



Serviço Público Federal

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

---

## NOTA TÉCNICA

---

**Nota Técnica: Ditel/12/2011**

**Referência: Medições de Campo do Sistema DRM30 (*Digital Radio Mondiale*) na Faixa de Ondas Médias em São Paulo com a Rádio CBN 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. TESTE DE COMPATIBILIDADE COM SINAL ANALÓGICO .....	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 CBN AM.....</b>	<b>29</b>
4.1. ESPECIFICAÇÕES DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA.....	29
4.2. DESCRIÇÃO DAS ROTAS DE MEDIÇÕES .....	30
4.3. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DIURNAS .....	32
4.3.1. VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS DIURNOS .....	32
4.3.2. PREDIÇÃO TEÓRICA DE INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO ANALÓGICO.....	33
4.3.3. DADOS DE MEDIÇÕES DIURNAS.....	34
4.3.4. COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO MEDIDO E PREDITO .....	38
4.3.5. AVALIAÇÃO SUBJETIVA DO ÁUDIO ANALÓGICO .....	40
4.3.6. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO PARA RECEPÇÃO DIGITAL.....	43
4.3.7. ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL DIURNO MEDIDO .....	46
4.3.8. COMPARAÇÃO DAS COBERTURAS DOS SISTEMAS DIGITAL E ANALÓGICO .....	52
4.3.9. CONCLUSÕES SOBRE RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DIURNAS DA RÁDIO CBN.....	60
4.4. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NOTURNAS EM PONTOS FIXOS DA RÁDIO CBN .....	62
4.4.1. VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS NOTURNOS .....	62
4.4.2. PREDIÇÃO TEÓRICA DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO NOTURNA .....	63
4.4.3. REGISTROS DE INTERFERÊNCIA NO PERÍODO NOTURNO.....	63
4.4.4. DADOS DE MEDIÇÕES NOTURNAS.....	64
4.4.5. COMPARAÇÃO ENTRE A ÁREA DE COBERTURA DO SINAL ANALÓGICO MEDIDO E PREDITO .....	64
4.4.6. AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO PARA RECEPÇÃO DIGITAL.....	68
4.4.7. ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL NOTURNO MEDIDO .....	70
4.4.8. COMPARAÇÃO DAS COBERTURAS DOS SISTEMAS DIGITAL E ANALÓGICO .....	77
4.4.9. CONCLUSÕES SOBRE RESULTADOS DAS MEDIÇÕES NOTURNAS DA RÁDIO CBN .....	80
4.5. IMPACTO NA RECEPÇÃO DO SINAL ANALÓGICO AM HOSPEDEIRO .....	83
4.5.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE SINAL AM DA RÁDIO CBN .....	84
4.5.2. CONCLUSÕES SOBRE IMPACTO DO SINAL DRM30 NO SINAL ANALÓGICO HOSPEDEIRO.....	85
4.6. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE.....	86
4.6.1. CONCLUSÕES DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE .....	90
<b>ANEXO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO SISTEMA DRM30 .....</b>	<b>I</b>
I.1 – HISTÓRICO .....	I
I.2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS .....	V
<b>ANEXO II – ESPECIFICAÇÕES DO LABORATÓRIO MÓVEL DE TELECOMUNICAÇÕES DO INMETRO .....</b>	<b>VIII</b>

ANEXO III – DETALHAMENTO DAS ROTAS DE MEDIÇÃO DA RÁDIO CBN.....	X
ANEXO IV – ANÁLISES DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE DOS TESTES DE CAMPO DO DRM30/RÁDIO CBN .....	XIX
ANEXO V – GRÁFICOS DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE DOS TESTES DE CAMPO DO DRM30/RÁDIO CBN .....	XX
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	XXI



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da estação transmissora da Rádio CBN AM .....	18
Tabela 2- Configuração DRM30 utilizada na transmissão, período diurno.....	23
Tabela 3- Configuração DRM30 utilizada na transmissão, período noturno .....	23
Tabela 4 – Características do <i>setup</i> de medição.....	25
Tabela 5 – Parâmetros de medição dos testes DRM30 na Rádio CBN AM .....	27
Tabela 6 – Descrição das rotas de teste.....	30
Tabela 7 – Descritivo dos dados das medições da Rádio CBN AM .....	31
Tabela 8 – Medições descartadas .....	33
Tabela 9 – Parâmetro de entrada do modelo de predição de intensidade de campo elétrico .....	34
Tabela 10 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM.....	37
Tabela 11- Medições diurnas de pontos fixos em 64QAM.....	37
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 dadas ao áudio analógico AM diurno medido Rádio CBN.	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 .....	45
Tabela 17 – Detalhamento de pontos 16QAM diurnos onde $AQ < 98\%$ , Rádio CBN .....	47
Tabela 18 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 16QAM .....	49
Tabela 19 – Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 16QAM .....	49
Tabela 20- Detalhamento de pontos diurnos 64QAM onde $AQ < 98\%$ , Rádio CBN.....	50
Tabela 21 - Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas diurnas 64QAM.....	52
Tabela 22 - Consolidação de pontos de medições fixas diurnas 64QAM.....	52
Tabela 23-Comparação entre o sinal digital 16QAM e o sinal analógico, Rádio CBN.....	53
Tabela 24 – Consolidação da comparação da cobertura digital 16QAM com analógica.....	56
Tabela 25- Comparação entre o sinal digital 64QAM e o sinal analógico, Rádio CBN .....	57
Tabela 26 - Consolidação da comparação da cobertura digital 64QAM com a analógica.....	59

Tabela 27-Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM.....	64
Tabela 28- Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM.....	64
Tabela 29 – Distribuição de notas dadas ao áudio analog. AM noturno medido Rádio CBN ....	67
Tabela 30 - Comparação de SNR medido noturno com o requerido pela UIT-R BS.1615 .....	70
Tabela 31 - Detalhamento de pontos 16QAM noturnos onde AQ<98% (Rádio CBN) .....	71
Tabela 32 – Resultados gerais de qualidade de áudio – medições fixas noturnas 16QAM .....	73
Tabela 33 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 16QAM.....	73
Tabela 34- Detalhamento de pontos 64QAM noturnos onde AQ<98%, Rádio CBN.....	74
Tabela 35 - Resultados gerais de qualidade de áudio de medições fixas noturnas 64QAM .....	77
Tabela 36 - Consolidação de pontos de medições fixas noturnas 64QAM.....	77
Tabela 37 - Comparação do sinal digital noturno 16QAM e sinal analógico, Rádio CBN.....	77
Tabela 38 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 16QAM com analógica	78
Tabela 39 - Comparação do sinal digital noturno 64QAM e sinal analógico, Rádio CBN.....	79
Tabela 40 - Consolidação da comparação da cobertura digital noturna 64QAM com analógica	80
Tabela 41 – Resultados das medições 16QAM diurnas em movimento, Rádio CBN .....	88
Tabela 42 – Resultados das medições 64QAM diurnas em movimento, Rádio CBN .....	89
Tabela 43 - Resultados das medições 16QAM noturnas em movimento, Rádio CBN .....	89
Tabela 44 - Resultados das medições 64QAM noturnas em movimento, Rádio CBN .....	89
Tabela 45 – Valores dos SNR limiares diurnos e noturnos empregados na análise de mobilidade .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Estação transmissora da Rádio CBN AM.....	19
Figura 2 – Transmissor e processador áudio analógico Orban.....	19
Figura 3 – Transmissor Harris.....	19
Figura 4 – Torre da Rádio CBN.....	20
Figura 5- Possibilidades de configuração <i>simulcast</i> para testes, sem shaping.....	21
Figura 6 – Configuração <i>simulcast</i> utilizada nos testes, com shaping.....	21
Figura 7- Espectro do sinal híbrido da Rádio CBN AM.....	22
Figura 8 - Configuração da estação após a instalação do excitador DRM30.....	22
Figura 9 – Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro.....	24
Figura 10 - Diagrama esquemático do setup de recepção.....	25
Figura 11 - Toshiba TR949GL, Motobras RM-PF22, NKS AC-125 respectivamente.....	26
Figura 12 - Localização da torre da antena transmissora da Rádio CBN 780 AM de São Paulo.....	29
Figura 13 – Rotas escolhidas para medição e contorno protegido diurno de 2 mV/m.....	29
Figura 14 – Rotas de medição, pontos fixos e contorno protegido diurno.....	30
Figura 15 – Pontos de medição das rotas circulares.....	31
Figura 16 – Pontos para medições estáticas diurnas da Rádio CBN AM.....	32
Figura 17 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo.....	34
Figura 18 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM, região de 1 mS/m.....	38
Figura 19 - Medições diurnas com 16QAM em pontos fixos da Rota R3, percurso misto.....	39
Figura 20 - Medições diurnas em pontos fixos em 64QAM, região de 1 mS/m.....	39
Figura 21 - Medições diurnas com 64QAM em pontos fixos da Rota R3, percurso misto.....	39
Figura 22 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio CBN.....	41
Figura 23 – Mapa com avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio CBN.....	41
Figura 24 – Registros do áudio analógico AM diurno nas rotas (Rádio CBN).....	42
Figura 25 – Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições diurnas.....	44
Figura 26 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições diurnas.....	45
Figura 27 – Classificação das medidas em 16QAM conforme parâmetro AQ.....	46

Figura 28 – Campo diurno versus distância para 16QAM, em função da AQ.....	47
Figura 29-Medições em 16QAM de R7P4, Rádio CBN.....	48
Figura 30-Medições em 16QAM de R6P4, Rádio CBN.....	48
Figura 31-Medições em 16QAM de R7P3, Rádio CBN.....	48
Figura 32 - Classificação das medidas diurnas em 64QAM conforme parâmetro AQ .....	49
Figura 33 - Campo diurno versus distância para 64QAM, em função da AQ .....	50
Figura 34 – Medições em 64QAM de R6P4, Rádio CBN .....	51
Figura 35-Medições em 64QAM de R2P5, Rádio CBN.....	51
Figura 36 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM e sinal analógico, Rádio CBN ....	54
Figura 37 – Visualização de recepção analógica boa e de recepção digital boa 16QAM .....	54
Figura 38 – Visualização de recepção analog. boa e de recepção digital boa ou ruim 16QAM .	55
Figura 39 – Visualização de recepção analógica ruim e de recepção digital 16QAM boa .....	55
Figura 40 – Mapa da comparação entre sinal digital 64QAM e sinal analógico, Rádio CBN ....	57
Figura 41 – Visualização de recepção analógica boa e de digital boa 64QAM, Rádio CBN .....	58
Figura 42 - Pontos com recepção analógica boa com digital 64QAM boa ou ruim, Rádio CBN	58
Figura 43 - Pontos com recepção analógica ruim com digital 64QAM boa, Rádio CBN.....	59
Figura 44- Pontos para medições noturnas em pontos fixos da Radio CBN.....	62
Figura 45 – Registro do analisador de espectro do sinal analógico no ponto R2P2, Rádio CBN	63
Figura 46 – Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM.....	65
Figura 47 – Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM.....	66
Figura 48-Avaliação subjetiva do áudio analógico AM noturno medido da Rádio CBN .....	66
Figura 49 – Mapa da avaliação subjetiva áudio analógico AM noturno, Rádio CBN .....	67
Figura 50-Registros de áudio analógico AM noturno nas radias (Rádio CBN).....	68
Figura 51 - Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições noturnas.....	69
Figura 52 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições noturnas.....	69
Figura 53- Classificação das medidas noturnas em 16QAM conforme parâmetro AQ .....	71
Figura 54 – Campo noturno versus distância para 16QAM, em função da AQ.....	71
Figura 55 - Medições noturnas em 16QAM de R2P4, Rádio CBN .....	72
Figura 56 – Registros do espectro em R2P4, 16QAM: analógico (esq), <i>simulcast</i> (dir) .....	72

Figura 57- Classificação das medidas noturnas em 64QAM conforme parâmetro AQ .....	73
Figura 58 – Campo noturno versus distância para 64QAM, em função da AQ.....	74
Figura 59 - Medições noturnas em 64QAM de R3P2, Rádio CBN .....	75
Figura 60 – Registros do espectro em R3P2 64QAM: analógico (esq), simulcast (dir) .....	75
Figura 61 - Medições noturnas em 64QAM de R2P4, Rádio CBN .....	76
Figura 62 - Registro do espectro em R2P4, 64QAM, <i>simulcast</i> .....	76
Figura 63 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM noturno e sinal analog. noturno ..	78
Figura 64 - Mapa da comparação entre sinal dig. 64QAM noturno e sinal analógico noturno ..	79
Figura 65 – Avaliação subjetiva do áudio de receptores comerciais.....	83
Figura 66 – Espectros gravados durante medições da Rádio Cultura AM.....	84
Figura 67- Espectros gravados durante medições da Rádio CBN.....	84
Figura 68 – Parâmetro AQ, medições diurnas 16QAM, Rádio CBN AM .....	86
Figura 69 – Parâmetro AQ, medições diurnas 64QAM, Rádio CBN AM .....	86
Figura 70 – Parâmetro AQ, medições noturnas 16QAM, Rádio CBN AM .....	87
Figura 71 – Parâmetro AQ, medições noturnas 64QAM, Rádio CBN AM .....	87

## **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 o sistema 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 Rádio Excelsior Ltda. (Rádio CBN 780 AM) realizado em São Paulo. A transmissão híbrida da Rádio CBN foi realizada por um período de quatro semanas, entre as datas de 15 de março de 2010 e 29 de março 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 CBN 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 1301, de 24 de fevereiro de 2010, sob a classificação de Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais

Este documento tem como objetivo 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 CBN que participaram dos testes**

Equipe técnica

## **Locais dos testes**

São Paulo – SP

## **Emissoras envolvidas**

Rádio Excelsior S.A.

## **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

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Hannover University

University of Kaiserslautern

Universidad del País Vasco/Euskal herriko Unibertsitatea

Fraunhofer Institut - FhG

## **Entidades internacionais parceiras**

BBC – Empresa inglesa

RFMondial – Empresa alemã

Digidia – Empresa francesa

TDF (Tele Diffusion de France) – Empresa francesa

Nautel – Empresa canadense

Thomson – Empresa americana

RTP (Radio e Televisão de Portugal) – Empresa portuguesa

Deutsche Welle – Empresa alemã

VT Group – Empresa inglesa

Transradio – Empresa alemã

Harris Corporation – Empresa americana



## 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 (Universidad Nacional Autónoma de 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 foram realizados pelo Inmetro com apoio do Ministério das Comunicações, da Anatel, da Rádio Excelsior Ltda. e do Consórcio DRM. Este documento apresenta os resultados dos testes para avaliação do sistema DRM30 instalado na estação transmissora da Rádio Excelsior (Rádio CBN 780 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, iniciados na 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 elétrico, 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 CBN 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]. Uma vez que foram realizadas medições ao longo de rotas, a extensão da cobertura analógica foi dada até os pontos classificados como “Recepção Pobre”, onde o áudio é descrito como “incômodo” pelos ouvintes, onde a informação se torna ininteligível. Para os testes diurnos a “Recepção Pobre” atingiu a distância em relação ao transmissor de 16,6 km. Para “Recepção Boa” as distâncias obtidas sobre as radiais foram 4 km (radial sudoeste), 10 km (radial sudeste, nordeste e noroeste). Uma rota circular (direção nordeste) apresentou “Recepção Boa” em 10,9 e 13,2 km do transmissor. Dentre os 40 (100%) pontos com registro analógico, 26 (65%) foram classificados como “Recepção Boa”, 2 (5%) foram classificados como “Recepção Pobre” e 12 (30%) como “Recepção Ruim”. A situação registrada sugere que as regiões na proximidade do transmissor apresentam recepção “boa”, com decréscimo da qualidade do áudio com o afastamento do ponto de transmissão, ainda que as intensidades de campo tenham atendido o valor do contorno diurno teórico de 2 mV/m, que ocorre entre 45 e 62 km conforme modelo da Anatel. O limiar diurno para a recepção analógica está na faixa de 70 a 80 dB $\mu$ V/m, provavelmente devido ao elevado ruído ambiente diurno na cidade.

Para os testes noturnos a cobertura analógica atingiu 20 km com “Recepção Boa” sobre a R3 (radial nordeste). Nela há um ponto com “Recepção Pobre” em 10 km, o qual está localizado ao lado do pátio de manobras da estação do Metrô Itaquera. A presença das linhas férreas no pátio pode ter contribuído para a má qualidade do áudio analógico. Na R2 (radial sudeste) houve pontos com “Recepção Ruim” em 15 km e 20 km, e a “Recepção Boa” atingiu ponto a 10 km. Os dois pontos em 15 km que apresentam intensidade de campo elétrico similar e classificações diferentes estão em duas radiais distintas, R2 (sudeste) e R3 (nordeste). Dos 8 pontos medidos, obteve-se 63% com “Recepção Boa”, 13% com “Recepção Pobre” e 25% com “Recepção Ruim”. Em relação às intensidades de campo registradas, todos os valores medidos estiveram

acima de 73 dB $\mu$ V/m, embora tenha havido um caso de “Recepção Pobre” a 10 km, distância próxima 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.

Embora as medições de intensidade de campo analógico diurno tenham apresentado comportamento que segue a tendência do modelo de previsão da Anatel, foram observadas variações dos valores medidos em torno do modelo. Estas variações ocorreram em virtude do modelo 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 em grandes áreas 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. Na campanha de medições da Rádio CBN houve uma rota com percurso misto de condutividade do solo, que atingia região com condutividade maior em relação à região do transmissor (valores de condutividade obtidos do atual mapa brasileiro de condutividade). Foi verificado através das medições o aumento na intensidade de campo elétrico na região com maior condutividade do solo. Sobre esta radial foi registrada a maior distância de atendimento do serviço digital testado.

As medições de intensidade de campo elétrico analógico noturno seguem a tendência do modelo de previsão da Anatel, e as diferenças observadas entre valores medidos e teóricos também 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. Outro fator importante a ser destacado, que contribuiu para o aumento do limiar de campo noturno, foi o registro da presença dos sinais de outras estações AM, conforme as medições com analisador de espectro em toda a faixa medida. O sinal interferente adicionou-se aos valores medidos de campo, contribuindo para a diferenciação dos valores previstos pelo modelo. 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. Há ainda o aumento de 2 dB no ruído devido à técnica de *spectral shaping*.

Os limiares de relação sinal ruído noturnos ficaram ligeiramente superiores aos requisitos da UIT. Estes valores contemplaram a interferência de outra estação 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 elétrico e do parâmetro qualidade de áudio (AQ). Os limiares de intensidade de campo elétrico obtidos estiveram na faixa de 57 a 61 dB $\mu$ V/m (Modo 16QAM Diurno), 53 a 65 dB $\mu$ V/m (Modo 64QAM Diurno), 70 a 75 dB $\mu$ V/m (Modo 16QAM Noturno), 65 a 70 dB $\mu$ V/m (Modo 64QAM Noturno). Estes valores caracterizam o ambiente dos locais testados em São Paulo. 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 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 atingiu distância entre 23 e 30 km, com atendimento a 92% dos pontos medidos neste modo. Considerando um raio de 25 km em torno do transmissor, o atendimento foi de 100% em todas as radiais. No entanto na radial R3 (direção nordeste do transmissor) o atendimento atingiu a distância de 44,7 km. No modo 64QAM diurno a cobertura atingiu distância entre 20 e 30 km do transmissor, com atendimento a 94% dos pontos medidos neste modo. Para o raio de 20 km, 100% dos pontos tiveram cobertura digital em 64QAM. Embora o percentual no modo 64QAM (94%) tenha sido superior ao obtido no modo 16QAM (92%), deve-se considerar que o total de pontos medidos nas duas modulações é diferente. Numericamente houve mais pontos atendidos com 16QAM (34) do que no modo 64QAM (31). Em resumo, o ponto de medição mais distante (44,7 km) teve qualidade de recepção boa nas duas transmissões. Esta situação ocorreu provavelmente devido ao aumento de campo relacionado ao aumento da condutividade do solo sobre a radial R3. Foi observado que a cobertura digital diurna testada ocorre com recepção boa até as distâncias apresentadas, havendo poucos pontos com recepção ruim. Para o caso noturno, a cobertura digital ocorreu entre 15 e 20 km no modo 16QAM, com atendimento a 88% 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 ocorreu entre 15 e 20 km, com atendimento de 77,8% dos pontos medidos até esta distância. Dentro do raio de 15 km houve 1 ponto não atendido.

Foram verificados os locais nos quais ocorreu recepção digital degradada nas medições de 16QAM e 64QAM. A degradação na recepção do sinal digital deveu-se provavelmente ao tráfego de veículos, à proximidade de linhas de transmissão, em locais próximos a regiões com vegetação densa e houve um caso de medição próxima ao pátio de manobras do metrô, na estação Itaquera.

Na comparação pontual das coberturas analógica e digital diurna obteve-se para o modo 16QAM diurno o valor de 92% de pontos atendidos pela cobertura digital, enquanto que a analógica atendeu 69%. No modo 64QAM diurno foram atendidos pela cobertura digital 94% dos pontos, e a cobertura analógica atendeu 72% dos pontos medidos. Embora o percentual no modo 64QAM (94%) tenha sido superior ao obtido no modo 16QAM (92%), deve-se considerar que o total de pontos medidos nas duas modulações foi diferente.

Na comparação pontual das coberturas analógica e digital noturna obteve-se para o modo 16QAM o valor de 88% de pontos atendidos pela cobertura digital, enquanto que a analógica

atendeu 63%. No modo 64QAM foram atendidos pela cobertura digital 75% dos pontos, e a cobertura analógica atendeu 63% dos pontos medidos.

No período diurno e noturno verificou-se maior robustez na transmissão 16QAM, conforme esperado.

Foram realizadas medições em mobilidade no período diurno e noturno, nas duas modulações. As medições diurnas em mobilidade no modo 16QAM foram realizadas em 35 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 20 trechos. As medições em 64QAM foram realizadas em 27 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 13 trechos. Nas rotas circulares, localizadas próximas do transmissor, o valor de AQ esteve acima de 98% em 15 dentre 17 trechos de rotas. Nos dois trechos com AQ abaixo de 98% o menor valor obtido foi AQ=94,5%.

As medições noturnas em mobilidade no modo 16QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 2 trechos. As medições em 64QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 1 trecho.

As análises em cada trecho de rota mostraram que a recepção do sinal digital é afetada pela presença de linhas férreas, linhas de alta tensão e ocupação do terreno. A rota R3 apresentou recepção boa em vários de seus trechos em função da topologia do terreno e também pelo fato do percurso da rota ter atingido região com condutividade do solo maior do que o valor da região do local de transmissão, o que produziu aumento na intensidade de campo elétrico nos trechos finais da rota R3. 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 acomodar o sinal dentro da máscara do sinal 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 sinal analógico, foi verificado que a presença do sinal DRM30 não causou impacto significativo no sinal AM hospedeiro da Rádio CBN.

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

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 Excelsior Ltda, denominada Rádio CBN 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 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. Essa qualidade é avaliada subjetivamente por testes informais baseados nos critérios estabelecidos na Recomendação ITU-R BS.1284.

A fidelidade com que o áudio transmitido é reproduzido pelo receptor 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.

## 2.2. Teste de compatibilidade com sinal analógico

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 a qualidade do áudio nas situações em que o sinal DRM30 não está sendo transmitido (DRM30 desligado), havendo somente o sinal analógico, e quando está sendo transmitido em situação *simulcast* (DRM30 ligado).

