/A3/0,6	15,8	19,0

Tabela 16 – Comparação de SNR medido com o requerido pela UIT-R BS.1615

#### 4.3.8. Área de cobertura do sinal digital diurno medido

Um dos objetivos dos testes realizados é a verificação da extensão da área de cobertura digital do sistema DRM30. A avaliação do sinal digital medido é feita através do comportamento do parâmetro AQ, o que representa a quantidade de pacotes de áudio decodificada corretamente em toda a região onde foram realizadas as medições. A estimativa da cobertura do sinal digital é feita através do percentual de pontos medidos que tiveram a situação de  $AQ \geq 98\%$ , o que caracteriza boa recepção sem distorções de áudio.

A avaliação das medições de intensidade de campo apresenta seu comportamento com a distância, classificados de acordo com o valor do AQ obtido. Os resultados das medições em 16QAM e 64QAM são discutidos e são feitas considerações sobre os pontos medidos onde a qualidade de áudio ficou degradada.

Os resultados das medições em pontos fixos em 16QAM são apresentados nas Figura 30 e Figura 31. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 90%, em amarelo os valores maiores ou iguais a 90% e 98%, e em verde os valores maiores ou iguais a 98%. A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 24,5 km, que representa o limite de cobertura em 16QAM e será discutida adiante.

A Figura 31 apresenta os valores de intensidade de campo com a distância de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

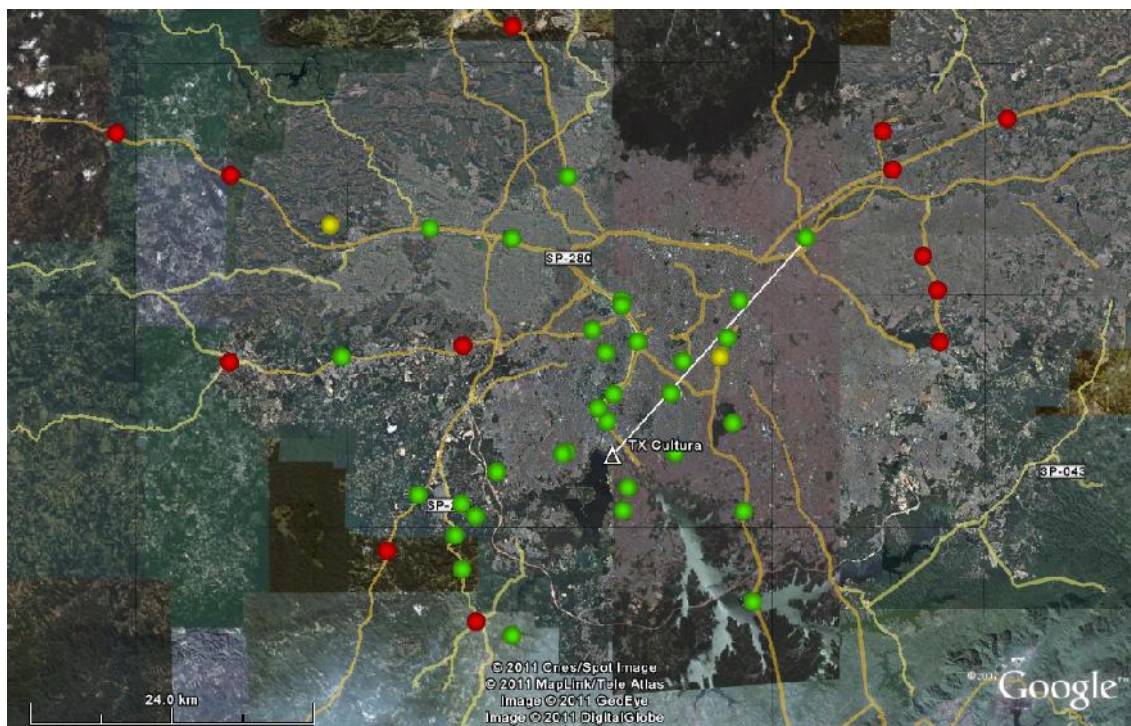


Figura 30 – Classificação das medidas em 16QAM conforme parâmetro AQ

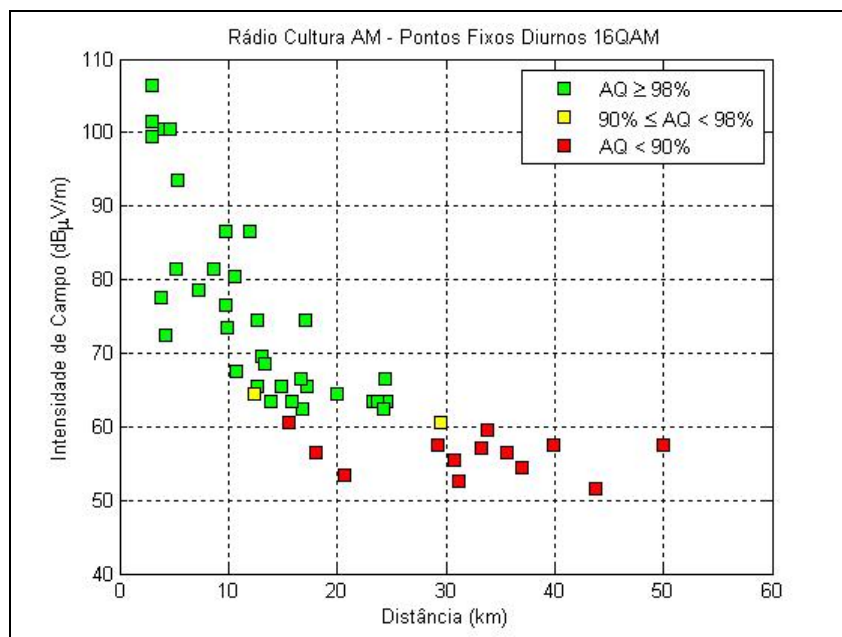


Figura 31 – Campo diurno versus distância para 16QAM, em função da AQ

Pela análise da Figura 31 obtém-se o limiar de intensidade de campo elétrico para 16QAM de aproximadamente 60dBµV/m. Nestas medições, para valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, a maior distância registrada foi de 24,5 km. Acima do limiar e até esta distância houve 1 valor de AQ entre 90% e 98%, e os demais valores de AQ estiveram maiores ou igual a 98%.

As medições nos pontos até 24,5 km que tiveram AQ < 98% (3 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhadas conforme a Tabela 17.

Rota/Ponto	Mod.	AQ (%)	E mediano (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
C1P4	16 QAM	94.46	64.5	17.80	12.31	Local situado ao lado de viaduto e próximo à linha de alta tensão no acostamento; prédios a 200m dos dois lados da rua; movimento intenso de carros; córrego separando pistas e chuva intensa
C5P4	16 QAM	0	56.5	7.64	18.04	Local situado na margem direita da rodovia, próximo a uma cabine; presença de vegetação densa; proximidade de rede de alta tensão; chuva leve
R5P3	16 QAM	75.00	60.5	11.88	15.58	Local situado próximo à vegetação densa

Tabela 17 – Detalhamento de pontos 16QAM diurnos onde AQ<98%, Rádio Cultura

Os registros da medição são apresentados para cada caso, a seguir, em conjunto com foto do local da medição. Os gráficos apresentam o comportamento dos parâmetros de intensidade de campo, número de pacotes recebidos em cada quadro de áudio, a relação sinal-ruído e a velocidade da unidade móvel, para entendimento do resultado obtido nestes pontos fixos.

Rota/Ponto C1P4:

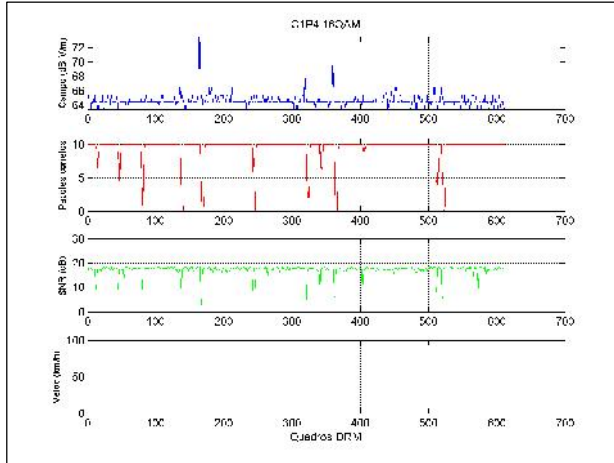
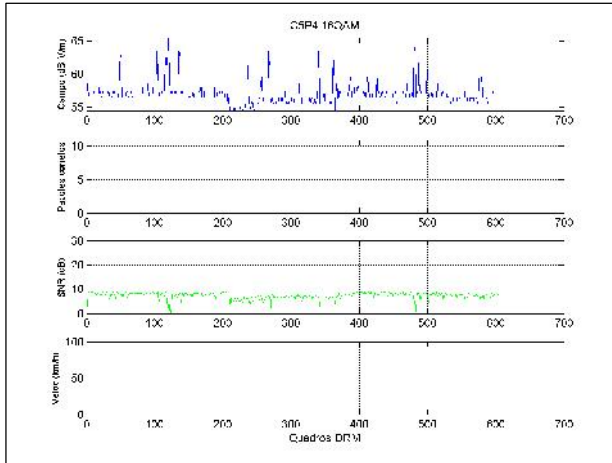


Figura 32-Meções em 16QAM de C1P4, Rádio Cultura

No áudio de C1P4 percebem-se algumas distorções e pequeno trecho de silêncio.

Rota/Ponto C5P4:



No áudio de C5P4 só ocorre silêncio.

Rota/Ponto R5P3:

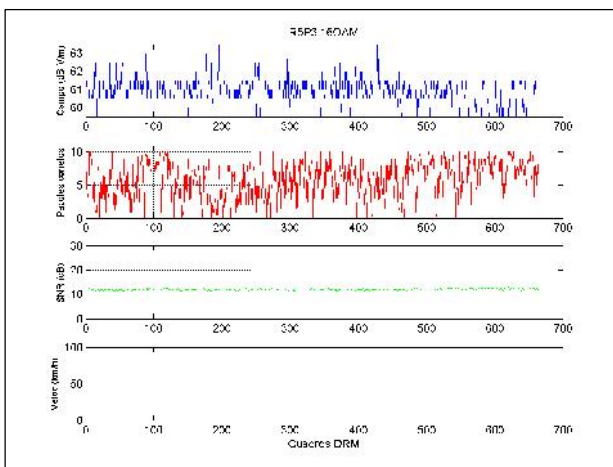


Figura 34-Meções em 16QAM de R5P3, Rádio Cultura

No áudio de R5P3 percebem-se muitas distorções.



Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (Dimci)  
 Divisão de Telecomunicações (Ditel)  
 Endereço: Avenida Nossa Senhora das Graças, 50 – Prédio 6 – Xerém, CEP: 25250-020 – Duque de Caxias / RJ  
 Telefones: (21) 2679-9072 - Fax: (21) 2679-9001 Ramal 3128 – e-mail: ditel@inmetro.gov.br  
 MOD-GABIN-024 – Rev. 03 – Apr. Nov/10

Os picos de campo observados nas medições, em particular no ponto C1P4, onde se nota queda de SNR simultânea, devem-se provavelmente ao movimento de veículos e às linhas de alta tensão.

Os resultados gerais são apresentados na Tabela 18 e o quantitativo de pontos medidos para o modo de transmissão 16QAM em termos de qualidade de áudio  $AQ \geq 98\%$  é apresentado na Tabela 19. Esta tabela apresenta a cobertura dentro de duas distâncias. A distância de 15 km é um valor aproximado obtido na avaliação subjetiva de áudio digital com receptores comerciais. Dentro desta distância obteve-se o percentual de cobertura digital de 96%. A distância de 24,5 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo para medições em 16QAM. Dentro desta distância obteve-se o percentual de cobertura digital de 89%.

Modulação 16QAM		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo (aproximadamente)	SNR (aproximadamente)
24,5 km	60 dB $\mu$ V/m	14,2 dB

Tabela 18 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 16QAM

Modulação 16QAM						
	Total de medições		Até 15 km		Até 24,5 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	49	100%	24	100%	37	100%
$AQ \geq 98\%$	34	69%	23	96%	33	89%
$90\% \leq AQ < 98\%$	2	4%	1	4%	1	3%
$AQ < 90\%$	13	27%	0	0%	3	8%

Tabela 19 – Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 16QAM

Os registros das medições em 64QAM estão nas Figura 35 e Figura 36. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 90%, em amarelo os valores maiores ou iguais a 90% e 98%, e em verde os valores maiores ou iguais a 98%. A linha branca a partir do transmissor indica a distância ao ponto de medição em 23 km, que representa o limite da cobertura em 64QAM e será discutida adiante

A Figura 36 apresenta os resultados de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

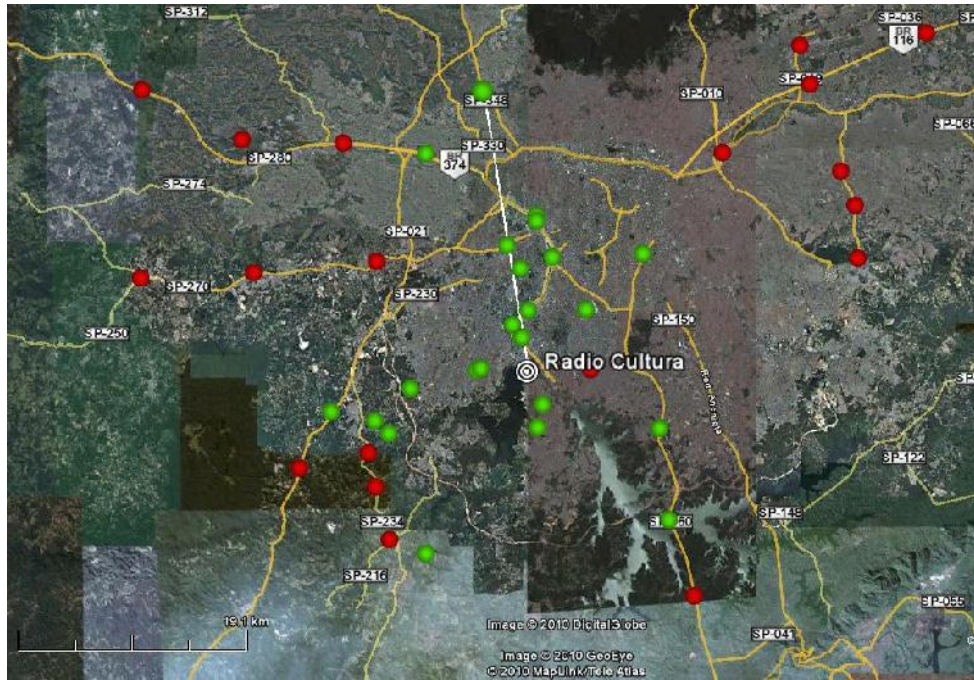


Figura 35 - Classificação das medidas diurnas em 64QAM conforme parâmetro AQ

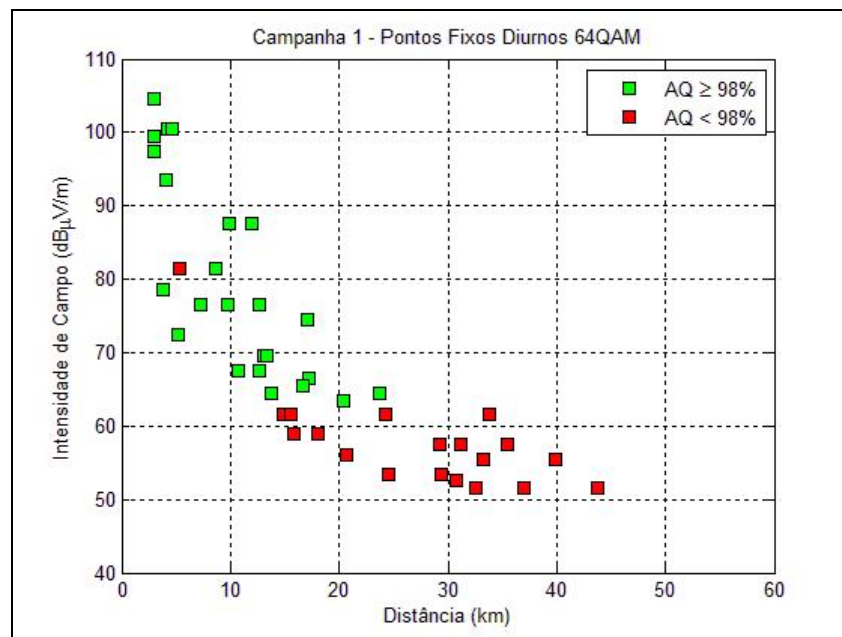


Figura 36 - Campo diurno versus distância para 64QAM, em função da AQ

Pela análise da Figura 36 obteve-se o limiar de intensidade de campo para 64QAM de aproximadamente 63dB $\mu$ V/m. Nestas medições, considerando valores de intensidade de campo maiores ou iguais ao limiar, a maior distância registrada foi de 23 km. Acima do limiar e em todos os pontos, à exceção de um único ponto, os valores de intensidade de campo medidos registraram AQ $\geq$  98%.

As medições em 64 QAM nos pontos até a distância de 23 km que tiveram AQ < 98% (6 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhados conforme a tabela abaixo:

Rota/Ponto	Mod	AQ (%)	E mediano (dBmV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R1P2	64 QAM	89.9	81.5	20.5	5.30	Local em rua com construções baixas no entorno ( até 3 andares). Houve situação de forte interferência nesta medição ocasionando aumento do ruído.
C5P2	64 QAM	81.63	61.5	17.75	14.81	Local em frente a condomínio residencial, situado próximo à vegetação densa
C5P3	64 QAM	0	59.0	15.36	15.83	Local situado na margem direita da rodovia; presença de vegetação densa; proximidade de rede de alta tensão.
C5P4	64 QAM	0	59.0	16.03	18.05	Local situado na margem direita da rodovia, próximo a uma cabine; presença de vegetação densa; proximidade de rede de alta tensão.
R5P3	64 QAM	5.00	61.5	17.48	15.59	Local na Rodovia Raposo Tavares; em frente a um terreno baldio; próximo à linha de alta tensão; região com vegetação densa, tempo nublado
R6P5	64 QAM	0	56.0	9.56	20.60	Local situado embaixo de linha de alta tensão de 13 kV e próxima a outra linha, a cerca de 30 metros. Não foi registrada situação de interferência.

Tabela 20- Detalhamento de pontos diurnos 64QAM onde AQ<98%, Rádio Cultura

#### Rota/Ponto R1P2

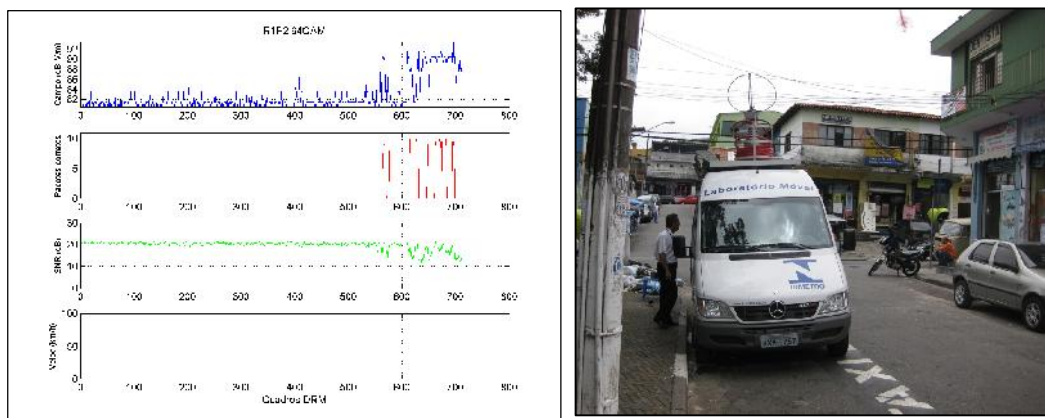


Figura 37 – Medições em 64QAM de R1P2, Rádio Cultura

Houve situação de forte interferência externa neste local, ocasionando aumento do ruído.

#### Rota/Ponto C5P2

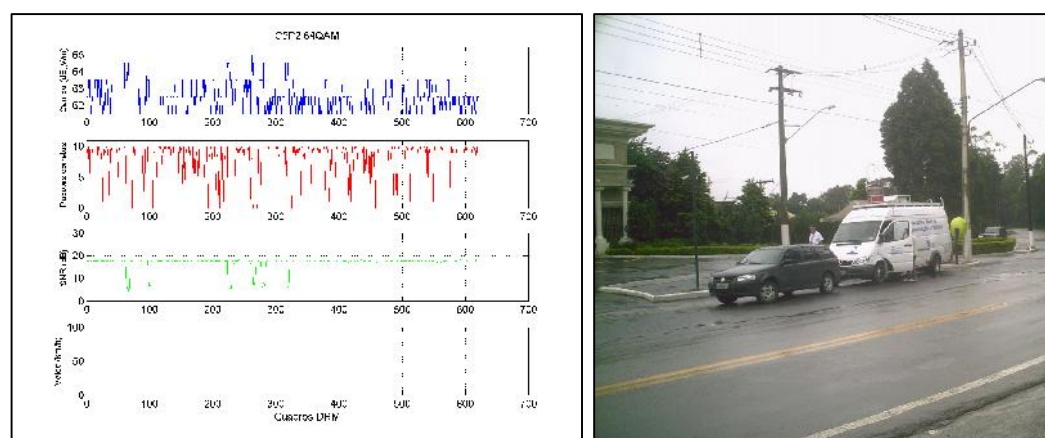


Figura 38-Medições em 64QAM de C5P2, Rádio Cultura



### Rota/Ponto C5P3

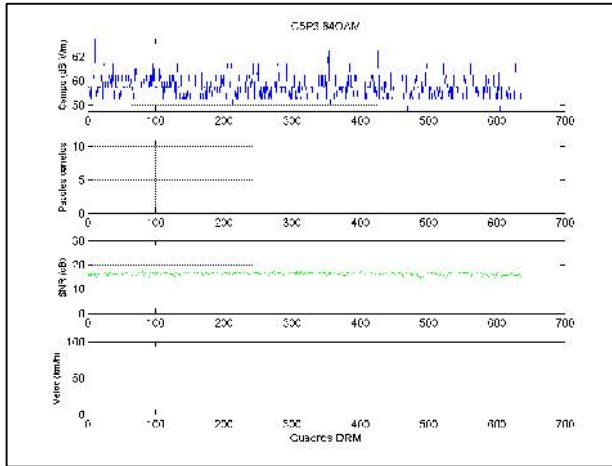


Figura 39-Meções em 64QAM de C5P3, Rádio Cultura

### Rota/Ponto C5P4

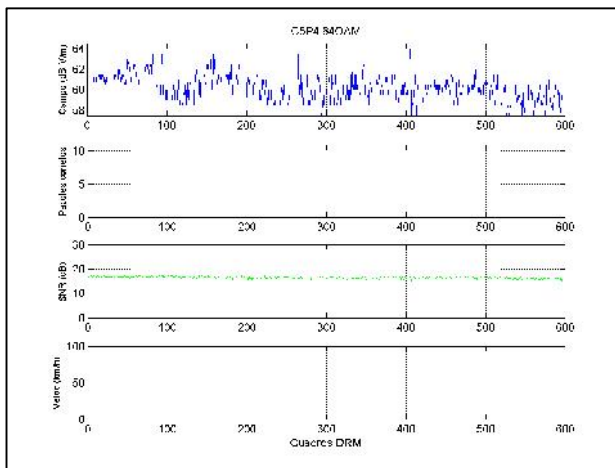


Figura 40-Meções em 64QAM de C5P4, Rádio Cultura

### Rota/Ponto R5P3

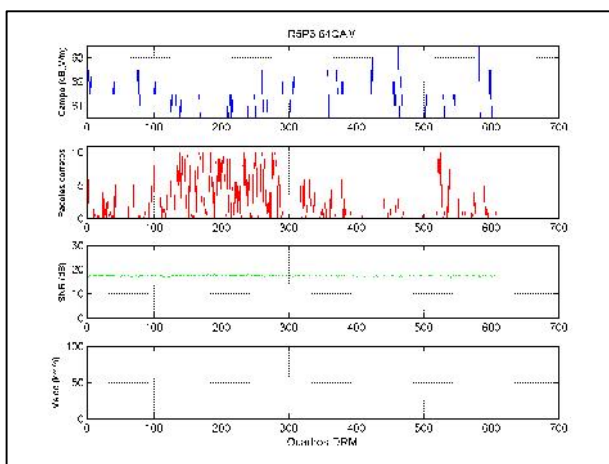


Figura 41-Meções em 64QAM de R5P3, Rádio Cultura





## Rota/Ponto R6P5

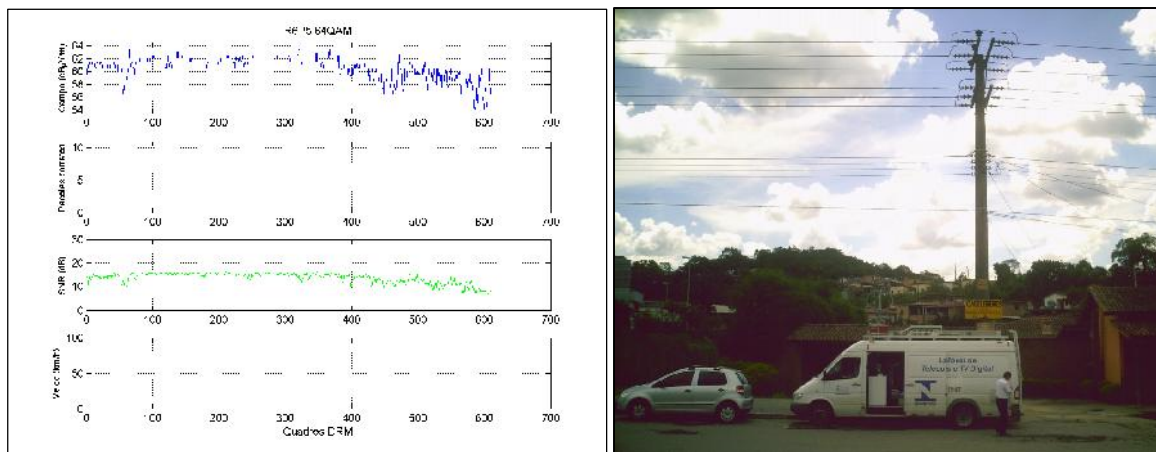


Figura 42 - Medições em 64QAM de R6P5, Rádio Cultura

Não houve registro de situação de interferência. Período completo em silêncio.

As medições nos pontos C5P3 e C5P4 registraram  $AQ < 98\%$  para as duas modulações. Importante ressaltar que as medições foram realizadas em datas distintas (23 e 28/02/2010), em cada data um tipo de modulação.

Os resultados gerais são apresentados na Tabela 21 e o quantitativo de pontos medidos para o modo de transmissão 64QAM, em termos de qualidade de áudio  $AQ \geq 98\%$ , é apresentado na Tabela 22. Esta tabela apresenta a cobertura dentro de duas distâncias. A distância de 15 km é um valor aproximado obtido na avaliação subjetiva de áudio digital com receptores comerciais. Dentro desta distância obteve-se o percentual de cobertura digital de 90%. A distância de 23 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo para medições em 64QAM. Obteve-se o percentual de cobertura digital de 79% dentro desta distância.

Modulação 64QAM		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo (aproximadamente)	SNR (aproximadamente)
23 km	63 dB $\mu$ V/m	19 dB

Tabela 21 - Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 64QAM

Modulação 64QAM						
			Até 15 km		Até 23 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	44	100%	21	100%	29	100%
$AQ \geq 98\%$	24	55%	19	90%	23	79%
$90\% \leq AQ < 98\%$	0	0%	0	0%	0	0%
$AQ < 90\%$	20	45%	2	10%	6	21%

Tabela 22 - Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 64QAM

Pelos resultados obtidos pode-se constatar que a área de cobertura do sinal digital com configurações de 16QAM e 64QAM obtidas foi de 24,5 km e 23 km, respectivamente, onde a qualidade de áudio esteve acima de 98%. No entanto, pode-se constatar que com uma

modulação mais robusta (16QAM) essa área de cobertura é maior, podendo chegar entre 25 a 30 km. Como era de se esperar, na transmissão com modulação mais robusta a área de cobertura é maior que na transmissão com modulação menos robusta.

#### 4.3.9. Comparação da área de cobertura do sistema digital com a área de cobertura do sistema analógico

A partir dos resultados obtidos nos itens anteriores, conclui-se que a cobertura digital oferece qualidade alta até o limiar de intensidade de campo, conforme Figura 31 do item 4.3.6, em situação bem demarcada entre recepção com  $AQ \geq 98\%$  e abaixo deste valor. A cobertura analógica apresenta pontos onde a recepção é pobre ou ruim dentro do contorno teórico diurno de 2 mV/m, conforme visto no item 4.3.4.

Para a comparação das coberturas analógica e digital são adotadas as notas da avaliação subjetiva do áudio analógico e o critério de qualidade do áudio igual ou superior a 98% para áudio digital decodificado corretamente.