### 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 na estação de ondas médias da Radio Excelsior Ltda (denominada Rádio CBN AM) em São Paulo, SP. Os dados da estação e do excitador DRM30 que foi instalado na estação da Rádio CBN para geração do sinal híbrido são apresentados na Tabela 1. A Figura 1 até Figura 4 apresentam detalhes da estação de transmissão.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS OPERACIONAIS
<b>FREQUENCIA</b> : 780 kHz <b>CLASSE</b> : B <b>CAMPO CARACTERÍSTICO</b> : E = 321 mV/m <b>POTÊNCIA DIURNA</b> : 50 kW / <b>POTÊNCIA NOTURNA</b> : 10 kW
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA
<b>ENDEREÇO</b> : Rua Hiléia Amazônica, 13, Jardim Panorama, São Paulo, SP <b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b> : 23°36'20.85"S / 46°32'20.20"W <b>DATUM</b> : WGS 84
TRANSMISSOR
<b>FABRICANTE</b> : Harris Corporation <b>MODELO</b> : 3DX-50, tipo DX Destiny <b>POTÊNCIA NOMINAL</b> : 10 a 55 kW <b>POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES (diurna / noturna)</b> : 43/10 kW
EXCITADOR DRM30
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>SERVIDOR DE CONTEÚDO</b>: <b>FABRICANTE</b>: DRM Thomson</li><li>• <b>MODULADOR</b>: <b>FABRICANTE</b>: Digidia / <b>MODELO</b>: Soprano DRM</li></ul>
PROCESSADOR DE ÁUDIO ANALÓGICO
<b>FABRICANTE</b> : ORBAN / <b>MODELO</b> : 9200
SISTEMA RADIANTE
<b>DIAGRAMA DE RADIAÇÃO</b> : Omnidirecional. <b>TIPO</b> : Antena monopolo vertical <b>ALTURA</b> : 122 metros
LINHA DE TRANSMISSÃO
<b>FABRICANTE</b> : Andrew <b>MODELO</b> : HJ11-50 <b>DIÂMETRO</b> : 4" <b>COMPRIMENTO</b> : 130 m <b>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA</b> : 50 Ohm <b>ATENUAÇÃO</b> : 0,03 dB/100 m
SINAL DIGITAL DRM30
<b>FREQUENCIA</b> : 790kHz <b>RELAÇÃO DE POTÊNCIA AM/DRM30</b> : 12 dB Uso de técnica "Spectral Shaping" <b>BIT-RATE</b> : entre 14.5 kbps e 25.6 kbps, dependendo do modo DRM30

Tabela 1 – Características técnicas da estação transmissora da Rádio CBN AM



Figura 1 – Estação transmissora da Rádio CBN AM



Figura 2 – Transmissor e processador áudio analógico Orban



Figura 3 – Transmissor Harris



Figura 4 – Torre da Rádio CBN

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 5.

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 6. 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 àquele 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 deverá ser tratado com maior cuidado, de maneira a evitar interferência inaceitável na recepção do sinal analógico AM de uma emissora que utiliza o segundo canal adjacente àquele da emissora que está transmitindo o sinal DRM30.

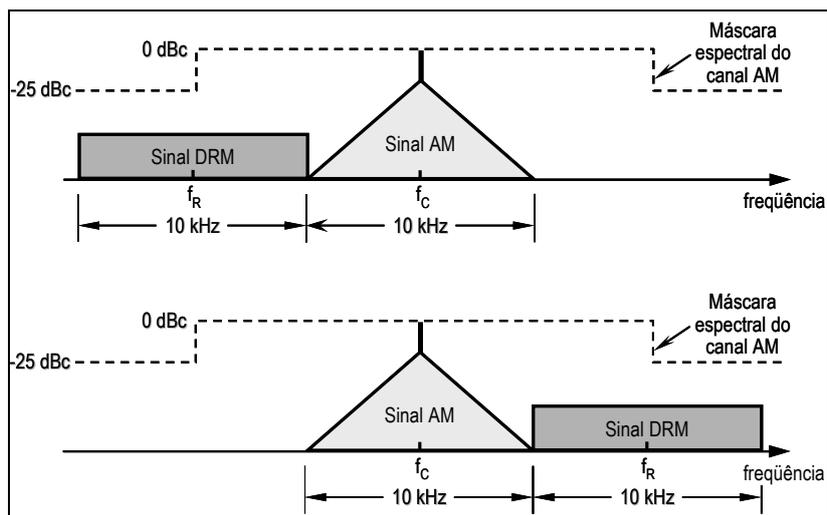


Figura 5- Possibilidades de configuração *simulcast* para testes, sem shaping

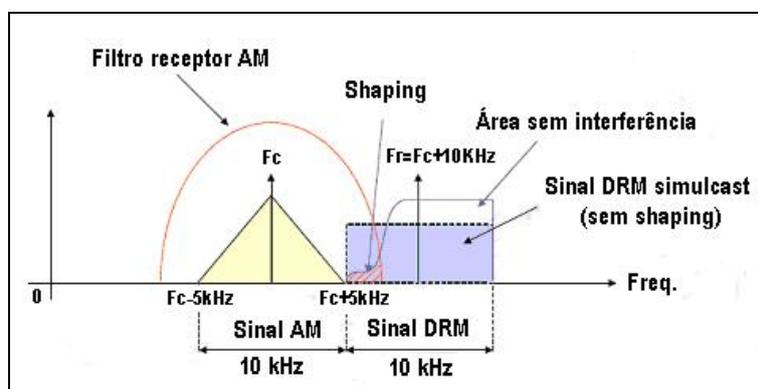


Figura 6 – Configuração *simulcast* utilizada nos testes, com shaping

Utilizando configuração como apresentada na Figura 5 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 6, 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 [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].

A Figura 7 apresenta o espectro medido em ponto (C5P4) próximo da estação da Rádio CBN AM. A diferença entre a portadora e as subbandas AM é cerca de 35 dB, o que indica a submodulação deste sinal analógico. O nível do sinal DRM30 está acima destas subbandas, porém ainda dentro da máscara espectral do canal AM.

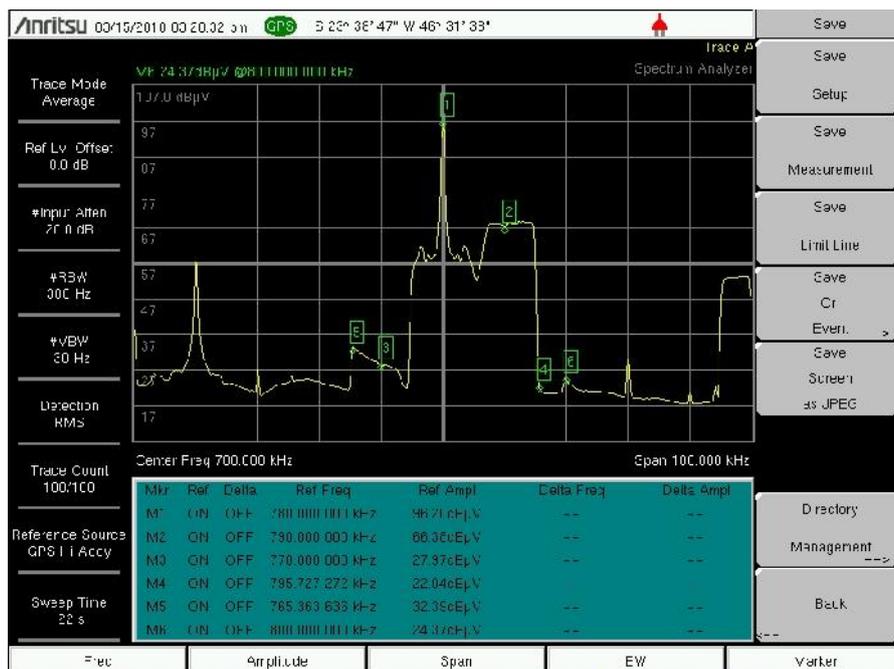


Figura 7- Espectro do sinal híbrido da Rádio CBN AM

A Figura 8 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 sinal DRM30 é gerado por um servidor de conteúdo DRM30 e modulador DRM30. O modulador é conectado ao 3DX-50. 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.

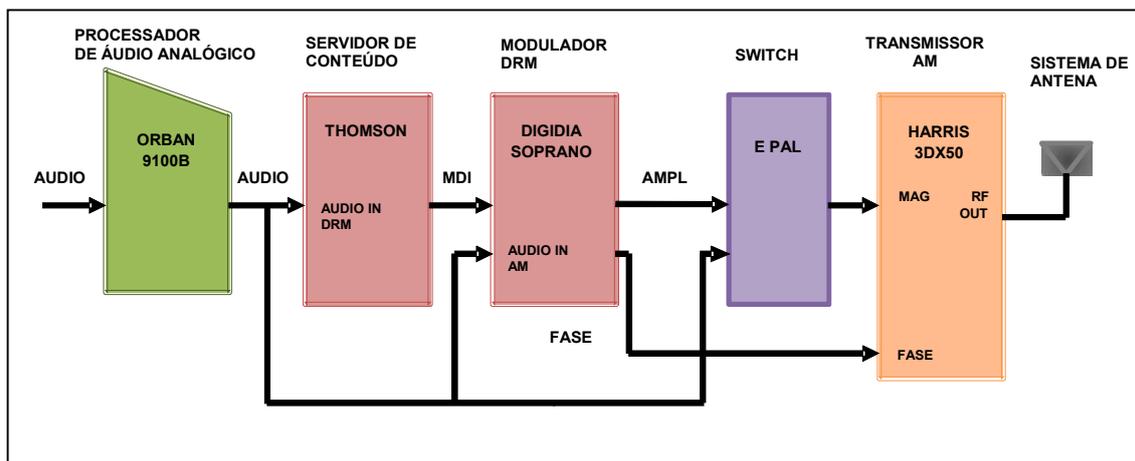


Figura 8 - Configuração da estação após a instalação do excitador DRM30

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 CBN 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, 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, 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 9. 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, item I.3.



Figura 9 – 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 10 apresenta o diagrama esquemático da recepção.

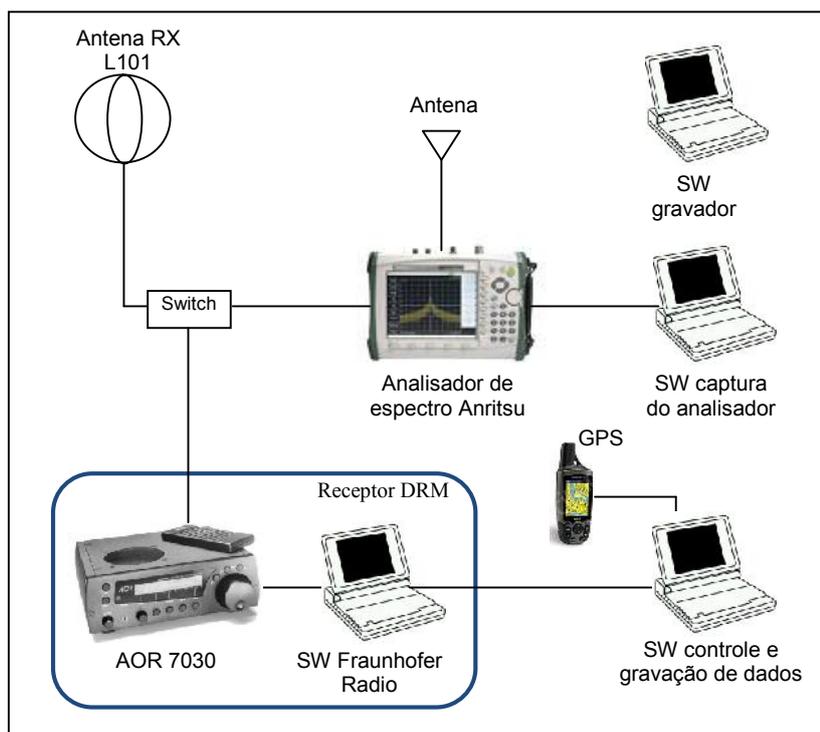


Figura 10 - Diagrama esquemático do setup de recepção

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 10 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 DRM 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 11 (sem escala de tamanho).



Figura 11 - 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 elétrico, 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 elétrico 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 elétrico	RF e canal propag.	Receptor DRM30	400 ms
SNR (MER)	RF e canal propag		400 ms
Quadros de áudio 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 áudio AM	Banda básica	Receptores AM	Medições estáticas
Registro de áudio 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 CBN 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 e *simulcast*
- 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 DRM30 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 elétrico da portadora da Radio CBN AM, na situação em que o sinal digital está desligado. As medições analógicas foram realizadas nas rotas noturnas (R2, R3 e R7), 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 CBN 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 780 kHz, potência diurna de 50 kW, noturna de 10kW e sistema irradiante omnidirecional.

A Figura 12 mostra um mapa com a localização da estação transmissora. A Figura 13 apresenta o contorno protegido diurno (2 mV/m, localizado entre 45 e 62 km da estação transmissora), segundo o modelo de predição Anatel [5], com as rotas radiais escolhidas para teste.



Figura 12 - Localização da torre da antena transmissora da Rádio CBN 780 AM de São Paulo

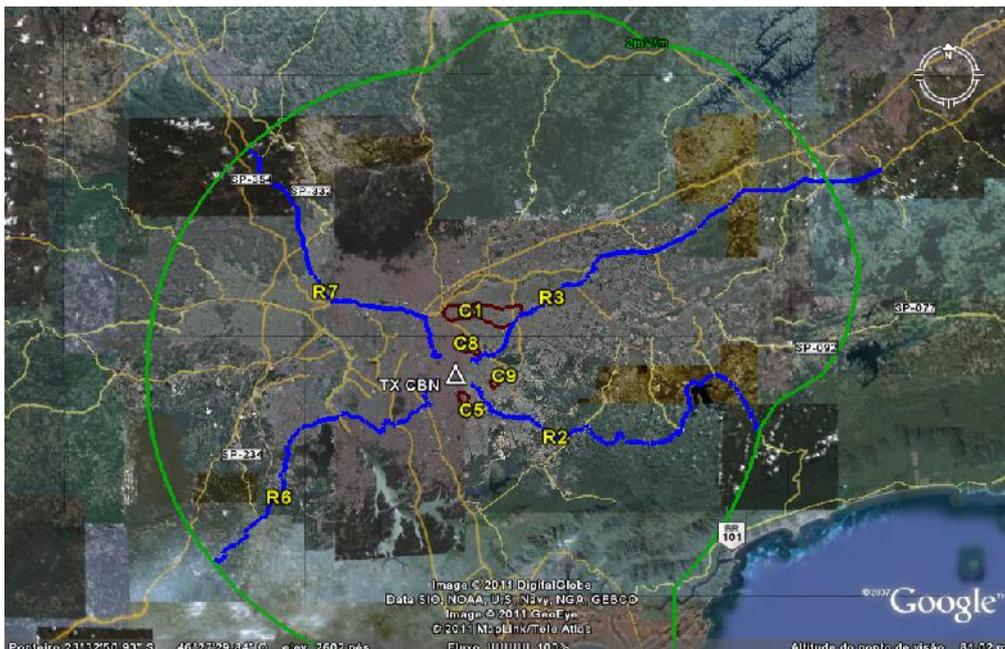


Figura 13 – Rotas escolhidas para medição e contorno protegido diurno de 2 mV/m

## 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 CBN são apresentadas na Tabela 6. A Figura 14 e Figura 15 ilustram 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 III. Nos pontos fixos foram realizadas as medições com a unidade móvel parada, registrando os mesmos parâmetros da medição em mobilidade.

RÁDIO CBN AM		
Tipo de rota	Rota	Descrição
Radial	R2	Radial Sudeste – Mogi das Cruzes
	R3	Radial Nordeste – Taubaté
	R6	Radial Sudoeste – Rodovia Regis Bittencourt
	R7	Radial Noroeste - Limeira
Circular	C1	Residencial
	C5	Urbana
	C8	Urbana
	C9	Urbana Densa

Tabela 6 – Descrição das rotas de teste

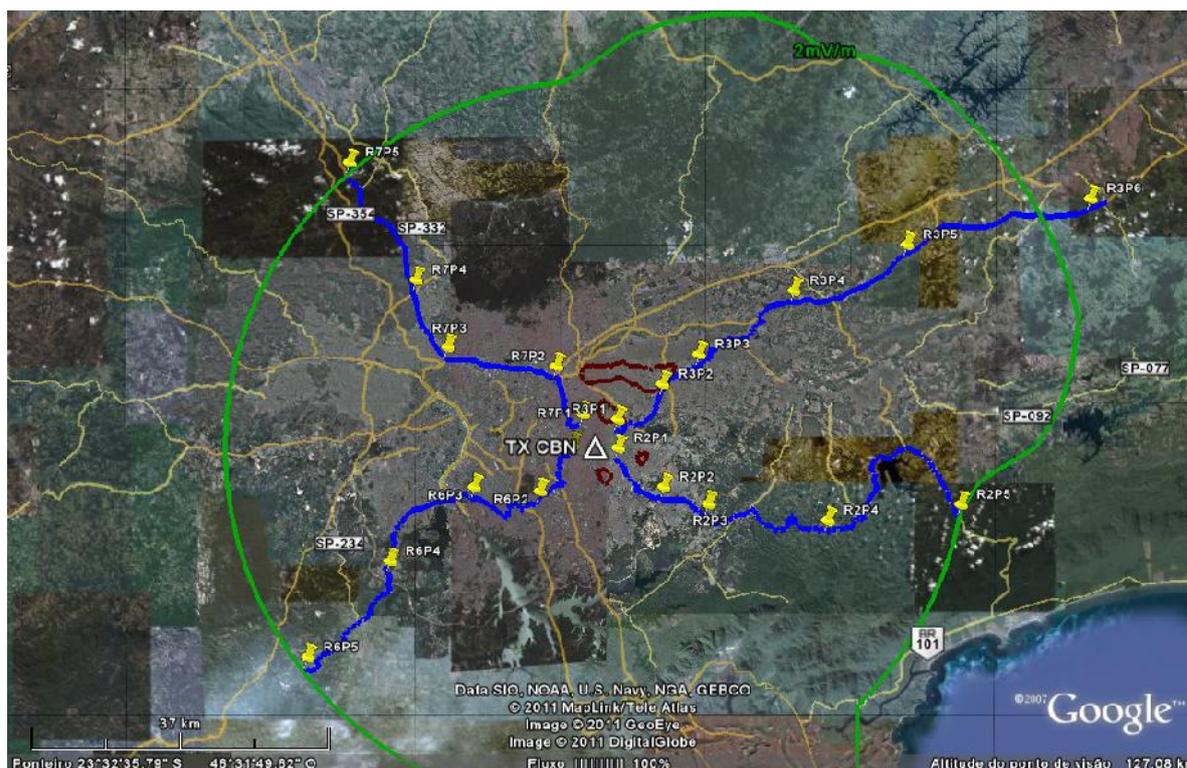


Figura 14 – Rotas de medição, pontos fixos e contorno protegido diurno

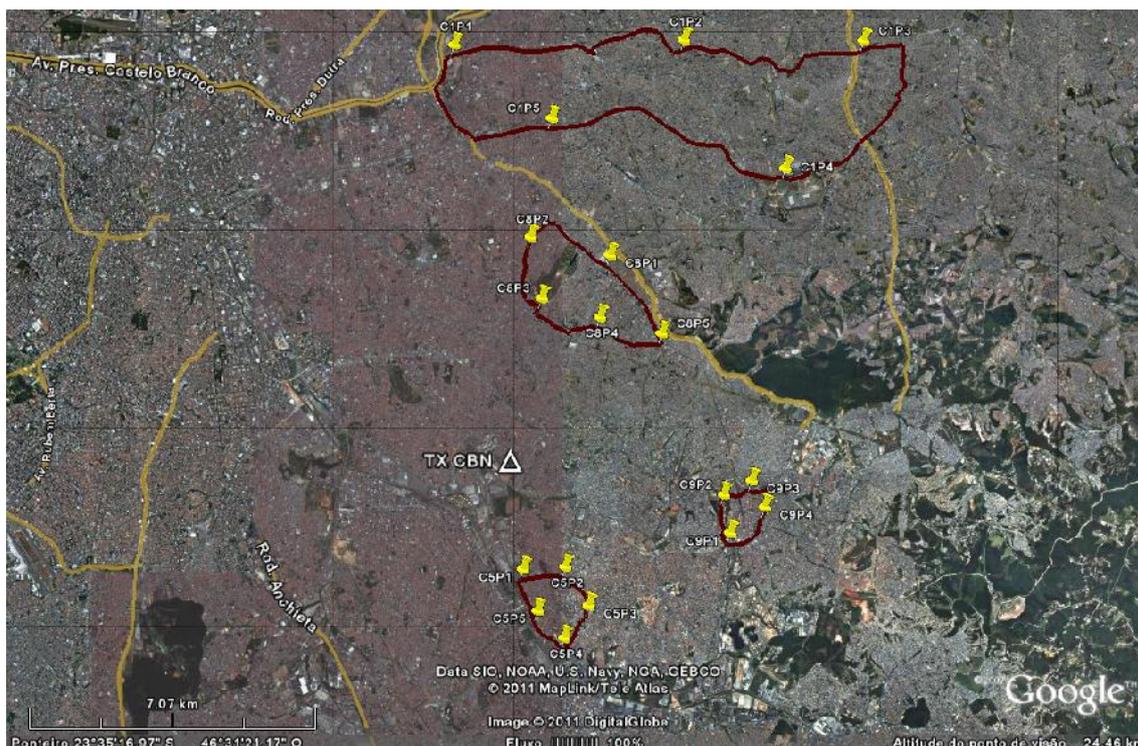


Figura 15 – Pontos de medição das rotas circulares

O período de medições foi iniciado em 15 de março de 2010 e terminou em 29 de março de 2010. A Tabela 7 apresenta o total das rotas e os tipos de medições realizadas durante os testes diurnos e noturnos.

Rota	Datas	Tipo	Medição	Período	Sistema	Modulação
Rota Radial 2	19 e 23/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
	19 e 23/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	19/3/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	---
Rota Radial 3	20 e 22/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
	20 e 22/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	20 e 22/03/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	---
Rota Radial 6	17 e 24/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Radial 7	21/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	21 e 24/03/2010	Radial	Móvel/Estática	Noturno	Digital	16QAM / 64QAM
	21/03/2010	Radial	Estática	Noturno	Analógico	---
Rota Circular 1	26 e 29/03/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 5	15 e 16/03/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 8	28/03/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM
Rota Circular 9	27/03/2010	Circular	Móvel/Estática	Diurno	Digital	16QAM / 64QAM

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

### 4.3. Resultados das medições diurnas

Nesta Seção são apresentados os resultados das análises das medições diurnas em pontos fixos. Os pontos de medições localizam-se ao longo das rotas de medição apresentadas na Tabela 6 e descritas no anexo. A Figura 16 a seguir ilustra a posição dos pontos em relação aos contornos protegido diurno (2 mV/m), segundo o modelo de previsão Anatel [5].

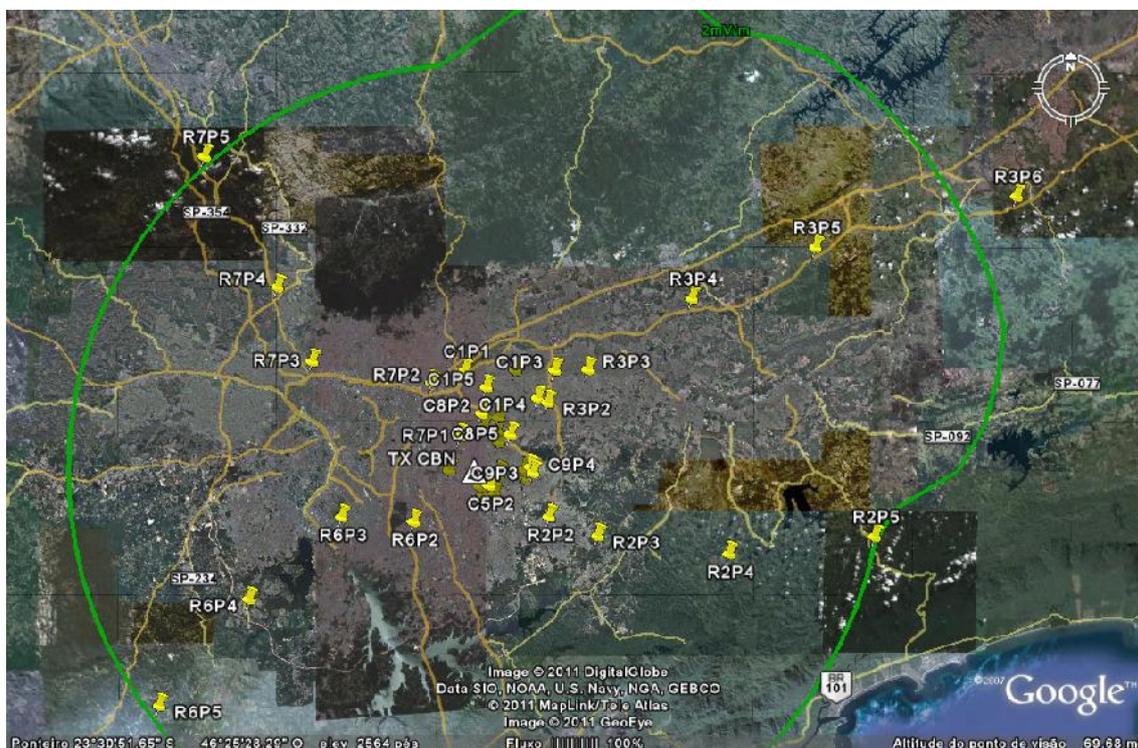


Figura 16 – Pontos para medições estáticas diurnas da Rádio CBN AM

Os resultados compreendem as seguintes análises, que são discutidas nas Seções seguintes:

- i. Verificação da consistência dos dados
- ii. Comparação entre área de cobertura do sinal analógico medido e a área de cobertura do sinal analógico predito
- iii. Avaliação da relação sinal-ruído para recepção do sinal digital de boa qualidade
- iv. Área de cobertura do sinal digital medido
- v. Comparação entre a área de cobertura do sistema digital e a área de cobertura do sistema analógico

#### 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:

- Variabilidade da intensidade de campo elétrico 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 elétrico 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 grande variabilidade nestes valores pode sugerir a ocorrência de alguma falha na medição. Nos testes o valor verificado e adotado como limite foi de 8 dB.
- 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.

Na oscilação do campo está embutida a variabilidade temporal das ondas de superfície em meio urbano, a qual deve-se principalmente ao desvanecimento causado pelo movimento de carros e ônibus nas regiões próximas a rodovias [21].

Em algumas medições foram observados picos e variações decorrentes de problema de conexão na antena. A verificação de consistência resultou no descarte destas medições, que são apresentadas na Tabela 8.

Nome da rota e data de medição
R7 64QAM – 21/03/2010 Dia
Trecho R3P1aR3P2 64QAM – 22/03/2010 Dia
Ponto C1P4 16QAM e trechos C1P4aC1P5 e C1P5aC1P1 – 26/03/2010 Dia
Ponto C9P1 64QAM – 27/03/2010 Dia
R7 16QAM – 21/03/2010 Noite
R7 64QAM – 24/03/2010 Noite

Tabela 8 – Medições descartadas

#### 4.3.2. Predição teórica de intensidade de campo elétrico analógico

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 elétrico 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 45 km da estação transmissora na região com condutividade do solo de 1 mS/m e 62 km na região com condutividade do solo de 3 mS/m.

O parâmetro “campo característico” refere-se ao valor de campo na distância de 1 km da estação transmissora, correspondendo ao valor de 321 mV/m (110.1 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 os valores de condutividade nas regiões de teste são 1 mS/m e 3 mS/m, conforme Figura 17.



Figura 17 – Mapa de condutividade elétrica do solo para a região de São Paulo

Os parâmetros de entrada dos modelos são apresentados na Tabela 9 abaixo.

Parâmetro de entrada	Valores para Rádio CBN AM
Permissividade Relativa do solo	15
Condutividade do solo	1 mS/m e 3 mS/m conforme a local de medição
Potência Transmitida	Analogico Diurno 43kW Analogico Noturno 10kW
Campo Característico	321 mV/m

Tabela 9 – Parâmetro de entrada do modelo de previsão de intensidade de campo elétrico

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.

#### 4.3.3. Dados de medições diurnas

Após as etapas de verificação da consistência dos dados 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

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analógico analisador de espectro (dBµV/m)	E digital analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1	16 QAM	Fixo	100	93.49	77.75	27.90	2.78
2	R2P2	16 QAM	Fixo	100	104.92	90.58	29.01	10.53
3	R2P3	16 QAM	Fixo	100	92.43	78.01	27.85	15.94
4	R2P4	16 QAM	Fixo	99.95	79.55	67.15	17.78	32.28
5	R3P1	16 QAM	Fixo	100	95.52	83.74	29.33	3.02
6	R3P2	16 QAM	Fixo	100	83.75	79.66	21.27	10.26
7	R3P3	16 QAM	Fixo	100	82.42	66.71	18.69	15.85
8	R3P4	16 QAM	Fixo	100	86.18	73.03	24.45	30.31
9	R3P5	16 QAM	Fixo	99.90	74.06	68.57	15.09	44.73
10	R6P1	16 QAM	Fixo	100	112.00	95.94	29.14	4.14
11	R6P2	16 QAM	Fixo	100	93.50	80.18	27.47	10.16
12	R6P3	16 QAM	Fixo	100	85.15	70.78	22.42	16.66
13	R6P4	16 QAM	Fixo	85.11	73.23	57.71	12.71	30.18
14	R7P1	16 QAM	Fixo	100	108.89	93.96	28.94	3.32
15	R7P2	16 QAM	Fixo	100	101.49	88.02	29.14	10.31
16	R7P3	16 QAM	Fixo	99.98	75.89	61.02	18.19	22.28
17	R7P4	16 QAM	Fixo	45.00	65.51	52.36	11.73	29.60
18	R7P5	16 QAM	Fixo	0	60.49	47.87	8.86	45.93
19	C1P1	16 QAM	Fixo	100	104.39	90.59	31.77	8.19
20	C1P2	16 QAM	Fixo	100	101.78	86.05	32.01	10.09
21	C1P3	16 QAM	Fixo	100	97.25	81.53	29.57	10.88
22	C1P5	16 QAM	Fixo	100	103.28	89.87	31.95	9.95
23	C5P1	16 QAM	Fixo	99.98	107.60	91.99	28.53	2.94
24	C5P2	16 QAM	Fixo	100	101.45	86.57	29.13	3.17
25	C5P3	16 QAM	Fixo	100	112.84	96.86	29.00	4.25
26	C5P4	16 QAM	Fixo	100	113.70	99.11	29.62	4.64
27	C5P5	16 QAM	Fixo	100	101.46	88.64	28.81	3.79
28	C5REF	16 QAM	Fixo	100	113.13	98.48	29.24	4.58
29	C8P1	16 QAM	Fixo	100	107.21	95.35	29.41	4.63
30	C8P2	16 QAM	Fixo	100	108.67	95.23	28.97	3.88
31	C8P3	16 QAM	Fixo	100	106.76	93.53	28.86	3.84
32	C8P4	16 QAM	Fixo	100	105.18	90.99	29.08	5.30
33	C8P5	16 QAM	Fixo	100	110.85	97.6	29.08	5.30
34	C9P1	16 QAM	Fixo	100	95.00	78.88	21.21	5.73
35	C9P2	16 QAM	Fixo	100	107.73	95.79	29.34	5.31
36	C9P3	16 QAM	Fixo	100	108.17	94.06	29.03	5.98
37	C9P4	16 QAM	Fixo	100	108.91	95.45	27.99	6.35

Tabela 10 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analógico analisador de espectro (dBµV/m)	E digital analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1	64 QAM	Fixo	99.98	94.35	65.71	22.48	2.78
2	R2P2	64 QAM	Fixo	100	105.75	91.2	31.92	10.52
3	R2P3	64 QAM	Fixo	100	82.28	66.71	22.55	15.94
4	R2P4	64 QAM	Fixo	98.00	79.69	67.30	22.80	32.28
5	R2P5	64 QAM	Fixo	0	63.02	53.63	10.90	42.61
6	R2REF	64 QAM	Fixo	100	113.06	98.49	29.85	4.58
7	R3P1	64 QAM	Fixo	98.00	102.64	90.93	30.57	3.03
8	R3P2	64 QAM	Fixo	100	84.06	79.27	22.77	10.26
9	R3P3	64 QAM	Fixo	99.98	82.01	66.17	19.83	15.85
10	R3P4	64 QAM	Fixo	100	86.59	73.76	26.28	30.30
11	R3P5	64 QAM	Fixo	99.87	77.69	70.39	19.30	44.65

12	R6P1	64 QAM	Fixo	100	110.62	95.61	30.85	4.19
13	R6P2	64 QAM	Fixo	100	94.23	80.43	29.62	10.16
14	R6P3	64 QAM	Fixo	100	84.96	71.72	25.97	16.66
15	R6P4	64 QAM	Fixo	0	65.90	49.99	14.41	30.18
16	C1P1	64 QAM	Fixo	100	104.48	90.57	29.13	8.19
17	C1P2	64 QAM	Fixo	100	102.22	86.59	28.88	10.09
18	C1P3	64 QAM	Fixo	100	98.00	82.71	28.95	10.88
19	C1P4	64 QAM	Fixo	100	94.70	80.01	27.46	13.21
20	C1P5	64 QAM	Fixo	99.98	96.52	82.12	29.45	9.95
21	C5P1	64 QAM	Fixo	100	109.25	93.42	28.69	2.94
22	C5P2	64 QAM	Fixo	100	102.57	87.51	28.44	3.16
23	C5P3	64 QAM	Fixo	100	112.86	96.96	28.98	4.25
24	C5P4	64 QAM	Fixo	100	113.73	99.05	29.44	4.64
25	C5P5	64 QAM	Fixo	100	102.17	89.14	28.37	3.79
26	C8P1	64 QAM	Fixo	100	107.44	95.62	29.37	4.63
27	C8P2	64 QAM	Fixo	100	106.30	93.12	28.95	3.88
28	C8P3	64 QAM	Fixo	100	106.54	92.92	27.91	3.84
29	C8P4	64 QAM	Fixo	100	105.93	91.68	29.06	5.30
30	C8P5	64 QAM	Fixo	100	110.41	97.36	29.26	5.30
31	C9P2	64 QAM	Fixo	99.98	107.45	95.27	29.12	5.31
32	C9P3	64 QAM	Fixo	100	108.00	93.97	28.97	5.98
33	C9P4	64 QAM	Fixo	100	108.50	96.73	28.13	6.36

e Tabela 11. Para cada ponto fixo foi obtida a intensidade de campo elétrico digital, 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.

Na análise desta campanha de medições os valores de intensidade de campo elétrico digital e analógica foram obtidos da leitura do analisador de espectro. Nos testes com transmissão 16QAM foram obtidas 37 medições válidas para as análises e no caso de 64QAM foram obtidas 33 medições válidas para as análises.

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analógico analisador de espectro (dB $\mu$ V/m)	E digital analisador de espectro (dB $\mu$ V/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1	16 QAM	Fixo	100	93.49	77.75	27.90	2.78
2	R2P2	16 QAM	Fixo	100	104.92	90.58	29.01	10.53
3	R2P3	16 QAM	Fixo	100	92.43	78.01	27.85	15.94
4	R2P4	16 QAM	Fixo	99.95	79.55	67.15	17.78	32.28
5	R3P1	16 QAM	Fixo	100	95.52	83.74	29.33	3.02
6	R3P2	16 QAM	Fixo	100	83.75	79.66	21.27	10.26
7	R3P3	16 QAM	Fixo	100	82.42	66.71	18.69	15.85
8	R3P4	16 QAM	Fixo	100	86.18	73.03	24.45	30.31
9	R3P5	16 QAM	Fixo	99.90	74.06	68.57	15.09	44.73
10	R6P1	16 QAM	Fixo	100	112.00	95.94	29.14	4.14
11	R6P2	16 QAM	Fixo	100	93.50	80.18	27.47	10.16
12	R6P3	16 QAM	Fixo	100	85.15	70.78	22.42	16.66
13	R6P4	16 QAM	Fixo	85.11	73.23	57.71	12.71	30.18
14	R7P1	16 QAM	Fixo	100	108.89	93.96	28.94	3.32
15	R7P2	16 QAM	Fixo	100	101.49	88.02	29.14	10.31
16	R7P3	16 QAM	Fixo	99.98	75.89	61.02	18.19	22.28
17	R7P4	16 QAM	Fixo	45.00	65.51	52.36	11.73	29.60
18	R7P5	16 QAM	Fixo	0	60.49	47.87	8.86	45.93
19	C1P1	16 QAM	Fixo	100	104.39	90.59	31.77	8.19
20	C1P2	16 QAM	Fixo	100	101.78	86.05	32.01	10.09
21	C1P3	16 QAM	Fixo	100	97.25	81.53	29.57	10.88

22	C1P5	16 QAM	Fixo	100	103.28	89.87	31.95	9.95
23	C5P1	16 QAM	Fixo	99.98	107.60	91.99	28.53	2.94
24	C5P2	16 QAM	Fixo	100	101.45	86.57	29.13	3.17
25	C5P3	16 QAM	Fixo	100	112.84	96.86	29.00	4.25
26	C5P4	16 QAM	Fixo	100	113.70	99.11	29.62	4.64
27	C5P5	16 QAM	Fixo	100	101.46	88.64	28.81	3.79
28	C5REF	16 QAM	Fixo	100	113.13	98.48	29.24	4.58
29	C8P1	16 QAM	Fixo	100	107.21	95.35	29.41	4.63
30	C8P2	16 QAM	Fixo	100	108.67	95.23	28.97	3.88
31	C8P3	16 QAM	Fixo	100	106.76	93.53	28.86	3.84
32	C8P4	16 QAM	Fixo	100	105.18	90.99	29.08	5.30
33	C8P5	16 QAM	Fixo	100	110.85	97.6	29.08	5.30
34	C9P1	16 QAM	Fixo	100	95.00	78.88	21.21	5.73
35	C9P2	16 QAM	Fixo	100	107.73	95.79	29.34	5.31
36	C9P3	16 QAM	Fixo	100	108.17	94.06	29.03	5.98
37	C9P4	16 QAM	Fixo	100	108.91	95.45	27.99	6.35

Tabela 10 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analógico analisador de espectro (dBµV/m)	E digital analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1	64 QAM	Fixo	99.98	94.35	65.71	22.48	2.78
2	R2P2	64 QAM	Fixo	100	105.75	91.2	31.92	10.52
3	R2P3	64 QAM	Fixo	100	82.28	66.71	22.55	15.94
4	R2P4	64 QAM	Fixo	98.00	79.69	67.30	22.80	32.28
5	R2P5	64 QAM	Fixo	0	63.02	53.63	10.90	42.61
6	R2REF	64 QAM	Fixo	100	113.06	98.49	29.85	4.58
7	R3P1	64 QAM	Fixo	98.00	102.64	90.93	30.57	3.03
8	R3P2	64 QAM	Fixo	100	84.06	79.27	22.77	10.26
9	R3P3	64 QAM	Fixo	99.98	82.01	66.17	19.83	15.85
10	R3P4	64 QAM	Fixo	100	86.59	73.76	26.28	30.30
11	R3P5	64 QAM	Fixo	99.87	77.69	70.39	19.30	44.65
12	R6P1	64 QAM	Fixo	100	110.62	95.61	30.85	4.19
13	R6P2	64 QAM	Fixo	100	94.23	80.43	29.62	10.16
14	R6P3	64 QAM	Fixo	100	84.96	71.72	25.97	16.66
15	R6P4	64 QAM	Fixo	0	65.90	49.99	14.41	30.18
16	C1P1	64 QAM	Fixo	100	104.48	90.57	29.13	8.19
17	C1P2	64 QAM	Fixo	100	102.22	86.59	28.88	10.09
18	C1P3	64 QAM	Fixo	100	98.00	82.71	28.95	10.88
19	C1P4	64 QAM	Fixo	100	94.70	80.01	27.46	13.21
20	C1P5	64 QAM	Fixo	99.98	96.52	82.12	29.45	9.95
21	C5P1	64 QAM	Fixo	100	109.25	93.42	28.69	2.94
22	C5P2	64 QAM	Fixo	100	102.57	87.51	28.44	3.16
23	C5P3	64 QAM	Fixo	100	112.86	96.96	28.98	4.25
24	C5P4	64 QAM	Fixo	100	113.73	99.05	29.44	4.64
25	C5P5	64 QAM	Fixo	100	102.17	89.14	28.37	3.79
26	C8P1	64 QAM	Fixo	100	107.44	95.62	29.37	4.63
27	C8P2	64 QAM	Fixo	100	106.30	93.12	28.95	3.88
28	C8P3	64 QAM	Fixo	100	106.54	92.92	27.91	3.84
29	C8P4	64 QAM	Fixo	100	105.93	91.68	29.06	5.30
30	C8P5	64 QAM	Fixo	100	110.41	97.36	29.26	5.30
31	C9P2	64 QAM	Fixo	99.98	107.45	95.27	29.12	5.31
32	C9P3	64 QAM	Fixo	100	108.00	93.97	28.97	5.98
33	C9P4	64 QAM	Fixo	100	108.50	96.73	28.13	6.36

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 previsto

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 CBN apresentados na Tabela 9.

O contorno diurno teórico de 2 mV/m (66 dB $\mu$ V/m) tem a distância variável de 45 a 62 km em relação à estação da Rádio CBN, conforme Figura 16, pois abrange regiões com condutividade do solo de 1 mS/m e 3 mS/m. Os valores medidos estão em conformidade com a curva de predição da Anatel. Esta curva é apresentada nas Figura 18 e Figura 19, onde a linha horizontal tracejada indica o campo de 66 dB $\mu$ V/m. A Figura 18 apresenta a predição para a os pontos de intensidade de campo elétrico analógico obtidos conjuntamente com a medição do sinal DRM30 em 16QAM que estão na região de condutividade do solo de 1 mS/m. A Figura 19 apresenta os pontos da Rota R3, que estão sobre um percurso misto com condutividade 1 mS/m e 3 mS/m. O trecho com condutividade 3 mS/m começa a 19,5 km do transmissor na direção leste. A predição teórica de intensidade de campo elétrico sobre trechos com diferentes valores de condutividade do solo é obtida pelo método das Distâncias Equivalentes para percursos heterogêneos [5], sendo representada pela curva vermelha para o método da Anatel e curva azul para o método da Rec. UIT-R P368 nas Figuras 18 e 19. A Figura 20 e Figura 21 apresentam o mesmo procedimento para os pontos de intensidade de campo elétrico analógico obtidos durante as medições do sinal DRM30 de 64 QAM.

Para esta análise são utilizados os valores de intensidade de campo elétrico analógico medidos em cada ponto fixo das rotas radiais (Rota R2 a Rota R7) e das rotas circulares (C1,C5,C8,C9), para as modulações de 16QAM e 64QAM.

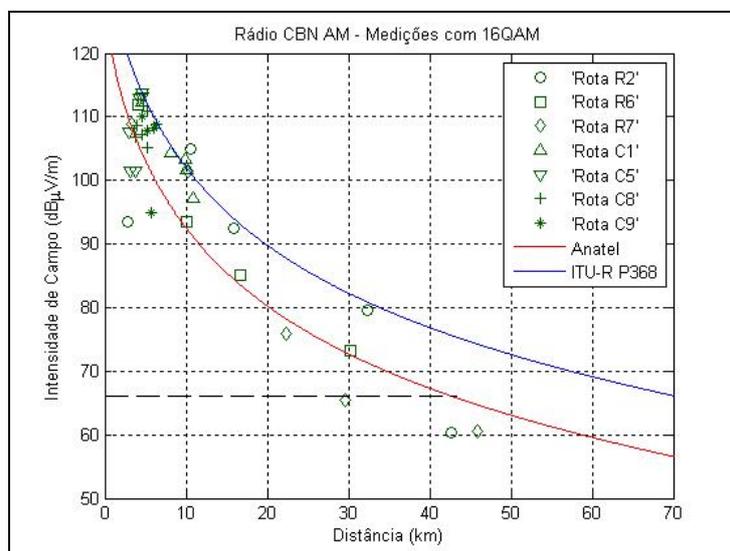


Figura 18 – Medições diurnas em pontos fixos em 16QAM, região de 1 mS/m

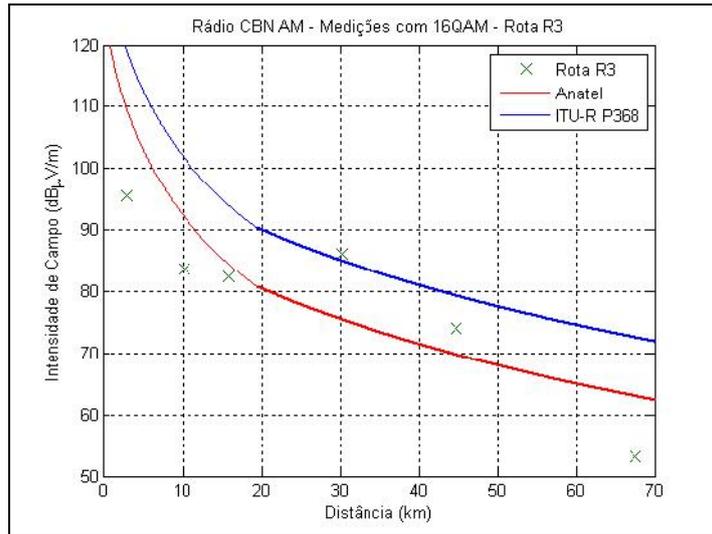


Figura 19 - Medições diurnas com 16QAM em pontos fixos da Rota R3, percurso misto

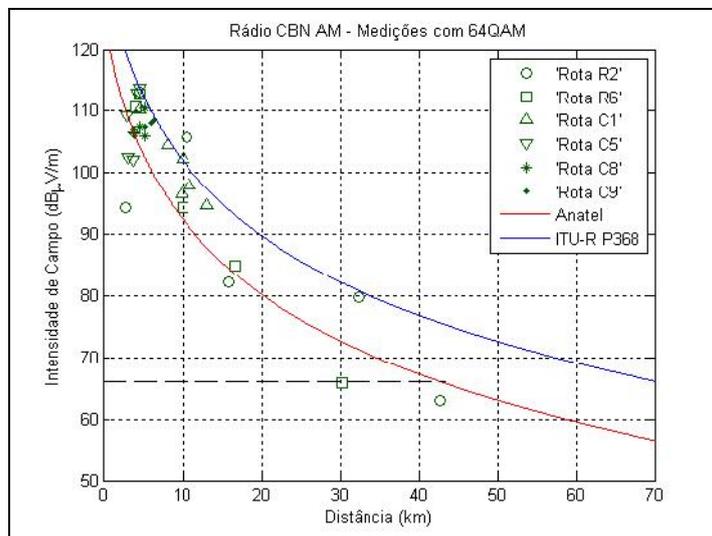


Figura 20 - Medições diurnas em pontos fixos em 64QAM, região de 1 mS/m

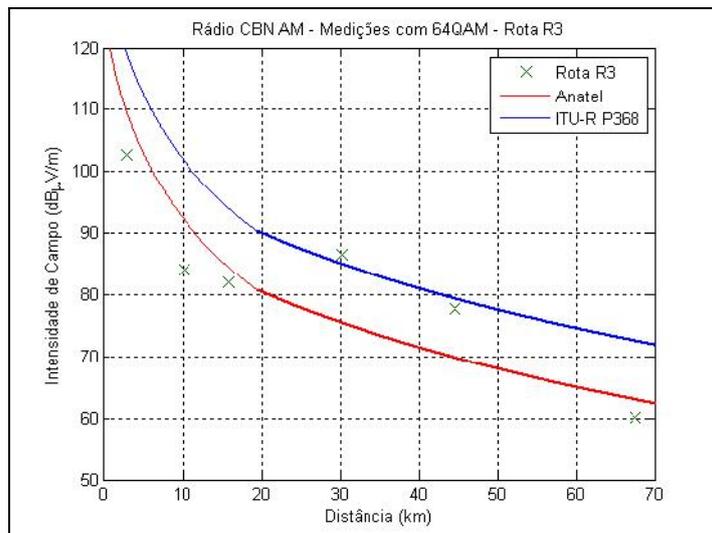


Figura 21 - Medições diurnas com 64QAM em pontos fixos da Rota R3, percurso misto

A comparação dos valores de campo mostra que a predição 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 previsto 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 fixos de condutividade e permissividade do solo, conforme a informação disponível no mapa de condutividade do solo na região de São Paulo. Na prática a condutividade do solo pode ser bastante variável 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. Constatou-se que o modelo da recomendação superestima a maioria dos valores de campo obtidos nestas medições.