Estipula-se para o sinal analógico a gradação de notas de 5 a 3 na cor verde e abaixo de 3 na cor vermelha, pois o sinal digital ligado somente pode ser comparado com notas do áudio analógico entre 5 e 3. A classificação do sinal digital é cor verde para  $AQ \geq 98\%$  e vermelho para  $AQ < 98\%$ . A Tabela 23 apresenta o resultado para as medições em 16QAM, e a Tabela 25 para 64QAM.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Distância (km)	AQ (%)	Áudio Analógico
1	C1P1	16 QAM	9.9	100	2.75
2	C1P3	16 QAM	16.9	99.19	2.25
3	C1P4	16 QAM	12.3	94.46	2.25
4	C1P5	16 QAM	10.6	99.69	1.5
5	C2P1	16 QAM	12.6	99.98	4
6	C2P2	16 QAM	9.8	99.98	4
7	C2P3	16 QAM	4.1	100	4
8	C2P4	16 QAM	8.6	100	3.5
9	C3P1	16 QAM	29.3	0	2
10	C3P2	16 QAM	30.8	0	2
11	C3P3	16 QAM	31.2	0	3.25
12	C3P5	16 QAM	35.5	0	2
13	C5P1	16 QAM	12.6	99.97	2
14	C5P2	16 QAM	14.8	99.98	3.5
15	C5P3	16 QAM	15.8	98.00	3
16	C5P4	16 QAM	18.0	0	2.25
17	C5P5	16 QAM	17.3	99.98	2.75
18	R1P1	16 QAM	4.7	100	3.5
19	R1P2	16 QAM	5.3	99.97	3.5
20	R1P3	16 QAM	12.0	99.97	3.6
21	R1P4	16 QAM	17.1	100	2.33
22	R1P5	16 QAM	23.3	99.92	1
23	R2P1	16 QAM	3.0	99.97	3
24	R2P2	16 QAM	7.2	99.89	3
25	R2P3	16 QAM	13.8	99.71	2
26	R2P4	16 QAM	24.5	98.00	3.5
27	R2P5	16 QAM	33.7	87.63	3
28	R2P6	16 QAM	43.8	0	1

29	R3P1	16 QAM	2.9	100	3.25
30	R3P2	16 QAM	13.0	99.97	2.5
31	R3P3	16 QAM	23.7	100	2
32	R3P4	16 QAM	36.9	0	1
33	R4P1	16 QAM	4.2	99.74	3.25
34	R4P2	16 QAM	5.2	100	3.75
35	R4P3	16 QAM	20.0	98.82	2.25
36	R4P4	16 QAM	24.5	99.99	2.5
37	R4P5	16 QAM	29.5	90.68	2.25
38	R4P6	16 QAM	39.9	0	1.5
39	R4P7	16 QAM	49.9	0	1.33
40	R5P1	16 QAM	2.9	99.99	--
41	R5P2	16 QAM	10.7	100	3
42	R5P3	16 QAM	15.6	75	2
43	R5P4	16 QAM	24.2	99.63	2
44	R5P5	16 QAM	33.2	0	2.5
45	R6P1	16 QAM	3.9	100	2.75
46	R6P2	16 QAM	9.8	100	3
47	R6P3	16 QAM	13.3	100	2.5
48	R6P4	16 QAM	16.7	99.95	2.25
49	R6P5	16 QAM	20.6	0	1.75

Tabela 23-Comparação entre o sinal digital 16QAM e o sinal analógico

Os valores da Tabela 23 são apresentados no mapa da Figura 43. Para melhor visualização destes resultados são apresentadas situações distintas na Figura 44, Figura 45 e Figura 46. Os pontos redondos são as notas do sinal analógico e os marcadores são a classificação do sinal digital. O contorno protegido diurno (2 mV/m) está a 31,7 km, em azul.

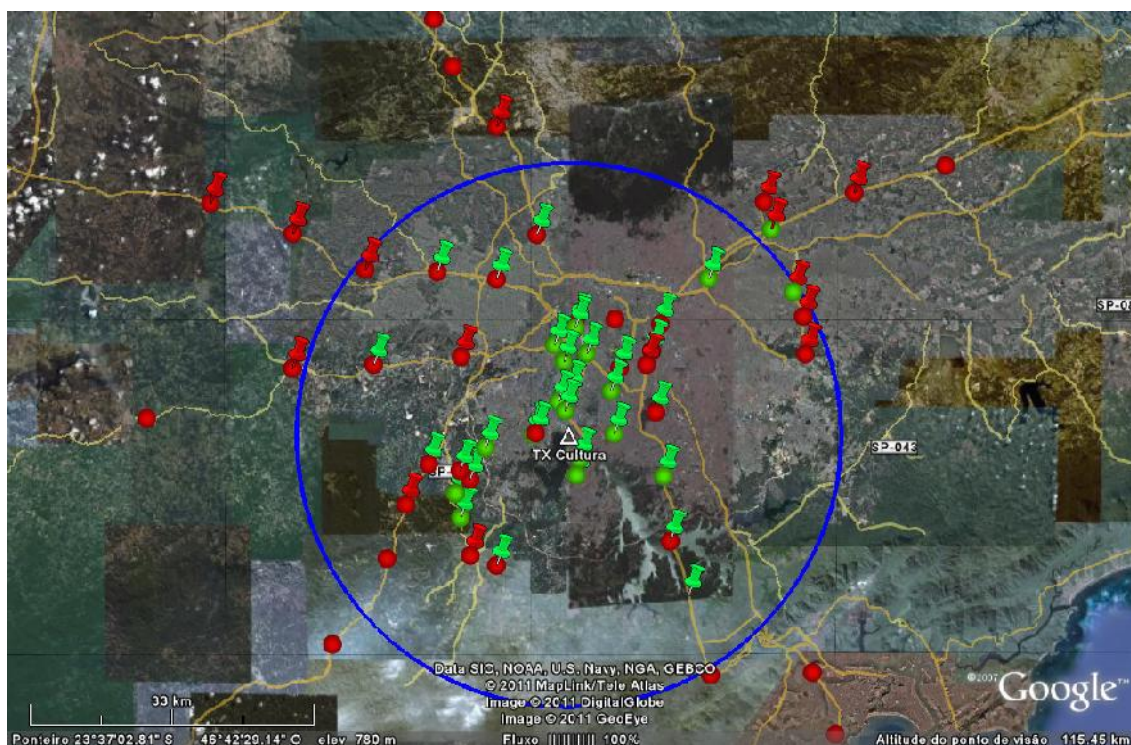


Figura 43 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM e sinal analógico

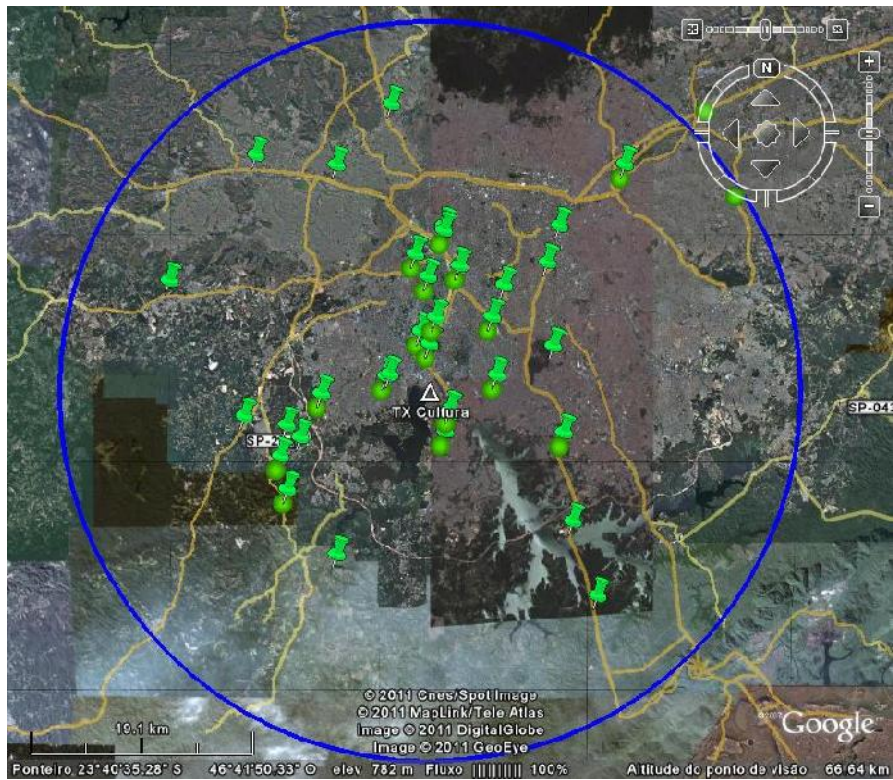


Figura 44 – Visualização de recepção analógica boa e de recepção digital boa 16QAM

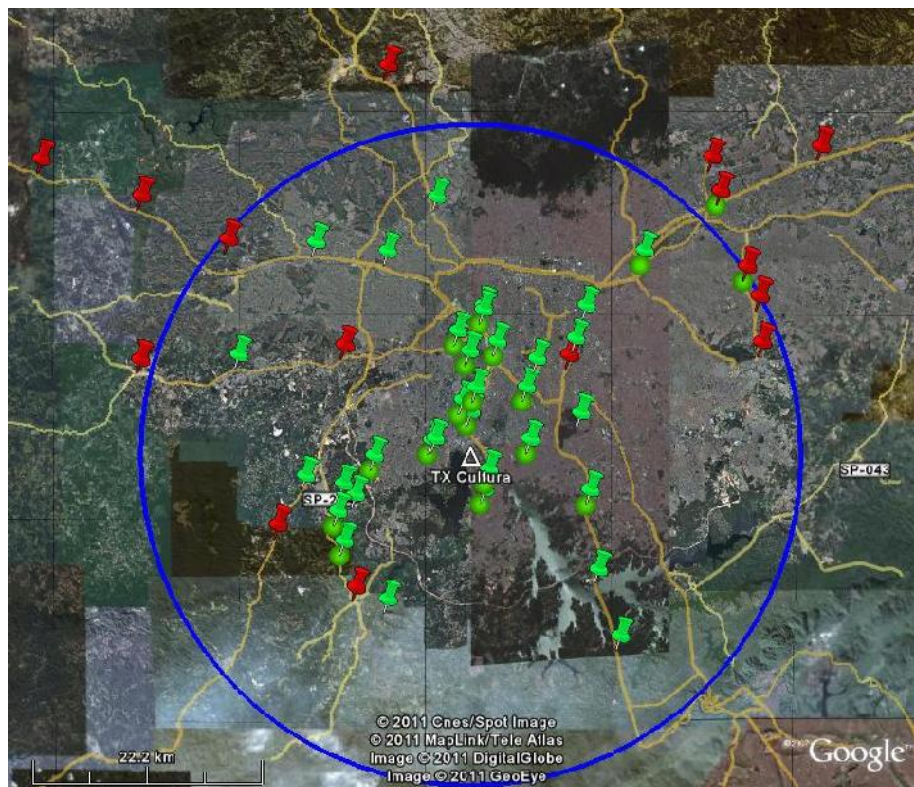


Figura 45 – Visualização de recepção analog. boa e de recepção digital boa ou ruim 16QAM  
 A diferença da Figura 44 para a Figura 45 é a inserção dos pontos de recepção digital ruim.

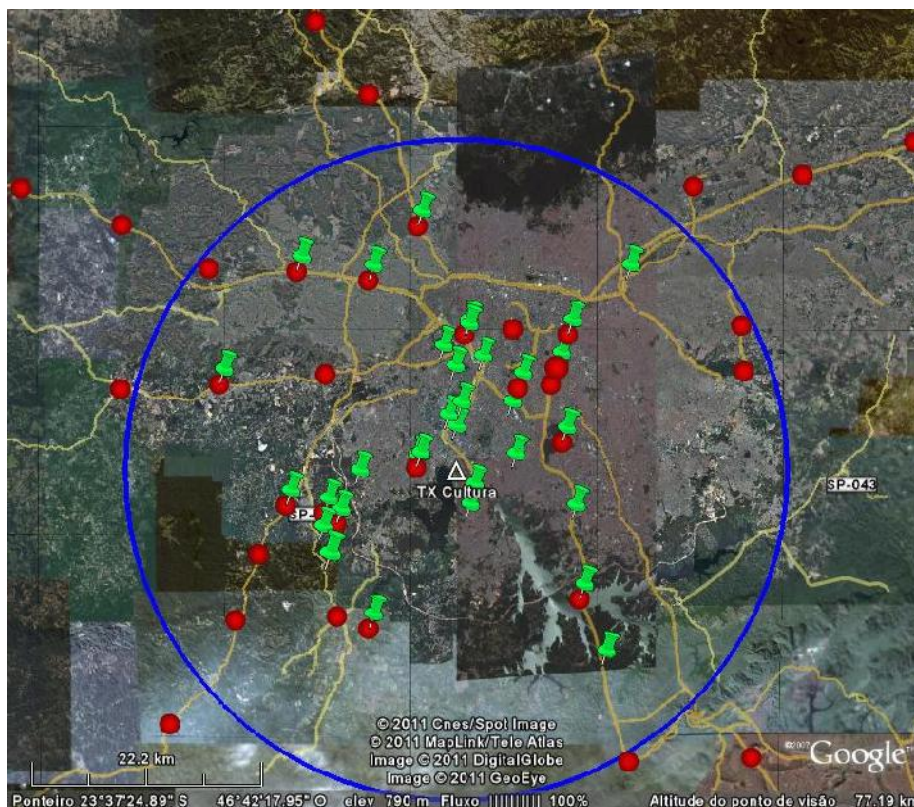


Figura 46 – Visualização de recepção analógica ruim e de recepção digital 16QAM boa

A Figura 46 mostra os pontos onde a recepção analógica foi classificada como ruim (vermelho) e onde a recepção digital foi classificada como boa (verde).

As rotas radiais (R1 a R6) apresentam o comportamento de  $AQ \geq 98\%$  até uma determinada distância. As radiais, com exceção da R2, apresentam o sinal digital melhor em mais pontos do que o sinal analógico. Dos 49 pontos medidos, o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 34 pontos, conforme mencionado anteriormente, e o sinal analógico teve 19 pontos com recepção boa (em verde na Tabela 23).

Em termos de cobertura, em 17 pontos a qualidade do sinal digital esteve igual à do analógico, em 16 pontos o sinal digital esteve melhor que o analógico, em 2 pontos o sinal analógico esteve melhor que o digital e em 13 pontos os dois estiveram ruins. Houve 1 ponto sem classificação do áudio analógico, pois houve falha neste registro.

Dentro do contorno protegido teórico diurno (2 mV/m ou 31,7 km), foram medidos 42 pontos, dentre os quais 34 (81%) tiveram recepção de áudio com  $AQ \geq 98\%$ . A comparação de cobertura dentro do contorno resultou em 17 pontos com sinal digital igual ao analógico, 16 pontos com sinal digital melhor que o analógico, 1 ponto com sinal analógico melhor que o digital e 7 pontos onde os dois estiveram ruins.

A consolidação da comparação entre as coberturas digital 16QAM e analógica é apresentada na Tabela 24.

<b>Modulação 16QAM</b>	<b>Total</b>	<b>Dentro do contorno 2 mV/m (31,7 km)</b>
Pontos fixos medidos	49	42
Pontos AQ $\geq$ 98%	34 (69%)	34 (81%)
Sinal analógico com boa recepção	19 (39%)	18 (43%)
<b>Comparação de cobertura (*):</b>		
Recepção boa digital e analógica	17	17
Recepção digital melhor	16	16
Recepção analógica melhor	2	1
Recepção ruim digital e analógica	13	7

Tabela 24 – Consolidação da comparação da cobertura digital 16QAM com analógica

(\*) Houve 1 ponto sem classificação

Para a transmissão em 64QAM, tem-se a tabela a seguir.

<b>Rota/Ponto</b>	<b>Modulação</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>AQ (%)</b>	<b>Áudio analógico</b>
C2P1	64 QAM	12.6	100	4
C2P2	64 QAM	9.8	100	4
C2P3	64 QAM	4.2	100	4
C2P4	64 QAM	8.6	100	3.5
C3P1	64 QAM	29.2	0	2
C3P2	64 QAM	30.7	0	2
C3P3	64 QAM	31.2	0	3.25
C3P5	64 QAM	35.5	0	2
C5P1	64 QAM	12.6	99.98	2
C5P2	64 QAM	14.8	81.63	3.5
C5P3	64 QAM	15.8	0	3
C5P4	64 QAM	18.0	0	2.25
C5P5	64 QAM	17.3	100	2.75
R1P1	64 QAM	4.7	100	3.5
R1P2	64 QAM	5.3	89.97	3.5
R1P3	64 QAM	12.0	100	3.6
R1P4	64 QAM	17.1	100	2.33
R1P5	64 QAM	32.5	0	1
R2P1	64 QAM	3.0	100	3
R2P2	64 QAM	7.2	100	3
R2P3	64 QAM	13.8	99.52	2
R2P4	64 QAM	24.3	0	3.5
R2P5	64 QAM	33.7	0	3
R2P6	64 QAM	43.8	0	1
R3P1	64 QAM	2.9	100	3.25
R3P2	64 QAM	13.0	100	2.5
R3P3	64 QAM	23.7	99.98	2
R3P4	64 QAM	36.9	0	1
R4P1	64 QAM	4.1	99.94	3.25
R4P2	64 QAM	5.1	99.98	3.75
R4P3	64 QAM	20.4	99.36	2.25
R4P4	64 QAM	24.5	0	2.5
R4P5	64 QAM	29.4	0	2.25
R4P6	64 QAM	39.9	0	1.5
R5P1	64 QAM	2.9	100	--
R5P2	64 QAM	10.7	99.98	3
R5P3	64 QAM	15.6	5	2
R5P4	64 QAM	24.2	0	2

R5P5	64 QAM	33.2	0	2.5
R6P1	64 QAM	3.9	100	2.75
R6P2	64 QAM	9.8	100	3
R6P3	64 QAM	13.3	100	2.5
R6P4	64 QAM	16.7	99.86	2.25
R6P5	64 QAM	20.6	0	1.75

Tabela 25- Comparação entre o sinal digital 64QAM e o sinal analógico

Os valores da Tabela 25 são apresentados no mapa da Figura 47. A Figura 48, Figura 49 e Figura 50 apresentam situações distintas para melhor visualização. Os pontos redondos são as notas do sinal analógico e os marcadores são a classificação do sinal digital, e contorno protegido diurno (2 mV/m) está na distância de 31,7 km.

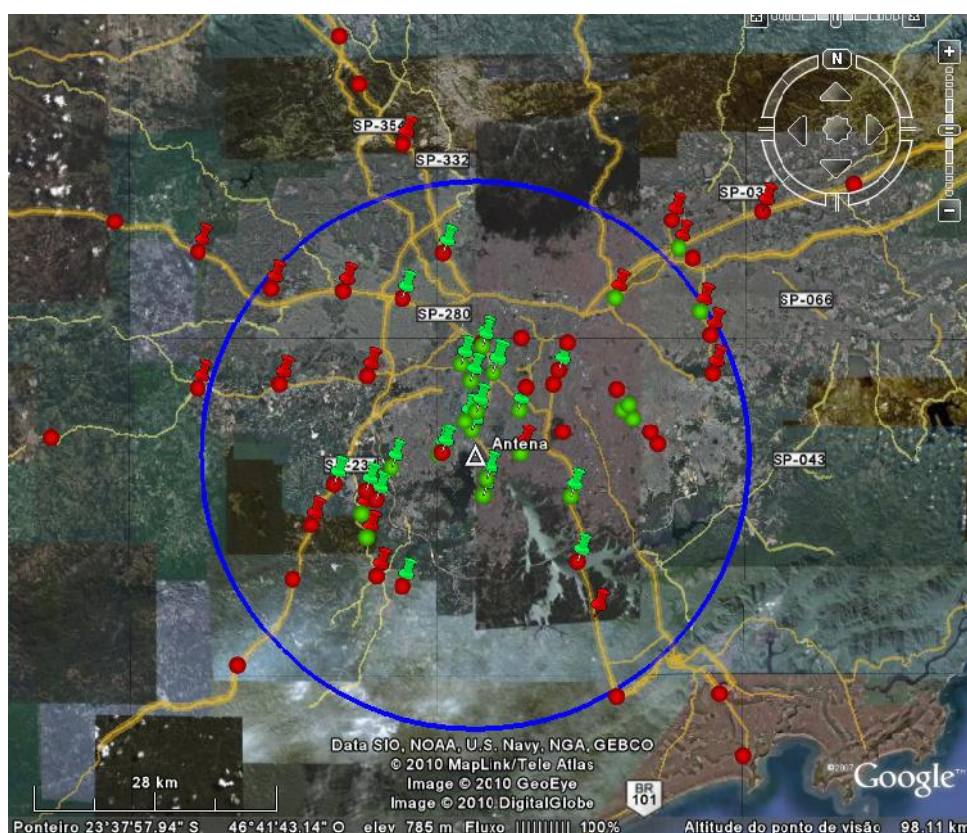


Figura 47 – Mapa da comparação entre sinal digital 64QAM e sinal analógico

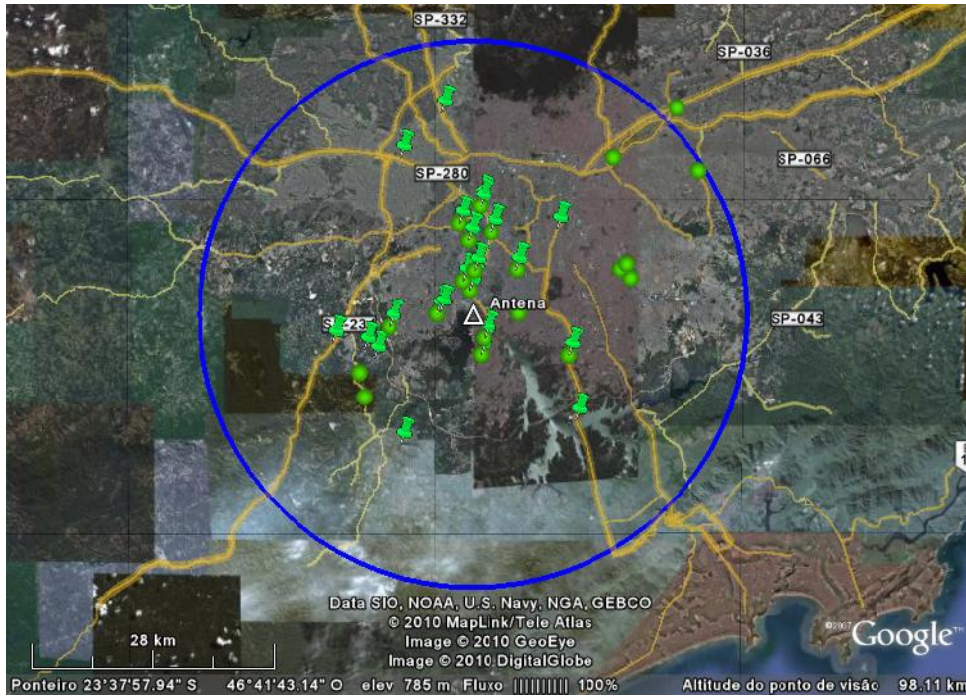


Figura 48 – Visualização de recepção analógica boa e de digital boa 64QAM

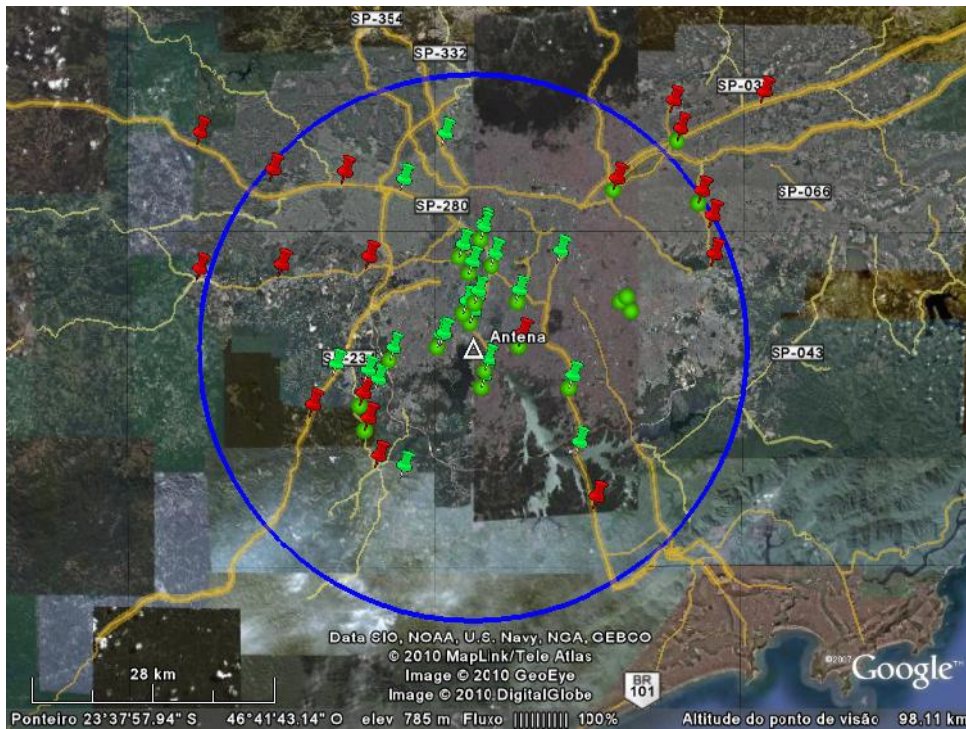


Figura 49 - Pontos com recepção analógica boa com digital 64QAM boa ou ruim

A diferença da Figura 49 para a Figura 48 é a inserção dos pontos com recepção digital ruim.



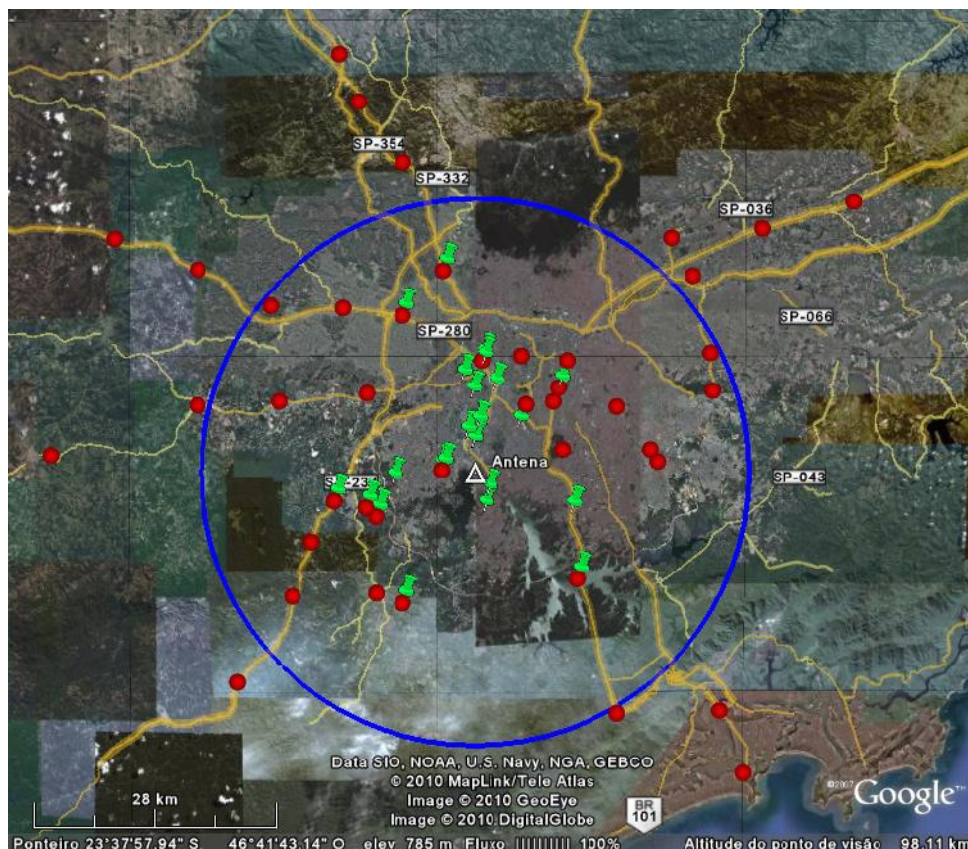


Figura 50 - Pontos com recepção analógica ruim com digital 64QAM boa

A Figura 50 mostra os pontos onde a recepção analógica foi classificada como ruim (vermelho) e onde a recepção digital foi classificada como boa (verde).

O sinal digital 64QAM teve recepção  $AQ \geq 98\%$  em quantidade maior de pontos do que o sinal analógico com recepção boa. Dos 44 pontos medidos, o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 24 pontos, e o sinal analógico teve 19 pontos com recepção boa (em verde na Tabela 24). Em termos de cobertura, em 13 pontos o sinal digital esteve igual ao analógico, em 10 pontos o sinal digital esteve melhor que o analógico, em 6 pontos o sinal analógico esteve melhor que o digital e em 11 pontos os dois estiveram ruins. Houve 1 ponto sem classificação do áudio analógico devido à não gravação deste áudio.

Dentro do contorno protegido teórico diurno ( $2mV/m$  ou  $31,7$  km), foram medidos 37 pontos, dentro os quais 24 (65%) tiveram recepção de áudio com  $AQ \geq 98\%$ . A comparação de cobertura dentro do contorno resultou em 13 pontos com sinal digital igual ao analógico, 10 pontos com sinal digital melhor que o analógico, 5 pontos com sinal analógico melhor que o digital e 8 pontos onde os dois estiveram ruins

A consolidação da comparação entre as coberturas digital 64QAM e analógica é apresentada na Tabela 26.