#### 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 dois receptores comerciais de AM.

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 empregadas neste trabalho.

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

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 22. O áudio analógico foi registrado em 40 locais e a distribuição das notas está na Tabela 14.

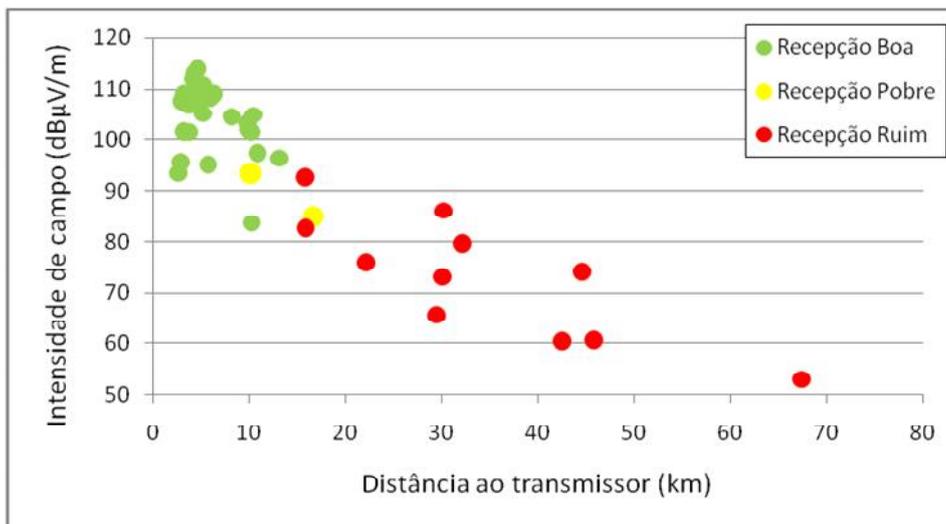


Figura 22 – Avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio CBN

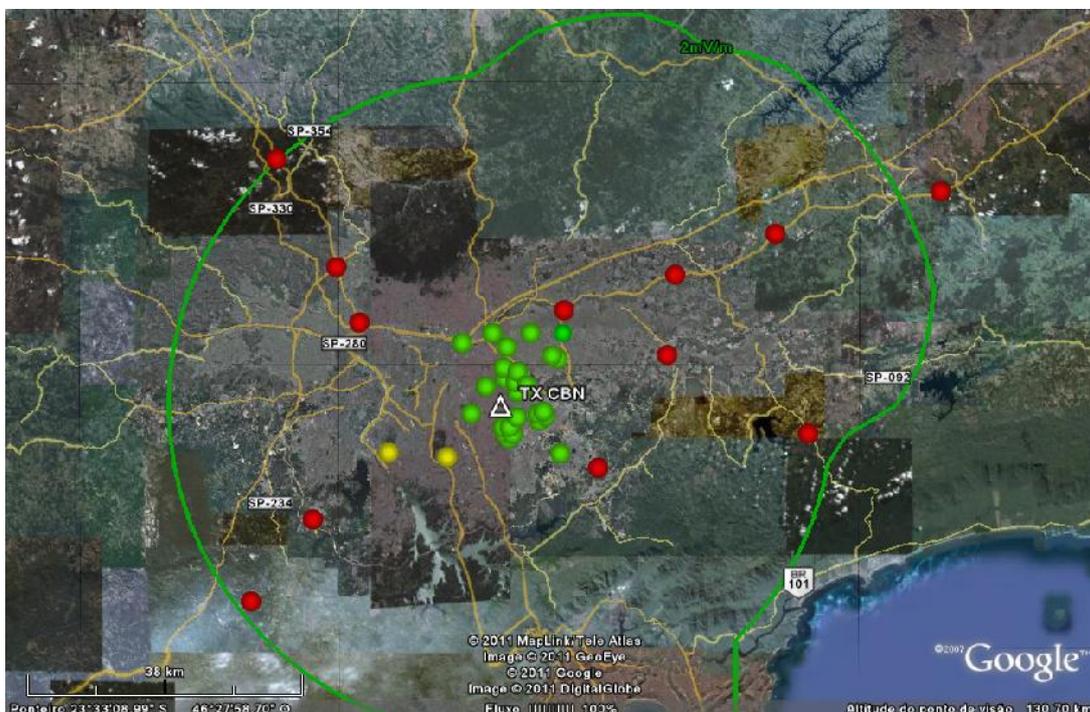


Figura 23 – Mapa com avaliação subjetiva do áudio analógico AM medido da Rádio CBN

Classificação	Quantidade de locais	
Recepção Boa	26	65%
Recepção Pobre	2	5%
Recepção Ruim	12	30%
Total	40	100%

Tabela 14 – Distribuição das notas dadas ao áudio analógico AM diurno medido Rádio CBN

Os resultados mostram que em distâncias relativamente próximas ao transmissor, até cerca de 10 km, a recepção é considerada boa, e desta distância até 16,6 km, se observam 2 pontos com recepção pobre, que por definição ocorrem onde o ruído torna-se incômodo para a audição. De 16 km até cerca de 67,5 km, a recepção é considerada ruim. O limiar para a recepção analógica está na faixa de 70 a 80 dBµV/m, pois o ruído ambiente diurno na cidade é elevado.

A apresentação dos valores da Figura 22 por rotas radiais detalha o comportamento da cobertura AM ao longo das rotas. Os gráficos da Figura 24 apresentam os valores de campo para cada rota.

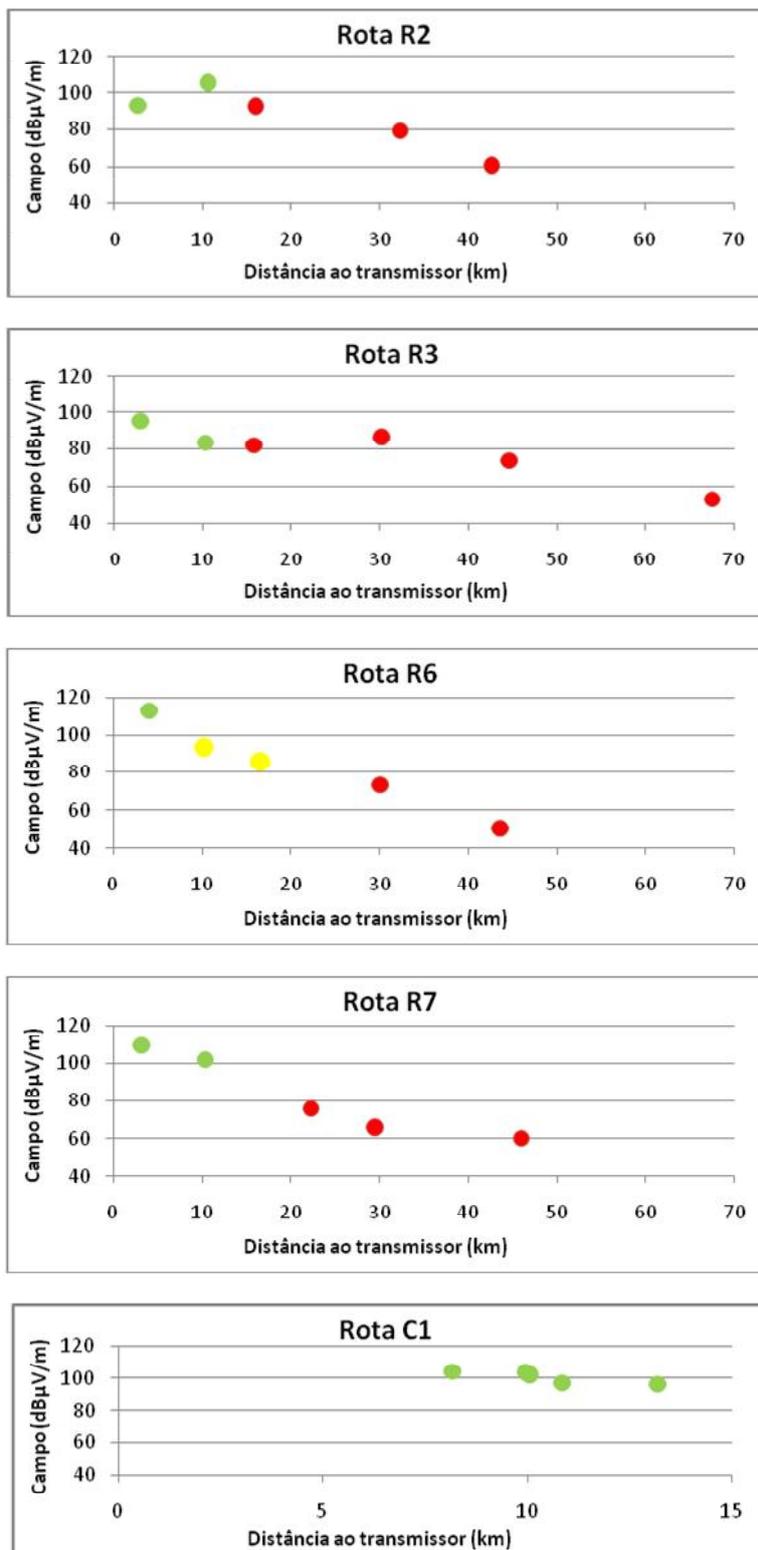


Figura 24 – Registros do áudio analógico AM diurno nas rotas (Rádio CBN)

Rota/Azim (aproximado)	Direção	Distância até o último ponto com Recepção Boa
R2 – 120°	Sudeste	10 km
R3 – 45°	Nordeste	10 km
R6 – 225°	Sudoeste	4 km
R7 – 315°	Noroeste	10 km
C1 – 45°	Nordeste	13,2 km

Tabela 15 – Condição de recepção AM medida sobre as radiais

Conforme apresentado na Figura 24, a distância até o último ponto com “recepção boa” (verde) foi de 4 km na Rota R6 e 10 km nas demais rotas. A rota circular C1 apresentou pontos com “recepção boa” nas distâncias de 10,9 e 13,2 km do transmissor.

Conforme apresentado na Figura 24, a distância na radial R6 até o último ponto com “recepção pobre” (amarelo) é 16,6 km. Ressalta-se que nestes pontos a informação do áudio é percebida, porém este contém 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 CBN 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.

Nas radiais R2 e R3 a partir de 15,9 km todos os locais medidos apresentaram recepção com qualidade ruim.

A situação registrada sugere que há regiões com recepção analógica considerada boa até cerca de 13 km do transmissor. Até cerca de 45 km a recepção é considerada ruim, ainda que as intensidades de campo atendam o valor do contorno diurno teórico de 2mV/m ou 66 dBμV/m, que ocorre de 45 a 62 km conforme modelo da Anatel.

#### 4.3.6. 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 de intensidade de campo elétrico, da relação sinal-ruído (SNR) e da qualidade de áudio (AQ).

Para esta análise são utilizados os valores de intensidade de campo elétrico 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 25 e Figura 26 apresentam de forma gráfica o comportamento dos valores, nas quais se observa claramente a separação dos valores de AQ abaixo e acima de 98%.

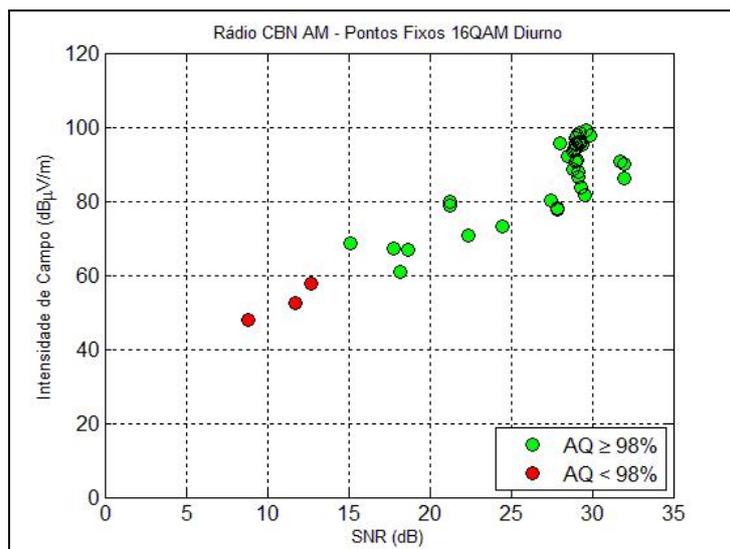


Figura 25 – Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições diurnas

As medições em 16QAM são apresentadas no gráfico da Figura 25, onde se observa uma concentração de valores de SNR acima de 25 dB. Estes pontos de medição ocorreram de 2,7 a 15,9 km do transmissor. No conjunto de  $AQ < 98\%$  houve apenas três valores, sendo  $AQ=85,1\%$ ,  $45\%$  e  $0\%$ . Na transmissão em 16QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar está entre 13,5 e 15,1 dB.

As medições em 64QAM são apresentadas no gráfico da Figura 26, onde também se observa uma concentração de valores de SNR acima de 25 dB. Estes pontos de medição ocorreram de 2,9 a 16,7 km do transmissor, e também houve um ponto a 30,3 km. No conjunto de  $AQ < 98\%$  houve apenas dois valores com  $AQ= 0\%$ . Na transmissão em 64QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar está entre 15 e 19,3 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 até o limiar e transição mais suave do que observado no modo 64QAM.

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 10kHz, 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, etc...), ocorrendo também

interferência de outros sistemas de comunicação, conforme uma ocorrência registrada durante as medições.

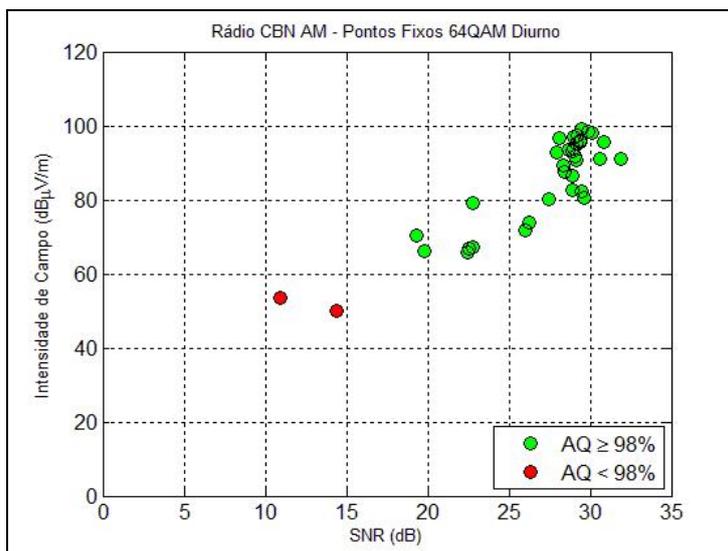


Figura 26 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições diurnas

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 limiar medido (dB)
16QAM/A3/0.62	10,9	Entre 13,5 e 15,1
64QAM/A3/0.6	15,8	Entre 15 e 19,3

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

### 4.3.7. 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 estimação 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 elétrico 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 27 e Figura 28. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 98% e em verde os valores maiores ou iguais a 98%. A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 44,7 km sobre a radial R3, que será discutida adiante.

A Figura 28 apresenta os valores de intensidade de campo elétrico com a distância de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

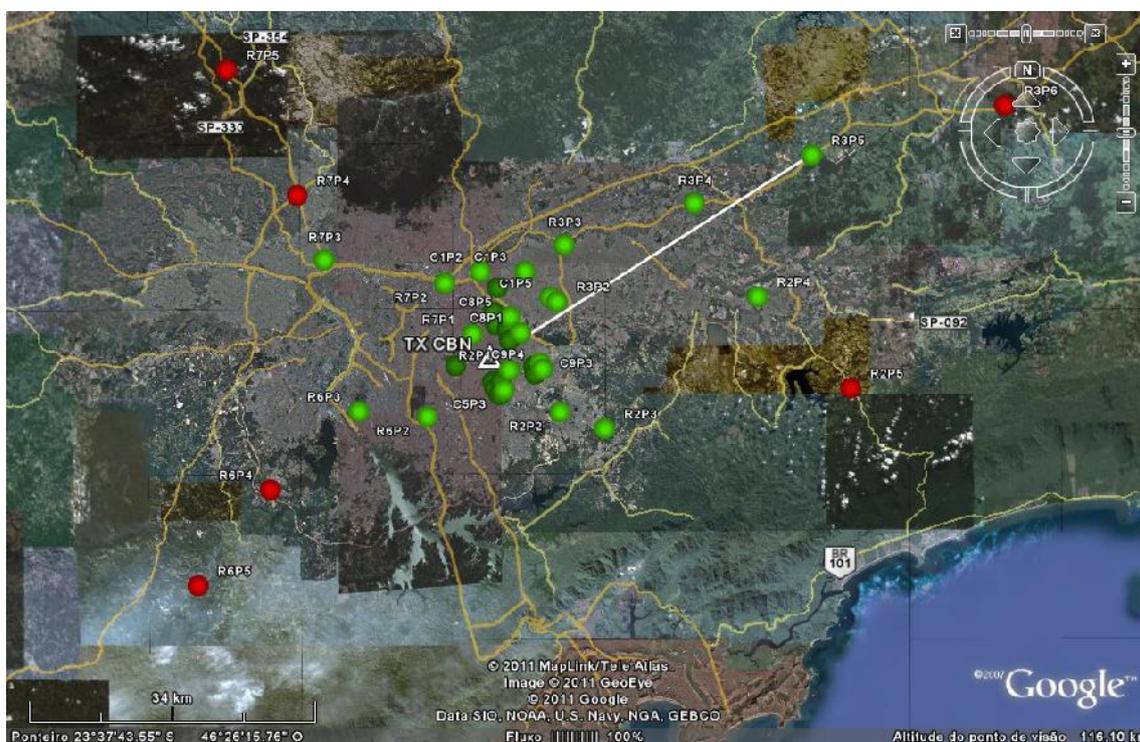


Figura 27 – Classificação das medidas em 16QAM conforme parâmetro AQ

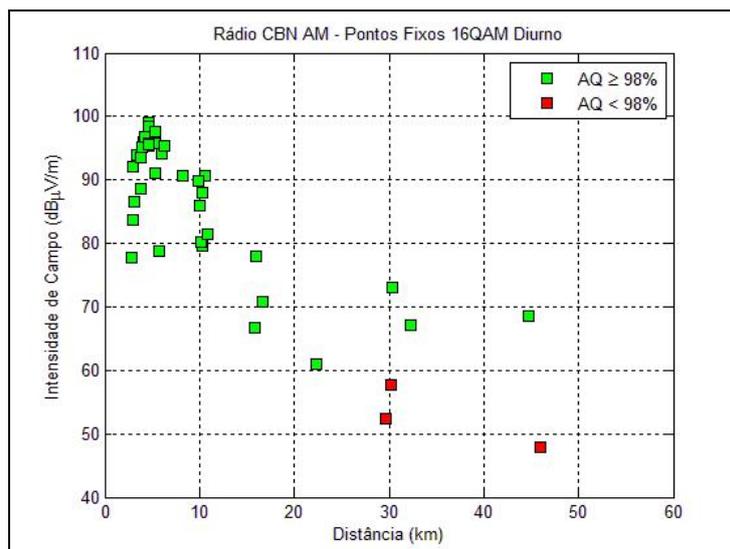


Figura 28 – Campo diurno versus distância para 16QAM, em função da AQ

Pela análise da Figura 28 obtém-se o limiar de intensidade de campo elétrico para 16QAM na faixa de 57 a 61dBµV/m. Nestas medições, para valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, foi obtida a distância de 44,7 km (Ponto R3P5) sobre a radial R3, pois esta radial atinge região com condutividade mais alta em relação à região do transmissor. Nas demais radiais a distância com atendimento ocorreu entre 23 e 30 km. As medições em locais de aproximadamente mesma distância do transmissor (4 locais no entorno de 30 km), com dois tipos de resultados de AQ, estão em 4 radiais diferentes. Também há 2 pontos em 45 km com dois tipos de resultados do parâmetro AQ, ambos em radiais diferentes. Os maiores valores em 30 km e em 45 km ocorrem na R3, a radial que tem o percurso que atinge região com condutividade do solo diferente da região do transmissor. Na transição para maior valor de condutividade ocorre aumento na intensidade de campo elétrico medida.

As medições nos pontos até 44,7 km que tiveram AQ < 98% (3 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhadas conforme a Tabela 17.

Rota/Ponto	Mod.	AQ (%)	E (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R7P4	16 QAM	45%	52.3	11.7	29.6	Local situado na margem da Rodovia dos Bandeirantes, com movimento intenso de veículos, cercado de morros e vegetação.
R6P4	16 QAM	85.1%	57.7	12.7	30.2	Local aberto, próximo a posto de combustível, com vegetação e morros no entorno.
R7P5	16 QAM	0%	47.8	8.8	45.9	Local situado na margem da Rodovia dos Bandeirantes, área com características rurais, próximo a morros e vegetação.

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

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 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 R7P4:

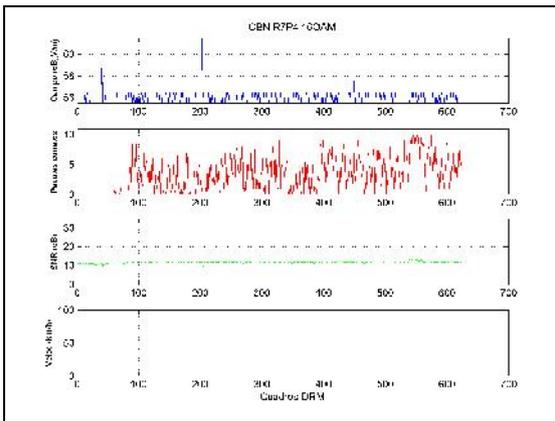


Figura 29-Medições em 16QAM de R7P4, Rádio CBN

No áudio de C1P4 percebem-se muitas distorções e muitos trechos de silêncio.

Rota/Ponto R6P4:

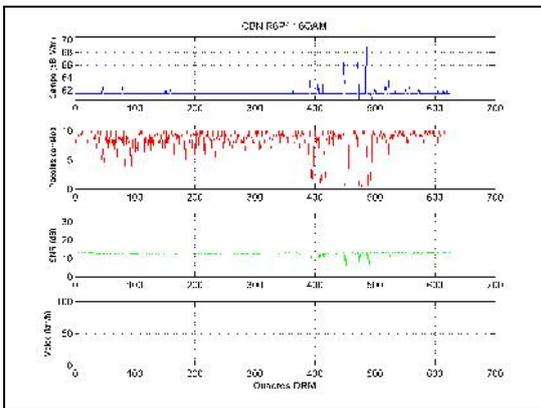


Figura 30-Medições em 16QAM de R6P4, Rádio CBN

No áudio de R6P4 percebem-se distorções e trechos de silêncio.

Rota/Ponto R7P5:

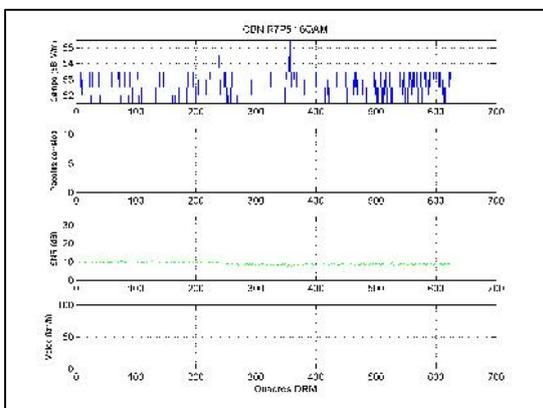


Figura 31-Medições em 16QAM de R7P3, Rádio CBN

No áudio de R5P3 percebe-se apenas silêncio.

Os resultados gerais são apresentados na Tabela 18 a seguir 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.

Modulação 16QAM		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo elétrico	SNR
Entre 23 e 30 km <sup>(1)</sup>	Entre 57 e 61 dB $\mu$ V/m	Entre 13,5 e 15,1 dB

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

Obs (1): Distâncias estimadas a partir das medições, desconsiderando a radial R3, sobre a qual a maior distância obtida foi de 44,7 km, provavelmente devido ao aumento da condutividade do solo.

Modulação 16QAM				
	Total de medições		Até 25 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	37	100%	31	100%
$AQ \geq 98\%$	34	92%	31	100%
$90\% \leq AQ < 98\%$	0	0%	0	0%
$AQ < 90\%$	3	8%	0	0%

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

Os registros das medições em 64QAM estão nas Figura 32 e Figura 33. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 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 44,7 km sobre a radial R3, que será discutida adiante.

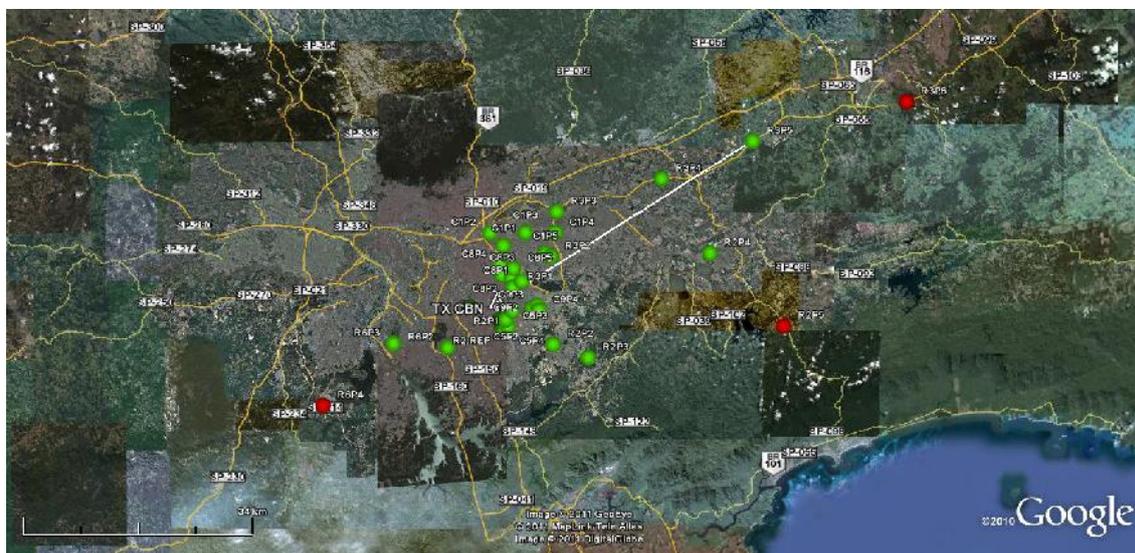


Figura 32 - Classificação das medidas diurnas em 64QAM conforme parâmetro AQ

A Figura 33 apresenta os resultados de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

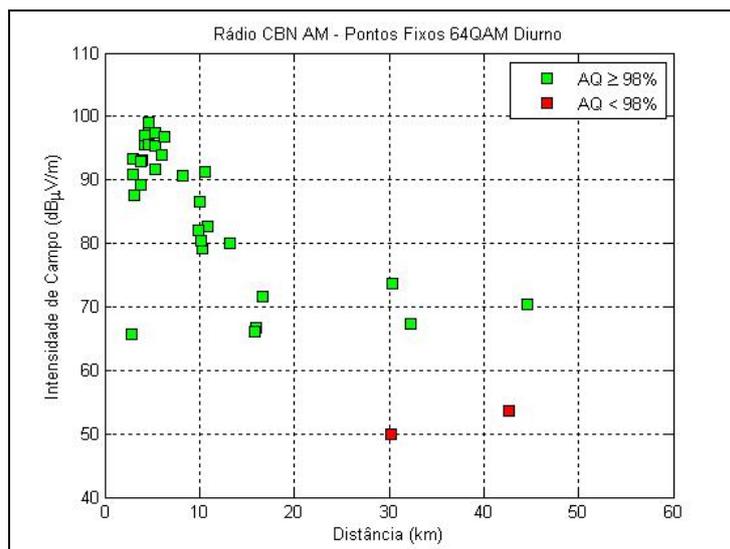


Figura 33 - Campo diurno versus distância para 64QAM, em função da AQ

Pela análise da Figura 33 obteve-se o limiar de intensidade de campo elétrico para 64QAM na faixa de 53 a 65dBµV/m. Nestas medições, considerando valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, foi obtida a distância de 44,7 km sobre a radial R3, pois esta atinge região com condutividade mais alta em relação à região do transmissor. Nas demais radiais a distância com atendimento ocorreu entre 20 a 30 km. Acima do limiar e em todos os pontos, à exceção de um único ponto, os valores de intensidade de campo elétrico medidos registraram  $AQ \geq 98\%$ . As medições em locais de aproximadamente mesma distância do transmissor (3 em 30 km) com dois tipos de resultados de AQ estão em radiais diferentes. Também há 2 pontos em aproximadamente 45 km com dois tipos de resultados do parâmetro AQ, ambos em radiais diferentes. Os maiores valores em 30 km e em 45 km ocorrem na R3, a radial que tem o percurso que atinge região com condutividade do solo diferente da região do transmissor. Na transição para maior valor de condutividade ocorre aumento na intensidade de campo elétrico medida.

As medições em 64 QAM nos pontos que tiveram  $AQ < 98\%$  (2 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhados conforme a tabela abaixo:

Rota/Ponto	Mod	AQ (%)	E (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R6P4	64QAM	0%	49.9	14.4	30.2	Local aberto, próximo a posto de combustível, com vegetação e morros no entorno.
R2P5	64QAM	0%	53.6	10.9	42.6	Local situado na margem da Rodovia Mogi-Bertioga, com vegetação, próximo à linha de alta tensão, tráfego intenso de veículos.

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

## Rota/Ponto R6P4

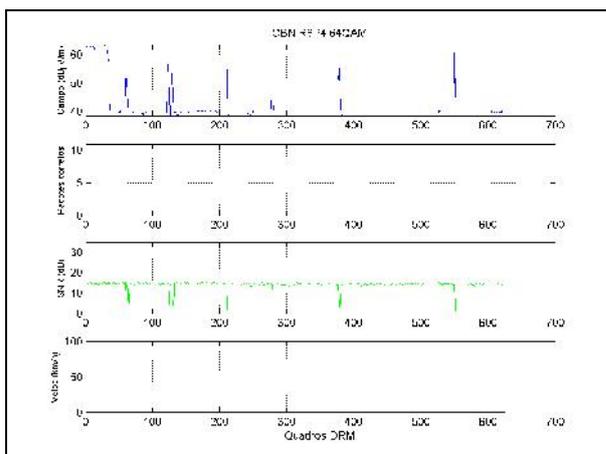


Figura 34 – Medições em 64QAM de R6P4, Rádio CBN

Período de completo silêncio.

## Rota/Ponto R2P5

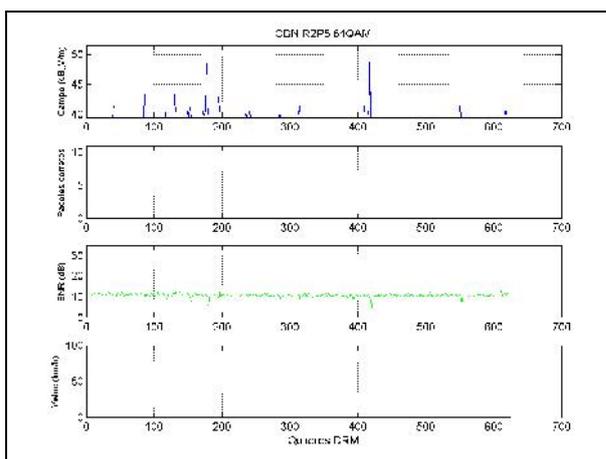


Figura 35-Medições em 64QAM de R2P5, Rádio CBN

Não houve registro de áudio.

As medições no ponto R6P4 registraram  $AQ < 98\%$  para as duas modulações. Importante ressaltar que as medições foram realizadas em datas distintas (17 e 24/03/2010), 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. O percentual de pontos atendidos com cobertura digital no modo 64QAM foi de 94%. Embora este percentual seja superior ao obtido no modo 16QAM (92%), deve-se considerar que o total de pontos medidos nas duas modulações é diferente. Numericamente houve mais pontos atendidos com 16QAM (34) do que no modo 64QAM (31).

Modulação 64QAM		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo elétrico	SNR
20 a 30 km <sup>(2)</sup>	Entre 53 e 65 dB $\mu$ V/m	Entre 15 e 19,3 dB

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

Obs (2): Distâncias estimadas a partir das medições, desconsiderando a radial R3, sobre a qual a maior distância obtida foi de 44,7 km, provavelmente devido ao aumento da condutividade do solo.

Modulação 64QAM				
	Total de medições		Até 20 km	
	Pontos	Percentual	Pontos	Percentual
Total	33	100%	28	100%
AQ $\geq$ 98%	31	94%	28	100%
90% $\leq$ AQ<98%	0	0%	0	0%
AQ<90%	2	6%	0	0%

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

Pelos resultados obtidos pode-se constatar que a extensão da cobertura do sinal digital com configurações de 16QAM esteve na faixa de 22 a 25 km e em 64QAM esteve na faixa de 18 a 20 km, onde a qualidade de áudio esteve acima de 98%.

#### 4.3.8. Comparação das coberturas dos sistemas digital e 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 elétrico, conforme Figura 28 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 do AM, 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	R2P1	16 QAM	2.78	100	3.5
2	R2P2	16 QAM	10.53	100	3
3	R2P3	16 QAM	15.94	100	2
4	R2P4	16 QAM	32.28	99.95	1.5
5	R3P1	16 QAM	3.02	100	3.75
6	R3P2	16 QAM	10.26	100	3
7	R3P3	16 QAM	15.85	100	1.75
8	R3P4	16 QAM	30.31	100	1.5
9	R3P5	16 QAM	44.73	99.90	1
10	R6P1	16 QAM	4.14	100	3.5
11	R6P2	16 QAM	10.16	100	2.5
12	R6P3	16 QAM	16.66	100	2.75
13	R6P4	16 QAM	30.18	85.1	1.25
14	R7P1	16 QAM	3.32	100	3.75
15	R7P2	16 QAM	10.31	100	3
16	R7P3	16 QAM	22.28	99.98	1.75
17	R7P4	16 QAM	29.60	45.0	1
18	R7P5	16 QAM	45.93	0	1
19	C1P1	16 QAM	8.19	100	4
20	C1P2	16 QAM	10.09	100	4.25
21	C1P3	16 QAM	10.88	100	3.75
22	C1P5	16 QAM	9.95	100	3.75
23	C5P1	16 QAM	2.94	99.98	5
24	C5P2	16 QAM	3.17	100	3.25
25	C5P3	16 QAM	4.25	100	3.25
26	C5P4	16 QAM	4.64	100	4.5
27	C5P5	16 QAM	3.79	100	4.25
28	C8P1	16 QAM	4.63	100	4.25
29	C8P2	16 QAM	3.88	100	3.25
30	C8P3	16 QAM	3.84	100	4
31	C8P4	16 QAM	5.30	100	4.25
32	C8P5	16 QAM	5.30	100	4
33	C9P1	16 QAM	5.73	100	5
34	C9P2	16 QAM	5.31	100	4
35	C9P3	16 QAM	5.98	100	3.75
36	C9P4	16 QAM	6.35	100	4

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

Os valores da Tabela 23 são apresentados no mapa da Figura 36. Para melhor visualização destes resultados são apresentadas situações distintas na Figura 37, Figura 38 e Figura 39. 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 entre 45 e 62 km, em verde.

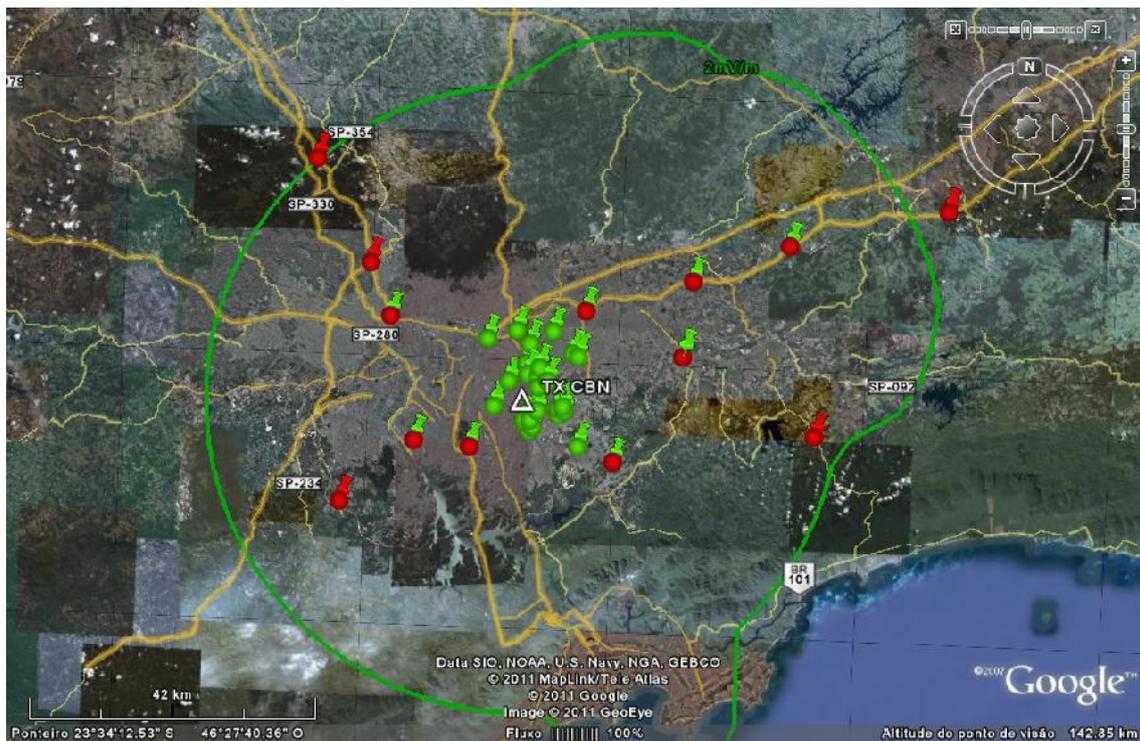


Figura 36 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM e sinal analógico, Rádio CBN

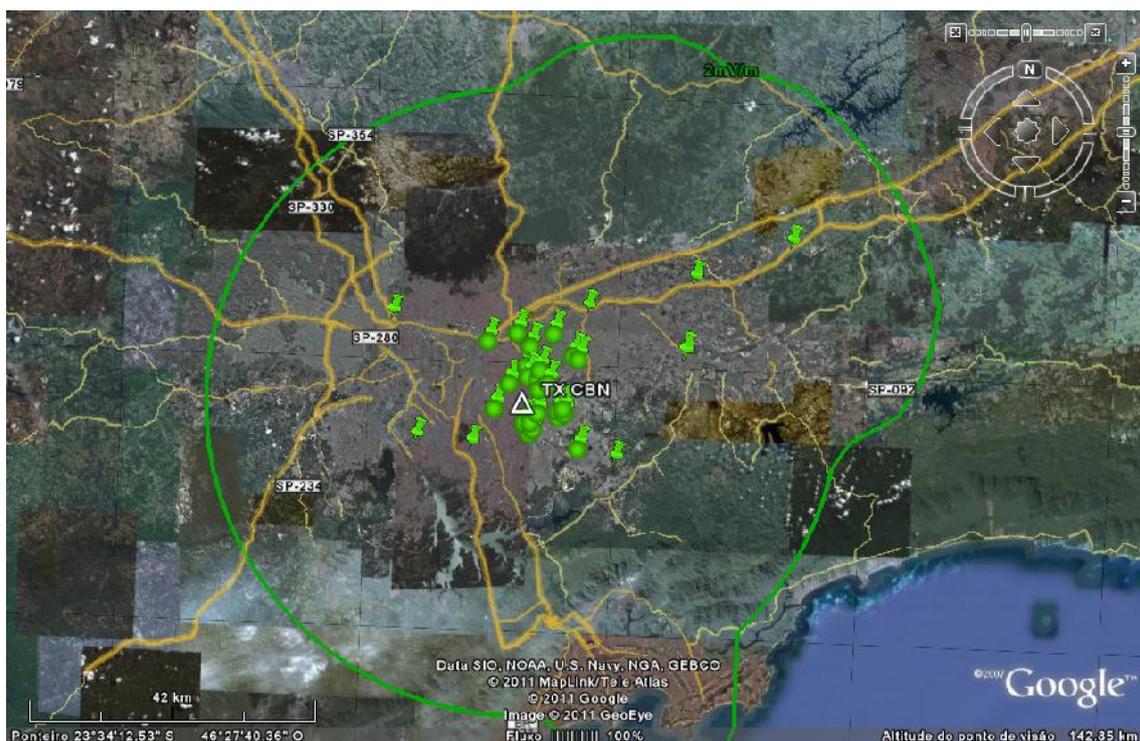


Figura 37 – Visualização de recepção analógica boa e de recepção digital boa 16QAM

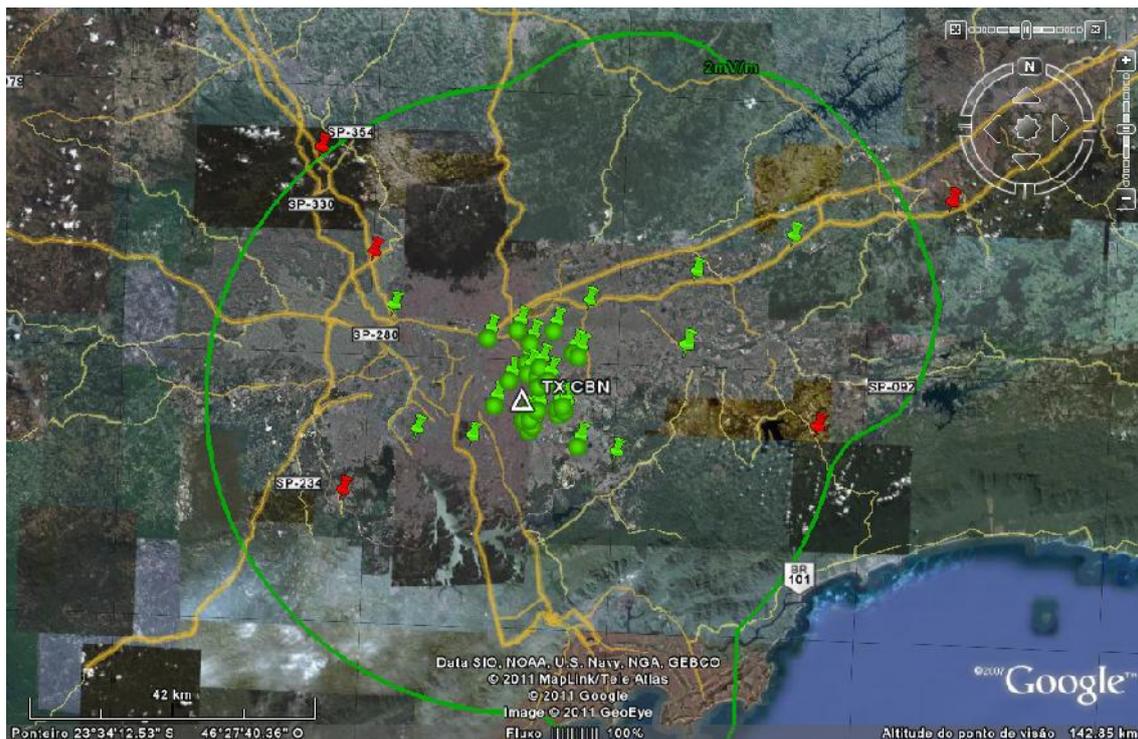


Figura 38 – Visualização de recepção analog. boa e de recepção digital boa ou ruim 16QAM

A diferença da Figura 37 para a Figura 38 é a inserção dos pontos de recepção digital ruim.

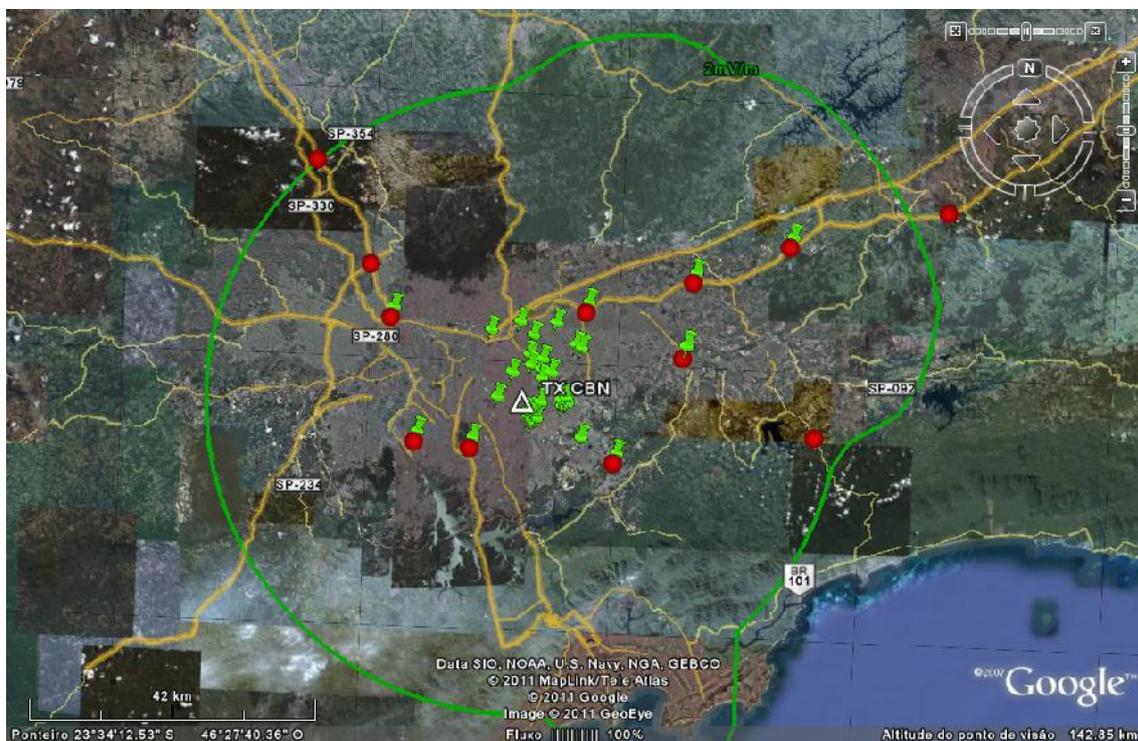


Figura 39 – Visualização de recepção analógica ruim e de recepção digital 16QAM boa

A Figura 39 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 R2 e R3 apresentam o comportamento de  $AQ \geq 98\%$  até as distâncias de 32,3 e 44,7 km. As quatro rotas radiais apresentam o sinal digital melhor em mais pontos do que o sinal analógico. Dos 36 pontos medidos, o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 33 pontos, conforme mencionado anteriormente, e o sinal analógico teve 25 pontos com recepção boa (em verde na Tabela 23).