<b>Transmissão 64QAM</b>	<b>Total</b>	<b>Dentro do contorno 2 mV/m (31,7 km)</b>
Pontos fixos medidos	44	37
Pontos AQ $\geq$ 98%	24 (55%)	24 (65%)
Sinal analógico com boa recepção	19 (43%)	18 (49%)
<b>Comparação de cobertura (*):</b>		
Recepção boa digital e analógica	13	13
Recepção digital melhor	10	10
Recepção analógica melhor	6	5
Recepção ruim digital e analógica	14	8

Tabela 26 - Consolidação da comparação da cobertura digital 64QAM com a analógica

#### 4.3.10. Conclusões sobre resultados das medições diurnas da Rádio Cultura

A análise dos testes diurnos do sistema DRM30 em transmissão *simulcast* com o sinal da Rádio Cultura AM em São Paulo, nos meses de janeiro e fevereiro de 2010, apresentou os seguintes resultados de desempenho:

- Apesar das medições de intensidade de campo elétrico apresentarem comportamento que segue a tendência do modelo de predição da Anatel, em geral observa-se variações das medições em torno do valor predito de até 18 dB. Esta variação ocorre em virtude do modelo de predição de intensidade de campo da Anatel não considerar a presença de prédios e do perfil do terreno. Outro aspecto é o uso de um valor fixo de condutividade do solo no modelo de previsão na região de São Paulo onde ocorreram as medições. Este valor é oriundo do mapa atual de condutividade do solo. Na prática este parâmetro varia ao longo da região conforme o tipo de solo e sua ocupação.
- Obtenção de valor limiar de relação sinal-ruído nas medições diurnas de aproximadamente 14,2 dB em 16QAM e de aproximadamente 19 dB para 64QAM. Estes resultados estão acima dos valores de relação sinal-ruído requeridos para a taxa de erro (BER) de  $1 \times 10^{-4}$  no sistema DRM30, conforme a Recomendação UIT-R BS 1615. Estes valores refletem o comportamento do sistema em ambiente predominantemente urbano denso, com condições de tráfego intenso, onde o ruído feito pelo homem (ruído de ignição de veículos, linhas de alta tensão, linha férrea, ônibus elétricos) torna o canal com características diferentes do canal puramente gaussiano considerado no cálculo da UIT. Foi verificado que para este ambiente é necessário valor de relação sinal ruído maior que da UIT para que seja atendido o requisito de taxa de erro (BER) de  $1 \times 10^{-4}$ .
- A transmissão em 16QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu a distância de 24,5 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo de aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital foi de 89% dentro desta distância.
- A transmissão em 64QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu a distância de 23 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo de

aproximadamente 63 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital foi de 79% dentro desta distância

- As medições dentro das distâncias obtidas em cada caso (24,5 km para 16QAM e 23 km para 64QAM) que apresentaram qualidade de áudio inferior a 98% foram verificadas e constatou-se que a degradação na recepção do sinal digital deveu-se provavelmente ao tráfego de veículos, à proximidade de linhas de transmissão e em locais próximos a regiões com vegetação densa.
- Foi constatado que as áreas de cobertura do sinal digital com configuração de 16QAM e 64QAM são comparáveis à cobertura do sinal analógico, uma vez que a qualidade do áudio até 24,5 km e 23 km, respectivamente, esteve igual ou maior que 98%, valor que representa áudio sem distorções. A avaliação subjetiva do áudio analógico AM obtido nesta campanha de testes apresentou área de cobertura analógica variável, com “Recepção Boa” registrada entre 3 e 12 km, havendo uma radial onde esta situação ocorreu em locais a 25 km e a 33 km do transmissor; também uma das rotas circulares apresentou pontos com “Recepção Boa” em 15 e 16 km. Com “Recepção Pobre” houve registro entre 13 e 30 km nas radiais analisadas. Os pontos onde o áudio foi classificado como “Recepção Pobre”, devem ser entendidos como havendo a presença do ruído e esta é muito incômoda para o ouvinte, quando a informação do áudio torna-se ininteligível. Houve pontos com “Recepção Ruim” a 14, 15 e 24 km do transmissor. Os limiares de intensidade de campo obtidos na situação de “Recepção Boa” estão na faixa de 75 a 80 dB $\mu$ V/m e na situação de “Recepção Ruim” estão na faixa de 64 a 75 dB $\mu$ V/m.

Ressalta-se que os testes foram realizados com nível de transmissão 12 dB abaixo da potência do sinal analógico, devido ao uso da técnica de *shaping*, e mesmo nesta situação apresentou percentual maior de pontos com recepção digital boa do que com recepção analógica boa dentro da área de medição.

- Os limiares de intensidade de campo elétrico dos sinais digitais obtidos são cerca de 12 a 15 dB inferiores aos limiares do sistema AM no caso de “Recepção Boa”, e no caso de “Recepção Ruim” do sistema AM, a diferença é cerca de 1 a 4 dB. Nos sistemas digitais os limiares são inferiores aos analógicos conforme esperado para sistemas digitais.
- A transmissão com modulação 16QAM nos testes diurnos demonstrou maior robustez em relação à modulação 64QAM, conforme esperado.
- A avaliação com receptores digitais comerciais, ainda que com reduzido número de medições, indicou a extensão da área de cobertura de aproximadamente 20 km com transmissão no modo 16QAM. Esta distância também foi obtida com a transmissão em 64QAM, tendo havido neste caso pontos com recepção considerada ruim, pela avaliação subjetiva, a partir de 15 km. Os valores limiares de intensidade de campo obtidos foram aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m e aproximadamente 65 dB $\mu$ V/m para 16QAM e 64QAM respectivamente, ficando similares aos limiares dos receptores profissionais. Estes resultados foram obtidos para fins de verificação do desempenho da recepção com receptores não profissionais, não constituindo situação para comparação com o sistema analógico.



- A comparação de cobertura entre os sistemas nas medições realizadas nestes testes, considerando a classificação subjetiva do áudio analógico e a classificação objetiva do áudio digital através do parâmetro qualidade de áudio (AQ), mostrou que dentre os 49 pontos medidos, houve 34 onde  $AQ \geq 98\%$ , e o sinal digital 16QAM esteve melhor em 16 locais, igual ao analógico em 17 locais, inferior ao analógico em 2 locais, e em 13 locais as duas recepções estiveram ruins. Dentro do contorno protegido diurno a cobertura digital em 16QAM atendeu 81% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 43% dos pontos.

Para 64QAM, dentre os 44 pontos medidos, houve 24 onde  $AQ \geq 98\%$ , e em 10 locais o sinal digital esteve melhor, em 13 esteve igual ao analógico, em 6 esteve inferior ao analógico e em 14 locais as duas recepções estiveram ruins. Dentro do contorno protegido diurno a cobertura digital em 64QAM atendeu 65% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 49% dos pontos.

#### 4.4. Resultados das medições noturnas em pontos fixos da Rádio Cultura

Nesta Seção são apresentados os resultados das análises das medições noturnas realizadas em pontos fixos. Os pontos de medições noturnas localizam-se ao longo das rotas de medição apresentadas na Tabela 6 e descritas no anexo. A Figura 51 apresenta a posição dos pontos e o contorno protegido noturno de 2,5 mV/m.

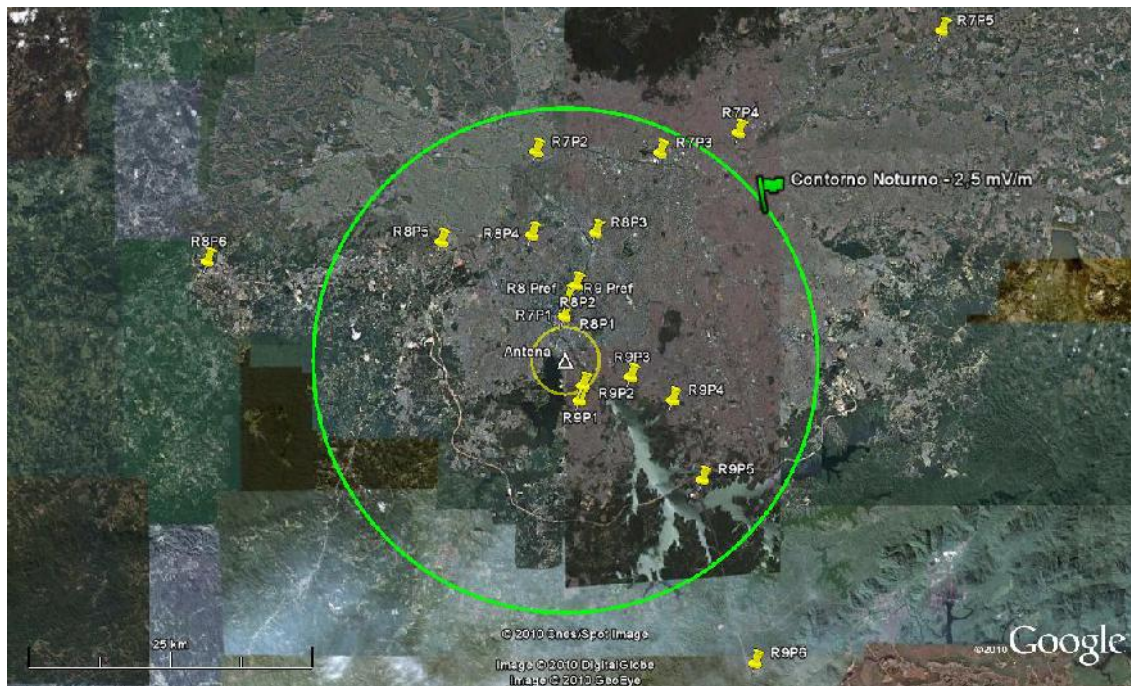


Figura 51- Pontos para medições noturnas em pontos fixos da Radio Cultura

Os resultados compreendem as seguintes análises, que são discutidas a seguir:

- i. Verificação da consistência dos dados
- ii. Validação das medições através da comparação entre predição teórica e medições de campo
- iii. Comparação entre a área de cobertura do sinal analógico medido e a área de cobertura do sinal analógico predito
- iv. Avaliação da relação sinal-ruído para recepção do sinal digital de boa qualidade
- v. Área de cobertura do sinal digital noturno medido
- vi. Comparação entre a área de cobertura do sistema digital e a área de cobertura do sistema analógico
- vii. Testes de compatibilidade com sinais analógicos

##### 4.4.1. Verificação da consistência dos dados noturnos

As considerações feitas no item 4.3.1 referentes à consistência dos dados diurnos se aplicam aos dados noturnos, desde as possíveis falhas mencionadas até os critérios aplicados. O resultado da verificação mostrou que os dados de todas as rotas noturnas estão consistentes.

#### 4.4.2. Validação das medições

A validação consiste na utilização dos valores medidos de intensidade de campo elétrico no primeiro ponto fixo (P1) de rotas radiais que estejam localizados no entorno de 1 km, para comparação com o valor do campo característico teórico da estação da Rádio Cultura AM. A Figura 52 apresenta a localização destes pontos. O círculo amarelo indica a distância de 3 km, apenas para referência.

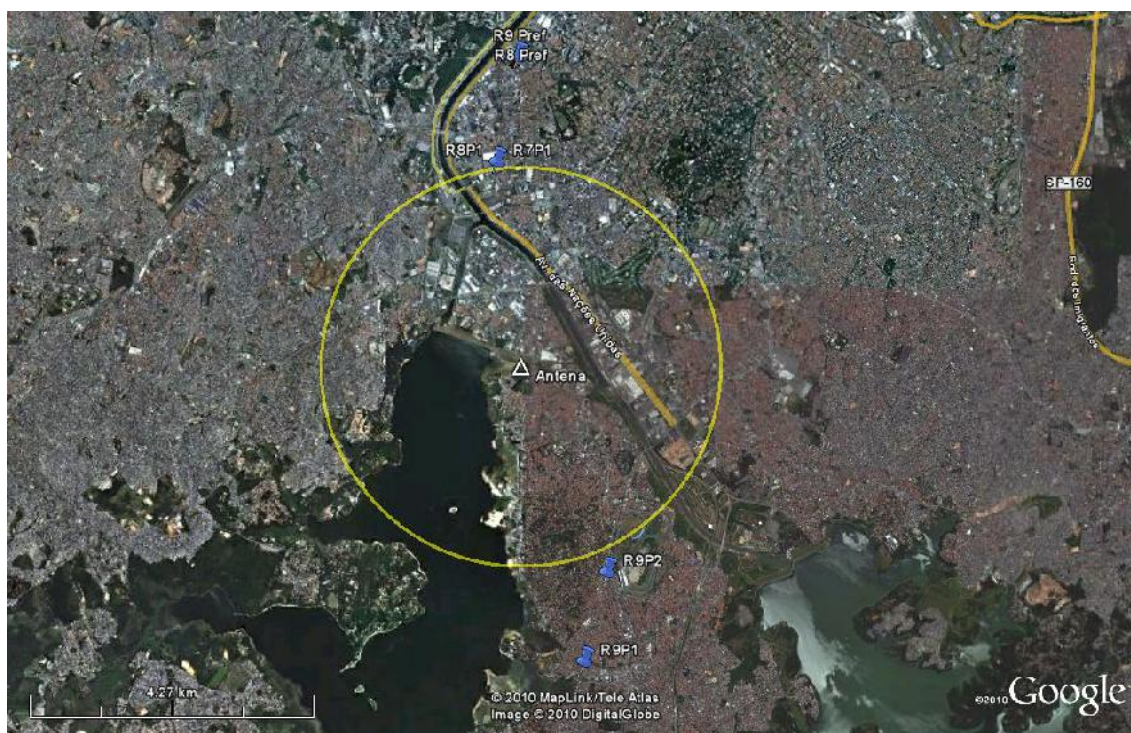


Figura 52-Localização dos pontos iniciais das rotas radiais noturnas

##### 4.4.2.1. Predição teórica da intensidade de campo noturna

As predições teóricas de intensidade de campo elétrico noturna são a metodologia da Anatel [5] e o método da Recomendação UIT-R P.368 [11], conforme mencionado no item 4.3.2.1.

A intensidade de campo elétrico teórica noturna é prevista pelo modelo da Anatel. Com este modelo o contorno de serviço noturno de 2,5 mV/m (68 dB $\mu$ V/m) está aproximadamente a 22,3 km da estação transmissora.

##### 4.4.2.2. Comparação da predição teórica com medições de campo

As medições de intensidade de campo noturnas em 16QAM e em 64QAM são comparadas com os valores gerados pelo modelo de predição da Anatel em cada ponto de medição em distâncias até 4.5 km do transmissor, para validação. Na Figura a seguir observa-se variabilidade nos valores medidos nestes pontos das rotas apresentadas. Nestes testes a variabilidade observada em cada ponto ocorreu entre 5 e 7 dB.

A variabilidade temporal do campo das ondas de superfície em meio urbano deve-se principalmente ao desvanecimento causado pelo movimento de carros e ônibus nas regiões próximas a rodovias [21]. Na recepção noturna pode haver a parcela da onda ionosférica na

intensidade de campo elétrico recebido, contribuindo para o aumento do sinal em relação aos níveis diurnos. O cálculo da intensidade de onda ionosférica é tratado na Recomendação UIT-R P.1147 para distâncias a partir de 50 km [29].

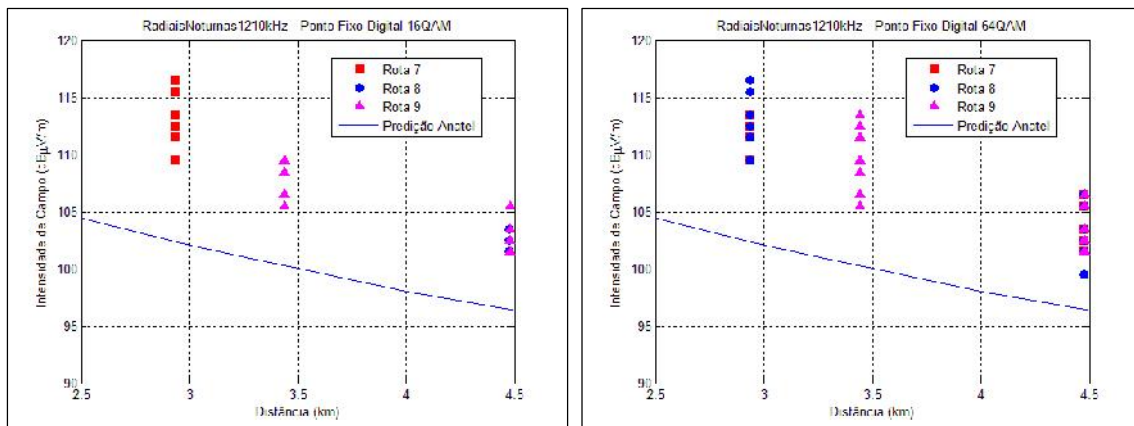


Figura 53-Medições noturnas em pontos fixos até 5 km; 16QAM (esq) e 64QAM (dir)

As medições noturnas apresentaram valores de campo em maioria superiores aos previstos pelo modelo da Anatel. Considerando-se que os locais de medição estão localizados a distâncias inferiores a 50 km, a contribuição da onda ionosférica no sinal recebido da propria emissora pode ser considerada reduzida.

Importante destacar que os valores medidos no período noturno estão acrescidos dos sinais interferentes de outras estações AM, conforme verificado nos registros do analisador do espectro em toda a faixa de medição. Os sinais interferentes atingem o receptor devido a reflexões na camada ionosférica, fenômeno de propagação que é intensificado no período noturno. A presença de vários sinais interferentes deve-se provavelmente ao fato da potência de transmissão noturna não estar sendo ajustada para os valores de transmissão noturnos nestas estações conforme determinado pela norma da Anatel [5]. A Figura 54 apresenta um exemplo de medição noturna do sinal analógico, na qual se observam picos de sinal em toda a faixa medida.

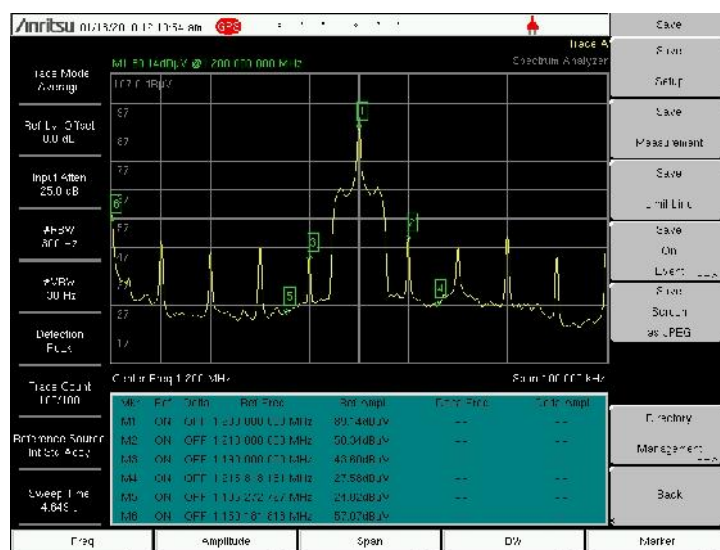


Figura 54 – Registro do analisador de espectro no ponto R9P1

#### 4.4.3. Dados de medições noturnas

Os dados para as análises do comportamento do sistema DRM30 no período noturno são apresentados na Tabela 27 (16QAM) e Tabela 28 (64QAM). Para cada ponto fixo foi obtida a intensidade de campo digital mediana, intensidade de campo analógico AM, relação sinal-ruído mediana e o valor de qualidade de áudio (AQ), que são utilizados nas análises deste relatório. A intensidade de campo analógica noturna é obtida a partir dos registros do analisador de espectro na frequência do sinal AM, pois a interferência das demais estações AM ocorre sobre o sinal digital e não sobre o sinal AM analógico. A R8 não teve registro do analisador de espectro.

Dentre as 15 medições de 16QAM válidas para as análises, 14 estão dentro do contorno protegido noturno de 2,5 mV/m (22,3km). Em 64QAM, dentre as 18 medições válidas para as análises, 16 estão dentro do contorno protegido noturno de 2,5 mV/m. O Anexo III apresenta a localização dos pontos de medição.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E digital mediano (dBµV/m)	E analógico do analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R7P1	16 QAM	Fixo	100	99.5	110.76	25.70	2.93
2	R7P2	16 QAM	Fixo	94.63	69.5	81.26	11.31	18.00
3	R7P3	16 QAM	Fixo	0	68.5	74.62	4.92	19.23
4	R8PR	16 QAM	Fixo	100	90.5	--	25.08	4.46
5	R8P2	16 QAM	Fixo	100	78.5	--	17.97	6.11
6	R8P3	16 QAM	Fixo	99.99	80.5	--	19.30	10.57
7	R8P4	16 QAM	Fixo	99.71	69.5	--	14.36	10.60
8	R8P5	16 QAM	Fixo	99.97	69.5	--	15.92	14.88
9	R9P1	16 QAM	Fixo	100	96.5	106.16	25.17	4.71
10	R9P2	16 QAM	Fixo	100	93.5	104.05	23.92	3.43
11	R9P3	16 QAM	Fixo	100	93.5	103.34	24.98	6.12
12	R9P4	16 QAM	Fixo	100	73.5	85.89	18.98	10.29
13	R9P5	16 QAM	Fixo	99.01	65.5	77.00	13.41	16.61
14	R9P6	16 QAM	Fixo	0	65.5	63.52	4.20	28.54
15	R9PR	16 QAM	Fixo	100	90.5	101.00	21.62	4.46

Tabela 27-Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E digital mediano (dBµV/m)	E analógico do analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R7P1	64 QAM	Fixo	100	99.5	110.94	25.92	2.92
2	R7P2	64 QAM	Fixo	0.48	67.5	78.86	7.59	17.72
3	R7P3	64 QAM	Fixo	0	69.5	76.71	9.07	18.83
4	R7P4	64 QAM	Fixo	0	65.5	72.36	6.22	24.32
5	R7PR	64 QAM	Fixo	100	90.5	101.32	24.46	4.46
6	R8P1	64 QAM	Fixo	100	100.5	--	25.47	2.93
7	R8P2	64 QAM	Fixo	98.84	78.5	--	17.71	6.10
8	R8P3	64 QAM	Fixo	81.05	81.5	--	17.36	10.58
9	R8P4	64 QAM	Fixo	9.67	71.5	--	13.15	10.60
10	R8P5	64 QAM	Fixo	86.53	72.5	--	16.10	14.87
11	R8PR	64 QAM	Fixo	100	91.5	--	24.08	4.46
12	R9P1	64 QAM	Fixo	100	96.5	106.64	25.25	4.71
13	R9P2	64 QAM	Fixo	100	94.5	104.40	23.82	3.43
14	R9P3	64 QAM	Fixo	100	93.5	103.37	24.10	6.12
15	R9P4	64 QAM	Fixo	96.49	75.5	85.7	18.71	10.29
16	R9P5	64 QAM	Fixo	0	69.5	76.59	9.46	16.61
17	R9P6	64 QAM	Fixo	0	64.5	66.75	6.18	28.55
18	R9PR	64 QAM	Fixo	100	90.5	99.62	24.24	4.46

Tabela 28- Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM





#### 4.4.4. Comparação entre a área de cobertura do sinal analógico medido e a área de cobertura do sinal analógico predito

Esta avaliação destina-se a verificar o grau de ajuste das medições do sinal analógico ao modelo de predição de intensidade de campo elétrico. O modelo teórico empregado é a curva de predição da Anatel, gerada a partir dos dados técnicos de transmissão da estação da Rádio Cultura apresentados na Tabela 9.

Para esta análise são utilizados os valores de intensidade de campo AM analógico obtidos em cada ponto fixo das rotas radiais (Rota R7 e Rota R9) para as modulações de 16QAM e 64QAM.

Considerando o contorno noturno teórico de 2,5 mV/m (68 dB $\mu$ V/m), o qual corresponde à distância de 22,3 km da estação da Rádio Cultura observa-se que os valores medidos seguem a tendência da curva de predição da Anatel para o caso noturno, maiores que os valores teóricos. Esta curva é apresentada na Figura 55 e na Figura 56, onde a linha horizontal tracejada indica o campo de 68 dB $\mu$ V/m. Durante o período noturno o ruído do ambiente urbano é menor, porém a intensidade de campo registrada inclui os sinais interferentes, que são mais fortes à noite devido à contribuição das ondas ionosféricas.

A predição de intensidade de campo da Recomendação UIT-R P.368 é apresentada para fins de comparação. Consta-se que os valores de campo obtidos nestas medições acompanham a tendência do modelo, porém as diferenças observadas entre valores medidos e preditos deve-se ao fato do modelo não utilizar informação do perfil do terreno e também por utilizar um valor fixo de condutividade do solo. Conforme discutido no item 4.3.2.1., embora o mapa de condutividade do solo apresente um valor para extensa região, este parâmetro pode variar em função do tipo de solo na região.

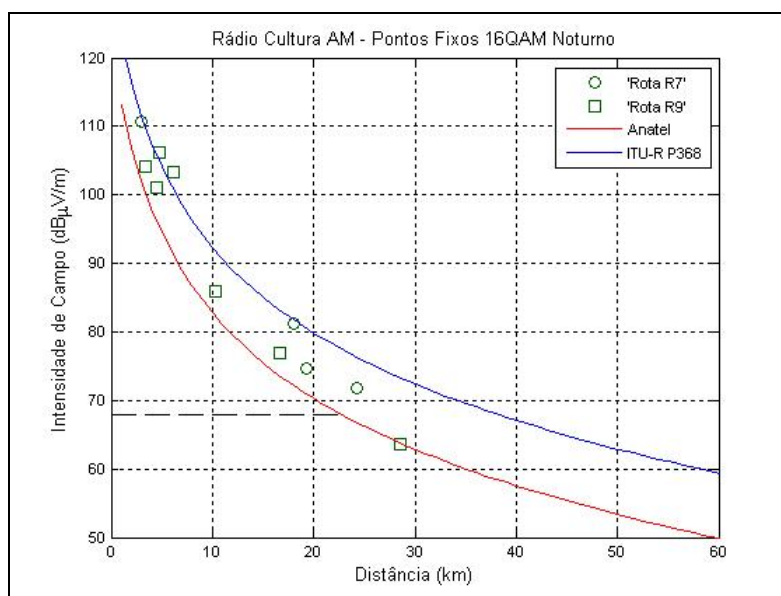


Figura 55 – Medições noturnas do sinal AM durante medições noturnas em 16QAM

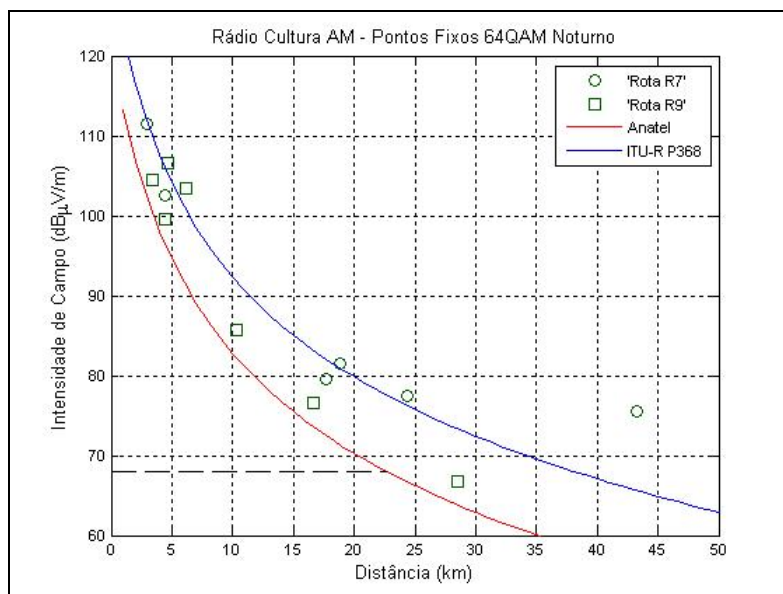


Figura 56 – Medições noturnas do sinal AM durante medições noturnas em 64QAM

A avaliação subjetiva do áudio analógico de medições noturnas é feita com procedimento executado a padronização da UIT, seguindo as orientações da Recomendação UIT-R. BS 1284 [24], e detalhado no item 4.3.4.

A classificação da qualidade do áudio analógico AM noturno obtido em cada ponto fixo a partir de medições nesta campanha é apresentada na Figura 57 e no mapa da Figura 58. O áudio analógico foi registrado em 17 locais e a distribuição das notas está na Tabela 29. Os valores de intensidade de campo analógico para R7 e R9 foram obtidos das medições do analisador de espectro, enquanto que R8, por não possuir este registro, teve a intensidade de campo analógica obtida a partir do sinal DRM30 acrescido de 12 dB.

Para consolidação dos resultados obtidos são usados três limiares de recepção. A “Recepção Boa” contém as notas entre 5 e 3 inclusive, a “Recepção Pobre” contém notas entre 3 e 2, e a “Recepção Ruim” contém as notas menores ou iguais a 2.

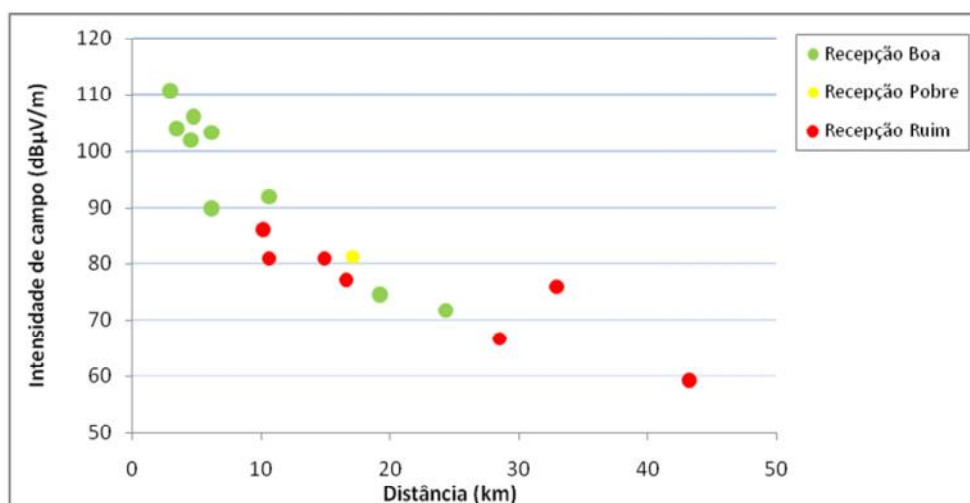


Figura 57-Avaliação subjetiva do áudio analógico AM noturno medido da Rádio Cultura

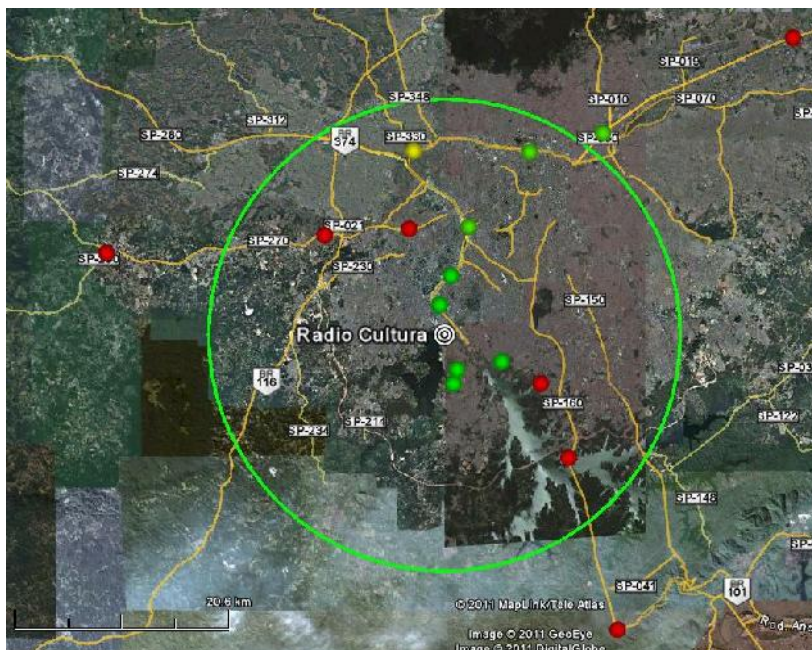


Figura 58 – Mapa da avaliação subjetiva áudio analógico AM noturno

Classificação	Quantidade de locais	
Recepção Boa	9	53%
Recepção Pobre	1	6%
Recepção Ruim	7	41%
Total	17	100%

Tabela 29 – Distribuição de notas dadas ao áudio analog. AM noturno medido Rádio Cultura

A recepção analógica AM noturna obtida das medições estendeu-se até cerca de 24,3 km com qualidade boa, tendo entretanto pontos de recepção com qualidade ruim desde 10 km. Esta alternância de qualidades de recepção deve-se provavelmente às variações no terreno e obstáculos como viadutos, pontes, linhas de ônibus elétricos e linhas de energia elétrica entre o local e o transmissor, que podem afetar a qualidade do áudio recebido, quando então o ruído torna-se mais audível. Entretanto o ruído noturno é reduzido em relação ao ruído diurno, permitindo melhores condições de recepção do sinal.

A apresentação dos valores da Figura 57 por rotas radiais detalha o comportamento da cobertura AM ao longo das rotas. Os gráficos da apresentam os valores de campo para cada rota radial.

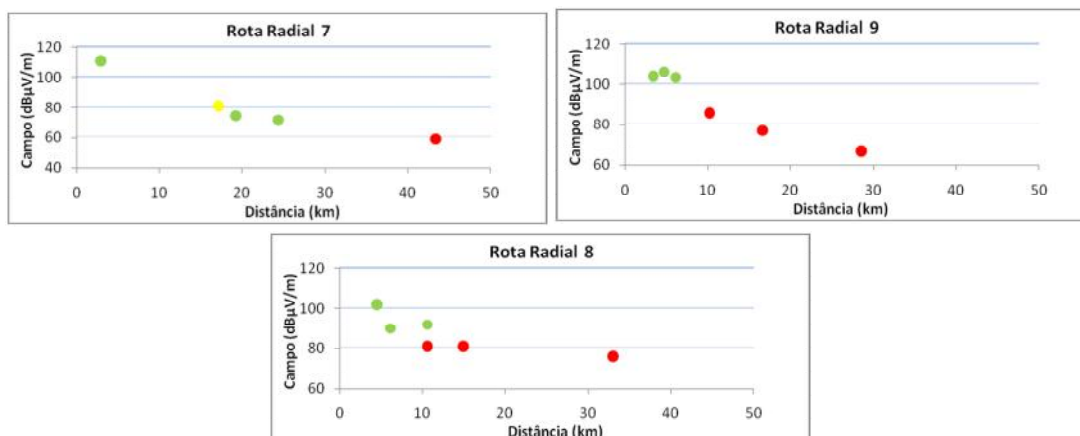


Figura 59-Registros de áudio analógico AM noturno nas radiais (Rádio Cultura)

A maior distância com recepção boa ocorre na Rota 7, a 24,3 km do transmissor. O primeiro ponto com recepção ruim ocorre nas Rotas 8 e 9, a 10 km do transmissor. Na Rota 8 há dois pontos na mesma distância do transmissor (10,8 km), que estão em azimutes diferentes, e obtiveram classificações diferentes de recepção do áudio analógico. O ponto de medição R8P4, que recebeu classificação de áudio ruim, estava localizado na Rodovia Raposo Tavares, próximo a área residencial com vegetação, que está no percurso do sinal AM, conforme a foto na Figura 60. Isto pode ter causado a condição de recepção ruim do áudio.



Figura 60 – Trecho do percurso entre ponto R8P4 e transmissor da Rádio Cultura

Em relação às intensidades de campo registradas, a maior distância com recepção boa na Rota 7 que ocorreu a 24,3 km teve intensidade de campo de 72 dB $\mu$ V/m. Todos os valores medidos até 30 km estiveram acima de 66 dB $\mu$ V/m, embora o áudio tenha sido classificado como ruim entre 10 km e 20 km, em distâncias próxima ao transmissor.

A situação registrada sugere que há regiões de sombra, com recepção crítica, vizinhas a regiões onde a recepção é melhor, caracterizando uma cobertura intermitente, ainda que as intensidades de campo medidas dentro do contorno noturno teórico atendam o valor deste contorno de 2,5mV/m ou 68 dB $\mu$ V/m, o qual ocorre a 22,3 km conforme modelo da Anatel.

#### 4.4.5. Avaliação da relação sinal-ruído para recepção digital

O valor de relação sinal-ruído limiar do sistema DRM30 em teste é obtido a partir de avaliação conjunta dos valores medidos de intensidade de campo, da relação sinal-ruído e da qualidade de áudio (denominada AQ). Ressalta-se que estes limiares estarão afetados pela presença do ruído interferente noturno.

Para esta análise são utilizados os valores medianos de intensidade de campo e relação sinal-ruído de cada ponto fixo das rotas radiais, separadamente para as modulações de 16QAM e 64QAM. Para cada par verificou-se o valor registrado de AQ, identificando-se os pontos onde  $AQ \geq 98\%$ . A Figura 61 e a Figura 62 apresentam de forma gráfica o comportamento dos valores, nas quais se observa claramente a separação dos valores de AQ abaixo e acima de 98%.

Na transmissão noturna em 16QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar é de aproximadamente 13,4 dB. Os pontos vermelhos com  $AQ < 90\%$  são  $AQ=0\%$ .

Na transmissão noturna em 64QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar é de aproximadamente 17,6 dB. Os pontos vermelhos com AQ < 90% são 86,5%, 81%, 9,6%, 0,4% e os demais quatro pontos são 0%.

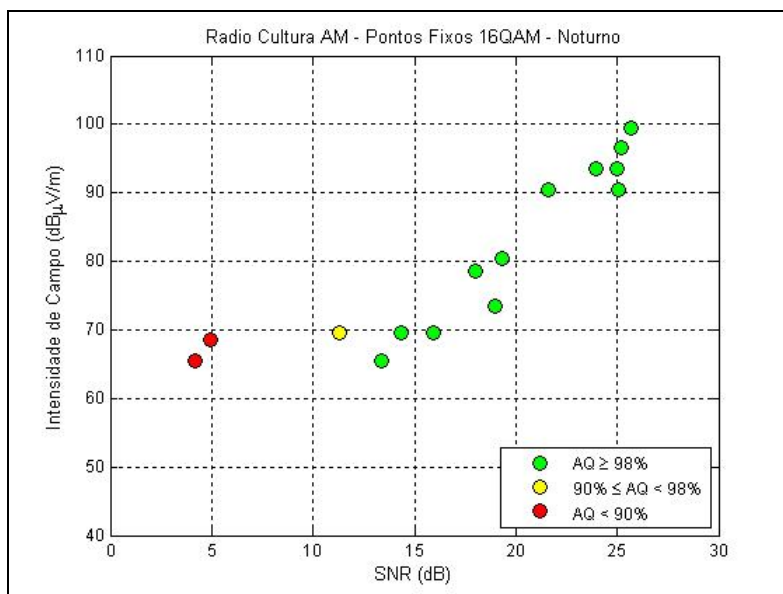


Figura 61 - Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições noturnas

Na transmissão noturna em 16QAM verificou-se a recepção nos pontos fixos com qualidade de áudio boa ainda que com decréscimo do valor de SNR até o limiar. Abaixo deste valor só se obteve AQ=0%.

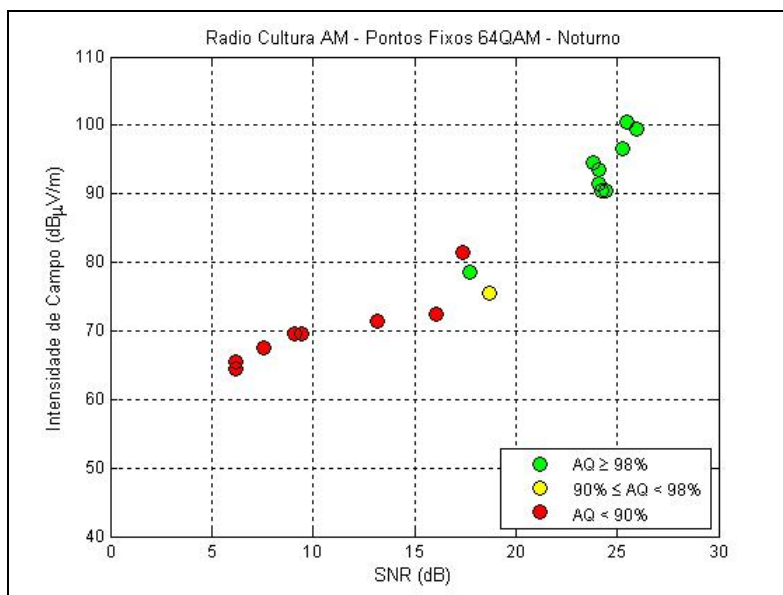


Figura 62 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições noturnas

Na transmissão noturna em 64QAM o comportamento diferiu de 16QAM pois os pontos com qualidade de recepção de áudio boa ficaram concentrados em valores de SNR acima de 22 dB. Abaixo do limiar houve várias ocorrências com valores distintos de qualidade de áudio.

A Recomendação UIT-R BS 1615 [25] apresenta os parâmetros de planejamento para radiodifusão sonora digital em frequências abaixo de 30 MHz e contém os valores de relação sinal-ruído requeridos para o sistema DRM30 para atendimento da taxa de erro (BER) de  $1 \times 10^{-4}$  no canal. Para os testes noturnos realizados com o modo de robustez B, com ocupação do espectro de 10 kHz, para modelo de canal para período noturno incluindo a contribuição da onda ionosférica adicionada à onda terrestre nesta faixa de frequência, são utilizados os valores mínimos requeridos de relação sinal-ruído da Tabela 9 do referido documento. A comparação com estes valores, conforme Tabela 30 a seguir, mostrou que os valores obtidos nos testes noturnos estão ligeiramente acima dos requisitos da UIT.

No período noturno o ruído feito pelo homem é menor que durante o dia devido à diminuição do tráfego de automóveis. As medições noturnas em São Paulo registraram a influência dos sinais interferentes de outras estações, que chegam ao transmissor através do mecanismo de reflexão ionosférica, conforme as imagens do analisador de espectro em toda a faixa medida. A presença de vários sinais interferentes deve-se provavelmente ao fato de que a potência de transmissão noturna das demais estações não está sendo ajustada conforme determinado pela norma da Anatel [5]. Desta forma, o ruído “total” noturno no ambiente de São Paulo registrado foi provavelmente a composição do ruído feito pelo homem (inferior ao diurno) com os sinais interferentes.

A comparação entre os valores medidos com os requisitos da UIT mostram que os valores medidos ficaram ligeiramente superiores aos valores da UIT. Com a presença do filtro de *shaping* que degrada o sinal em 2 dB, era esperado que o valor de SNR medido ficasse 2 dB acima do valor da UIT, e não tão próximo como o obtido. Os valores medidos sugerem que o canal noturno em São Paulo apresentou comportamento menos seletivo do que o previsto pelo modelo (com pequena influência de multipercursos ionosféricos do sinal da própria estação), provavelmente devido à proximidade dos pontos de medição com a estação transmissora.

Modulação/Modo Robustez/Ocupação do espectro/Taxa Codificação	SNR requerido UIT (dB)	SNR medido (dB) (aproximadamente)
16QAM/B3/0.62	13,1	13,4
64QAM/B3/0.6	16,9	17,7

Tabela 30 - Comparação de SNR medido noturno com o requerido pela UIT-R BS.1615

Nestes resultados verifica-se que o comportamento do canal noturno foi similar ao comportamento diurno, uma vez que os valores medidos ficaram próximos. Durante a noite, além do ruído térmico, do ruído feito pelo homem (inferior ao diurno) e da degradação do filtro de *shaping*, houve a interferência provocada pelos sinais de outras estações, que chegam através de ondas ionosféricas. A situação sugere que o ruído “total” noturno degradou o sinal recebido de forma similar ao ruído “total” diurno, o que pode ser inferido comparação dos valores medidos de SNR diurno e noturno

#### 4.4.6. Área de cobertura do sinal digital noturno medido

A estimativa da cobertura do sinal digital noturno é feita através do percentual de pontos medidos que tiveram a situação de  $AQ \geq 98\%$ , o que caracteriza boa recepção sem distorções de áudio. Os resultados das medições em pontos fixos em 16QAM são apresentados nas Figura 63 e Figura 64. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ (estando em vermelho os valores abaixo de 90%, amarelo os valores maiores ou iguais a 90% e 98%, e em verde para valores maiores ou iguais a 98%). A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 19,2 km, que representa o limite da cobertura noturna em 16QAM e será discutida adiante. A Figura 64 apresenta os valores de intensidade de campo elétrico com a distância de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

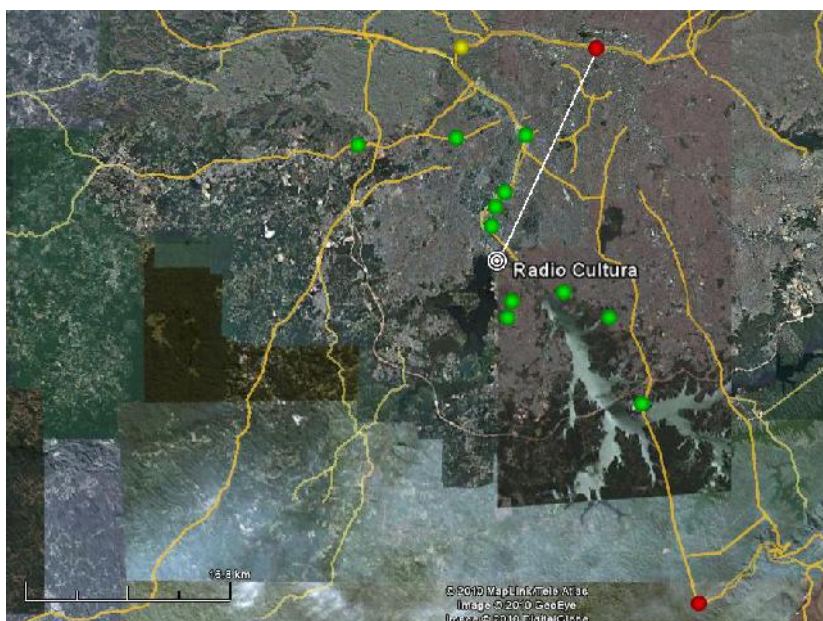


Figura 63- Classificação das medidas noturnas em 16QAM conforme parâmetro AQ

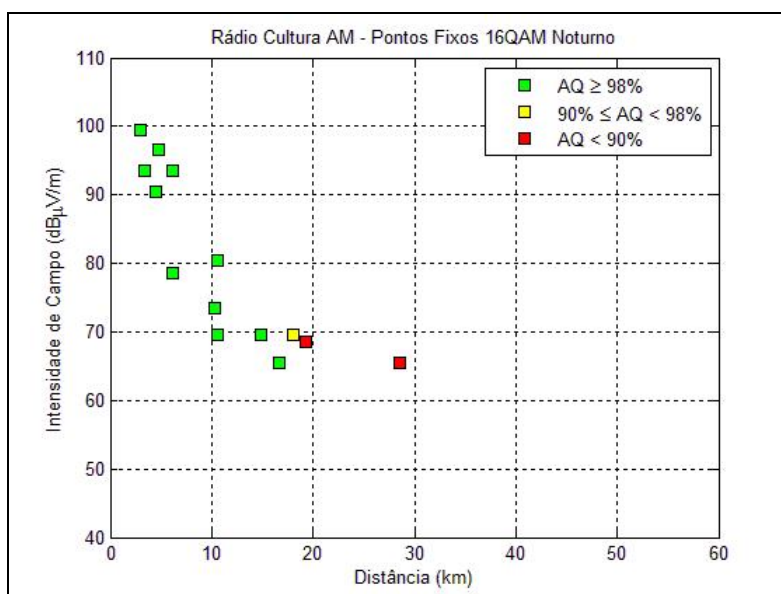


Figura 64 – Campo noturno versus distância para 16QAM, em função da AQ

O limiar de intensidade de campo elétrico para 16QAM em medições noturnas é aproximadamente 66 dB $\mu$ V/m, conforme a Figura 64. Nestas medições, para valores de intensidade de campo maiores ou iguais ao limiar, a maior distância registrada foi de 18,0 km. Acima do limiar e até esta distância houve 1 valor de AQ entre 90% e 98% (AQ=94,6%), e abaixo de 90% (AQ=0%). As medições nos pontos até 19,2 km que tiveram AQ <98% (2 pontos), conforme gráfico acima, são detalhadas na Tabela 31.

Rota/Ponto	Mod.	AQ (%)	E mediano (dB $\mu$ V/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R7P2	16 QAM	94.63	69.5	11.39	18.0	Local situado ao lado da Rodovia Marginal Tietê, próximo a viadutos e estruturas de concreto
R7P3	16 QAM	0	68.5	4.92	19.2	Local situado ao lado da Rodovia Marginal Tietê, próximo à linha de alta tensão e muro alto, estrutura metálica.

Tabela 31 - Detalhamento de pontos 16QAM noturnos onde AQ<98% (Rádio Cultura)

Os registros da medição são apresentados para cada caso, a seguir, em conjunto com foto do local da medição e registros do analisador de espectro. Os gráficos apresentam o comportamento dos parâmetros de intensidade de campo elétrico, número de pacotes recebidos em cada quadro de áudio, a relação sinal-ruído e a velocidade da unidade móvel, para entendimento do resultado obtido nestes pontos fixos.

Rota/Ponto R7P2:

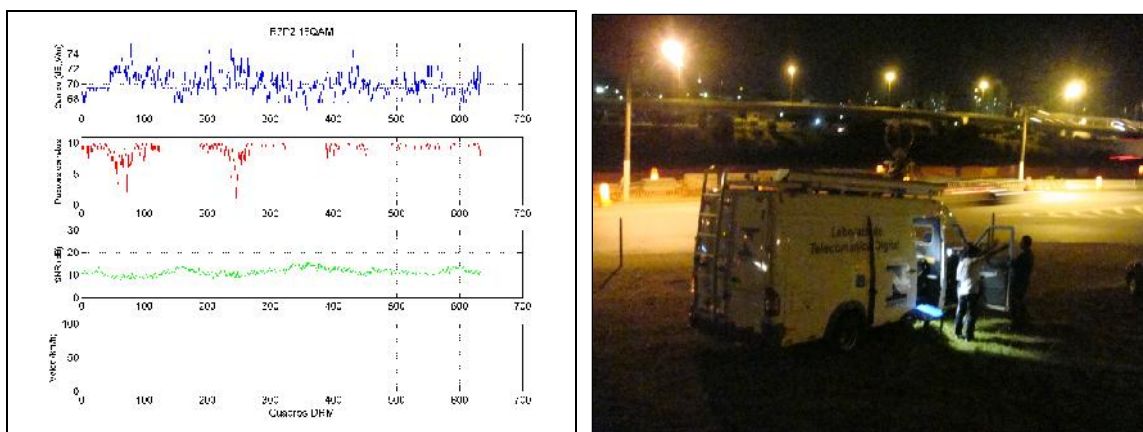


Figura 65 - Medições noturnas em 16QAM de R7P2, Rádio Cultura

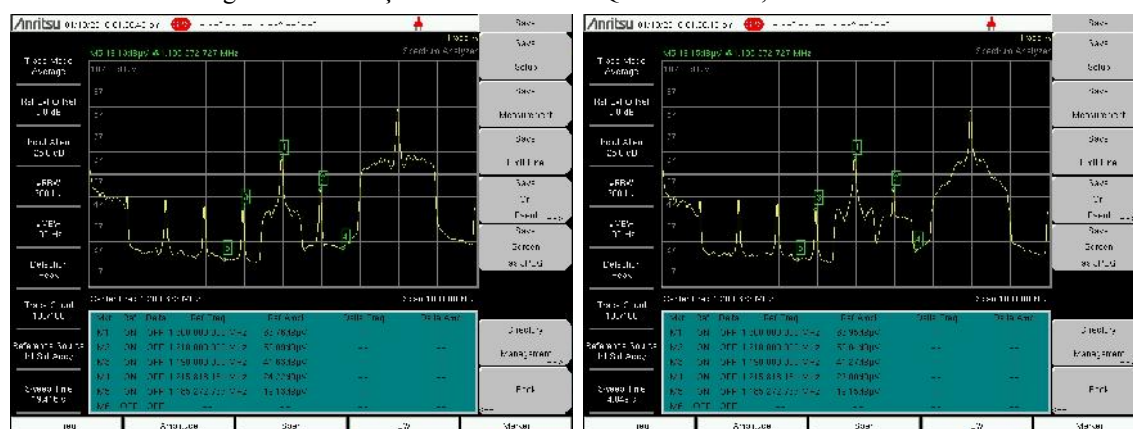


Figura 66 – Registros do espectro em R7P2, 16QAM: analógico (esq), simulcast (dir)



No áudio de R7P2 percebem-se muitas distorções. A Figura 66 apresenta a imagem do analisador de espectro na situação do sinal DRM30 desligado e com o DRM30 ligado. O sinal DRM30 está à direita do sinal AM (central). Observam-se vários sinais interferentes, inclusive sobre o sinal DRM30, o que ocasionou a degradação da recepção do sinal digital em R7P2.

#### Rota/Ponto R7P3

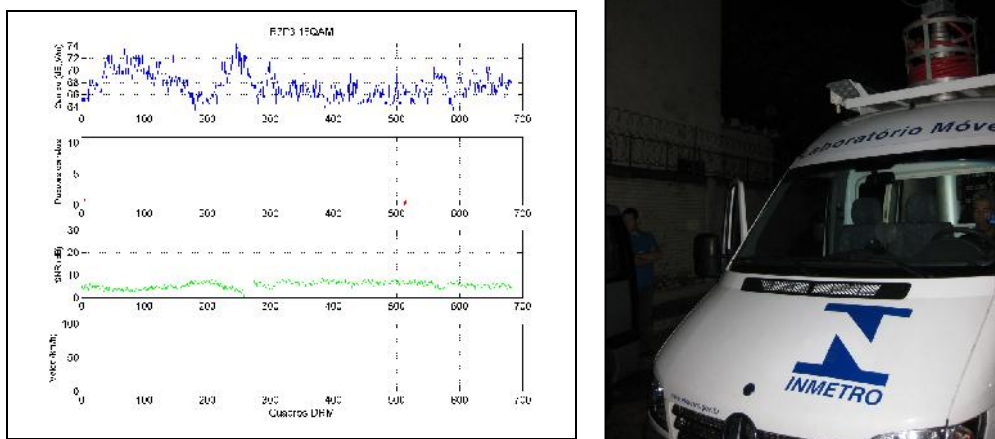


Figura 67 - Medições noturnas em 16QAM de R7P3, Rádio Cultura

No áudio de R7P3 só ocorre silêncio. As imagens do analisador de espectro em R7P3 são similares às de R7P2, onde são vistos os sinais interferentes, inclusive sobre o sinal DRM30, o que causou a degradação da recepção do sinal digital neste ponto de medição.

A consolidação dos resultados é apresentada na Tabela 32 e o quantitativo de pontos medidos para o modo de transmissão 16QAM noturno em termos de qualidade de áudio  $AQ \geq 98\%$  é apresentado na Tabela 33. Esta tabela apresenta a cobertura dentro de duas distâncias. A distância de 15 km é oriundo da análise dos dados diurnos, referente à avaliação subjetiva de áudio de receptores comerciais. A distância de 18,0 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo para medições noturnas em 16QAM.

Modulação 16QAM - Noturno		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo (aproximadamente)	SNR (aproximadamente)
18,0 km	66 dB $\mu$ V/m	13,4 dB

Tabela 32 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas noturnas 16QAM

Modulação 16QAM - Noturno						
	Total de medições		Até 15 km		Até 18 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	15	100%	11	100%	13	100%
$AQ \geq 98\%$	12	80%	11	100%	12	92%
$90\% \leq AQ < 98\%$	1	7%	0	0%	1	8%
$AQ < 90\%$	2	13%	0	0%	0	0%

Tabela 33 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 16QAM

Os registros das medições em 64QAM estão na Figura 68 e na Figura 69. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 90%, em amarelo os valores maiores ou iguais a 90% e 98%, e



em verde os valores maiores ou iguais a 98%. A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 10,3 km, que representa o limite da cobertura noturna em 64QAM e será discutida adiante. A Figura 69 apresenta os resultados de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.



Figura 68- Classificação das medidas noturnas em 64QAM conforme parâmetro AQ

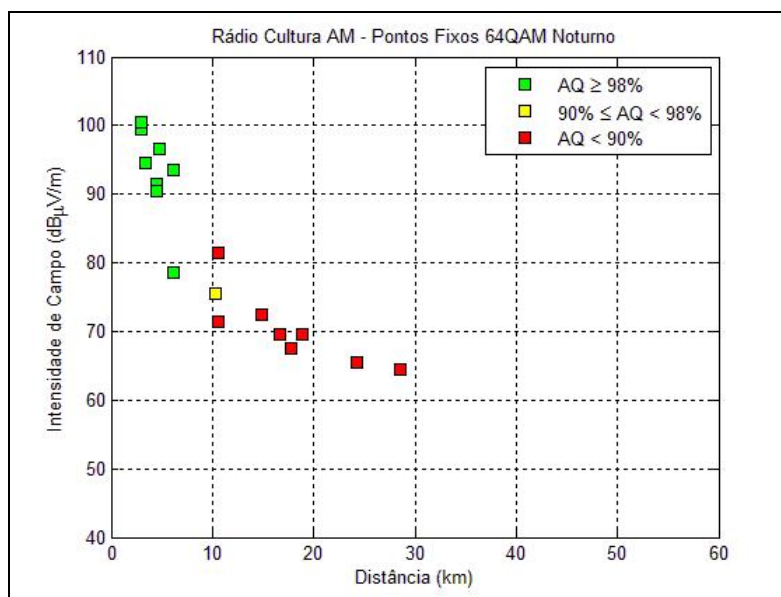


Figura 69 – Campo noturno versus distância para 64QAM, em função da AQ

Obteve-se o limiar de intensidade de campo elétrico para 64QAM de aproximadamente 73,8 dBµV/m, o qual pode ser visualizado no gráfico da Figura 69, considerando-se o ponto amarelo de AQ = 96,5%. Nestas medições, considerando valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, a maior distância registrada foi de 10,3 km. Os pontos medidos na distância de 10 km tiveram intensidade de campo elétrico alta, e são investigados devido à proximidade da estação transmissora. Acima do limiar e à exceção de um único ponto, os valores de intensidade de campo medidos registraram  $AQ \geq 98\%$ .

As medições em 64 QAM nos pontos até a distância de 10 km que tiveram AQ < 98% (3 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhados conforme a Tabela 34.

Rota/Ponto	Mod	AQ (%)	E mediano (dB $\mu$ V/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R8P3	64 QAM	81.0	81.5	17.1	10.5	Local situado na rodovia Marginal Pinheiros, com alto tráfego; próximo aos fundos do posto de abastecimento de combustível e a linha de alta tensão.
R8P4	64 QAM	9.7	71.5	12.8	10.6	Local situado ao lado da Rodovia Raposo Tavares, próximo passarela de concreto.
R9P4	64 QAM	96.5	75.5	18.39	10.3	Local situado na Av.N.S. Navegantes, próximo à linha de alta tensão e transformador; muro de concreto da Un. de Saúde e atrás do Parque Ecológico.

Tabela 34- Detalhamento de pontos 64QAM noturnos onde AQ<98%, Rádio Cultura

Os registros da medição são apresentados para cada caso, a seguir, em conjunto com foto do local da medição. Os gráficos apresentam o comportamento dos parâmetros de intensidade de campo, número de pacotes recebidos em cada quadro de áudio, a relação sinal-ruído e a velocidade da unidade móvel, para entendimento do resultado obtido nestes pontos fixos.

#### Rota/Ponto R8P3

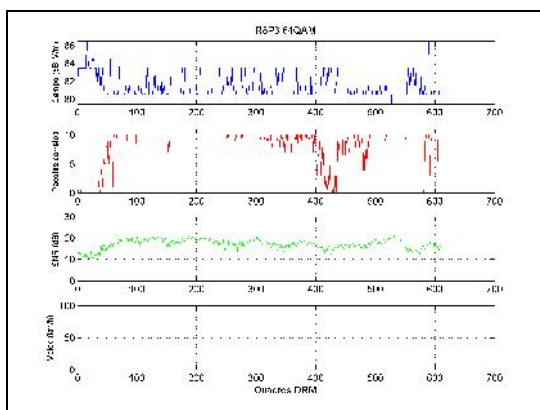


Figura 70 - Medições noturnas em 64QAM de R8P3, Rádio Cultura

No áudio de R8P3 são percebidas distorções e trechos de silêncio.

#### Rota/Ponto R8P4

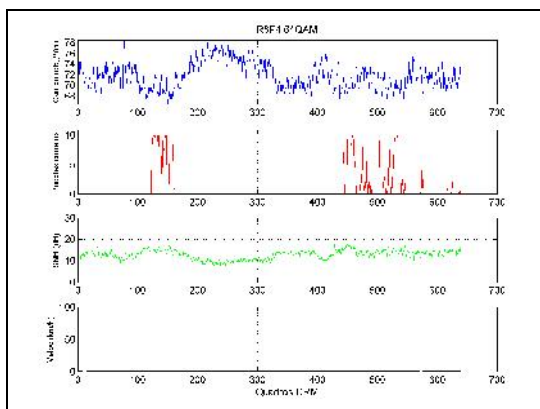


Figura 71 - Medições noturnas em 64QAM de R8P4, Rádio Cultura



No áudio de R8P4 há longos trechos de silêncio e distorções.

#### Rota/Ponto R9P4

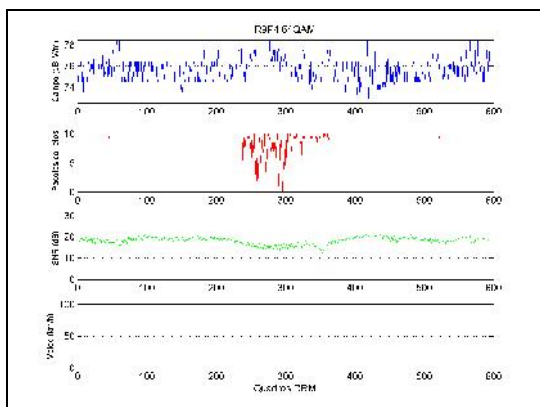


Figura 72 - Medições noturnas em 64QAM de R9P4, Rádio Cultura

No áudio de R9P4 a distorção é levemente percebida porém não há interrupção.