Em termos de cobertura, em 25 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 8 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto houve sinal analógico bom e digital ruim; e em 3 pontos 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>
Pontos fixos medidos	36
Pontos $AQ \geq 98\%$	33 (92%)
Sinal analógico com boa recepção	25 (69%)
<b>Comparação de cobertura :</b>	
Recepção boa digital e analógica	25
Recepção digital melhor	8
Recepção analógica melhor	0
Recepção ruim digital e analógica	3

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

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

<b>Item</b>	<b>Rota/Ponto</b>	<b>Modulação</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>AQ (%)</b>	<b>Áudio Analógico</b>
1	R2P1	64 QAM	2.78	99.98	3.5
2	R2P2	64 QAM	10.52	100	3
3	R2P3	64 QAM	15.94	100	2
4	R2P4	64 QAM	32.28	98.00	1.5
5	R2P5	64 QAM	42.61	0	1
6	R3P1	64 QAM	3.03	98.00	3.75
7	R3P2	64 QAM	10.26	100	3
8	R3P3	64 QAM	15.85	99.98	1.75
9	R3P4	64 QAM	30.30	100	1.5
10	R3P5	64 QAM	44.65	99.87	1
11	R6P1	64 QAM	4.19	100	3.5
12	R6P2	64 QAM	10.16	100	2.5
13	R6P3	64 QAM	16.66	100	2.75
14	R6P4	64 QAM	30.18	0	1.25
15	C1P1	64 QAM	8.19	100	4
16	C1P2	64 QAM	10.09	100	4.25
17	C1P3	64 QAM	10.88	100	3.75
18	C1P4	64 QAM	13.21	100	4
19	C1P5	64 QAM	9.95	99.98	3.75
20	C5P1	64 QAM	2.94	100	5
21	C5P2	64 QAM	3.16	100	3.25
22	C5P3	64 QAM	4.25	100	3.25
23	C5P4	64 QAM	4.64	100	4.5
24	C5P5	64 QAM	3.79	100	4.25
25	C8P1	64 QAM	4.63	100	4.25

26	C8P2	64 QAM	3.88	100	3.25
27	C8P3	64 QAM	3.84	100	4
28	C8P4	64 QAM	5.30	100	4.25
29	C8P5	64 QAM	5.30	100	4
30	C9P2	64 QAM	5.31	99.98	4
31	C9P3	64 QAM	5.98	100	3.75
32	C9P4	64 QAM	6.36	100	4

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

Os valores da Tabela 25 são apresentados no mapa da Figura 40. A Figura 41, Figura 42 e Figura 43 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 45 a 62 km do transmissor.

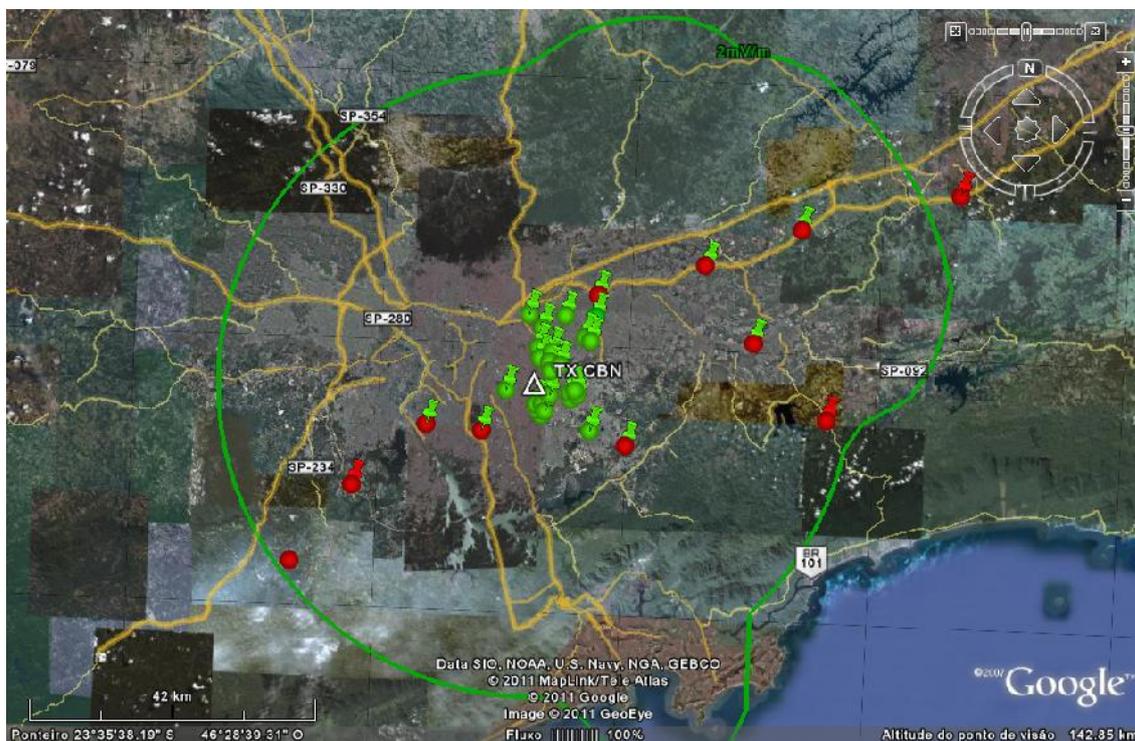


Figura 40 – Mapa da comparação entre sinal digital 64QAM e sinal analógico, Rádio CBN

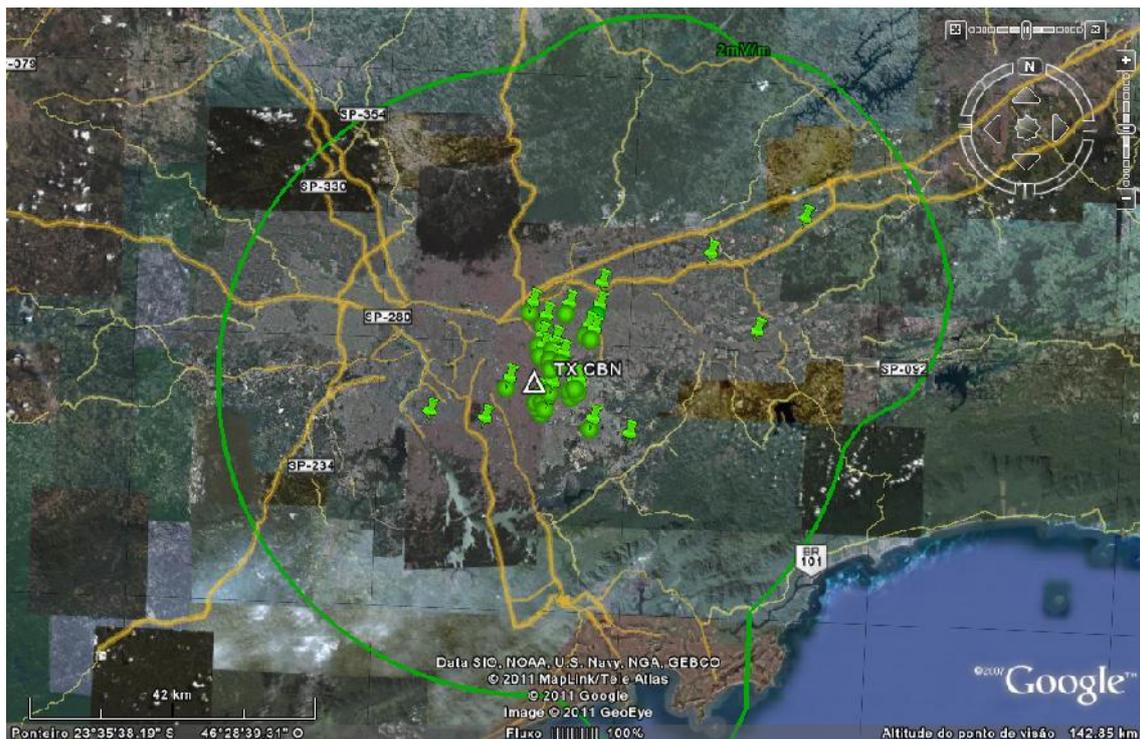


Figura 41 – Visualização de recepção analógica boa e de digital boa 64QAM, Rádio CBN

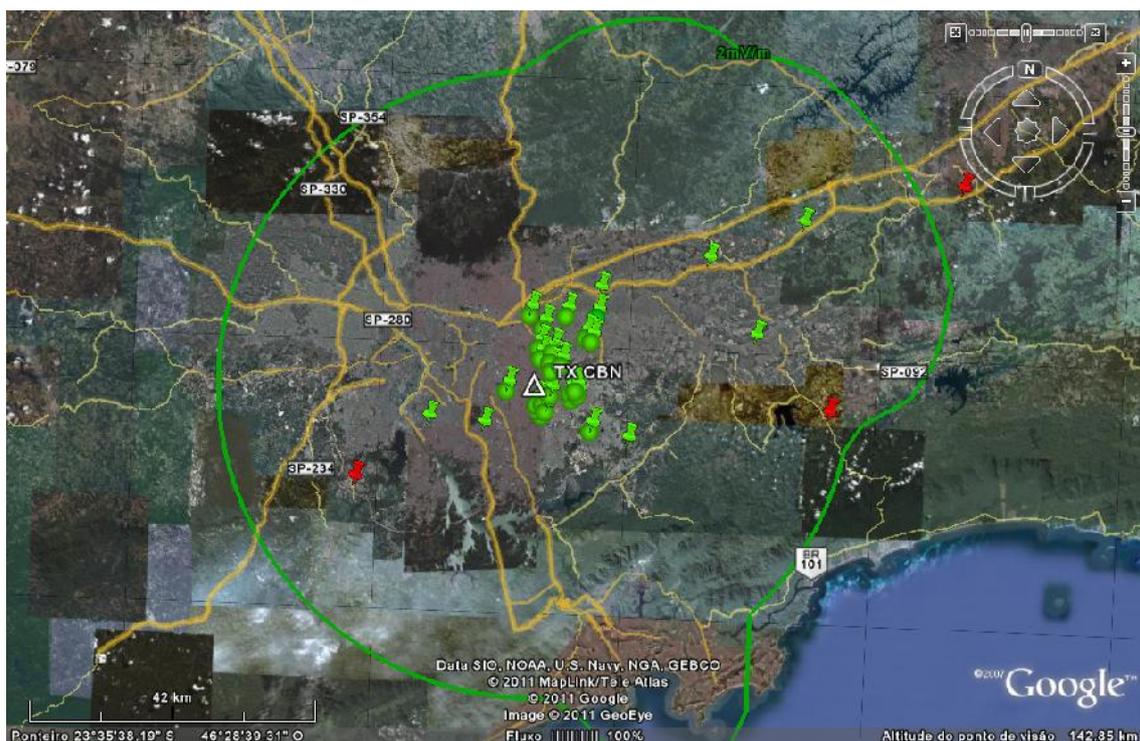


Figura 42 - Pontos com recepção analógica boa com digital 64QAM boa ou ruim, Rádio CBN

A diferença da Figura 42 para a Figura 41 é a inserção dos pontos com recepção digital ruim.



Figura 43 - Pontos com recepção analógica ruim com digital 64QAM boa, Rádio CBN

A Figura 43 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 32 pontos medidos, o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 30 pontos, e o sinal analógico teve 23 pontos com recepção boa (em verde na Tabela 24). Em termos de cobertura, em 23 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 7 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim; e em 2 pontos os dois estiveram ruins.

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

Transmissão 64QAM	Total
Pontos fixos medidos	32
Pontos $AQ \geq 98\%$	30 (94%)
Sinal analógico com boa recepção	23 (72%)
Comparação de cobertura :	
Recepção boa digital e analógica	23
Recepção digital melhor	7
Recepção analógica melhor	0
Recepção ruim digital e analógica	2

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

#### 4.3.9. Conclusões sobre resultados das medições diurnas da Rádio CBN

A análise dos testes diurnos do sistema DRM30 em transmissão *simulcast* com o sinal da Rádio CBN AM em São Paulo, no mês de março 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 8 dB. Esta variação ocorre em virtude do modelo de predição de intensidade de campo elétrico da Anatel não considerar a presença de prédios e do perfil do terreno. Outro aspecto é o uso de valores fixos de condutividade do solo em extensas regiões no modelo de previsão na região de São Paulo onde ocorreram as medições. Na prática este parâmetro pode variar ao longo da região conforme o tipo de solo e sua ocupação. Os valores são oriundos do mapa atual de condutividade do solo. Uma das rotas teve percurso sobre duas regiões com condutividades diferentes, tendo sido necessário aplicar o método das Distâncias Equivalentes para percursos heterogêneos, descrito na Norma OM, para a previsão de intensidade de campo elétrico sobre esta rota.
- Obtenção de valor limiar de relação sinal-ruído nas medições diurnas entre 13,5 e 15,1 dB em 16QAM e entre 15 e 19,3 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 entre 23 e 30 km do transmissor, havendo uma radial (R3) onde a distância atingiu 44,7 km. O limiar de intensidade de campo elétrico obtido está na faixa de 57 a 61 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital foi de 92% pontos atendidos com recepção digital dentro do conjunto total de medições.
- A transmissão em 64QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu a distância entre 20 e 30 km do transmissor, havendo uma radial (R3) onde a distância atingiu 44,7 km, a mesma obtida em 16QAM. O limiar de intensidade de campo elétrico obtido está na faixa de 53 a 65 dB $\mu$ V/m. O percentual de pontos atendidos com cobertura digital no modo 64QAM foi de 94%. Embora este percentual seja superior ao obtido no modo 16QAM (92%), deve-se considerar que o total de pontos medidos nas duas modulações era diferente. Numericamente houve mais pontos atendidos com 16QAM (34) do que no modo 64QAM (31).
- A distância de 44,7 km foi registrada sobre a radial R3 que possui percurso misto, atingindo região com condutividade maior em relação à região do transmissor. Na transição para maior valor de condutividade ocorre aumento na intensidade de campo elétrico medida.

- As medições dentro das distâncias obtidas em cada caso (44,7 km para 16QAM e 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, em locais próximos a regiões com vegetação densa e em um caso de medição próxima ao pátio de manobras do metrô, na estação Itaquera.
- Foi constatado que as áreas de cobertura do sinal digital com configuração de 16QAM e 64QAM atingiu distâncias maiores que a cobertura do sinal analógico, uma vez que até 44,7 km a qualidade do áudio (AQ) 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 com “recepção boa” registrada entre 4 e 10 km, e também uma das rotas circulares apresentou pontos com “recepção boa” em 10,9 e 13,2 km. Com “recepção pobre” houve registro em 16,6 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. O limiar diurno para a recepção analógica está na faixa de 70 a 80 dB $\mu$ V/m, provavelmente devido ao elevado ruído ambiente diurno na cidade.

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 o sistema apresentou área de cobertura similar à cobertura analógica obtida nesta campanha de testes.

- A transmissão com modulação 16QAM nos testes diurnos demonstrou maior robustez em relação à modulação 64QAM, conforme os limiares de intensidade de campo elétrico e relação sinal ruído obtidos nas medições, que foram menores para o modo 16QAM.
- 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 36 pontos medidos, houve 33 onde  $AQ \geq 98\%$ . Em termos de cobertura, em 25 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 8 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto houve sinal analógico bom e digital ruim; e em 3 pontos os dois estiveram ruins. A cobertura digital em 16QAM atendeu 92% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 69% dos pontos medidos neste modo.

Para 64QAM, dentre os 32 pontos medidos, houve 30 onde  $AQ \geq 98\%$ . Em termos de cobertura, em 23 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 7 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim; e em 2 pontos os dois estiveram ruins. A cobertura digital em 64QAM atendeu 94% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 72% dos pontos medidos neste modo.

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

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 rodas de medição apresentadas na Tabela 6 e descritas no anexo. A Figura 44 apresenta a posição dos pontos e o contorno protegido noturno de 2,5 mV/m. A distância varia de 28 km a 34 km, havendo ponto de medição em região com valor de condutividade do solo diferente (3 mS/m) do local onde está situado o transmissor (1mS/m).

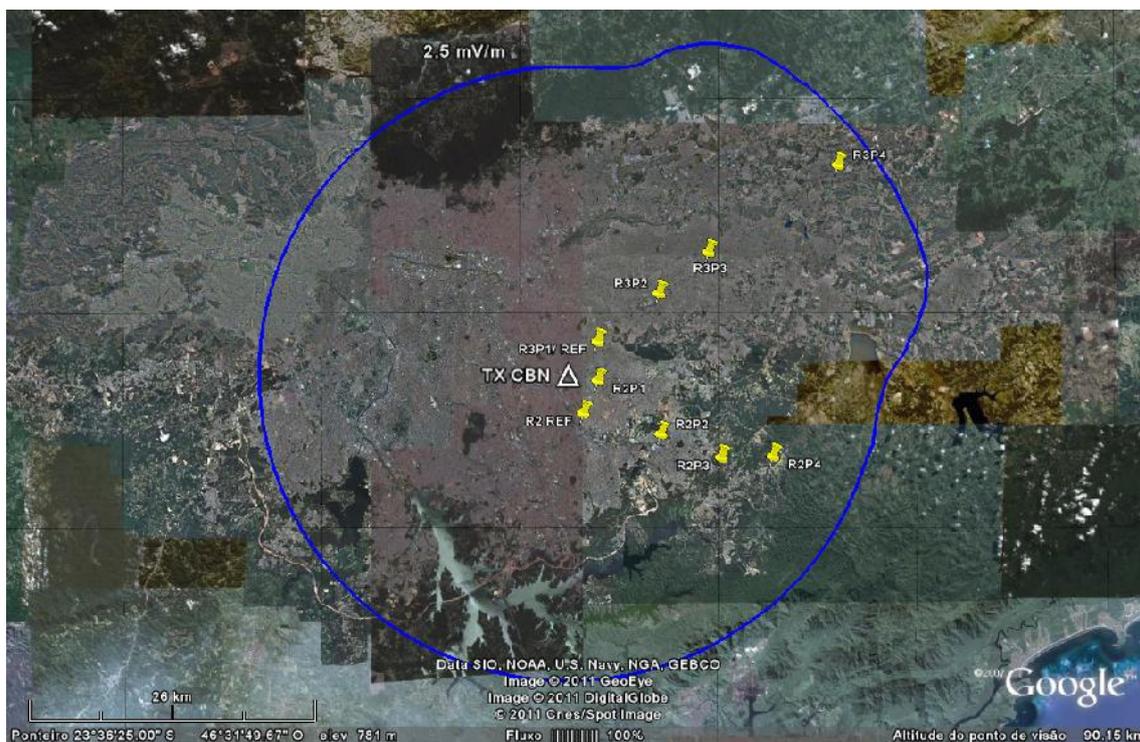


Figura 44- Pontos para medições noturnas em pontos fixos da Radio CBN

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

- i. Verificação da consistência dos dados
- ii. Comparação entre a área de cobertura do sinal analógico medido e a área de cobertura do sinal analógico predito
- iii. Avaliação da relação sinal-ruído para recepção do sinal digital de boa qualidade
- iv. Área de cobertura do sinal digital noturno medido
- v. Comparação entre a área de cobertura do sistema digital e a área de cobertura do sistema analógico

##### 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, considerando as possíveis falhas mencionadas e os critérios aplicados.

A variabilidade temporal 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]. Nos testes noturnos a variabilidade temporal observada em cada ponto foi de até 6 dB.

#### 4.4.2. Predição teórica da intensidade de campo elétrico 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.

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 dBμV/m) está aproximadamente de 28 km a 34 km da estação transmissora.

#### 4.4.3. Registros de interferência no período noturno

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].

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 do próprio sinal DRM30 transmitido no sinal recebido pode ser desconsiderada. No entanto é possível que outros sinais na mesma frequência estejam contribuindo através da onda ionosférica para aumento da intensidade de campo elétrico (sinais interferentes no sinal DRM30).

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 45 apresenta um exemplo de medição noturna onde se observam picos de sinal em toda a faixa medida.

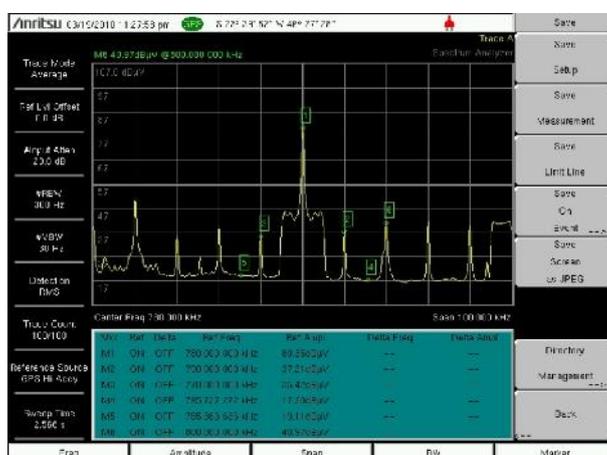


Figura 45 – Registro do analisador de espectro do sinal analógico no ponto R2P2, Rádio CBN

#### 4.4.4. Dados de medições noturnas

O conjunto de dados para as análises do comportamento do sistema DRM30 no período noturno é apresentado na Tabela 27 e Tabela 28, para 16QAM e 64QAM respectivamente. Para cada ponto fixo foi obtida a intensidade de campo elétrico digital, 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 elétrico digital e analógica foram obtidas a partir da leitura do analisador de espectro.

Todas medições de 16QAM (8) e 64QAM (9) válidas para as análises estão dentro do contorno protegido noturno de 2,5 mV/m (28 a 48km).

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analóg analisador de espectro (dBµV/m)	E digital analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1 SC	16 QAM	Fixo	100	88.97	74.63	18.55	2.78
2	R2P2 SC	16 QAM	Fixo	100	97.65	84.52	27.39	10.52
3	R2P3 SC	16 QAM	Fixo	100	87.79	75.32	24.21	15.94
4	R2P4 SC	16 QAM	Fixo	87.41	73.07	69.96	13.02	20.02
5	R3P1 SC	16 QAM	Fixo	100	98.59	87.78	27.28	3.02
6	R3P2 SC	16 QAM	Fixo	98.02	78.8	76.08	14.85	10.26
7	R3P3 SC	16 QAM	Fixo	100	89.54	75.89	22.27	15.85
8	R3P4 SC	16 QAM	Fixo	100	87.96	75.09	23.12	19.96

Tabela 27-Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Fixo/Móvel	AQ (%)	E analóg analisador de espectro (dBµV/m)	E digital analisador de espectro (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)
1	R2P1 SC	64 QAM	Fixo	99.63	84.83	70.28	18.67	2.78
2	R2P2 SC	64 QAM	Fixo	99.72	92.18	79.15	27.11	10.52
3	R2P3 SC	64 QAM	Fixo	100	83.4	70.42	25.75	15.93
4	R2P4 SC	64 QAM	Fixo	0	71.58	65.96	16.56	20.02
5	R2REF SC	64 QAM	Fixo	100	103.75	90.49	31.08	4.58
6	R3P1 SC	64 QAM	Fixo	100	97.61	87.13	30.08	3.03
7	R3P2 SC	64 QAM	Fixo	0	77.96	75.10	16.54	10.26
8	R3P3 SC	64 QAM	Fixo	100	90.1	76.54	25.01	15.85
9	R3P4 SC	64 QAM	Fixo	99.98	88.23	75.31	23.42	19.95

Tabela 28- Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM

O Anexo III apresenta a localização dos pontos de medição

#### 4.4.5. Comparação entre a área de cobertura do sinal analógico medido e 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 CBN apresentados na Tabela 9.

Para esta análise são utilizados os valores de intensidade de campo elétrico analógico medidos em cada ponto fixo das rotas radiais (Rota R2 e Rota R3) 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 28 a 34 km da estação da Rádio CBN, observa-se que os valores medidos seguem a tendência da curva de predição da Anatel (Figura 46 e na Figura 47) para o caso noturno, porém as diferenças observadas entre valores medidos e preditos devem-se ao fato do modelo não utilizar informação do perfil do terreno e também por utilizar um valor fixo de condutividade do solo em extensa região. 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 intervalos menores em função do tipo de solo. Durante o período noturno o ruído do ambiente urbano é menor, porém a intensidade de campo elétrico registrada inclui os sinais interferentes, que são mais fortes à noite devido à contribuição das ondas ionosféricas. Nos gráficos a linha espessa representa o modelo aplicado ao percurso de condutividade heterogênea [5].

A predição de campo da Recomendação UIT-R P.368 é apresentada para fins de comparação. Constata-se que os valores de campo medidos acompanham a tendência deste modelo.

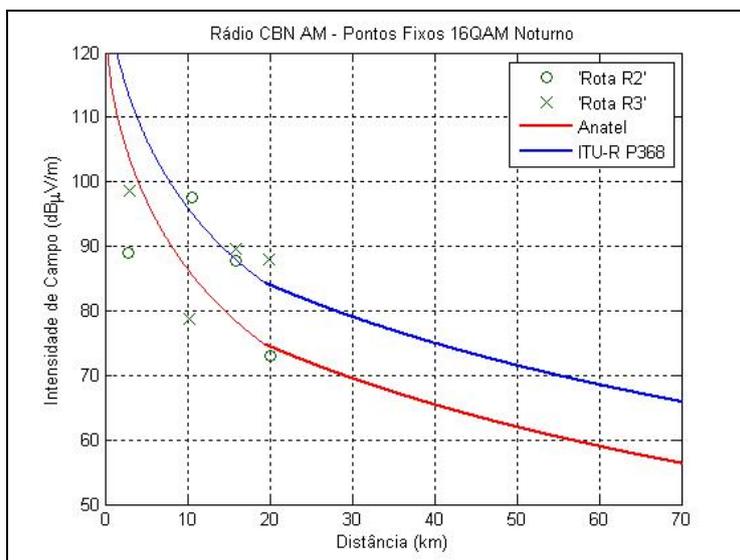


Figura 46 – Medições noturnas em pontos fixos em 16QAM

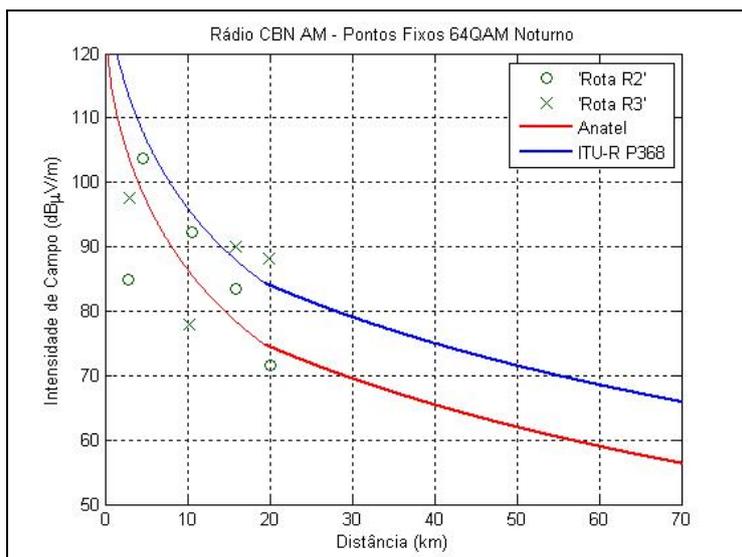


Figura 47 – Medições noturnas em pontos fixos em 64QAM

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 48 e no mapa da Figura 49. O áudio analógico foi registrado em 8 locais e a distribuição das notas está na Tabela 29. 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 menores que 3 e acima de 2, e a “Recepção Ruim” contém as notas iguais a 2 e menores.

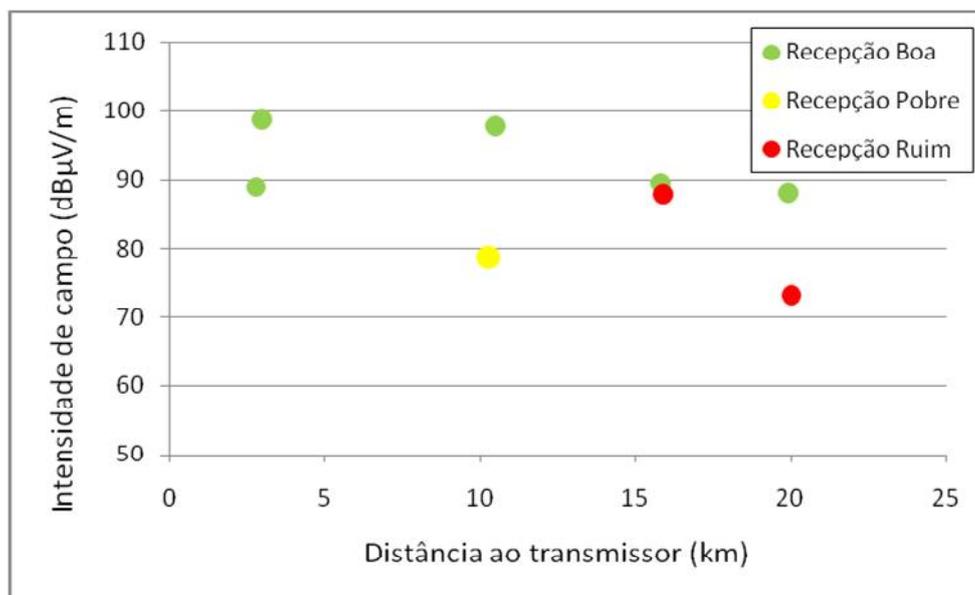


Figura 48-Avaliação subjetiva do áudio analógico AM noturno medido da Rádio CBN

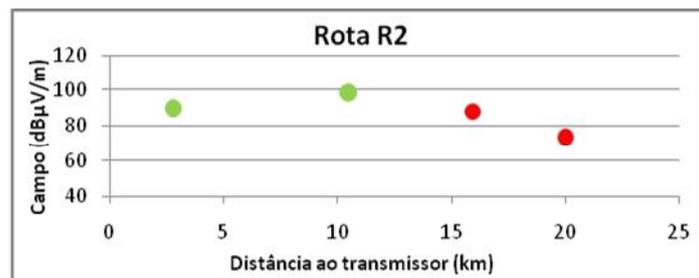


Figura 49 – Mapa da avaliação subjetiva áudio analógico AM noturno, Rádio CBN

Classificação	Quantidade de locais	
Recepção Boa	5	63%
Recepção Pobre	1	13%
Recepção Ruim	2	25%
Total	8	100%

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

A recepção analógica AM noturna obtida das medições estendeu-se até cerca de 20 km com qualidade boa, tendo entretanto pontos com recepção “ruim” em 15 e 20 km. O ponto com recepção “pobre” em 10 km é o R3P2, localizado perto do pátio de manobras do metrô de Itaquera. A presença das linhas férreas no pátio de manobra pode ter contribuído para a má qualidade do áudio analógico. Os dois pontos em 15 km que apresentam intensidade de campo elétrico similar e classificações diferentes estão em duas radiais distintas (R2 e R3), conforme gráficos da Figura 50 que apresentam o comportamento das medições ao longo das rotas de medição noturna.



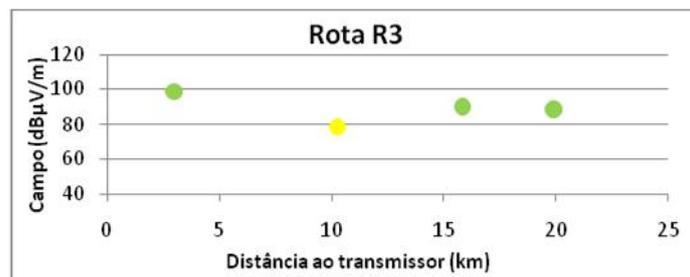


Figura 50-Registros de áudio analógico AM noturno nas radiais (Rádio CBN)

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.

Em relação às intensidades de campo registradas, todos os valores medidos estiveram acima de 73 dBµV/m, embora o áudio tenha sido classificado como pobre a 10 km, distância 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 atendam o valor do contorno noturno teórico de 2,5 mV/m ou 68 dBµV/m, o qual ocorre de 28 km a 34 km conforme modelo da Anatel.

#### 4.4.6. 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 elétrico, da relação sinal-ruído e da qualidade de áudio (denominada AQ).

Para esta análise são utilizados os valores medianos de intensidade de campo elétrico 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 51 e a Figura 52 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 está entre 13 e 14,8 dB. 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 obteve-se o único ponto vermelho com  $AQ=87.4\%$ .

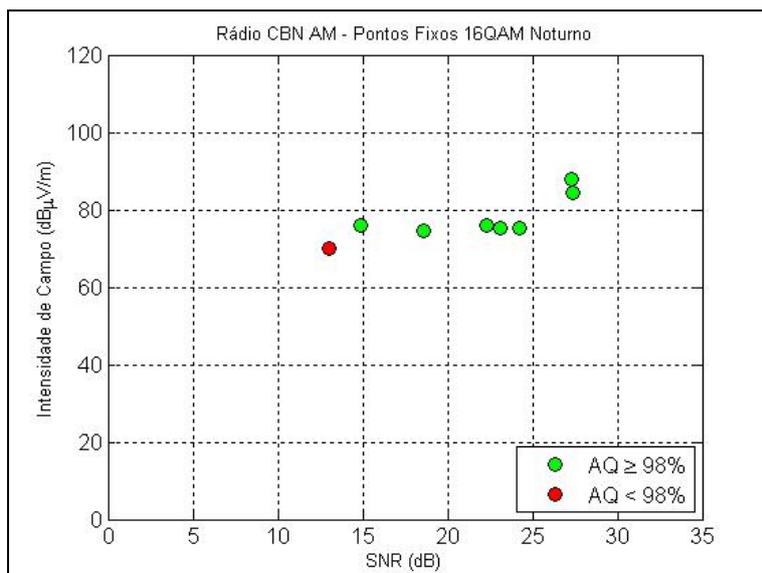


Figura 51 - Campo versus relação sinal-ruído em 16QAM, medições noturnas

Na transmissão noturna em 64QAM verificou-se que a relação sinal-ruído limiar está entre 16,5 e 18,7 dB. Os pontos vermelhos são AQ=0%. O comportamento diferiu de 16QAM pois houve pontos com qualidade de recepção de áudio boa até SNR acima de 30 dB.

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.

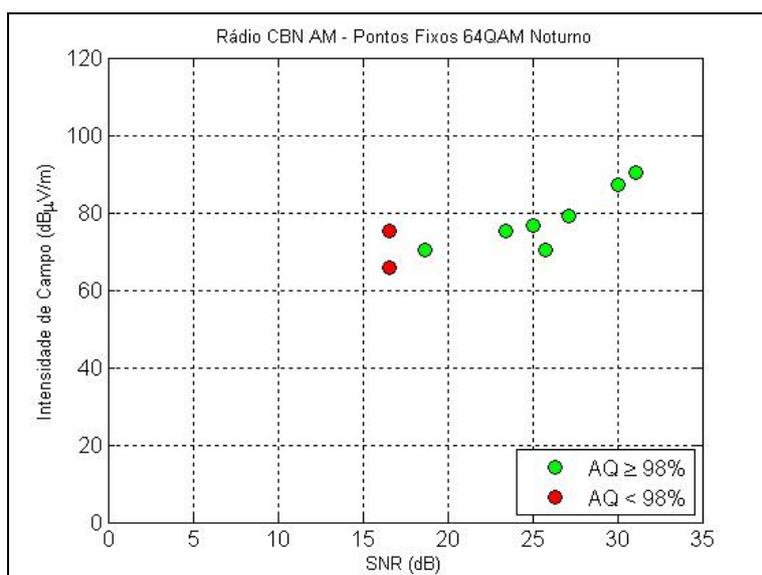


Figura 52 - Campo versus relação sinal-ruído em 64QAM, medições noturnas

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)
16QAM/B3/0.62	13,1	Entre 13 e 14,8
64QAM/B3/0.6	16,9	Entre 16,5 e 18,7

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 pela comparação dos valores medidos de SNR diurno e noturno.

#### 4.4.7. 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 53 e Figura 54. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ (estando em vermelho os valores abaixo de 98% e em verde para valores maiores ou iguais a 98%). A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 20 km, que representa o limite da cobertura noturna em 16QAM e será discutida adiante. A Figura 54 apresenta os valores de intensidade de campo elétrico com a distância de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

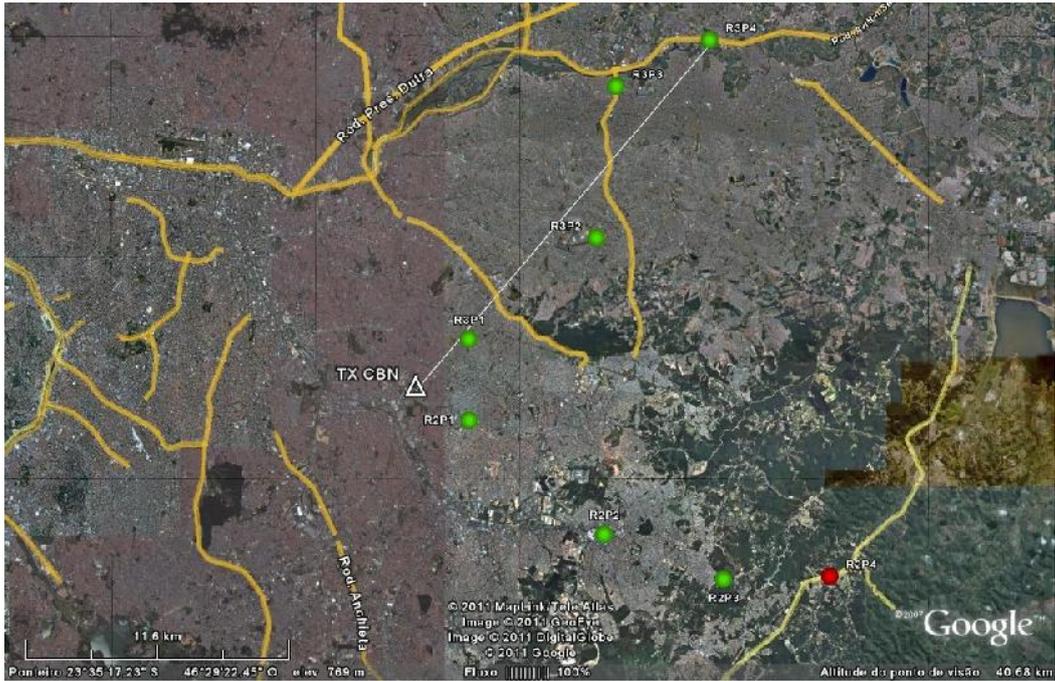


Figura 53- Classificação das medidas noturnas em 16QAM conforme parâmetro AQ

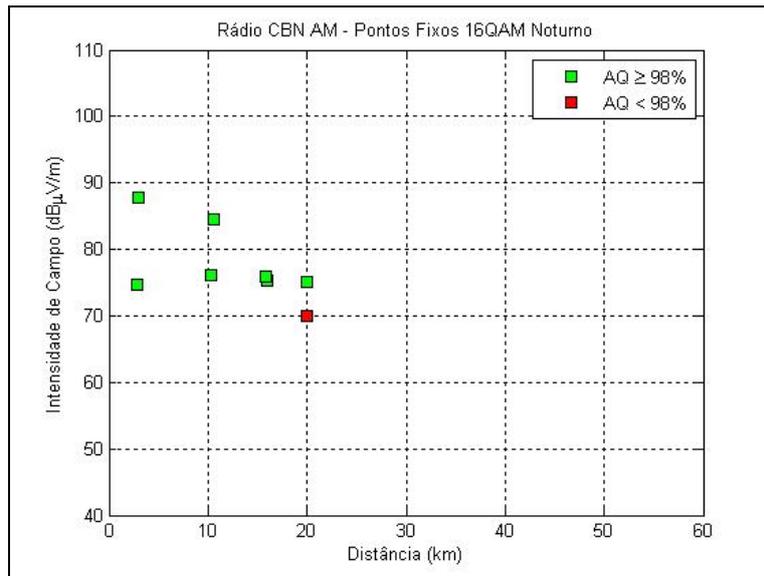


Figura 54 – Campo noturno versus distância para 16QAM, em função da AQ

O limiar de intensidade de campo elétrico para 16QAM em medições noturnas está entre 70 e 75 dBµV/m, conforme a Figura 54, pois o ponto com AQ <98% foi de AQ=87,4%. Nestas medições, para valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, a cobertura atingiu distâncias entre 15 e 20 km do transmissor.

A medição com AQ <98%, conforme gráfico acima, é detalhada na Tabela 31.

Rota/Ponto	Mod.	AQ (%)	E (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R2P4	16 QAM	87,41	69,9	13,02	20,0	Local situado próximo a residências, em área com vegetação no entorno.

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

Os registros da medição são apresentados para cada caso, a seguir, em conjunto com foto do local da medição (quando disponível) 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 R2P4:

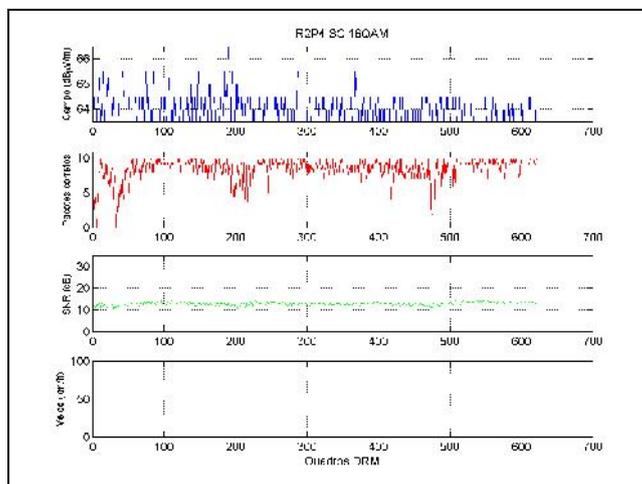


Figura 55 - Medições noturnas em 16QAM de R2P4, Rádio CBN

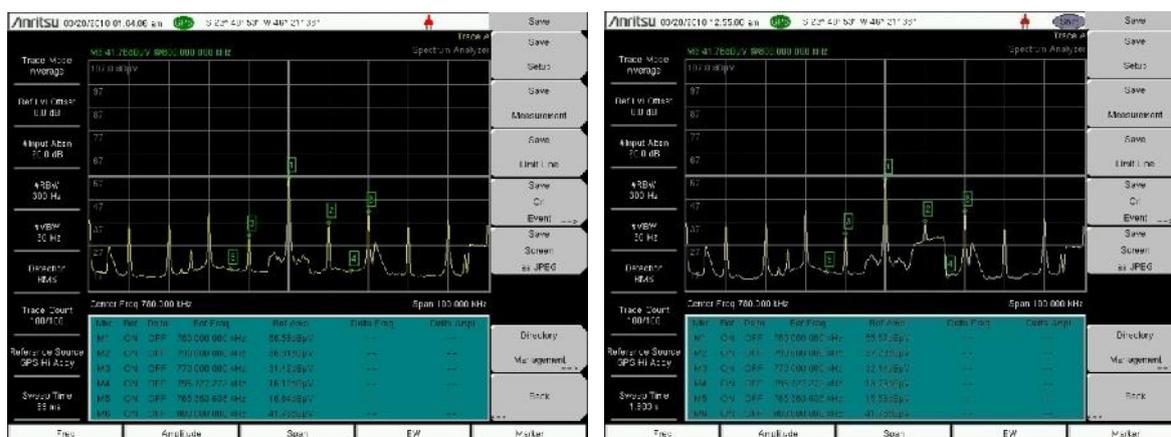


Figura 56 – Registros do espectro em R2P4, 16QAM: analógico (esq), simulcast (dir)

No áudio de R2P4 percebem-se muitas distorções. A Figura 56 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, no Marker 2. Observam-se vários sinais interferentes, inclusive sobre o sinal DRM30, o que pode ter ocasionado a degradação da recepção do sinal digital em R2P4.

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. A distância de 20 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo elétrico para medições noturnas em 16QAM. Até a distância de 15 km todos os pontos medidos tiveram  $AQ \geq 98\%$ .

Modulação 16QAM - Noturno		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo elétrico	SNR
Entre 15 e 20 km	Entre 70 e 75 dB $\mu$ V/m	Entre 13 e 14,8 dB

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

Modulação 16QAM - Noturno		
	Pontos	Percentual
Total	8	100%
AQ $\geq$ 98%	7	88%
90% $\leq$ AQ<98%	0	0%
AQ<90%	1	12%

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

Os registros das medições em 64QAM estão na Figura 57 e na Figura 58. A primeira figura apresenta a situação dos pontos no mapa conforme a classificação do parâmetro AQ, estando em vermelho os valores abaixo de 98% e em verde os valores maiores ou iguais a 98%. A linha branca a partir do transmissor indica o ponto na distância de 20 km, que representa o limite da cobertura noturna em 64QAM e será discutida adiante. A Figura 58 apresenta os resultados de forma gráfica, também classificados de acordo com o parâmetro AQ.

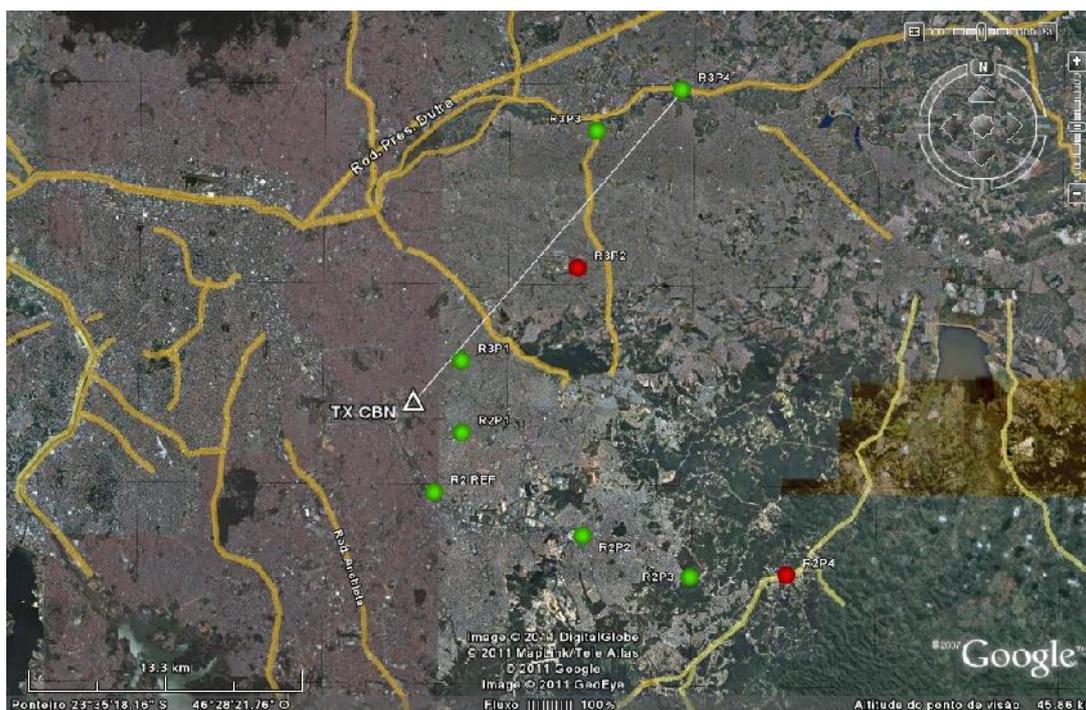


Figura 57- Classificação das medidas noturnas em 64QAM conforme parâmetro AQ

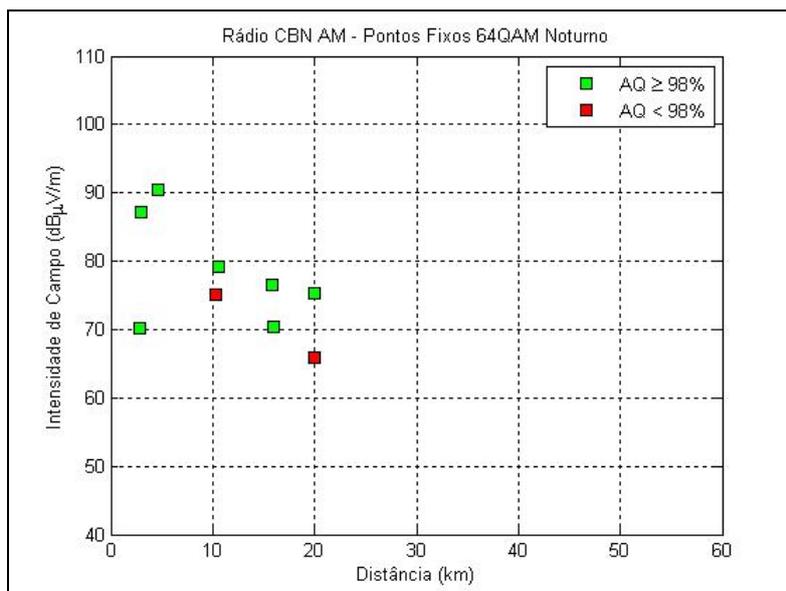


Figura 58 – Campo noturno versus distância para 64QAM, em função da AQ

Obteve-se o limiar de intensidade de campo elétrico para 64QAM entre 65 e 70 dBµV/m, o qual pode ser visualizado no gráfico da Figura 58. Nestas medições, considerando valores de intensidade de campo elétrico maiores ou iguais ao limiar, a cobertura atingiu distâncias de 15 a 20 km do transmissor. O ponto medido na distância de 10 km que teve intensidade de campo elétrico alta e AQ<98% é verificado devido à proximidade da estação transmissora. Acima do limiar e à exceção de um único ponto, os valores de intensidade de campo elétrico medidos registraram AQ≥ 98%.