A consolidação dos resultados é apresentada na Tabela 35 e o quantitativo de pontos medidos para o modo de transmissão 64QAM noturno em termos de qualidade de áudio  $AQ \geq 98\%$  é apresentado na Tabela 36. A distância de 10,3 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo elétrico para medições noturnas em 16QAM.

Modulação 64QAM - Noturno		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo (aproximadamente)	SNR (aproximadamente)
10,3 km	73,8 dB $\mu$ V/m	17,7 dB

Tabela 35 - Resultados gerais de qualidade de áudio de medições fixas noturnas 64QAM

Modulação 64QAM - Noturno				
	Total de medições		Até 10,3 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	18	100%	10	100%
$AQ \geq 98\%$	9	50%	9	90%
$90\% \leq AQ < 98\%$	1	6%	1	10%
$AQ < 90\%$	8	44%	0	0%

Tabela 36 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 64QAM

#### 4.4.7. Comparação da área de cobertura do sistema digital com a cobertura do sistema analógico

Os resultados mostraram que a cobertura digital noturna oferece qualidade de áudio alta até o limiar de intensidade de campo elétrico. A cobertura analógica noturna apresenta pontos onde a recepção é pobre ou ruim dentro do contorno teórico noturno de 2,5 mV/m. O limiar de campo elétrico do sistema digital contempla a interferência de outros sistemas AM, conforme mencionado anteriormente, enquanto que o sinal AM analógico não sofre interferência.

A comparação das coberturas utiliza as notas da avaliação subjetiva do áudio analógico e o critério de qualidade do áudio igual ou superior a 98% para áudio digital decodificado

corretamente. A análise da comparação de cobertura envolve a verificação por radiais. A Tabela 37 apresenta o resultado para as medições em 16QAM, e a Tabela 39 para 64QAM.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Distância (km)	AQ (%)	Áudio Analógico
1	R7P1	16 QAM	2.9	100	3
2	R7P2	16 QAM	18.0	94.63	2.25
3	R7P3	16 QAM	19.2	0	3.25
4	R8PR	16 QAM	4.5	100	3
5	R8P2	16 QAM	6.1	100	3.5
6	R8P3	16 QAM	10.6	99.99	4
7	R8P4	16 QAM	10.6	99.71	2
8	R8P5	16 QAM	14.9	99.97	2
9	R9P1	16 QAM	4.7	100	3
10	R9P2	16 QAM	3.4	100	3
11	R9P3	16 QAM	6.1	100	3
12	R9P4	16 QAM	10.3	100	2
13	R9P5	16 QAM	16.6	99.01	2
14	R9P6	16 QAM	28.5	0	1.5
15	R9PR	16 QAM	4.5	100	--

Tabela 37 - Comparação do sinal digital noturno 16QAM e sinal analógico

Os valores da Tabela 37 são apresentados nos mapas das Figura 73 a Figura 76. Os pontos redondos são as notas do sinal analógico e os marcadores são a classificação do sinal digital. O contorno protegido noturno (2,5 mV/m) está a 22,3 km, em verde.

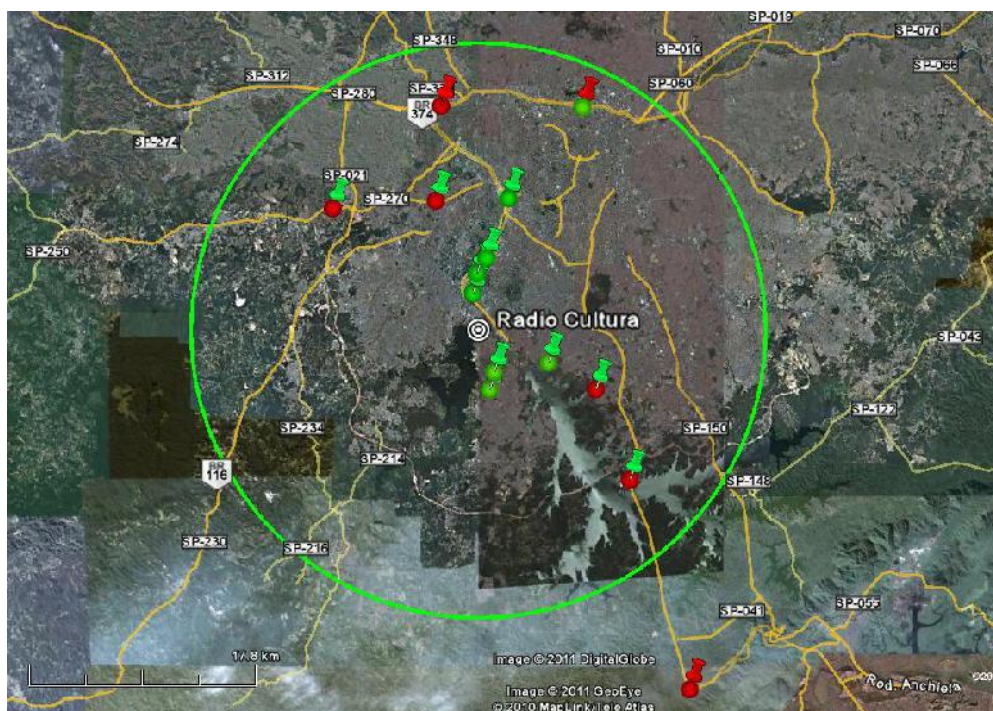


Figura 73 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM noturno e sinal analógico noturno

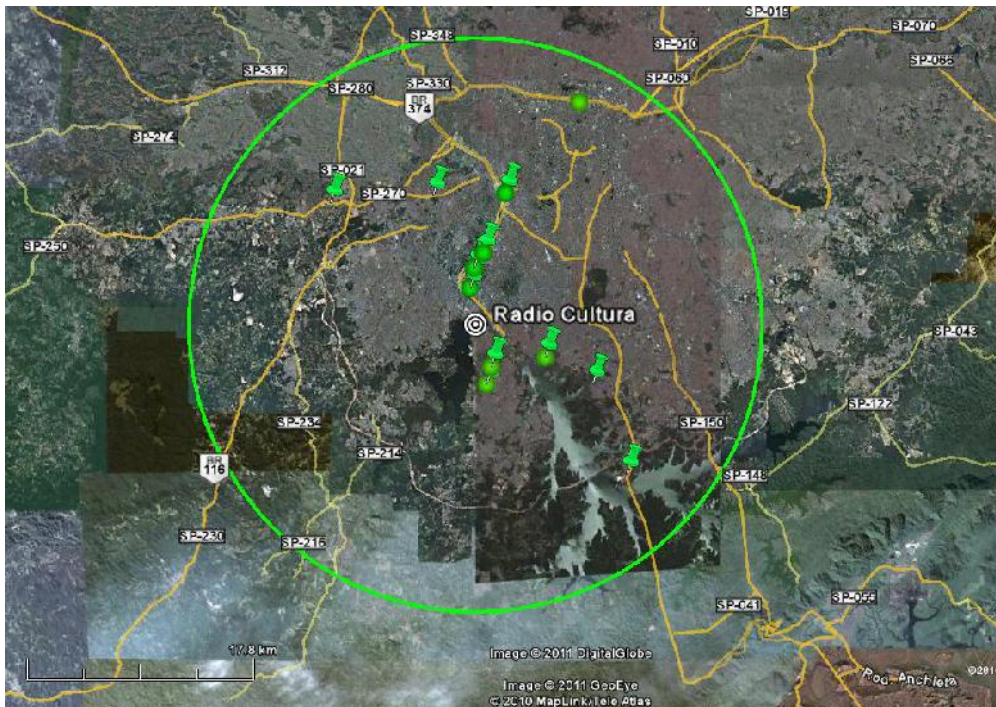


Figura 74 - Pontos com recepção analógica noturna boa ou digital 16QAM noturna boa

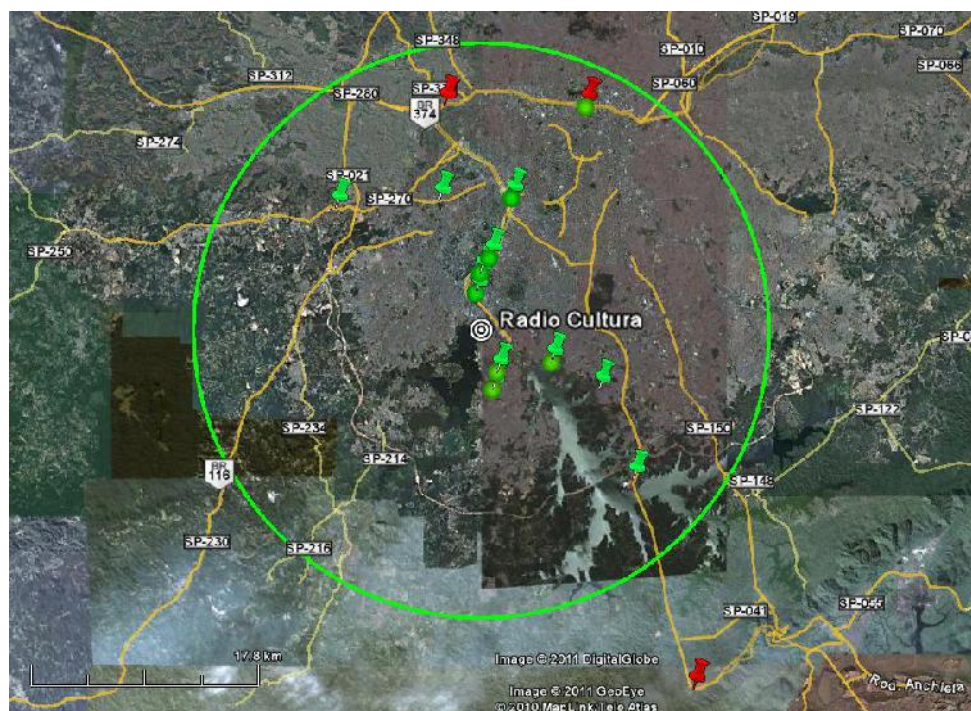


Figura 75 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 16QAM noturna boa ou ruim

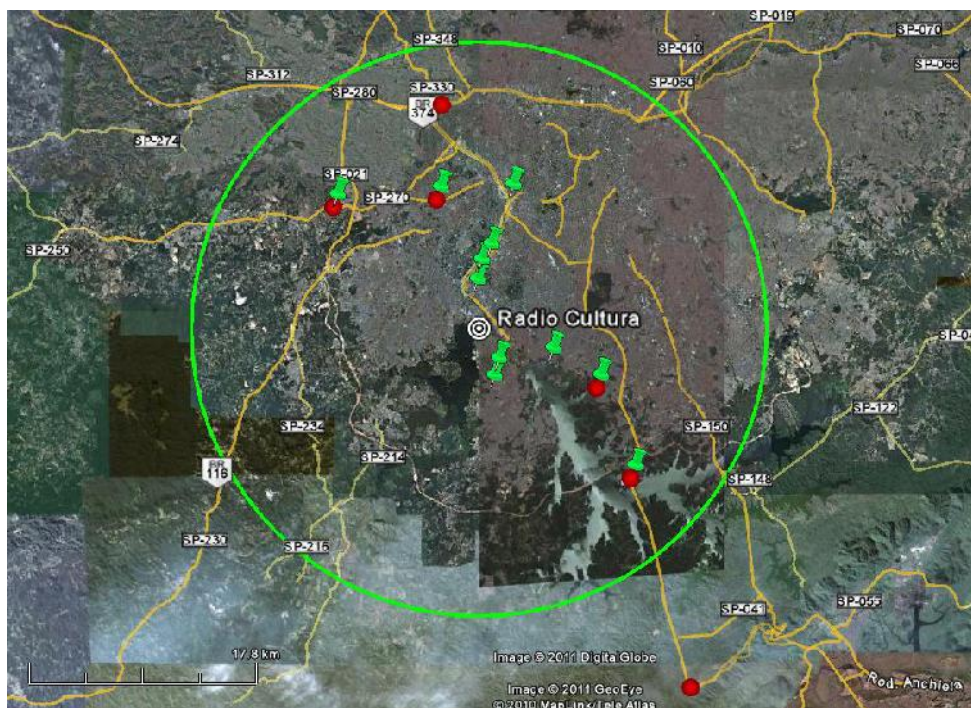


Figura 76 - Pontos com recepção analógica noturna ruim ou digital 16QAM noturna boa

As rotas radiais noturnas R8 e R9 apresentam comportamento de  $AQ \geq 98\%$  na maioria de seus pontos fixos. Dos 14 pontos medidos (não contabilizado o ponto R9PR onde não houve avaliação do áudio analógico), o sinal teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 11 pontos, e o sinal analógico teve 8 pontos com recepção boa (verde). Em termos de cobertura, em 7 pontos a qualidade do sinal digital esteve igual à do analógico, em 4 pontos o sinal digital esteve melhor que o analógico, em 1 ponto o sinal analógico esteve melhor que o digital e em 2 pontos os dois estiveram ruins.

Dentro do contorno protegido teórico noturno (2,5 mV/m ou 22,3 km), foram medidos 13 pontos. O ponto que ficou fora do contorno teve classificação de áudio ruim tanto para digital como para o analógico.

A consolidação da comparação entre as coberturas digital e analógica é apresentada na Tabela 38 a seguir.

Transmissão 16QAM	Total	Dentro do contorno 2,5 mV/m (22,3 km)
Pontos fixos medidos	14	13
Pontos $AQ \geq 98\%$	11 (79%)	11 (85%)
Sinal analógico com boa recepção	8 (57%)	8 (62%)
Comparação de cobertura (*):		
Recepção boa digital e analógica	7	7
Recepção digital melhor	4	4
Recepção analógica melhor	1	1
Recepção ruim digital e analógica	2	1

Tabela 38 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 16QAM com analógica

Para a transmissão em 64QAM, tem-se a tabela a seguir.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Distância (km)	AQ (%)	Áudio Analógico
1	R7P1	64 QAM	2.9	100	3
2	R7P2	64 QAM	17.7	0.48	2.25
3	R7P3	64 QAM	18.8	0	3.25
4	R7P4	64 QAM	24.3	0	5
5	R7PR	64 QAM	4.5	100	--
6	R8P1	64 QAM	2.9	100	3
7	R8P2	64 QAM	6.1	98.84	3.5
8	R8P3	64 QAM	10.6	81.05	4
9	R8P4	64 QAM	10.6	9.67	2
10	R8P5	64 QAM	14.9	86.53	2
11	R8PR	64 QAM	4.5	100	--
12	R9P1	64 QAM	4.7	100	3
13	R9P2	64 QAM	3.4	100	3
14	R9P3	64 QAM	6.1	100	3
15	R9P4	64 QAM	10.3	96.49	2
16	R9P5	64 QAM	16.6	0	2
17	R9P6	64 QAM	28.5	0	1.5
18	R9PR	64 QAM	4.5	100	--

Tabela 39 - Comparação do sinal digital noturno 64QAM e sinal analógico

Os valores da Tabela 39 são apresentados nos mapas da Figura 77 a Figura 80. Os pontos redondos são as notas do sinal analógico e os marcadores são a classificação do sinal digital. O contorno protegido noturno (2,5 mV/m) está a 22,3 km, em verde.

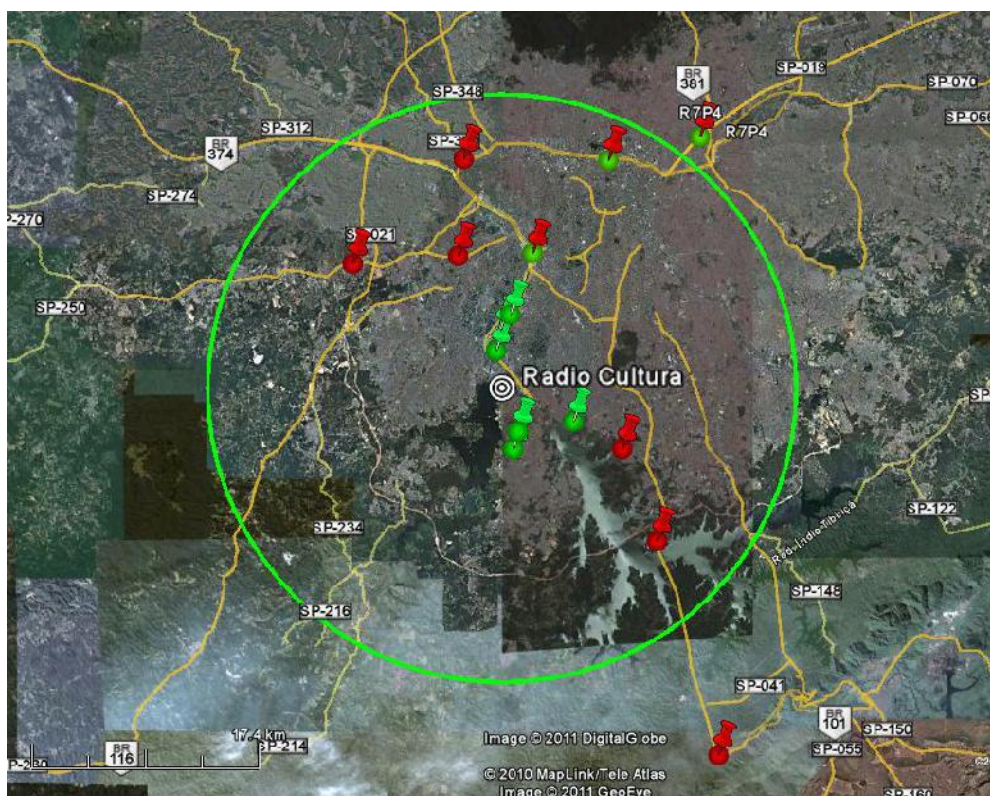


Figura 77 - Mapa da comparação entre sinal dig. 64QAM noturno e sinal analógico noturno



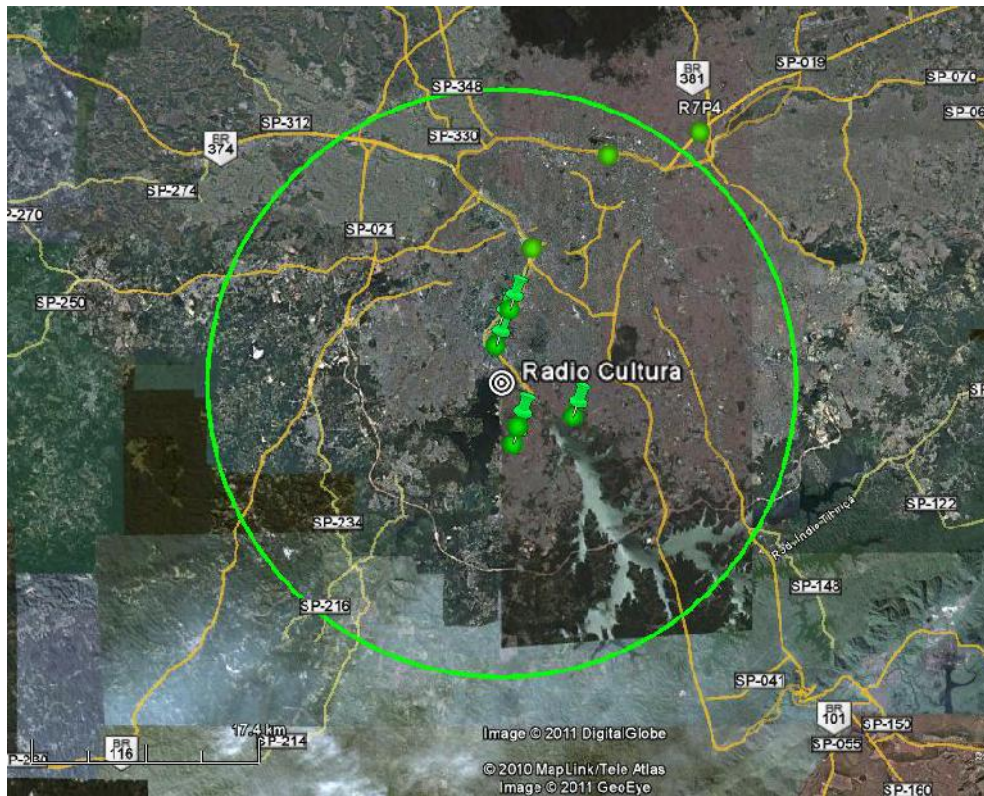


Figura 78 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 64QAM noturna boa

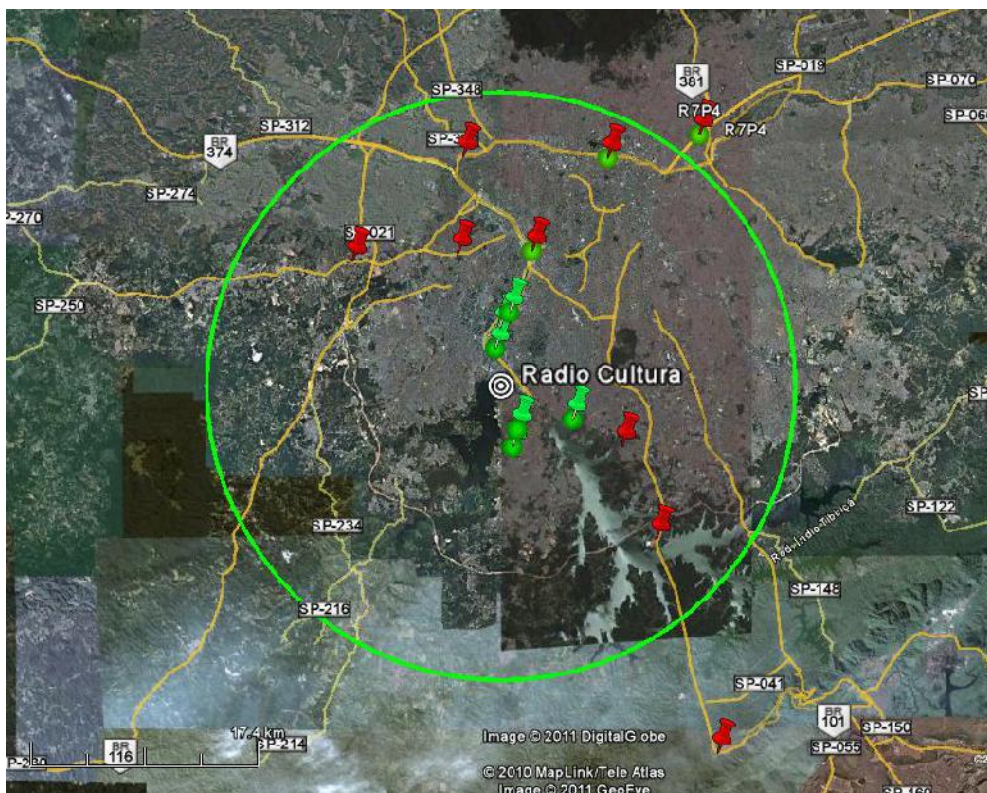


Figura 79 - Pontos com recepção analog. noturna boa ou digital 64QAM noturna boa ou ruim



Figura 80 - Pontos com recepção analog. noturna ruim ou digital 64QAM noturna boa

Dos 15 pontos medidos (não contabilizando os pontos onde não houve avaliação do analógico), o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 6 pontos, e o sinal analógico teve 9 pontos com recepção boa (verde). Em termos de cobertura, em 6 pontos o sinal digital esteve igual ao analógico, em 0 pontos o sinal digital esteve melhor que o analógico, em 3 pontos o sinal analógico esteve melhor que o digital e em 6 pontos os dois estiveram ruins.

Dentro do contorno protegido teórico noturno ( $2,5\text{mV/m}$  ou  $22,3\text{ km}$ ), foram medidos 13 pontos, dentro dos quais 6 (46%) tiveram recepção de áudio com  $AQ \geq 98\%$ . A comparação de cobertura dentro do contorno resultou em 6 pontos com sinal digital igual ao analógico, 0 pontos com sinal digital melhor que o analógico, 2 pontos com sinal analógico melhor que o digital e 5 pontos onde os dois estiveram ruins.

A consolidação da comparação entre as coberturas digital e analógica é apresentada na tabela a seguir.

Transmissão 64QAM	Total	Dentro do contorno 2,5 mV/m (22,3 km)
Pontos fixos medidos	15	13
Pontos $AQ \geq 98\%$	6 (40%)	6 (46%)
Sinal analógico com boa recepção	9 (60%)	8 (62%)
Comparação de cobertura (*):		
Recepção boa digital e analógica	6	6
Recepção digital melhor	0	0
Recepção analógica melhor	3	2
Recepção ruim digital e analógica	6	5

Tabela 40 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 64QAM com analógica

#### 4.4.8. Conclusões sobre resultados das medições noturnas da Rádio Cultura

A análise dos testes noturnos do sistema DRM30 em transmissão *simulcast* com o sinal da Rádio Cultura AM em São Paulo, nos meses de janeiro e fevereiro de 2010, apresentou os seguintes resultados de desempenho:

- As medições de intensidade de campo noturno seguem a tendência do modelo de predição da Anatel, e as diferenças observadas entre valores medidos e teóricos devem-se a alguns fatores: primeiramente ao fato do modelo não considerar a presença de prédios e irregularidades do perfil do terreno no cálculo. Outro fator é o uso de valor fixo de condutividade do solo, oriundo do mapa de condutividade do solo atual brasileiro. Na prática este parâmetro varia ao longo da região conforme o tipo de solo e sua ocupação.
- Nos testes noturnos foi registrada a presença dos sinais interferentes de estações AM durante as medições com analisador de espectro. O sinal interferente adicionou-se aos valores medidos de campo. A situação registrada sugere que as estações AM não estão utilizando a potência de transmissão noturna, que é inferior à diurna, conforme exigido pela norma da Anatel.
- Obtenção de valor limiar de relação sinal-ruído nas medições noturnas de aproximadamente 13,4 dB em 16QAM e de aproximadamente 17,7 dB para 64QAM. No período noturno o ambiente é tipicamente menos ruidoso do que no período diurno. As medições noturnas em São Paulo registraram sinais interferentes de outras estações AM, os quais contribuíram para o aumento do ruído. Os resultados obtidos para o caso noturno nestes testes contêm a influencia destas interferências. A comparação entre os valores medidos com os requisitos da Recomendação da UIT-R BS 1615 mostrou que os valores medidos ficaram ligeiramente superiores aos valores da UIT, sugerindo que o canal noturno em São Paulo tenha apresentado comportamento menos seletivo do que o previsto pelo modelo, provavelmente devido à proximidade dos pontos de medição com a estação transmissora. Durante a noite, além do ruído térmico, do ruído feito pelo homem (inferior ao diurno) e da degradação do filtro de *shaping*, houve a interferência provocada pelos sinais de outras estações, que chegam através de ondas ionosféricas. A situação sugere que o ruído “total” noturno degradou o sinal recebido de forma similar ao ruído “total” diurno, o que pode ser inferido comparação dos valores medidos de SNR diurno e noturno. A proximidade destes valores também indica que o comportamento do canal noturno de São Paulo foi similar ao comportamento diurno.
- As medições dentro contorno teórico noturno que apresentaram qualidade de áudio inferior a 98% foram verificadas e constatou-se que a má recepção do sinal digital deveu-se à proximidade de locais com intenso tráfego de veículos, de linhas de alta tensão e de estruturas de concreto.
- A transmissão em 16QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu a distância de 18 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo de aproximadamente 66 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital dentro desta distância é de 92%.

- A transmissão em 64QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu a distância de 10,3 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo de aproximadamente 73,8 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital dentro desta distância é de 90%.
- A cobertura do sinal digital com configuração de 16QAM e 64QAM, onde a qualidade do áudio esteve igual ou acima de 98%, foi de 18,0 km e 10,3 km respectivamente. A avaliação subjetiva do áudio analógico AM obtido nesta campanha de testes apresentou área de cobertura analógica noturna variável até 10 km em uma radial e entre 19 e 24,3 km em outra radial.

Ressalta-se que os testes foram realizados com nível de transmissão 12 dB abaixo da potência do sinal analógico, devido ao uso da técnica de *shaping*, e nesta situação os resultados dos testes 16QAM noturnos apresentaram percentual maior de pontos com recepção digital boa do que com recepção analógica boa dentro da área de medição. Nos testes 64QAM noturnos o percentual de pontos com recepção analógica boa foi maior que os pontos com recepção digital boa.

- A comparação de cobertura entre os sistemas nas medições realizadas nestes testes, considerando a classificação subjetiva do áudio analógico e a classificação objetiva do áudio digital através do parâmetro qualidade de áudio (AQ), mostrou que dentre os 14 pontos medidos, houve 11 onde  $AQ \geq 98\%$ , e o sinal digital 16QAM esteve melhor em 7 locais, igual ao analógico em 4 locais, inferior ao analógico em 1 locais, e em 2 locais as duas recepções estiveram ruins. Dentro do contorno protegido noturno a cobertura digital em 16QAM atendeu 85% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 62% dos pontos.

Para 64QAM, dentre os 15 pontos medidos, houve 6 onde  $AQ \geq 98\%$ , e em 6 locais o sinal digital esteve melhor, em 0 esteve igual ao analógico, em 3 esteve inferior ao analógico e em 6 locais as duas recepções estiveram ruins. Dentro do contorno protegido noturno a cobertura digital em 64QAM atendeu 46% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 62% dos pontos.

No período noturno verificou-se maior robustez na transmissão 16QAM.

## 4.5. Testes de compatibilidade com sinais analógicos

O objetivo dos testes é demonstrar a compatibilidade do sinal DRM30 no modo *simulcast* com o plano básico de distribuição de canais existentes. São avaliados o impacto do sinal DRM30 no sinal AM hospedeiro e o impacto do sinal DRM30 nos sinais AM no mesmo canal e canais adjacentes, conforme orientado pelo documento da Anatel intitulado “Guia de Avaliação do Sistema Rádio Digital DRM30 OM”.

### 4.5.1. Impacto na recepção do sinal analógico AM hospedeiro

O documento guia da Anatel orienta a verificação do comportamento do sinal AM na presença do sinal digital DRM30, no tocante à qualidade do áudio analógico.

A razão de proteção entre o sinal DRM30 e o sinal AM hospedeiro recomendada é de 16dB. Com o uso da técnica de *spectral shaping* a razão de proteção utilizada foi de 12dB, e para tal verifica-se se há degradação do sinal AM hospedeiro.

São apresentados os valores da avaliação subjetiva do áudio de medições registradas de receptores analógicos nas situações com o sinal DRM30 desligado e ligado, em pontos de medição próximos ao transmissor (até cerca de 5 km). Foi utilizado o resultado do receptor NKS, pois o áudio do receptor Motobras não foi registrado adequadamente nestes pontos. Os valores foram obtidos durante as medições do modo 64QAM.

A Tabela 41 apresenta estes resultados, conforme notas da Tabela 12, da Recomendação UIT-R BS 1284 para avaliação subjetiva de áudio.

Rota/Ponto	Distância ao transmissor	Receptor analógico	DRM30 desligado	DRM30 ligado
R1P1	4.6 km	NKS	3.1	3.9
R1P2	5.3 km	NKS	4.0	4.1

Tabela 41 - Avaliação do impacto do sinal DRM30 no sinal AM hospedeiro

Os valores mostram que a da presença do sinal DRM30 não causou impacto na qualidade do áudio analógico, não afetando a recepção do sinal AM.

Os registros obtidos do analisador de espectro nos pontos R1P1 e R1P2 apresentam a condição com o sinal DRM30 desligado e ligado, conforme Figura 81 e Figura 82.

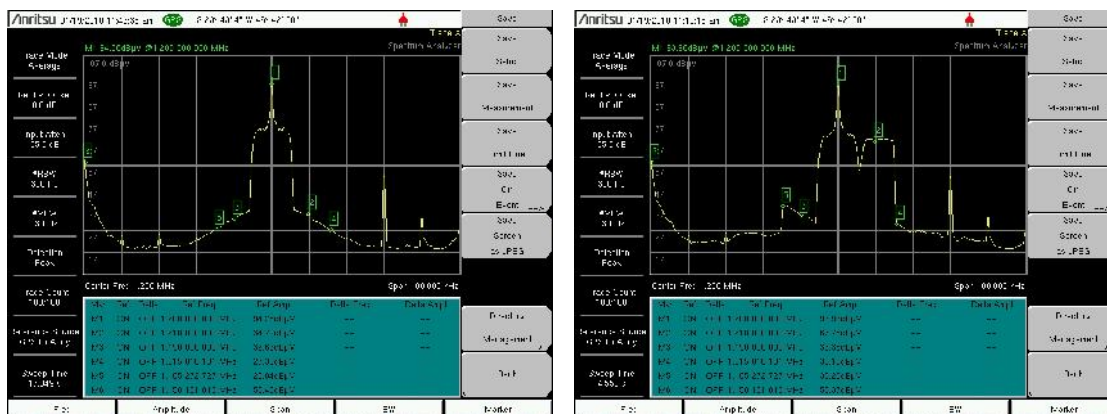


Figura 81 – Situação espectral com sinal DRM30 desligado (esq) e ligado (dir) em R1P1

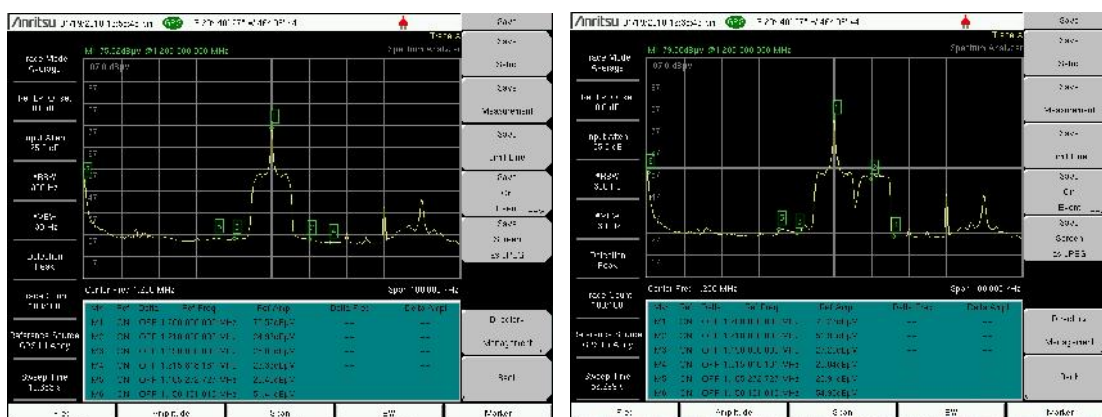


Figura 82 – Situação espectral com sinal DRM30 desligado (esq) e ligado (dir) em R1P2

#### 4.5.2. Impacto do sinal DRM30 na recepção AM dos canais adjacentes

O canal 1º adjacente que pode sofrer impacto devido à presença do sinal DRM30 é a estação Rádio Emissora Vanguarda Ltda, 1210 kHz, localizada na cidade de Sorocaba (SP), a 75,42 km de São Paulo. A Tabela 42 apresenta as características técnicas desta estação. O termo 1º adjacente é referente ao canal AM, embora seja a mesma frequência do sinal DRM30.

Freq. (kHz)	Cidade/ UF	Pot (D/N) (kW)	Classe	Latitude	Longitude	Distância (km)	Azimute
1210	Sorocaba/SP	5 / 0,25	B	23°29'52"S	47°25'54"W	75,42	285°

Tabela 42 – Características técnicas da estação em canal adjacente à Radio Cultura

Para a avaliação do impacto na recepção AM do canal adjacente apresenta-se em primeiro lugar o sinal DRM30 dentro da máscara de proteção do AM. Em segundo lugar são apresentadas as medições de interferência.

A máscara espectral do canal AM indica que na frequência do sinal DRM30 o sinal espectral deve estar 25 dB abaixo da portadora AM, conforme Figura 83. As medições mostram que este valor é atendido, conforme verificado nos registros do analisador de espectro. A Figura 84 apresenta a medição em R3P1 dentro da máscara, onde a diferença do valor no *marker 1* para o *marker 2* é maior que 25 dB. A Figura 85 apresenta outro exemplo onde a máscara é atendida, no ponto R5P1, pois no espectro se verificada a situação de 25 dB abaixo da portadora AM.

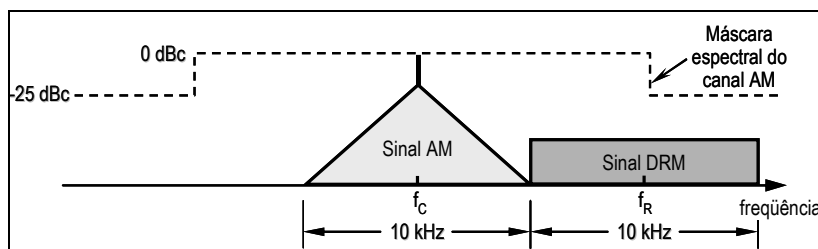


Figura 83 – Máscara espectral do sinal AM da Rádio Cultura

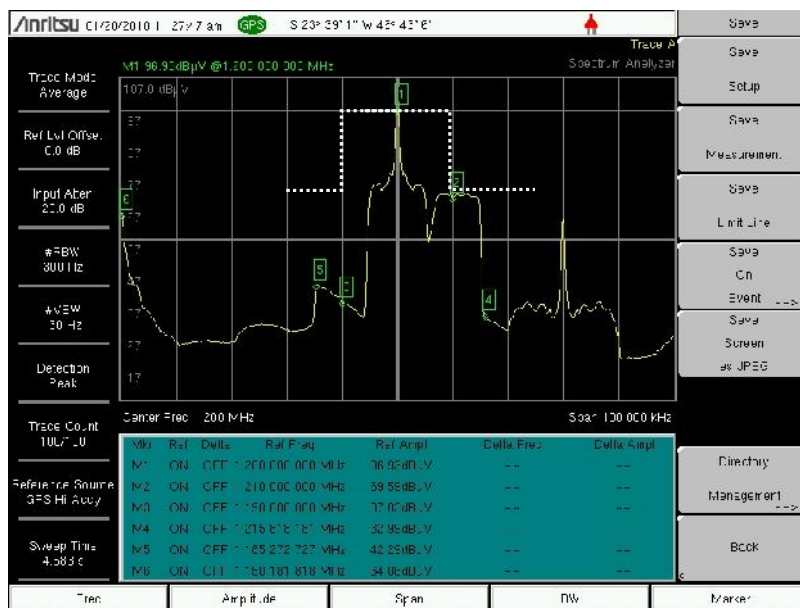


Figura 84 – Registro do analisador de espectro da medição em R3P1

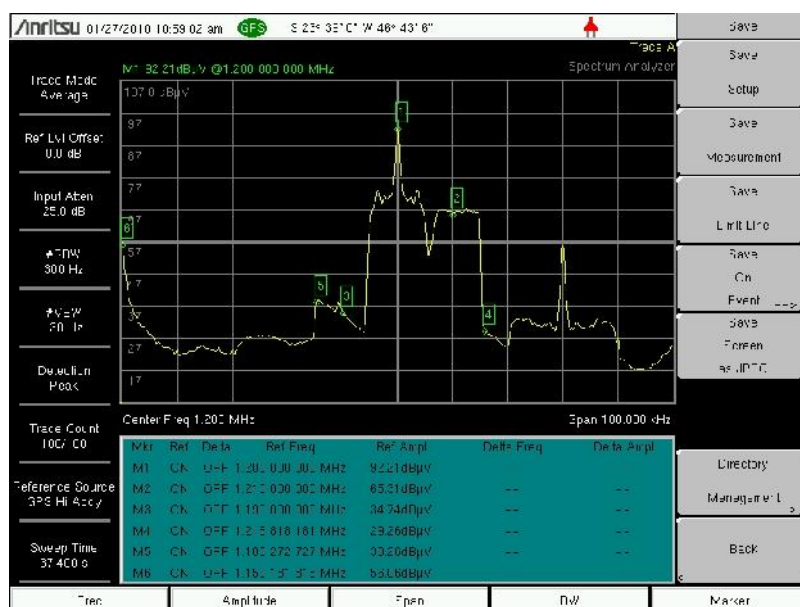


Figura 85 - Registro do analisador de espectro da medição em R5P1

As medições foram realizadas em dois pontos específicos, PI1 e PI2, e também em pontos da Rota 4 localizados próximos à estação de Sorocaba. A Figura 86 apresenta a localização dos pontos PI1 (sobre o contorno protegido da estação de Sorocaba), PI2, R4P7 e o contorno protegido diurno da estação de Sorocaba (em verde). Foi utilizado o modo de transmissão em 16QAM e com medições no período diurno.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 43 que, apresenta a diferença do sinal recebido da estação de Sorocaba para o sinal DRM30. A diferença corresponde à razão de proteção entre as estações.

Ponto	Distância até Sorocaba (km)	Distância até transmissor Rádio Cultura (km)	$P_{\text{Sorocaba}} - P_{\text{DRM}}$ (dB)	Receptor AM	Qualidade de áudio subjetiva Sorocaba	Qualidade de áudio subjetiva média
PI2	15,02	69,31	-	Motobras	3	3
				Toshiba	3	
PI1	23,04	58,82	22,90	Motobras	1	1,6
				Toshiba	2	
R4P7	32,44	49,40	13,82	Motobras	1	1

Tabela 43 – Medições da estação de Sorocaba (1210 kHz) interferida pelo sinal DRM

O sinal DRM30 causando interferência co-canal no sinal AM requer razão de proteção de 36 dB [25] (ou seja, a potência do sinal analógico AM deve estar 36dB acima do sinal digital). O que se observa é que a razão de proteção não é atendida, mas isto não se deve à interferência do sinal DRM, uma vez que ele está dentro da máscara da estação da Rádio Cultura AM.

A Figura 86 apresenta a localização dos pontos de medição com o resultado da análise subjetiva de áudio. As notas iguais ou superiores a 3 indicam áudio analógico com “Recepção Boa”. O áudio da estação de Sorocaba em PI2 foi avaliado com “Recepção Boa”, e em PI1 não obteve esta classificação. O sinal desta estação não estava forte o suficiente para manter a relação de proteção necessária.

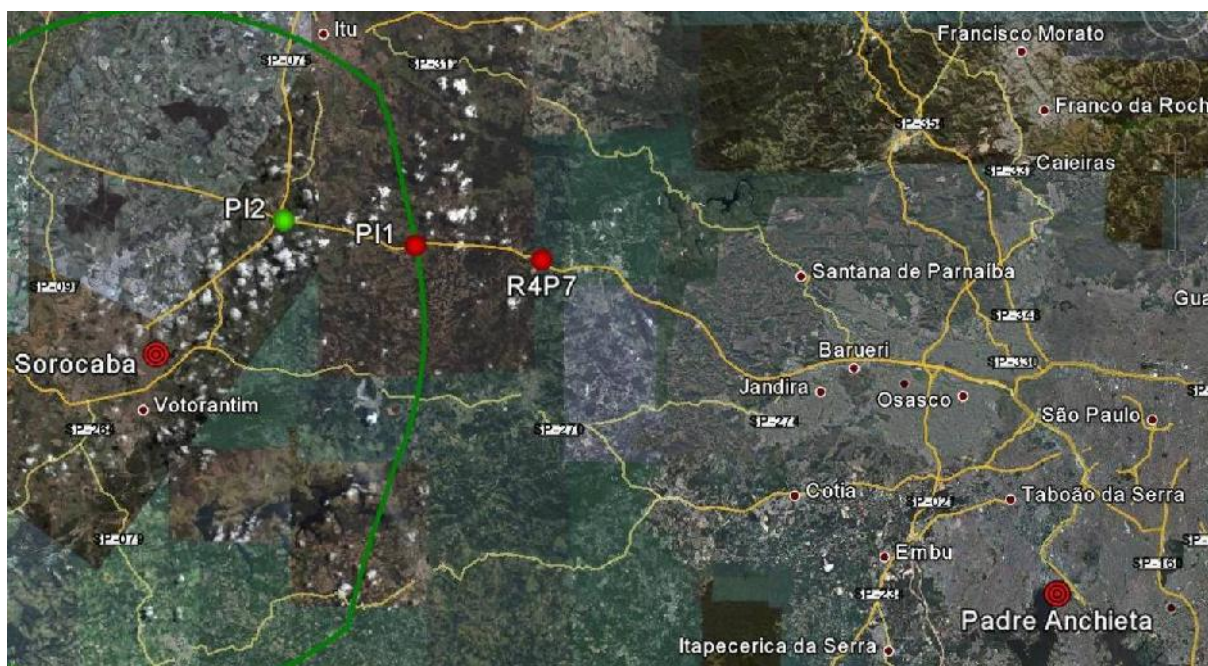


Figura 86 – Resultados de medição da estação de Sorocaba interferida pelo sinal DRM30

As Figuras a seguir foram obtidas do analisador de espectro nos pontos PI1, R4P7 e R4P6 e apresentam as medições de interferência no 1º canal adjacente, em 1210 kHz (mesma frequência do sinal DRM30). Foram incluídas as medições de R5P5 e R4P4, mais próximas da Rádio Cultura, nas quais se observa a portadora da estação de Sorocaba sobre o sinal DRM30. O ponto PI2 não teve o espectro registrado.



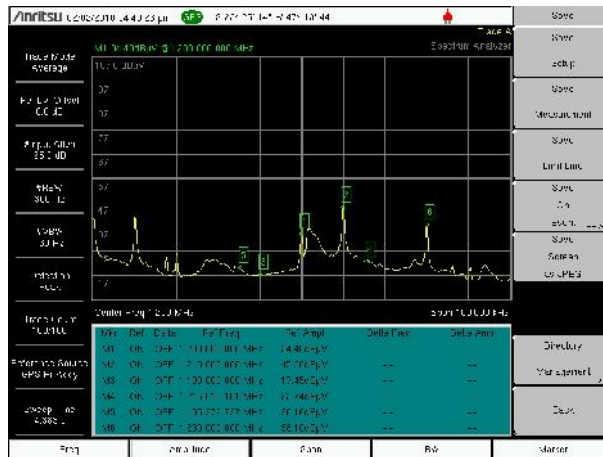


Figura 87 – Situação espectral no ponto PI1

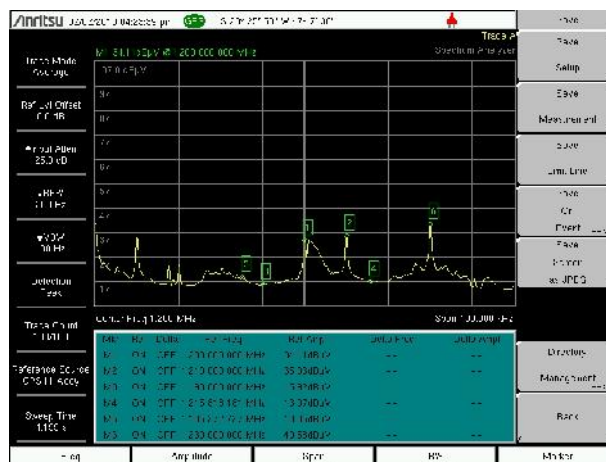


Figura 88 – Situação espectral no ponto R4P7

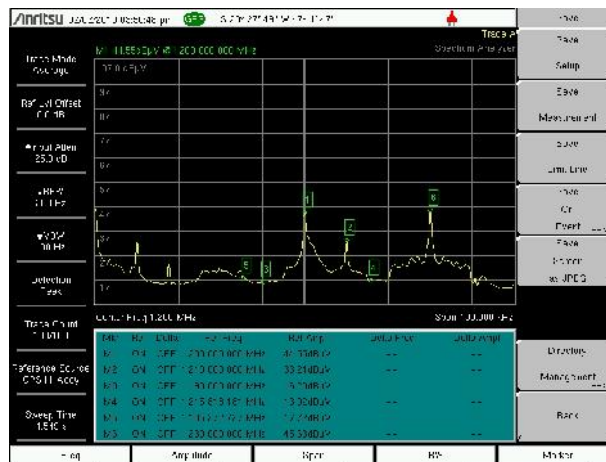


Figura 89 – Situação espectral no ponto R4P6

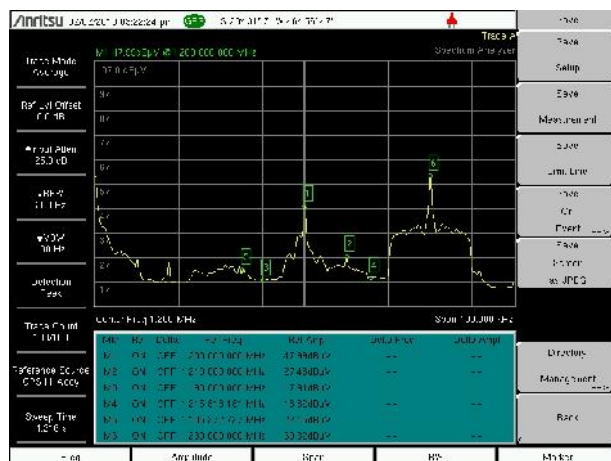


Figura 90 – Situação espectral no ponto R4P5

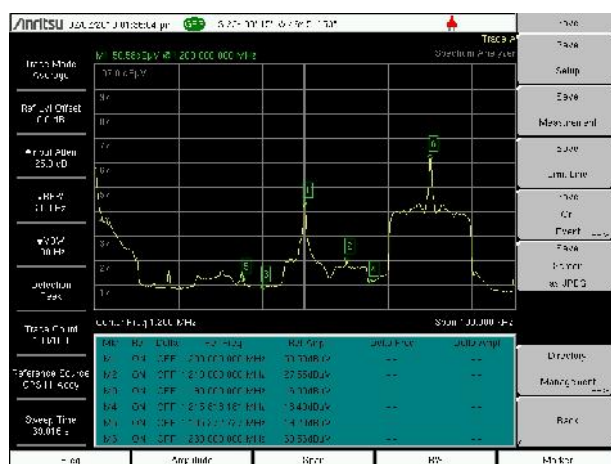


Figura 91 – Situação espectral no ponto R4P4

#### 4.5.3. Conclusões sobre testes de compatibilidade com sinais analógicos

Os testes de compatibilidade com sinais analógicos existentes mostraram que a presença do sinal DRM30 não causou impacto no sinal AM hospedeiro da Rádio Cultura.

A avaliação referente ao impacto do sinal DRM30 nos sinais AM existentes na região operando no mesmo canal e nos canais adjacentes (em relação ao analógico) foi realizada com base em medições e na análise do sinal DRM30 em relação à máscara do sinal AM. Há uma única estação operando no 1º canal adjacente, em 1210 kHz, a estação Rádio Emissora Vanguarda Ltda, de Sorocaba, SP, distante 75,42 km da estação da Rádio Cultura. Para esta avaliação verificou-se primeiramente que o sinal DRM30 estava contido na máscara de proteção do AM analógico. As medições de interferência mostraram que a razão de proteção entre o sinal de Sorocaba e o sinal DRM não está sendo atendida, e isto deveu-se provavelmente à baixa potência do sinal daquela estação, e não à interferência do sinal DRM30, uma vez que ele estava dentro da máscara da Rádio Cultura AM.

#### 4.6. Resultados das medições em mobilidade

Neste capítulo são apresentados os resultados das medições em mobilidade da transmissão *simulcast* da Rádio Cultura AM durante o movimento da unidade móvel nas rotas estabelecidas conforme descrito no item 4.2. A Figura 92 apresenta o mapa com as rotas de teste.



Figura 92 – Mapa com as rotas de teste da Rádio Cultura AM

Na medição em mobilidade o registro dos pacotes de 400 ms é feito continuamente durante o percurso entre os pontos fixos da rota, constituindo trechos de rota, registrando-se uma medição para cada trecho de rota. Os trechos percorridos, a duração, o comprimento dos trechos e os valores medidos de intensidade de campo mediano, relação sinal-ruído mediano e qualidade de áudio por trecho são apresentados na Tabela 44 a Tabela 47 para as medições diurnas e noturnas nas duas modulações.

Rota	Trecho	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	E Mediano (dBuV/m)	AQ (%)
C1	C1P1 to C1P2	22,5	8,1	16,22	64,5	70,44
C1	C1P2 to C1P3	11,7	6,8	10,14	61,5	31,89
C1	C1P3 to C1P4	14,8	6,0	13,38	62,5	58,70
C1	C1P4 to C1P5	29,6	8,0	16,67	65,5	84,08
C1	C1P5 to C1P1	23,7	10,4	19,81	74,5	87,61
C2	C2P1 to C2P2	5,9	3,6	23,41	75,5	98,11
C2	C2P2 to C2P3	12,0	7,2	26,09	89,5	99,81
C2	C2P3 to C2P4	15,5	6,7	25,92	83,5	99,46
C2	C2P4 to C2P1	25,6	5,6	25,08	80,5	99,05
C3	C3P1 to C3P2	0,0	4,6	10,87	56,5	0,00
C3	C3P2 to C3P3	8,7	3,4	5,98	51,5	2,17
C3	C3P4 to C3P5	0,0	7,9	10,35	56	0,00
C5	C5P2 to C5P1	17,6	3,4	12,99	63,5	58,01
C5	C5P2 to C5P3	6,8	4,2	13,95	63,5	68,07

C5	C5P3 to C5P4	9,6	5,2	15,28	63,5	85,20
C5	C5P4 to C5P5	15,4	7,0	15,77	64,5	80,44
R1	R1P1 to R1P2	33,1	9,8	25,58	97,5	99,51
R1	R1P2 to R1P3	31,4	11,0	25,24	84,5	99,70
R1	R1P3 to R1P4	8,5	8,1	25,27	72,5	99,98
R1	R1P4 to R1P5	10,2	6,6	23,40	69,5	98,53
R2	R2P1 to R2P2	26,5	9,7	26,18	94,5	99,37
R2	R2P2 to R2P3	24,4	10,6	22,35	69,5	90,28
R2	R2P3 to R2P4	30,5	16,9	13,27	63,5	56,60
R2	R2P4 to R2P5	15,5	11,3	13,14	60,5	64,80
R2	R2P5 to R2P6	12,9	10,7	8,82	54,5	9,13
R3	R3P1 to R3P2	21,3	13,7	16,46	80,5	71,27
R3	R3P2 to R3P3	26,4	15,7	12,59	64,5	53,34
R3	R3P3 to R3P4	14,7	14,1	11,24	57,5	44,57
R4	R4P1 to R4P2	3,1	9,9	24,88	93,5	99,90
R4	R4P2 to R4P3	26,1	20,5	18,07	71,5	84,87
R4	R4P3 to R4P4	17,6	9,5	16,04	65,5	85,88
R4	R4P4 to R4P5	16,1	8,6	14,77	63,5	84,00
R4	R4P5 to R4P6	0,0	11,0	4,49	56,5	0,00
R4	R4P6 to R4P7	12,7	11,3	0,00	57,5	0,00
R5	R5P1 to R5P2	23,0	14,5	20,70	74,5	92,04
R5	R5P2 to R5P3	14,2	11,5	18,70	66,5	75,51
R5	R5P3 to R5P4	13,2	10,9	16,19	64,5	89,48
R5	R5P4 to R5P5	12,5	10,4	11,47	60,5	39,94
R6	R6P1 to R6P2	30,1	7,4	21,20	87,5	86,82
R6	R6P2 to R6P3	8,2	4,2	18,63	76,5	83,68
R6	R6P3 to R6P4	18,7	9,0	13,78	67,5	56,84
R6	R6P4 to R6P5	7,9	5,5	10,32	57,5	32,15
R6	R6P7volta	11,1	12,7	17,64	68,5	70,74

Tabela 44 – Resultados das medições 16QAM diurnas em movimento

Rota	Trecho	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	E Mediano (dBuV/m)	AQ (%)
C2	C2P1 to C2P2	6,3	8,1	23,31	75,5	91,51
C2	C2P2 to C2P3	9,0	6,8	26,88	84,5	98,87
C2	C2P3 to C2P4	19,1	6,0	26,75	89,5	98,69
C2	C2P4 to C2P1	21,6	10,4	25,08	79,5	98,02
C3	C3P2 to C3P3	0,0	3,4	15,52	57,5	0,00
C5	C5P1 to C5P2	21,5	3,8	18,26	65,5	60,02
C5	C5P2 to C5P3	6,5	4,2	15,53	61,5	12,21
C5	C5P3 to C5P4	4,4	5,2	16,33	63,5	24,30
C5	C5P4 to C5P5	22,3	7,0	18,12	63,5	54,86
R1	R1P1 to R1P2	26,9	9,8	22,75	99,5	76,73
R1	R1P2 to R1P3	39,0	11,0	23,79	86,5	79,71
R1	R1P3 to R1P4	8,4	8,1	24,50	74,5	99,55
R1	R1P4 to R1P5	23,0	16,6	15,26	58,5	31,11
R2	R2P1 to R2P2	18,6	9,7	26,50	97,5	98,51
R2	R2P2 to R2P3	18,1	10,6	22,37	67,5	89,54
R2	R2P3 to R2P4	30,5	17,7	16,25	63,5	29,07
R2	R2P4 to R2P5	10,8	10,6	15,85	60,5	12,87
R2	R2P5 to R2P6	0,0	10,7	6,55	51	0,00
R3	R3P1 to R3P2	18,1	14,9	23,82	76,5	90,64
R3	R3P2 to R3P3	42,8	15,7	16,88	64,5	44,16
R3	R3P3 to R3P4	16,8	14,1	15,91	56,5	14,84
R3	R3P4 to R3P5	13,8	9,7	0,00	48,5	0,00
R4	R4P1 to R4P2	19,3	9,0	26,25	91,5	99,67
R4	R4P2 to R4P3	24,1	21,1	17,18	65,5	47,18
R4	R4P3 to R4P4	7,5	6,5	18,02	63,5	61,73
R4	R4P4 to R4P5	0,0	8,6	8,13	51,5	0,00

R4	R4P5 to R4P6	0,0	11,0	4,49	55,5	0,00
R4	R4P6 to R4P7	10,7	11,3	0,00	53,5	0,00
R5	R5P1 to R5P2	22,8	13,2	21,12	76,5	74,33
R5	R5P2 to R5P3	14,4	11,7	17,51	69,5	45,78
R5	R5P3 to R5P4	10,5	10,9	18,24	64,5	60,31
R5	R5P4 to R5P5	11,8	10,3	14,85	58,5	2,76
R6	R6P1 to R6P2	25,6	7,4	24,74	87,5	91,89
R6	R6P2 to R6P3	7,8	4,2	19,92	76,5	71,11
R6	R6P3 to R6P4	16,1	9,0	17,84	65,5	50,10
R6	R6P4 to R6P5	6,7	5,5	14,38	58,5	18,42
R6	R6P6 to R6P7	12,2	7,2	6,58	51,5	0,00

Tabela 45 – Resultados das medições 64QAM diurnas em movimento

Rota	Trecho	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	E Mediano (dBuV/m)	AQ (%)
R7	R7P1 to R7P2	28.67	19,4	16.41	74.50	73.62
R7	R7P2 to R7P3	16.76	12,2	6.33	65.50	16.28
R7	R7P3 to R7P4	10.48	9,6	4.58	66.50	2.58
R8	R8PR to R8P2	4.1	4,9	22.6	84.5	100.0
R8	R8P2 to R8P3	10.8	4,4	17.2	76.5	93.7
R8	R8P3 to R8P4	22.2	7,1	18.3	78.5	92.5
R8	R8P4 to R8P5	10.4	8,6	15.3	69.5	92.3
R8	R8P5 to R8P6	28.7	24,1	7.7	63.5	23.9
R9	R9P1 to R9P2	7.71	1,8	25.11	93.50	100.00
R9	R9P2 to R9P3	17.23	7,0	24.68	93.50	99.08
R9	R9P3 to R9P4	14.36	5,7	21.58	80.50	98.82
R9	R9P4 to R9P5	15.47	9,3	16.23	67.50	86.58
R9	R9P5 to R9P6	23.34	14,0	4.77	63.50	29.01

Tabela 46 - Resultados das medições 16QAM noturnas em movimento

Rota	Trecho	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	E Mediano (dBuV/m)	AQ (%)
R7	R7P1 to R7P2	26.5	19,6	15.9	74.5	53.6
R7	R7P2 to R7P3	11.2	11,4	4.6	68.5	1.2
R7	R7P3 to R9P4	0.0	9,2	4.3	68.5	0.0
R7	R7P4 to R7P5	0.0	20,1	0.0	63.5	0.0
R8	R8P1 to R8P2	8.31	4,9	22.87	89.50	97.70
R8	R8P2 to R8P3	6.74	4,4	17.18	78.50	63.34
R8	R8P3 to R8P4	10.79	7,1	16.52	76.50	57.81
R8	R8P4 to R8P5	8.90	8,6	14.21	72.50	30.23
R8	R8P5 to R8P6	29.98	24,1	6.30	65.50	1.26
R9	R9P1 to R9P2	5.9	1,8	23.5	90.5	81.5
R9	R9P2 to R9P3	16.6	7,0	23.3	91.5	90.5
R9	R9P3 to R9P4	15.1	5,7	19.4	79.5	80.0
R9	R9P4 to R9P5	16.6	9,9	14.6	71.5	48.7
R9	R9P5 to R9P6	14.0	14,0	11.2	64.5	30.6

Tabela 47 - Resultados das medições 64QAM noturnas em movimento

A análise das medições em movimento foi realizada em função dos parâmetros medidos de qualidade de áudio (AQ) e relação sinal-ruído. Os resultados são apresentados na forma de mapa para todas as rotas percorridas. Cada ponto mostrado no mapa corresponde ao registro de um pacote de 400 ms.

No caso dos valores de AQ, a apresentação é feita em duas cores: verde o ponto onde os pacotes tiveram 9 ou mais quadros de áudio decodificados corretamente, e vermelho para menos de 9 quadros decodificados corretamente.

O resultado de SNR é apresentado em duas cores: verde para os pontos onde este parâmetro esteve acima do limiar, e vermelho para abaixo do limiar. Os limiares utilizados são aqueles obtidos na análise de pontos fixos. Cada caso é reapresentado na Tabela 48.

Modulação/Modo Robustez/Ocupação do espectro/Taxa Codificação	Período	SNR medido (dB)
16QAM/A3/0.62	Diurno	14,2
64QAM/A3/0.6	Diurno	19,0
16QAM/B3/0.62	Noturno	13,4
64QAM/B3/0.6	Noturno	17,7

Tabela 48 – Resumo dos SNR limiares diurnos e noturnos

O Anexo IV apresenta o registro de todas as medições com resultados do parâmetro relação sinal-ruído SNR e qualidade de áudio AQ, com comentários das análises cada rota. O comportamento da relação sinal-ruído observada nas medições acompanhou o comportamento do parâmetro AQ, ou seja, nos locais com recepção digital deficiente os valores de SNR estiveram abaixo dos limiares.

A análise das medições em mobilidade complementou as conclusões obtidas na análise das medições em pontos fixos no tocante à extensão de cobertura. Considerando a análise das medições em pontos fixos nos dois modos de transmissão *simulcast*, que apresentou resultados de cobertura do sistema DRM30, tem-se a partir dos testes de mobilidade a informação de cobertura além das distâncias apresentadas na Tabela 49. Para a rota 16QAM Diurna, onde a cobertura obtida foi 24,5 km, verificou-se que esta pode ser cerca de 2,5 km mais extensa sobre a rota R2, pois há registros de recepção digital boa além daquele ponto. A Figura 23 do Anexo IV ilustra esta situação.

O outro caso é a cobertura 64QAM Noturna, que teve cobertura de 10,3 km. Há medições com recepção digital boa a 16,6 km sobre a rota R9, estendendo-se cerca de 4,5 km além desta distância. A Figura 54 do Anexo IV ilustra esta situação.

Tipo de Medição	Cobertura obtida na análise de pontos fixos
16QAM Diurna	24,5 km
64QAM Diurna	23,0 km
16QAM Noturna	18,0 km
64QAM Noturna	10,3 km

Tabela 49 – Cobertura digital

#### **4.6.1. Conclusões das medições em mobilidade**

As medições em mobilidade apresentaram o desempenho do sinal recebido sobre as rotas de medição. Os resultados foram apresentados através dos parâmetros AQ e relação sinal-ruído. A contribuição destes resultados para a análise dos pontos fixos foi a verificação de pontos com recepção digital boa além da distância de cobertura obtida para os quatro casos estudados (16QAM Diurno, 64QAM Diurno, 16QAM Noturno e 64QAM Noturno). No tocante à relação sinal-ruído e parâmetro AQ, o comportamento da relação sinal-ruído observada nas medições acompanhou o comportamento do parâmetro AQ, ou seja, nos locais com recepção digital deficiente os valores de SNR estiveram abaixo dos limiares.



## ANEXOS

### ANEXO I – Revisão Bibliográfica do Sistema DRM

#### I.1 – Histórico

O Consórcio Digital Radio Mondiale (DRM) é uma organização internacional sem fins lucrativos composto de radiodifusores, provedores de rede, fabricantes de transmissores e receptores, universidades, associações de radiodifusores e institutos de pesquisa. Seu objetivo é dar suporte e disseminar o sistema de radiodifusão digital para uso em todas as bandas de frequências até Banda III VHF [3]. O Consórcio possui 93 membros e 90 financiadores de 39 países envolvidos até outubro de 2009.

O DRM foi criado em Guangzhou, China, em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalizar as bandas de radiodifusão AM até 30 MHz (ondas longas, médias e curtas). A Especificação do Sistema DRM para radiodifusão abaixo de 30 MHz (denominada “DRM30”) foi publicada pela primeira vez pelo Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações (ETSI) em 2001 [6], seguida do publicação da Recomendação ITU estabelecendo o uso internacional do sistema para radiodifusão sonora digital [3] [2].

O principal impulso de desenvolvimento do DRM foi assegurar que a melhor qualidade de áudio pudesse ser alcançada, em transmissão simultânea com o serviço AM, com alocação da banda adjacente ao sinal AM. O sistema pode ocupar uma variedade de diferentes larguras de banda dependendo da localização e das frequências em uso. Nas Américas a largura de 10 kHz é usada na faixa de ondas médias, enquanto na Europa há a largura de 9 kHz. Nas bandas de ondas curtas foi aprovada a largura de banda de 10 kHz [7]. No tocante à largura do canal de 10 kHz, a taxa do streaming de mídia é limitada a aproximadamente 35kbit/s para um canal único, e 72 kbit/s quando se utiliza dois canais. Embora a taxa de bits não seja muito elevada, a qualidade alcança ou excede a qualidade das transmissões de FM mono. O padrão avançado de codificação de áudio (AAC), combinada com a técnica SBR (*Signal Band Replication*) fornece alta qualidade de áudio em taxas de bits muito baixas (ex: 22 kbit/s). Além do padrão AAC, o sistema DRM define os codecs HVXC e CELP para serem usados na transmissão de sinais de voz em 4kbit/s ou menos, permitido também o streaming de dados brutos para *slideshows* de imagens e páginas HTML [6].

O sistema DRM foi projetado especificamente para permitir que as novas transmissões digitais co-existam com as transmissões analógicas atuais, e uma porção significativa do trabalho tem sido realizado para quantificar os parâmetros de funcionamento que assegurem compatibilidade análogo/digital. Assim, a transição da radiodifusão analógica para digital pode ser feita em fases ao longo de um período de tempo, que por sua vez permite que emissoras já existentes escalonem o investimento para migração do sistema caso tenham restrições orçamentais. Além disso o sistema DRM foi criado para permitir que os transmissores analógicos possam ser chaveados facilmente entre as transmissões digitais e analógicas. Isso pode reduzir significativamente o custo do investimento inicial para uma emissora. Um benefício adicional orçamental é a redução dos custos de transmissão de energia [8].

O sistema DRM explora as propriedades de propagação das bandas AM. A introdução de serviços DRM permite que uma emissora proporcione aos ouvintes melhorias significativas na qualidade de áudio e confiabilidade do serviço. Como resultado, as emissoras internacionais





poderão prestar serviços em ondas médias e ondas curtas que são comparáveis aos serviços locais de FM.

Durante os últimos anos, vários estudos têm sido realizados em alguns países europeus, a fim para avaliar o desempenho do sistema nas faixas de ondas médias e ondas curtas (HF) [9].

Em 2005 foi realizada uma campanha extensiva de medições em Madrid e nas regiões vizinhas da Espanha Central, a qual originou o documento 6E-175E *Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests* da ITU [10]. O principal objetivo deste estudo foi a avaliação do desempenho do DRM30 usando a faixa de ondas médias, que foi dividido nas seguintes metas operacionais:

- Estudo da qualidade geral de áudio através da área de cobertura de um transmissor DRM operando com uma potência inferior em relação ao transmissor analógico AM que irá ser substituído;
- Estimar os campos mínimos nos diferentes ambientes reais de recepção com base em medições de campo;
- Analisar a influência do ambiente sobre a qualidade da recepção estática;
- Estudar a distribuição da força de campo sobre a área de cobertura, a fim de comparar os valores medidos com a saída do método de previsão usado atualmente. O método de referência deve ser a recomendação ITU-R p.368-7 [11];
- Estudo de recepção móvel dentro da área de cobertura prevista e identificar distúrbios crítica.

Neste documento foi apresentado um estudo de comparação detalhada entre os valores de campo medido em ambientes rurais e suburbanos e os valores previstos dada pela Recomendação ITU-R p.368-7. O principal resultado desta análise levou a uma correspondência muito boa entre os dados preditos por meio de método de Millington [11] e os valores reais medidos em campo. Simulações em 50% dos locais levou a um erro de previsão menor ou igual a 3 dB e quase todos os locais têm erros menores ou iguais a 9 dB. Os resultados globais indicam que o método Millington subestima o campo quando se tratar de terreno irregular.

A precisão dos dados de condutividade provou ser crucial para a uma boa previsão da cobertura. Quanto à recepção móvel, várias rotas foram medidas ao longo de radiais do transmissor. Para distâncias de até 35 km do transmissor, uma qualidade perfeita de áudio pode ser observada em ambientes rurais e suburbanas. Na faixa de 35 a 70 km, foram observadas poucas quedas de áudio. O possível efeito da velocidade do veículo parece não ser significativo para a recepção [10] [12].

A partir das medições dos campos foram obtidos os C/N mínimos para recepção do sistema DRM30 que foram comparados com os valores mínimos de C/N recomendados pela ITU. Os resultados da comparação foram satisfatórios e estão sumarizados no trabalho de Gorka Prieto et Al [13].

O sistema DRM30 foi criado para lidar com os diferentes tipos de transmissão abaixo de 30 MHz: propagação de ondas de superfície, propagação ionosférica (ondas celestes) e propagação em linha de visada. Uma proposta do consórcio DRM é o uso da banda de 26 MHz para a radiodifusão de cobertura local [14]. O uso tradicional das bandas de radiodifusão HF à longa distância com grandes áreas de cobertura é feito principalmente por meio de reflexões na ionosfera (ondas celestes). Este tipo de propagação com ondas celestes é fortemente influenciado pela densidade eletrônica das camadas da ionosfera, que é uma consequência da atividade solar. Esta é a razão pela qual a programação da radiodifusão HF é composta tendo levando-se em consideração a hora do dia e alterações na atividade solar sazonal, bem como o



grau de atividade solar que varia em ciclos de 11 anos. A propagação de ondas celestes também é influenciada pela frequência, pois quanto maior a frequência da onda transmitida, maior a densidade de elétrons necessária para que o índice de refração através da ionosfera seja suficiente para "dobrar" o sinal e tornar possível o retorno à terra e, portanto, permitir a recepção do sinal [15]. Isso explica o escasso uso das frequências mais altas da faixa HF para radiodifusão serviços utilizando ondas celestes. A propagação em linha de visada não possui essas limitações e pode fornecer áreas de cobertura de vários quilômetros ao redor do transmissor nestas bandas de frequência, que pode ser usada depois para a radiodifusão de cobertura local. Desta forma, a cobertura de uma cidade ou uma pequena região pode ser feita de uma forma semelhante à transmissão de rádio FM.

Em 2005 foram realizados medições na Cidade do México, cujos resultados foram mostrados por *J.M. Matias et al* [16], a fim de analisar a radiodifusão para cobertura local na faixa alta de HF (26MHz). A propagação em linha de visada é o principal mecanismo de propagação dentro de um intervalo de várias quilômetros do transmissor, apesar da propagação por ondas de superfície também seja relevante nas imediações do transmissor. Os resultados mostraram que os diferentes ambientes urbanos estudados não foram consideravelmente afetados pela variação temporal na intensidade dos campos medidos. A baixa variabilidade temporal em ambientes abertos e industriais se deve principalmente à falta de tráfego e da altura baixa dos edifícios em ambos os ambientes. A distribuição dos campos medidos se ajustou bem às distribuições normal e lognormal [16].

Pelo fato da propagação na ionosfera na faixa de HF ser muito instável, fato este que pode causar degradações inaceitáveis dos serviços de áudio analógico, foram feitos estudos da variabilidade temporal para este tipo de propagação e os seus resultados e conclusões pode ser encontrado nas Recomendações ITU-R P.842-2 [17] e P.1148-1 [18]. Ambas as recomendações são baseadas na Recomendação P.1057-1 [20], que descreve as distribuições de probabilidade adequada para a propagação de rádio. Essas recomendações se concentraram nas variações de ionização principalmente devido à variável atividade solar. Os efeitos de componentes ionosféricas sobre a variabilidade do sinal de ondas médias serviços nos serviços digitais estão descritos na Recomendação da ITU-R p.1321 [19]. Mas nesta mesma recomendação é indicado que o modo de onda de superfície pode ser considerado como imperecível. No Apêndice 1, é dito que a componente de onda celeste tem um distribuição lognormal (Recomendação ITU-R p.1057, equação (14)). Na Recomendação p.1321 há ausência de dados experimentais de variabilidade do tempo da onda e simplesmente supõe-se que a variabilidade temporal da onda de superfície é desprezível.

Os ensaios de campo realizados em Madrid [12] demonstraram que esta hipótese não foi definitivamente verdadeira em ambiente urbano de recepção. Consequentemente houve necessidade de uma análise da variabilidade temporal do sinal DRM30 que foi estudado em 2006 por *D.Guerra et al* [21].

Neste trabalho verificou-se que a função lognormal foi a que melhor representou a distribuição estatística para as zonas rurais e suburbanas. O valor médio da distribuição lognormal depende essencialmente da distância do local do transmissor. Para ambiente urbano a distribuição de Weibull se adapta melhor a pontos de recepção próximos aos locais de alto tráfego de automóveis, enquanto que a distribuição lognormal representa bem as outras regiões urbanas. O comportamento da intensidade de campo em ambiente urbano depende muito da densidade e



tipo de veículos que passam pelo local de medição. Alguns dos veículos (ônibus) bloqueiam o sinal recebido pela antena. Este efeito de atenuação seria mais importante considerando que a altura da antena de um receptor portátil típico varia de 1 a 1,5 metros. O trabalho mostrou que o valor médio da intensidade do campo recebido é altamente dependente de fatores ambientais, tais como o tráfego e a densidade de construções. Esses fatores devem ser levados em conta no projeto de ferramentas de planejamento de rede DRM30 [21].

O sistema DRM30, da mesma forma como outros serviços digitais em ondas médias (iBiquity, FMeXtra, CAM-D) e em faixas mais altas, é muito sensível às variações do campo. É essencial conhecer a extensão e velocidade das flutuações de sinal a fim de ser capaz de escolher os parâmetros tais como tipo de modulação, potência de transmissão, relação de proteção contra interferências, medidas de diversidade e método de codificação. A fim de obter planejamento rigoroso e confiável, que todos estes parâmetros devem ser analisados por meio de medições de campo que pode caracterizar a cobertura DRM30 de uma maneira realista.

Enquanto o DRM30 atualmente cobre as bandas de radiodifusão abaixo de 30 MHz, o sistema denominado DRM+ estende o sistema para as bandas de VHF até 108 MHz. Emprega canais de maior largura de banda do que o DRM30, o que permite utilização de maiores taxas de bits, proporcionando maior qualidade de áudio. Uma largura de banda do canal provável é de 100 kHz, o que permitirá ao DRM+ ter uma qualidade próxima de um CD. Um canal de 100 kHz tem capacidade suficiente para transportar uma baixa definição 700kbit/s de largura de canal de TV móvel: seria possível para distribuir TV móvel sobre DRM + em vez de DMB (*Digital Multimedia Broadcasting*) e DVB-H(*Digital Video Broadcasting-Handheld*). Ele pode ser configurado para usar menos espectro do que as emissões atuais de FM estéreo, gerando potenciais benefícios de robustez, redução de transmissão de energia e / ou aumento da cobertura.

Em 31 de agosto de 2009, o DRM + tornou-se um padrão oficial de radiodifusão, com a publicação da especificação técnica denominada ETSI ES 201 980 v.3.1.1, pelo Instituto Europeu de Normalização das Telecomunicações. Essa nova versão da especifica a operação do na faixa entre 30 MHz e 174 MHz [7].



## I.2 – Características técnicas

O sistema de radiodifusão digital DRM (*Digital Radio Mondiale*) pode ser utilizado em qualquer radiofrequência inferior a 174 MHz — isto é, pode ser usado nas faixas LF, MF, HF e VHF — para substituir a radiodifusão analógica baseada na modulação de amplitude (AM) e na modulação de frequência (FM). O sistema operando em frequências inferiores a 30 MHz é denominado de DRM30 [1] [3]. O sistema DRM Plus (DRM+) é uma extensão do sistema DRM30 para operar na faixa de frequência entre 30 e 174 MHz. Os sinais do DRM+ ocupam uma banda com largura de 95 kHz e provê taxas de bits de 35 kbps a 185 kbps, com qualidade de som stereo ou soundround acrescidos de dados. O sistema tem a aprovação da União Internacional de Telecomunicações (UIT) e é um padrão ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) [1] [2].

O sistema DRM30 permite que vários parâmetros do sistema possam ser alterados de forma a privilegiar a qualidade do áudio transmitido ou a robustez da transmissão em relação aos efeitos dos ruídos, interferências, multipercurso e efeito Doppler. Os principais parâmetros alteráveis são: o modo de transmissão OFDM (orthogonal frequency division modulation), as modulações utilizadas, a taxa de codificação para controle de erros e a extensão do interleaving. Quanto maior a robustez propiciada pela configuração escolhida menor é a taxa de bits de transmissão efetiva disponível e, conseqüentemente, mais baixa é a qualidade do áudio transmitido. Além dos parâmetros anteriormente citados, é possível escolher uma dentre seis larguras espectrais para o sinal digital DRM30; são elas: 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz ou 20 kHz.

Os modos de transmissão OFDM oferecidos pelo sistema DRM30 são quatro e são identificados pelas letras A, B, C e D. Esses modos se diferenciam na separação entre as portadoras OFDM, na duração dos símbolos OFDM e na duração do intervalo de guarda OFDM conforme ilustram a Tabela A.1 e a Tabela A.2 [1]. O modo A é o menos robusto e é recomendado para radiodifusão em onda média por meio de onda de superfície. Por isso, esse foi o modo de transmissão OFDM utilizado nos testes em São Paulo no período diurno. No entanto, no período noturno foi utilizado o modo B.

Parâmetro	Modo de robustez			
	A	B	C	D
Espaçamento entre portadoras ( $\Delta f_p$ )	41,667 Hz	46,875 Hz	68,182 Hz	107,143 Hz
Duração da parte útil do símbolo ( $T_u = 1/\Delta f_p$ )	24 ms	21,333 ms	14,667 ms	9,333 ms
Intervalo de guarda ( $T_g$ )	2,667 ms	5,333 ms	5,333 ms	7,333 ms
Duração do símbolo OFDM ( $T_s = T_u + T_g$ )	26,667 ms	26,667 ms	20 ms	16,667 ms
$T_g/T_u$	1/9	1/4	4/11	11/14

Tabela A.1 - Parâmetros OFDM dos quatro modos de robustez DRM30

Modo de robustez	Condições de propagação típicas	Usos típicos
A	Onda de superfície, com pouco desvanecimento	Cobertura local ou regional usando onda de superfície nas faixas OL e OM. Cobertura local usando onda espacial na faixa OC 26 MHz.
B	Canais seletivos no tempo e na frequência, com maior <i>delay spread</i>	Cobertura nacional e internacional usando onda celeste nas faixas OM e OC.
C	Idem modo B, mas com elevado Doppler <i>spread</i>	Cobertura internacional usando onda celeste na faixa OC.
D	Idem modo B, mas com severos <i>delay spread</i> e Doppler <i>spread</i>	Onda celeste requerendo robustez altíssima, particularmente onda celeste com incidência quase vertical para cobertura nacional na faixa OT.

Tabela A.2 - Modos de robustez do sistema DRM30



Os componentes de informação multiplexados e transmitidos pelo sistema DRM30 são divididos em três canais lógicos: o canal de acesso rápido ou FAC (Fast Access Channel), o canal de descrição de serviço ou SDC (Service Description Channel) e o canal de serviço principal ou MSC (Main Service Channel) [1] [3]. O MSC contém os serviços (áudio e dados) e, por isso, detém a maior parte da capacidade de transmissão do sinal DRM30. As portadoras que transportam dados do MSC podem utilizar a modulação 16-QAM ou a 64-QAM. O SDC contém a descrição de como decodificar os serviços contidos no MSC. As portadoras que transportam os dados do SDC sempre usam uma modulação mais robusta (isto é, de menor ordem) do que aquela utilizada pelo MSC. Assim, o MSC e o SDC utilizam, respectivamente, 64-QAM e 16-QAM ou 16-QAM e 4-QAM.

O canal de acesso rápido (ou FAC) transporta dados que informam ao receptor a largura espectral do sinal DRM30, as modulações usadas com o SDC e com o MSC, o comprimento do embaralhamento (interleaving), quantos serviços contém o MSC e o nome desses serviços. O receptor decodifica primeiro o FAC, para depois decodificar o SDC e o MSC. Como o FAC transporta os dados mais críticos do sistema, ele requer maior robustez, que é conseguida com o uso da modulação 4-QAM e de um código FEC mais robusto [1].

Grupos de células OFDM do MSC, e também do SDC, são embaralhadas no tempo com a finalidade de reduzir os efeitos do desvanecimento de curto termo. A extensão (quantidade de células) do embaralhamento pode ser longa ou curta, o que corresponde a um intervalo de tempo de aproximadamente 0,8 s ou 2,4 s, respectivamente [1].

O sistema DRM30 oferece grande flexibilidade na codificação de fonte, permitindo o uso de três esquemas de codificação: um para codificação de áudio (AAC) e dois para codificação de voz (CELP e HVXC). A Figura A.1 mostra o arranjo previsto para a codificação de fonte no sistema DRM30. Os três codificadores disponíveis fazem parte do padrão MPEG-4 e algumas de suas características são mostradas na Tabela A.3.

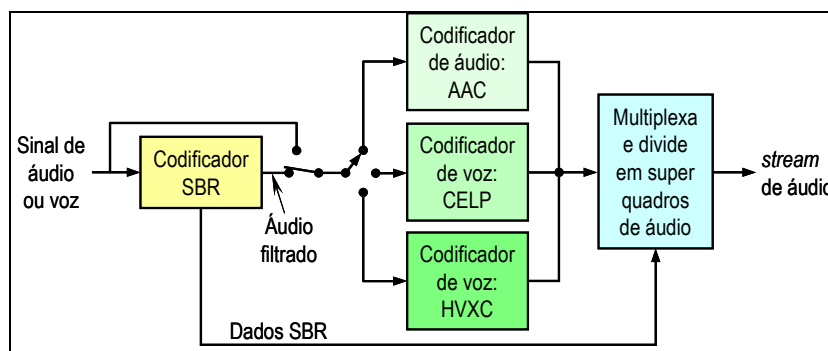


Figura A.1 - Opções de codificação de fonte (áudio ou voz) disponíveis no sistema DRM30

Codificador	Taxa de amostragem (kHz)	Taxas de bits possíveis (kbps)	Aplicação
AAC	12 e 24	Ampla faixa, com granulação de 20 bps	Codificação de áudio genérico, estereofônico ou monofônico
CELP	8 e 16	4 a 20	Codificação de voz a baixas taxas de bits
HVXC	8	2 a 4	Codificação de voz a taxas de bits muito baixas

Tabela A.3 - Características dos codificadores de fonte do DRM30

O codificador AAC (Advanced Audio Coding) é para a codificação de áudio genérico, estereofônico ou monofônico. No sistema DRM30, apenas duas taxas de amostragem são permitidas ao AAC: 12 kHz e 24 kHz. Em princípio, o áudio codificado teria, então, largura de banda menor que 6 kHz ou 12 kHz, respectivamente. Contudo, o sistema DRM30 permite o uso da técnica SBR (Spectral Band Replication) que é capaz de melhorar a percepção de um sinal de áudio truncado espectralmente em uma frequência baixa. Ela utiliza, de uma forma dinâmica, o conteúdo espectral da informação de baixa frequência para criar uma imitação para informação de alta frequência perdida. Isso requer uma informação SBR auxiliar que despende aproximadamente 2 kbps. No caso, o codificador AAC codifica um sinal de áudio de banda estreita — com largura de banda menor do que 6 (ou 12) kHz — e paralelamente o codificador SBR extrai e codifica apenas a forma (ou envoltória) do espectro do áudio original para frequências acima de 6 (ou 12) kHz. Essas duas informações, a saída do codificador AAC e a saída do codificador SBR, são transmitidas e usadas pelo decodificador para criar uma imitação da informação espectral de alta frequência perdida, que é combinada com a informação espectral de baixa frequência para produzir um sinal de áudio que se estende até 15 kHz ou mais.

A combinação do codificador AAC com o esquema SBR é denominada aacPlus ou HE AAC (high efficiency AAC). O aacPlus é capaz de propiciar sinais de áudio estereofônico de alta qualidade (equivalente à qualidade propiciada pelos CDs) a taxas de bits em torno de 48 kbps; e sinais de áudio monofônico com qualidade próxima daquela propiciada pelas emissoras FM podem ser conseguidos a taxas de bits em torno de 20 kbps.

O sistema DRM30 permite também o uso de um esquema estereofônico paramétrico, que utiliza uma técnica de síntese na decodificação do áudio para melhorar o sinal mono AAC, dando a esse uma percepção estereofônica. Esse esquema requer também a transmissão de uma informação auxiliar que despende aproximadamente 2 kbps e é extraída do sinal de áudio estereofônico original pelo codificador. Portanto, para implementar a expansão da largura de banda e a estereofonia paramétrica é necessário despende aproximadamente 4 kbps adicionais. Contudo, esses dois esquemas, quando combinados com a codificação AAC, propiciam uma qualidade de áudio notável com um dispêndio total de bits tão baixo quanto 20 kbps.

O codificador de voz MPEG-4 CELP (Code Excited Linear Prediction) propicia voz de boa qualidade a baixas taxas de bits, conforme Tabela A.3. Ele possibilita que um sistema DRM30 transmita simultaneamente por um único canal dois ou três programas vocais distintos (por exemplo, noticiários) ou o mesmo programa vocal em duas ou três línguas, o que é de grande interesse em radiodifusão internacional.

O codificador de voz HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding) despende taxas de bits mais baixas do que aquelas do codificador CELP, conforme Tabela A.3. Ele também se destina à transmissão simultânea de vários programas vocais ou de um mesmo programa em até quatro línguas diferentes. Ele possibilita também que programas de rádio possam ser armazenados em memória flash.

## **ANEXO II – Especificações do Laboratório Móvel de Telecomunicações do Inmetro**

A unidade móvel do Inmetro é utilizada para medições de sistemas de telecomunicações em geral. São apresentadas as seguintes características:

01 - Especificação Técnica do veículo: Furgão (GE2G) Mercedes-Benz, modelo Sprinter 413CDI, na cor branca com adesivos do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, FINEP e Faurgs, com porta lateral dupla no compartimento de carga (dois lados)

02 - Dimensões: Internas: Comp. 4215 mm X Largura 1736 mm X Altura 1855 mm;  
Externas: Comp. 6590 mm X Largura 1994 mm X Altura 2610 mm.  
Distância entre - eixos: 4025 mm;

03 – Acomodações: A cabine possui banco de 3 lugares com cintos de segurança e na traseira possui dois assentos giratórios, reclináveis e ajustáveis com cintos de segurança, um assento extra de apoio e uma mesa integrada ao rack com 1,70 m x 0,80 m;

04 - Rack triplo com alimentação AC e DC para a instalação de equipamentos de medição diretamente aparafusados ou em bandejas, possuindo conduítes, tubulações e caixas, internos e externos, para todas as passagens de cabos de energia elétrica (AC e DC), cabos de RF, áudio e controle e o painel de controle dos recursos da unidade móvel, como iluminação, rede de energia, disjuntores e gerador;

05 - Mastro telescópico de alumínio com altura total estendido de 13,8 m acima do nível do solo, com capacidade de carga no topo do mastro de até 60 kg;

06 - Grupo gerador com alimentação diesel, potência de 5,0 kW, saída de tensão VCA, isolamento acústico, isolamento térmico e painel de acionamento remoto no interior do veículo, com monitoramento e diagnóstico de funcionamento;

07 - Bateria auxiliar com capacidade mínima de 100 A/h, isolador de bateria e carregador independente com alimentação VCA com corrente mínima de 20 A;

08 - Transformador isolador com potência de 8 kVA, tensão de entrada 220 VCA e tensão de saída 120 VCA;

09 - Sistema no-break automático com potência de 6 kVA, entrada de energia 220 VCA, saída de energia 120 VCA e autonomia de 8 minutos à plena carga;

10 - Sistema completo de nivelamento do veículo com acionamento hidráulico automático,

11 - Toldo em PVC na lateral superior externa do veículo, auto-sustentável e retrátil com dimensão mínima de 4,5 m x 1,5 m;

12 – Revestimento interno acústico e térmico, com piso em borracha;

13 - Conjunto de cabos e adaptadores de conectores de RF diversos;



14 - Plataforma superior no veículo revestida com chapas do tipo piso de alumínio xadrez em toda a área com escada na porta traseira esquerda do veículo, fabricada em alumínio e os degraus em chapa piso.

15 – Faróis auxiliares direcionais na plataforma do teto do veículo para eventos noturnos;

16 - Painel externo de conexões de energia elétrica, com porta e placa de montagem dos conectores aparafusada;

17 – Sistema de navegação por satélite e rastreador;

18 – Equipamentos de sinalização de trânsito e isolamento de área;

19 – Sistemas de comunicação com acesso a internet de banda larga móvel 3G.





### ANEXO III – Detalhamento das Rotas de Medição da Rádio Cultura

As tabelas abaixo apresentam as coordenadas geográficas e a distância ao transmissor dos pontos de medição nos testes diurnos e noturnos, em 16QAM e 64QAM. Os endereços dos pontos são apresentados nas tabelas subsequentes.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	C1P1	16 QAM	23°36'17.64" S	46°39'21"W	9.92
2	C1P3	16 QAM	23°33'32.34" S	46°36'33.12"W	16.87
3	C1P4	16 QAM	23°36'6.24" S	46°37'30.36" W	12.31
4	C1P5	16 QAM	23°39'6.42" S	46°36'52.26" W	10.55
5	C2P1	16 QAM	23°33'45.78" S	46°42'22.44" W	12.61
6	C2P2	16 QAM	23°35'24.06" S	46°41'38.04" W	9.79
7	C2P3	16 QAM	23°38'26.1" S	46°43'35.16" W	4.14
8	C2P4	16 QAM	23°35'54.6" S	46°43'11.1" W	8.64
9	C3P1	16 QAM	23°35'25.44" S	46°26'34.86" W	29.29
10	C3P2	16 QAM	23°33'2.76" S	46°26'43.2" W	30.78
11	C3P3	16 QAM	23°31'30.36" S	46°27'25.5" W	31.16
12	C3P5	16 QAM	23°25'50.4" S	46°29'26.22" W	35.54
13	C5P1	16 QAM	23°43'19.74" S	46°49'39.12" W	12.60
14	C5P2	16 QAM	23°44'12.12" S	46°50'39" W	14.82
15	C5P3	16 QAM	23°45'44.34" S	46°50'18.66" W	15.83
16	C5P4	16 QAM	23°48'7.5" S	46°49'37.38" W	18.04
17	C5P5	16 QAM	23°48'45.18" S	46°47'49.5" W	17.27
18	R1P1	16 QAM	23°43'4.08" S	46°42'20.46" W	4.67
19	R1P2	16 QAM	23°40'27.48" S	46°39'43.8" W	5.34
20	R1P3	16 QAM	23°43'6.6" S	46°36'21.24" W	12.01
21	R1P4	16 QAM	23°47'13.5" S	46°35'51.96" W	17.08
22	R1P5	16 QAM	23°50'40.14" S	46°34'36.72" W	23.31
23	R2P1	16 QAM	23°42'2.7" S	46°42'5.58" W	3.00
24	R2P2	16 QAM	23°37'45.48" S	46°39'57.24" W	7.20
25	R2P3	16 QAM	23°35'14.4" S	46°37'9.66" W	13.84
26	R2P4	16 QAM	23°30'41.58" S	46°33'15.36" W	24.51
27	R2P5	16 QAM	23°27'34.44" S	46°28'56.34" W	33.73
28	R2P6	16 QAM	23°25'14.52" S	46°23'13.74" W	43.80
29	R3P1	16 QAM	23°39'0.96" S	46°43'6.84" W	2.92
30	R3P2	16 QAM	23°33'32.1" S	46°42'23.76" W	13.03
31	R3P3	16 QAM	23°27'54.9" S	46°45'2.64" W	23.68
32	R3P4	16 QAM	23°21'5.64" S	46°47'47.58" W	36.94
33	R4P1	16 QAM	23°40'30.48" S	46°45'19.86" W	4.19
34	R4P2	16 QAM	23°37'47.58" S	46°42'48" W	5.15
35	R4P3	16 QAM	23°30'43.86" S	46°47'49.26" W	20.04
36	R4P4	16 QAM	23°30'15.54" S	46°51'53.4" W	24.47
37	R4P5	16 QAM	23°31'6.78" S	46°56'50.1" W	29.50
38	R4P6	16 QAM	23°27'49.56" S	47°1'47.76" W	39.90
39	R4P7	16 QAM	23°25'53.4" S	47°7'29.58" W	49.92
40	R5P1	16 QAM	23°39'0.9" S	46°43'6.84" W	2.93
41	R5P2	16 QAM	23°34'51.9" S	46°43'50.1" W	10.68
42	R5P3	16 QAM	23°35'35.64" S	46°50'15.3" W	15.58
43	R5P4	16 QAM	23°36'5.52" S	46°56'15.54" W	24.24
44	R5P5	16 QAM	23°36'19.74" S	47°1'50.22" W	33.20
45	R6P1	16 QAM	23°40'24.78" S	46°45'7.86" W	3.86
46	R6P2	16 QAM	23°41'18.84" S	46°48'35.1" W	9.81
47	R6P3	16 QAM	23°42'46.14" S	46°50'20.58" W	13.33
48	R6P4	16 QAM	23°42'21.54" S	46°52'29.46" W	16.68
49	R6P5	16 QAM	23°44'54.06" S	46°54'3.3" W	20.62

Tabela 50 – Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 16QAM



Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	C2P1	64 QAM	23°33'46.02" S	46°42'23.64" W	12.61
2	C2P2	64 QAM	23°35'24" S	46°41'38.04" W	9.80
3	C2P3	64 QAM	23°38'25.92" S	46°43'35.1" W	4.15
4	C2P4	64 QAM	23°35'54.48" S	46°43'11.04" W	8.65
5	C3P1	64 QAM	23°35'27.36" S	46°26'36.3" W	29.23
6	C3P2	64 QAM	23°33'2.7" S	46°26'45.12" W	30.74
7	C3P3	64 QAM	23°31'28.02" S	46°27'24.78" W	31.21
8	C3P5	64 QAM	23°25'50.58" S	46°29'26.58" W	35.53
9	C5P1	64 QAM	23°43'19.8" S	46°49'39.12" W	12.60
10	C5P2	64 QAM	23°44'11.46" S	46°50'39.06" W	14.81
11	C5P3	64 QAM	23°45'44.22" S	46°50'18.66" W	15.83
12	C5P4	64 QAM	23°48'6.9" S	46°49'38.4" W	18.05
13	C5P5	64 QAM	23°48'45.3" S	46°47'49.62" W	17.28
14	R1P1	64 QAM	23°43'4.14" S	46°42'20.1" W	4.68
15	R1P2	64 QAM	23°40'27.12" S	46°39'44.16" W	5.33
16	R1P3	64 QAM	23°43'6.54" S	46°36'21.42" W	12.01
17	R1P4	64 QAM	23°47'13.68" S	46°35'51.9" W	17.09
18	R1P5	64 QAM	23°55'42" S	46°33'3.6" W	32.50
19	R2P1	64 QAM	23°42'2.46" S	46°42'5.28" W	3.00
20	R2P2	64 QAM	23°37'45.66" S	46°39'57.12" W	7.19
21	R2P3	64 QAM	23°35'15.12" S	46°37'10.02" W	13.81
22	R2P4	64 QAM	23°30'49.14" S	46°33'17.1" W	24.30
23	R2P5	64 QAM	23°27'34.38" S	46°28'56.22" W	33.74
24	R2P6	64 QAM	23°25'14.76" S	46°23'14.46" W	43.78
25	R3P1	64 QAM	23°39'0.84" S	46°43'6.84" W	2.93
26	R3P2	64 QAM	23°33'32.1" S	46°42'23.94" W	13.04
27	R3P3	64 QAM	23°27'54.84" S	46°45'2.58" W	23.68
28	R3P4	64 QAM	23°21'5.52" S	46°47'47.76" W	36.94
29	R4P1	64 QAM	23°40'31.86" S	46°45'16.26" W	4.09
30	R4P2	64 QAM	23°37'48" S	46°42'48.42" W	5.14
31	R4P3	64 QAM	23°30'38.88" S	46°48'7.44" W	20.40
32	R4P4	64 QAM	23°30'15.36" S	46°51'53.28" W	24.47
33	R4P5	64 QAM	23°31'7.2" S	46°56'47.76" W	29.44
34	R4P6	64 QAM	23°27'49.62" S	47°1'47.76" W	39.90
35	R5P1	64 QAM	23°39'0" S	46°43'0" W	2.94
36	R5P2	64 QAM	23°34'51.9" S	46°43'50.1" W	10.68
37	R5P3	64 QAM	23°35'36.12" S	46°50'16.14" W	15.59
38	R5P4	64 QAM	23°36'5.46" S	46°56'15.66" W	24.24
39	R5P5	64 QAM	23°36'19.56" S	47°1'50.22" W	33.20
40	R6P1	64 QAM	23°40'24.66" S	46°45'7.86" W	3.86
41	R6P2	64 QAM	23°41'18.78" S	46°48'35.22" W	9.82
42	R6P3	64 QAM	23°42'46.08" S	46°50'20.58" W	13.33
43	R6P4	64 QAM	23°42'21.66" S	46°52'29.4" W	16.68
44	R6P5	64 QAM	23°44'54.06" S	46°54'3.3" W	20.62

Tabela 51 - Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 64QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	R7P1	16 QAM	23°39'0.9" S	46°43'6.78" W	2.93
2	R7P2	16 QAM	23°31'4.08" S	46°44'40.92" W	18.00
3	R7P3	16 QAM	23°31'10.08" S	46°38'2.04" W	19.23
4	R8PR	16 QAM	23°38'10.2" S	46°42'55.92" W	4.46
5	R8P2	16 QAM	23°37'21.3" S	46°42'5.52" W	6.11
6	R8P3	16 QAM	23°35'0.18" S	46°41'27.78" W	10.57
7	R8P4	16 QAM	23°35'7.68" S	46°44'49.2" W	10.60
8	R8P5	16 QAM	23°35'26.34" S	46°49'36" W	14.88
9	R9P1	16 QAM	23°43'5.28" S	46°42'20.34" W	4.71



10	R9P2	16 QAM	23°42'18.72" S	46°42'7.86" W	3.43
11	R9P3	16 QAM	23°41'49.62" S	46°39'31.74" W	6.12
12	R9P4	16 QAM	23°43'2.94" S	46°37'26.46" W	10.29
13	R9P5	16 QAM	23°46'51.96" S	46°35'52.32" W	16.61
14	R9P6	16 QAM	23°53'35.7" S	46°33'47.28" W	28.54
15	R9PR	16 QAM	23°38'10.14" S	46°42'55.92" W	4.46

Tabela 52 - Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	R7P1	64 QAM	23°39'0.96" S	46°43'6.84" W	2.92
2	R7P2	64 QAM	23°31'6.66" S	46°44'34.14" W	17.72
3	R7P3	64 QAM	23°31'17.64" S	46°38'17.16" W	18.83
4	R7P4	64 QAM	23°30'14.64" S	46°34'0.54" W	24.32
5	R7PR	64 QAM	--	--	4.46
6	R8P1	64 QAM	23°39'0.9" S	46°43'6.9" W	2.93
7	R8P2	64 QAM	23°37'21.3" S	46°42'5.46" W	6.10
8	R8P3	64 QAM	23°35'0.12" S	46°41'27.78" W	10.58
9	R8P4	64 QAM	23°35'7.68" S	46°44'49.14" W	10.60
10	R8P5	64 QAM	23°35'26.46" S	46°49'36" W	14.87
11	R8PR	64 QAM	23°38'10.2" S	46°42'55.92" W	4.46
12	R9P1	64 QAM	23°43'5.28" S	46°42'20.34" W	4.71
13	R9P2	64 QAM	23°42'18.78" S	46°42'7.8" W	3.43
14	R9P3	64 QAM	23°41'49.5" S	46°39'31.8" W	6.12
15	R9P4	64 QAM	23°43'2.94" S	46°37'26.4" W	10.29
16	R9P5	64 QAM	23°46'52.2" S	46°35'52.44" W	16.61
17	R9P6	64 QAM	23°53'35.76" S	46°33'47.1" W	28.55
18	R9PR	64 QAM	23°38'16.9" S	46°42'55.92" W	4.46

Tabela 53 - Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 64QAM

#### Rota Radial 1- Rota Sul

Pontos	Localização
R1P1	Rua Jaburuna com Rua Domenico Lauo - Pracinha
R1P2	Av. Yervant Kissajikin, 1905
R1P3	Rod. dos Imigrantes - acostamento
R1P4	Rod. dos Imigrantes – 600m antes da ponte sobre a represa
R1P5	Rod. dos Imigrantes – próximo a curva acentuada de 90° a esquerda
R1P6	Rod. dos Imigrantes – próximo ao viaduto de Interligação Anchieta Imigrantes
R1P7	Av. Ayrton Senna da Silva – no Auto Posto Xixova Ltda. ou Auto Posto Intermares Ltda.

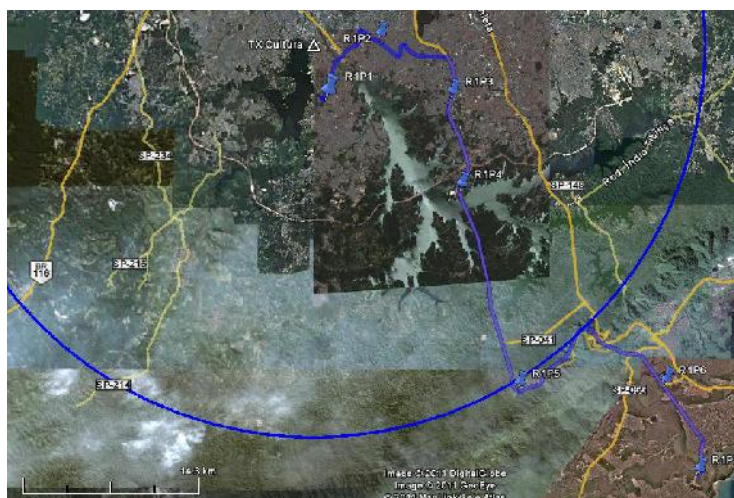


Figura III. 1-Rota 1

Rota Radial 2 – Rota Leste

Pontos	Localização
R2P1	Av. Interlagos – Praça Enzo Ferrari – em frente ao autódromo
R2P2	Av. Washington Luís – próximo ao aeroporto
R2P3	Av. Dr. Ricardo Jafet
R2P4	Av. Marginal Tietê – depois do viaduto com Av. Airton Pretini
R2P5	Rod. Pres. Dutra – Praça Isabela
R2P6	Rod. Pres. Dutra
R2P7	Rod. Pres. Dutra

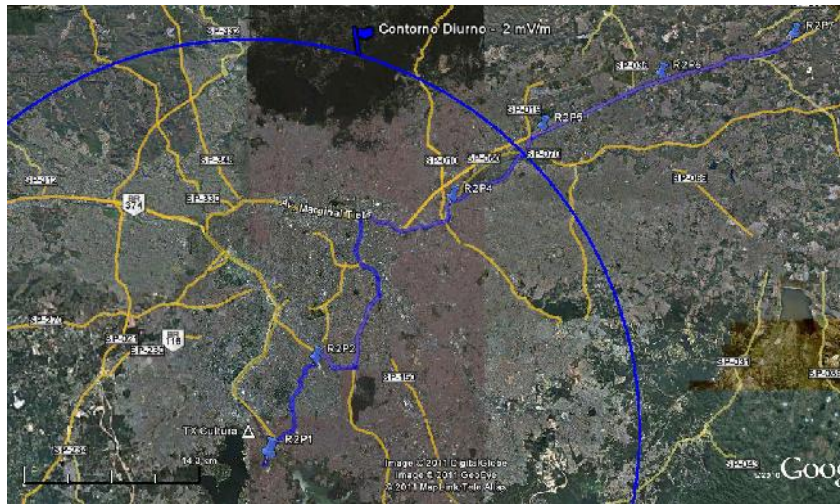


Figura III. 2-Rota 2

Rota Radial 3 – Rota Norte

Pontos	Localização
R3P1	Av. das Nações Unidas – em frente à Pte Transamérica
R3P2	Av. das Nações Unidas esquina com Av. Antônio Bатуira
R3P3	Rod. dos Bandeirantes – em frente Estrada Turística do Jaraguá
R3P4	Rod. dos Bandeirantes
R3P5	Rod. dos Bandeirantes
R3P6	Rod. Anhanguera – a 3 km da Rod. dos Bandeirantes – em frente ao depósito das Casas Bahia

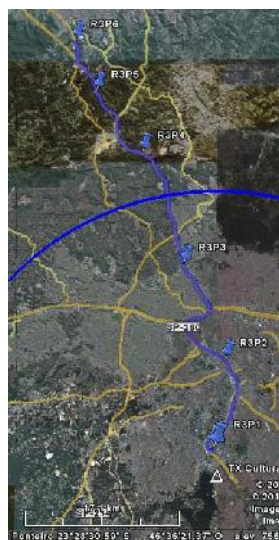


Figura III. 3 – Rota 3

### Rota Radial 4 – Rota Noroeste

Pontos	Localização
R4P1	R. José Francisco de Oliveira – próximo Estr. M'boi-mirim
R4P2	Av. das Nações Unidas – Morumbi Shopping
R4P3	Rod. Pres. Castelo Branco - pedágio
R4P4	Rod. Pres. Castelo Branco
R4P5	Rod. Pres. Castelo Branco – próximo ao viaduto da antiga Estr. de Itu
R4P6	Rod. Pres. Castelo Branco
R4P7	Rod. Pres. Castelo Branco

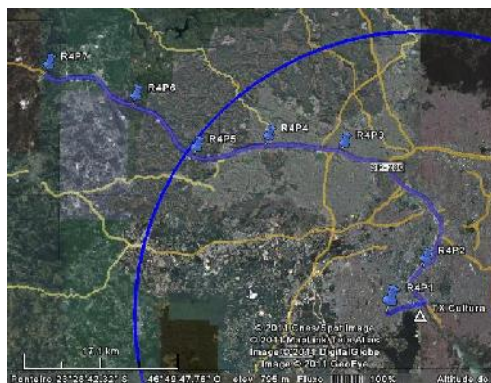


Figura III. 4 – Rota Radial 4

### Rota Radial 5 – Rota Oeste

Pontos	Localização
R5P1	Av. Dr. Mario Vilas Boas Rodrigues, com Rua Adele - Estacionamento
R5P2	Rod. Raposo Tavares – Estacionamento Habib's
R5P3	Rod. Raposo Tavares – Estacionamento Centro Comercial RT 23 – km 23
R5P4	Rod. Raposo Tavares – Saída de barro, próximo a campo de futebol
R5P5	Rod. Raposo Tavares – Estacionamento antes da saída para a Rodovia Bunjiro Nakao
R5P6	Rod. Bunjiro Nakao – Estacionamento em área rural antes da localidade de Ibúna

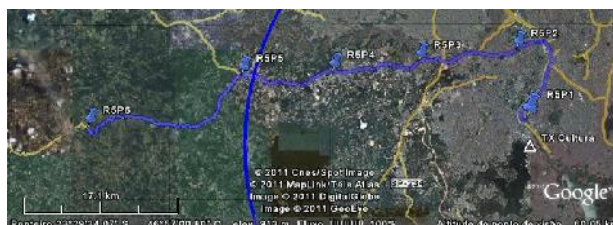


Figura III. 5 – Rota Radial 5

### Rota Radial 6 – Rota Sudoeste

Ponto	Localização
R6P1	Rua Cristalina, esquina com Rua Crisipo
R6P2	Estr. Armando Sales, em direção a Itapeverica da Serra – Saída de barro em zona rural, próximo a campos de plantações
R6P3	Estr. Armando Sales, quadra de tênis junto à entrada do Condomínio Recanto da Floresta
R6P4	Rod. Régis Bittencourt – Saída para via secundária à direita, junto a torre de telecomunicação
R6P5	Rod. Régis Bittencourt – Posto de Gasolina S. Leopoldo – km 40
R6P6	Rod. Régis Bittencourt – Clube de Campo Triângulo Azul
R6P7	Rod. Régis Bittencourt – Após passarela e antes do Posto 60



Figura III. 6 – Rota Radial 6

Rota Circular 1 – Urbana Leste

Pontos	Localização
C1P1	Al. dos Anapurus com Av. Chibará
C1P2	Rua da Consolação, após cruzamento com Av. Paulista
C1P3	Av. Presidente Wilson com Rua Serra da Paracaina
C1P4	Av. Dr. Ricardo Jafet com Rua Helen Keller
C1P5	Av. Cursino com Av. Padre Arlindo Vieira



Figura III. 7 – Rota Circular 1

Rota Circular 2 - Urbana Oeste

Pontos	Localização
C2P1	Av. Magalhães de Castro com Av. Valentim Gentil
C2P2	Rua São Bonifácio, após Pte. Eng. Roberto Rossi Zuccolo
C2P3	Av. Marginal do Rio Pinheiros, saída para a Rua Itapiúna
C2P4	Av. Giovanni Gronchi, ao lado do Estádio Morumbi





Figura III. 8 – Rota Circular 2

### Rota Circular 3 – Contorno Protegido Diurno

A rota setor contorno protegido, mostrada na Figura abaixo, tenta aproximar um percurso ao raio do contorno naquela direção.

Pontos	Localização
C3P1	Av. Jacu-pêssego/Nova Trabalhadores – Saída no início da Avenida, antes da Rua Guichi Shigueta.
C3P2	Av. Jacu-pêssego/Nova Trabalhadores – Estacionamento do Supermercado Irmãos Lopes
C3P3	Av. Jacu-pêssego/Nova Trabalhadores com Rua Carolina Fonseca
C3P4	Av. Santos Dumont com Av. Guinle
C3P5	Rod. Helio Smidt, próximo ao terminal de cargas do Aeroporto de Cumbica.

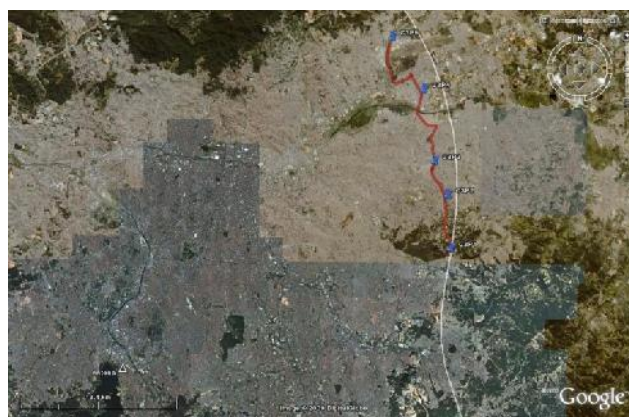


Figura III. 9 – Rota Circular 3

### Rota Circular 4 – Setor Industrial

Pontos	Localização
C4P1	Av. da Paz com R. Berlim – Posto de Gasolina
C4P2	Av. dos Estados – Saída entre a R. Eng. Tomás Magalhães e R. Santa Maria Madalena
C4P3	Av. Industrial – Em frente a UniABC
C4P4	R. Giovanni Battista Pirelli – Posto de Gasolina após a R. Rio Grande
C4P5	Av. dos Estados com R. Itaipava – Posto de Gasolina
C4P6	Av. dos Estados com Al. Martins Fontes



Figura III. 10 – Rota Circular 4

#### Rota Circular 5 – Setor Rural

A rota setor contorno protegido, mostrada na Figura abaixo, aproxima um percurso ao raio do contorno naquela direção.

Pontos	Localização
C5P1	Estr. João Rodrigues de Moraes – Saída para Estr. dos Andrades e Estr. dos Moreiras
C5P2	Estr. Bento Roger Domingues, junto à entrada de um condomínio
C5P3	Estr. Bento Roger Domingues com Estr. Pedro Simão Cleim
C5P4	Estr. Bento Roger Domingues, antes da Estr. Mina de Ouro
C5P5	Rua Ernesto João Marcelino, junto à um lago



Figura III. 11 – Rota Circular 5

#### Rota Radial 7 – Leste Noturna

Pontos	Localização
R7P1	Av. das Nações em frente à Pte Transamérica, retorno da Av. Dr. Mário Vilas Boas Rodrigues
R7P2	Início da Av. Marginal Tietê – Posto de Gasolina
R7P3	Av. Presidente Castelo Branco, antes do Viaduto sob a Av. Santos Dumont
R7P4	Rod. Pres. Dutra – Pista Lateral – Posto de Gasolina antes do acesso à Rod. Fernão Dias
R7P5	Rod. Pres. Dutra

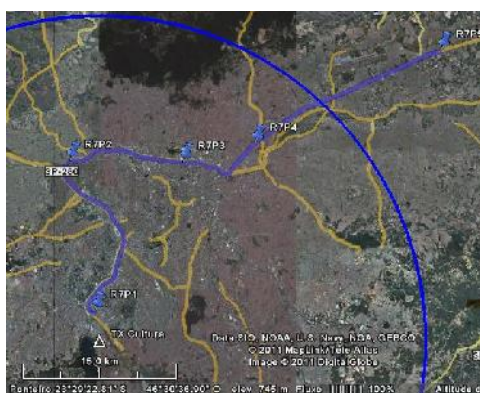


Figura III. 12 – Rota Radial 7



Rota 8 – Oeste Noturna

Pontos	Localização
R8P1	Av. das Nações em frente à Pte Transamérica, retorno da Av. Dr. Mário Vilas Boas Rodrigues
R8P2	Av. Major Silvio Magalhães Padilha – Posto de Gasolina após o Morumbi Shopping
R8P3	Av. das Nações Unidas – Auto Posto Hungria, após Pte. Eng. Roberto Rossi Zuccolo
R8P4	Rod. Raposo Tavares – Hipermercado Extra
R8P5	Rod. Raposo Tavares – Posto de Gasolina e Centro Comercial Portal da Aldeia
R8P6	Rodovia Raposo Tavares – entrada lateral para Av. Elias A. da Costa.



Figura III. 13 – Rota Radial 8

Rota 9 – Sul Noturna

Pontos	Localização
R9P1	R. Jaburuna com Rua Domenico Lauro
R9P2	Av. Interlagos – Posto de Gasolina junto a Praça Moscou
R9P3	Rua Rodrigues de Medeiros, esq. Com Rua Tapajós
R9P4	Av. Ns. Dos Navegantes – Em frente à Unidade Básica de Saúde Eldorado
R9P5	Rod. Dos Imigrantes – desvio antes da ponte sobre a Represa Billings
R9P6	Rod. dos Imigrantes – acostamento na curva acentuada à esquerda, próxima a Estr. do Dersa



Figura III. 14 – Rota Radial 9

## **ANEXO IV – Análises das medições em mobilidade dos testes do DRM30/Rádio Cultura**



## **ANEXO V – Gráficos das medições em mobilidade dos testes de campo do DRM30/Rádio**

### **Cultura**



## Referências Bibliográficas

- [1] ETSI ES 201 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v3.1.1, 2009.
- [2] Rec. ITU-R BS.1514-1: Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz, 2002.
- [3] Digital Radio Mondiale (DRM). A Broadcaster’s Guide, Publicação DRM™, Versão 1.1, junho 2010.
- [4] ITU-R Doc. 6E/403-E, “Digital Radio Mondiale (DRM): MW simulcast tests in Mexico D.F.”, agosto de 2006.
- [5] “Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Onda Média e em Onda Tropical – (faixa de 120 metros)”. Anatel.
- [6] ETSI TS 101 980 v1.1 “Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification”, 2001
- [7] ETSI ES 201 980 v3.1.1 “Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification”, 2009
- [8] G. Prieto, I. Pichel, D. Guerra, P. Angueira, J.M. Matías, J.L. Ordiales, A. Arrinda, “Digital Radio Mondiale: Broadcasting and Reception”, Dubronovik (Croacia), IEEE Melecon 2004
- [9] J. M. Matias, D. Guerra, G. Prieto, I. Fernandez, P. Angueira, “Description and Results of the DRM Long term Tests,” 5th Workshop Digital Broadcasting, Erlangen (Germany) 2004
- [10] ITU Radio Communications Study Group E-175E “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005
- [11] Recomendação ITU-R P.368-7 (03/92), “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”.1992
- [12] D. Guerra, G. Prieto, I. Fernandez, J. M. Matias, P. Angueira, and J.L. Ordiales, “Medium wave DRM field test results in urban and rural environments,” IEEE Trans. Broadcasting, vol. 51, no. 4, pp. 431–438, Dezembro 2005
- [13] Gorka Prieto, Manuel Velez, Pablo Angueira, David Guerra, and David de la Vega, “Minimum C/N Requirements for DRM Reception based on Field Trials, IEEE Communications Letters, Vol. 9, No. 10, pp. 877–879, Outubro 2005
- [14] DRM, “*Broadcasters’ User Manual*”, A Digital Radio Mondiale™ (DRM™) Publication. 1st edition,. p. 47., Março 2004
- [15] P. M. Hall et al., “*Radiowave propagation*” IEEElectromagnetic Waves Series 30, Peter Peregrinus Ltd., 1989
- [16] J. M. Matías, I. Losada, D. Guerra, G. Prieto, U. Gil, P. Angueira, “Local Radio Coverage Using the Digital Radio Mondiale International Standard: Time Variability Characterization”, IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, Las Vegas (USA) 2006
- [17] ITU-R, “Computation of Reliability and Compatibility of HF Radio Systems,” ITU-R P.842-1, July 1999
- [18] International Telecommunication Union, “Standardized Procedure for Comparing Predicted and Observed HF Sky-Wave Signal Intensities and the Presentation of Such Comparisons,” ITU-R P.1148-1, Março1997
- [19] International Telecommunication Union, “Propagation Factors Affecting Systems Using Digital Modulation Techniques at LF and MF,”ITU-R P.1321, Março 2005
- [20] International Telecommunication Union, “Probability Distributions Relevant to Radiowave Propagation Modelling,” ITU-R, Recommendation P.1057-1, Fevereiro 2001
- [21] D. Guerra, U.Gil, D. la Vega, G.Prieto,A. Arrinda, J.L. Ordiales e P. Angueira, “Medium Wave Digital Radio Mondiale (DRM) Field Strength Time Variation in Different Reception Environments,” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 52, vol. 4, pp. 483–490,Dezembro 2006.
- [22] Recommendation ITU-R P.832-2 (07/99), “World atlas of ground conductivities”



- [23] Final Acts of the Regional Conference – Region 2 in Rio de Janeiro, 1981
- [24] Recommendation ITU-R BS 1284-1, “General methods for the subjective assessment of sound quality”, 2003.
- [25] Recommendation ITU-R BS 1615, “Planning parameters” for digital sound broadcast at frequencies below 30 MHz”.
- [26] Guia para avaliação do Sistema Rádio Digital DRM na faixa de Onda Média 2009, Anatel. Disponível em [www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br).
- [27] R.H.Ott, L.E.Vogler, G.A.Hufford, “Ground Wave Propagation over Irregular Inhomogeneous Terrain: Comparison of Calculations and Measurements”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-27, no 2, March 1979.
- [28] ETSI TS 102 349: “Digital Radio Mondiale (DRM) Receiver Status and Control Interface (RSCI)”,v3 1.1 2010
- [29] Recommendation ITU-R P.1147-4, “Prediction of sky-wave field strength at frequencies between about 150 and 1700 kHz”.