As medições em 64 QAM nos pontos que tiveram AQ < 98% (2 pontos), vistos no gráfico acima, são detalhados conforme a Tabela 34.

Rota/Ponto	Mod	AQ (%)	E (dBµV/m)	SNR Mediano (dB)	Distância (km)	Descrição do local da medição
R3P2	64 QAM	0	75,1	16,5	10,3	Local residencial próximo a pátio de manobra do metrô Terminal Corinthians-Itaquera
R2P4	64 QAM	0	65,9	16,5	20,0	Local situado próximo a residências, em área com vegetação no entorno.

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

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 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 R3P2

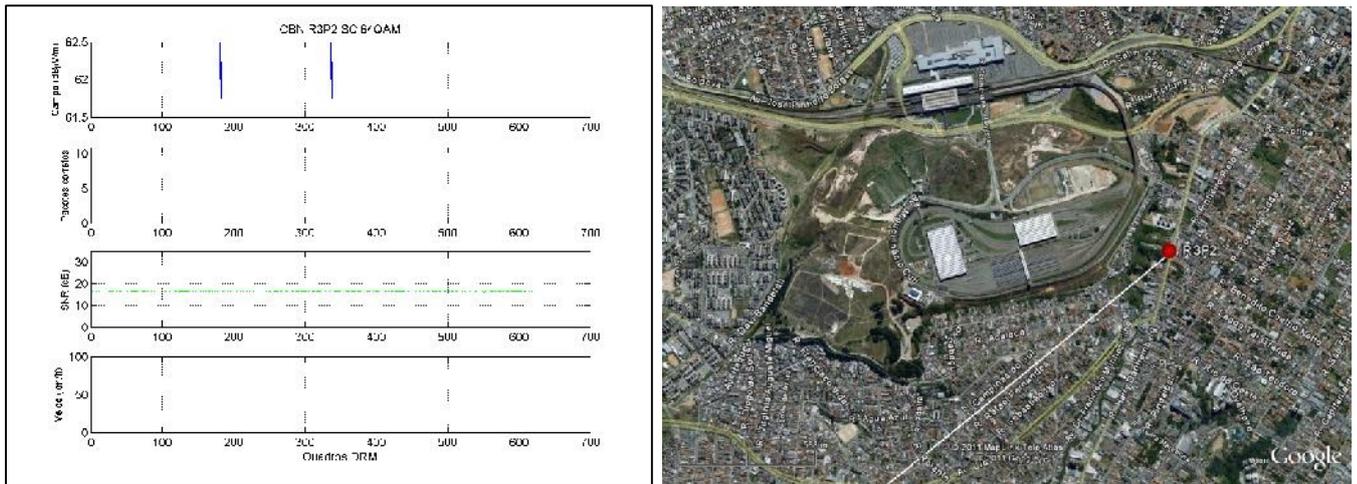


Figura 59 - Medições noturnas em 64QAM de R3P2, Rádio CBN

No áudio de R3P2 há completo silêncio.

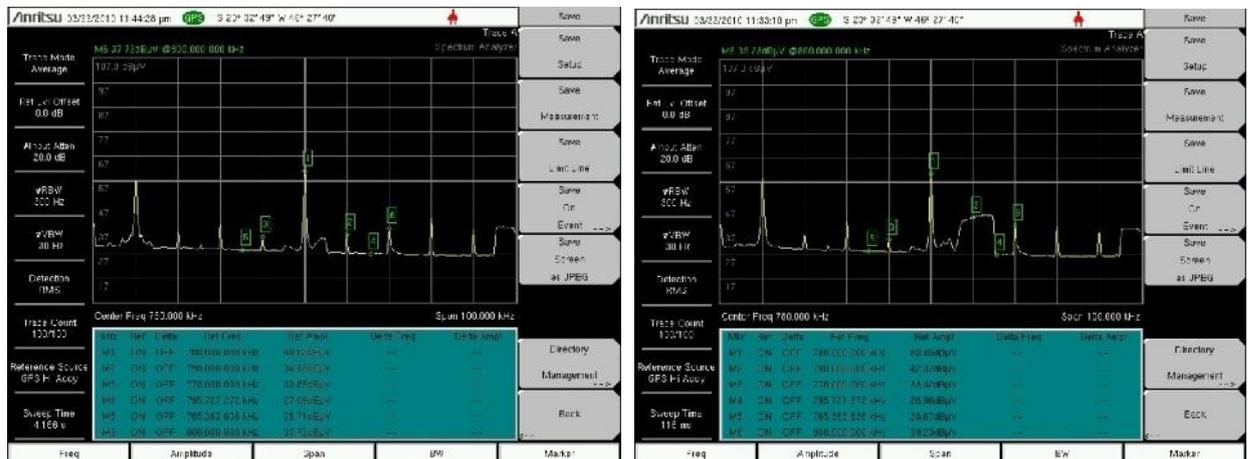


Figura 60 – Registros do espectro em R3P2 64QAM: analógico (esq), simulcast (dir)

O local de medição de R3P2 estava próximo ao terminal do metrô Itaquera. As intensidades de campo registradas nas duas medições, 16QAM e 64QAM, estiveram similares (76 e 75,1 dBµV/m respectivamente), no entanto somente em 64QAM a recepção foi ruim (AQ=0%). O sinal interferente apresentado na Figura 60 para medição em 64QAM parece ser o mesmo observado na medição em 16QAM. O valor de SNR em 64QAM (16,5 dB) foi maior do que em 16QAM (14,8 dB), tendo ficado abaixo do limiar na medição em 64QAM. Diante do mesmo interferente, o modo 16QAM, mais robusto que o modo 64QAM, foi capaz de decodificar os quadros de áudio atendendo o critério de AQ=98%, que caracteriza a “boa” recepção.

Rota/Ponto R2P4

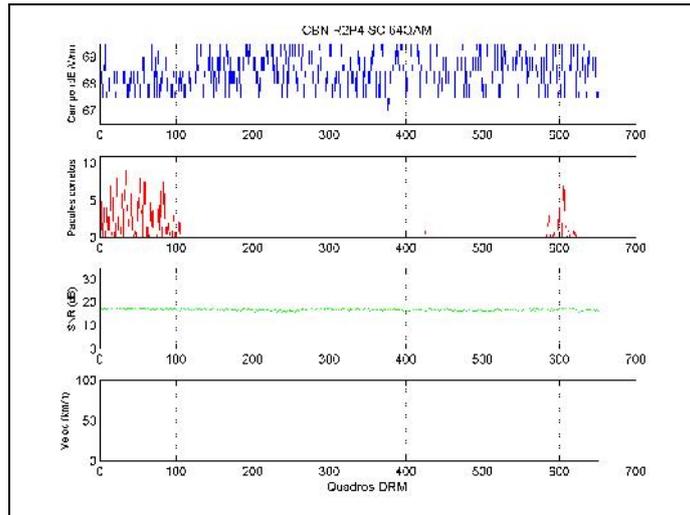


Figura 61 - Medições noturnas em 64QAM de R2P4, Rádio CBN

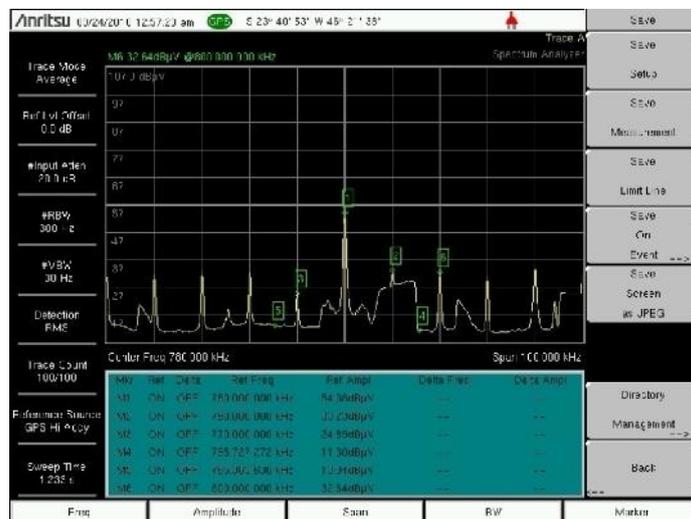


Figura 62 - Registro do espectro em R2P4, 64QAM, simulcast

No áudio de R2P4 há longos trechos de silêncio e distorções. A Figura 62 apresenta a imagem do analisador de espectro na situação com o sinal DRM30 ligado (Marker 2). As medições em R2P4 tiveram recepção ruim nos dois casos (AQ=87,41% em 16QAM e 0% em 64QAM). Assim como na medição em 16QAM (Figura 56), também são observados vários sinais interferentes, o que pode ter ocasionado a degradação da recepção do sinal digital em R2P4.

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 20 km é onde ocorre o limiar de intensidade de campo elétrico para medições noturnas em 64QAM. Até a distância de 15 km houve 1 ponto com  $AQ < 98\%$ .

Modulação 64QAM - Noturno		
Cobertura	Limiar de intensidade de campo elétrico	SNR
Entre 15 e 20 km	Entre 65 e 70 dB $\mu$ V/m	Entre 16,5 e 18,7 dB

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

Modulação 64QAM - Noturno		
	Pontos	Percentual
Total	9	100%
AQ $\geq$ 98%	7	77,8%
90% $\leq$ AQ<98%	0	0%
AQ<90%	2	22,2%

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

#### 4.4.8. Comparação das coberturas dos sistemas digital e 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.

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	R2P1 SC	16 QAM	2.78	100	4.5
2	R2P2 SC	16 QAM	10.52	100	4
3	R2P3 SC	16 QAM	15.94	100	1.5
4	R2P4 SC	16 QAM	20.02	87.41	1
5	R3P1 SC	16 QAM	3.02	100	4.25
6	R3P2 SC	16 QAM	10.26	98.02	2.5
7	R3P3 SC	16 QAM	15.85	100	3.75
8	R3P4 SC	16 QAM	19.96	100	3

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

Os valores da Tabela 37 são apresentados nos mapas das Figura 63. 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 entre 28 km a 34 km, em azul.

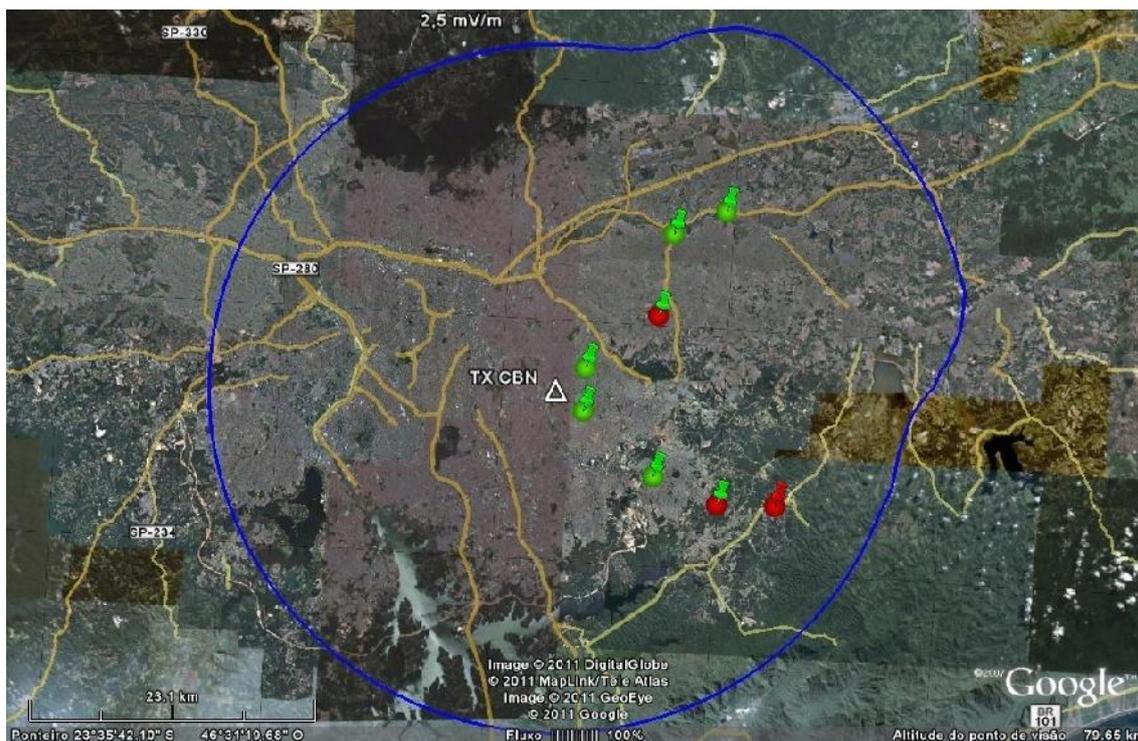


Figura 63 - Mapa da comparação entre sinal digital 16QAM noturno e sinal analog. noturno

As rotas radiais noturnas R2 e R3 apresentam comportamento de  $AQ \geq 98\%$  na maioria de seus pontos fixos. Dos 8 pontos medidos, o sinal teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 7 pontos, e o sinal analógico teve 5 pontos com recepção boa (verde). Em termos de cobertura, em 5 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 2 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim e em 1 ponto os dois estiveram ruins.

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

Transmissão 16QAM	Total
Pontos fixos medidos	8
Pontos $AQ \geq 98\%$	7 (88%)
Sinal analógico com boa recepção	5 (63%)
Comparação de cobertura (*):	
Recepção boa digital e analógica	5
Recepção digital melhor	2
Recepção analógica melhor	0
Recepção ruim digital e analógica	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	R2P1 SC	64 QAM	2.78	99.63	4.5
2	R2P2 SC	64 QAM	10.52	99.72	4
3	R2P3 SC	64 QAM	15.94	100	1.5
4	R2P4 SC	64 QAM	20.02	0	1
5	R3P1 SC	64 QAM	3.03	100	4.25
6	R3P2 SC	64 QAM	10.26	0	2.5
7	R3P3 SC	64 QAM	15.85	100	3.75
8	R3P4 SC	64 QAM	19.95	99.98	3

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

Os valores da Tabela 39 são apresentados no mapa da Figura 64. 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 entre 28 km a 34 km, em verde.

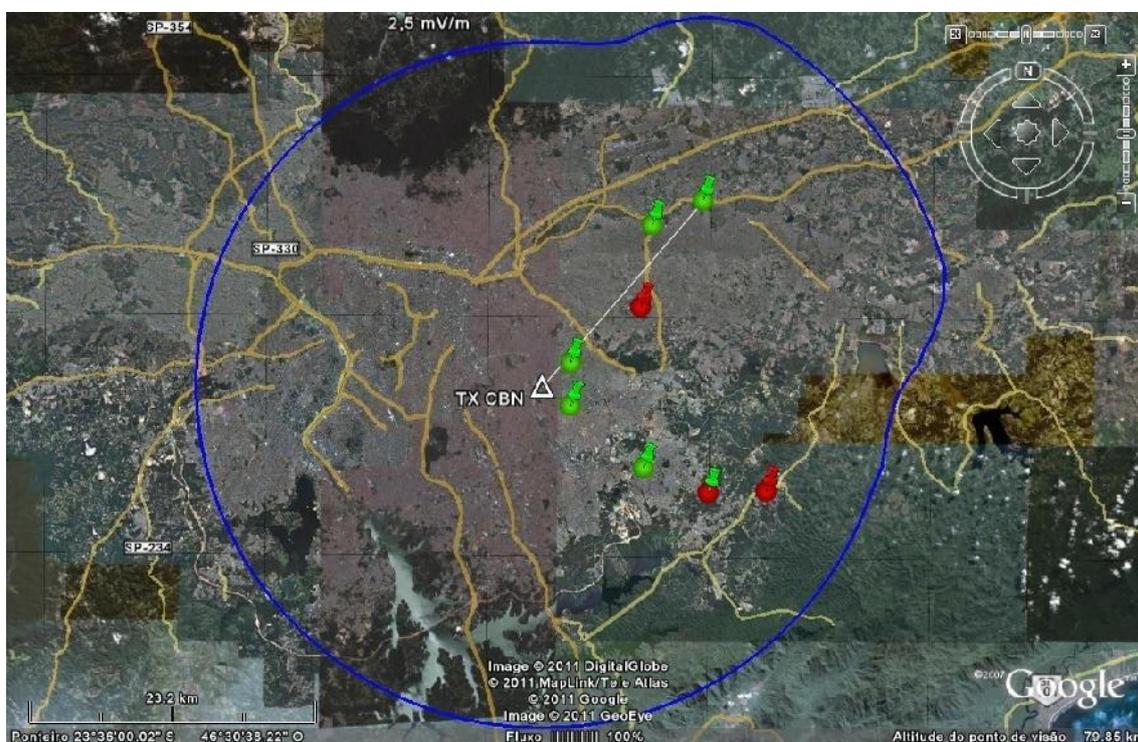


Figura 64 - Mapa da comparação entre sinal dig. 64QAM noturno e sinal analógico noturno

Dos 8 pontos medidos, o sinal digital teve recepção com  $AQ \geq 98\%$  em 6 pontos, e o sinal analógico teve 5 pontos com recepção boa (verde). Em termos de cobertura, em 5 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 1 ponto o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim, e em 2 pontos os dois estiveram ruins.

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

<b>Transmissão 64QAM</b>	<b>Total</b>
Pontos fixos medidos	8
Pontos AQ $\geq$ 98%	6 (75%)
Sinal analógico com boa recepção	5 (63%)
<b>Comparação de cobertura (*):</b>	
Recepção boa digital e analógica	5
Recepção digital melhor	1
Recepção analógica melhor	0
Recepção ruim digital e analógica	2

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

#### 4.4.9. Conclusões sobre resultados das medições noturnas da Rádio CBN

A análise dos testes noturnos do sistema DRM30 em transmissão *simulcast* com o sinal da Rádio CBN AM em São Paulo, no mês de março de 2010, apresentou os seguintes resultados de desempenho:

- Na campanha de testes noturnos foram obtidos pouco pontos de medição (8 em 16QAM e 9 em 64QAM) em relação à campanha diurna, e as análises foram realizadas dentro deste cenário.
- As medições de intensidade de campo elétrico noturno seguem a tendência do modelo de predição da Anatel, e as diferenças observadas entre valores medidos e teóricos devem-se a vários 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 em áreas extensas, 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. Além disso, provavelmente existem sinais interferentes adicionando-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 entre 13 e 14,8 dB em 16QAM e entre 16,5 e 18,7 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. 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 dos valores medidos de SNR diurnos e noturnos sugere que o comportamento do canal noturno de São Paulo foi similar ao comportamento diurno. 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.
- 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 vegetação, de linhas de alta tensão e de estruturas metálicas (caso da proximidade com a estação do metrô de Itaquera).
- A transmissão em 16QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu distância entre 15 e 20 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo elétrico entre 70 e 75 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital dentro desta distância é de 88%.
- A transmissão em 64QAM com qualidade de áudio digital igual ou maior que 98% atingiu distância entre 15 e 20 km do transmissor, com limiar de intensidade de campo elétrico entre 65 e 70 dB $\mu$ V/m. O percentual de cobertura digital dentro desta distância é de 77,8%.
- A extensão da cobertura do sinal digital com configuração de 16QAM e 64QAM, onde a qualidade do áudio esteve igual ou acima de 98%, ocorreu entre 15 e 20 km nos dois casos. A avaliação subjetiva do áudio analógico AM obtido nesta campanha de testes apresentou resultados de medições com recepção “boa” até cerca de 20 km, tendo entretanto pontos com recepção “ruim” em 15 e 20 km. Um ponto a 10 km teve o áudio classificado como “recepção pobre”, onde o ruído é audível e incômodo para o ouvinte.

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 o sistema apresentou área de cobertura similar à cobertura analógica obtida nesta campanha de testes.

- 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 8 pontos medidos no caso 16QAM, houve 7 onde  $AQ \geq 98\%$ . Em termos de cobertura, em 5 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 2 pontos o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim, e em 1 ponto os dois estiveram ruins. A cobertura digital noturna em 16QAM atendeu 88% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 63% dos pontos.

Para 64QAM, dentre os 8 pontos medidos, houve 6 onde  $AQ \geq 98\%$ . Em termos de cobertura, em 5 pontos a qualidade dos sinais digital e analógico esteve boa, em 1 ponto o sinal digital esteve bom e o analógico ruim, em nenhum ponto o sinal analógico esteve bom e o digital ruim, e em 2 pontos os dois estiveram ruins. A cobertura digital

em 64QAM atendeu 75% dos pontos medidos e a cobertura analógica atendeu 63% dos pontos.

- No período noturno verificou-se maior robustez na transmissão 16QAM. A situação do ponto R3P2 mostra que as intensidades de campo registradas nas duas medições, 16QAM e 64QAM, estiveram similares (76 e 75,1 dB $\mu$ V/m respectivamente), no entanto somente em 64QAM a recepção foi ruim (AQ=0%). O sinal interferente registrado na medição em 64QAM foi o mesmo observado na medição em 16QAM. O valor de SNR em 64QAM (16,5 dB) foi maior do que em 16QAM (14,8 dB), tendo ficado abaixo do limiar na medição em 64QAM. Diante da mesma situação de interferência, o modo 16QAM, mais robusto que o modo 64QAM, foi capaz de decodificar os quadros de áudio atendendo o critério de AQ=98%, que caracteriza a “boa” recepção.

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

O efeito do sinal DRM30 na recepção analógica foi medido com dois receptores comerciais, Motobras (baixo custo) e NKS (médio custo). Os resultados comparativos entre a transmissão do sinal analógico (sinal DRM30 desligado) e a transmissão *simulcast* (sinal DRM30 ligado) são apresentados na Figura 65. O áudio obtido com estes receptores foi gravado e avaliado subjetivamente conforme as diretrizes da Recomendação UIT-R BS.1284 [24], já descritas no item 4.3.5 deste documento. Conforme discutido no item 4.3.5, notas acima de 3 são consideradas como Recepção Boa.

As gravações do áudio foram realizadas nas rotas R2, R3 e R7 durante o período noturno no modo 16QAM, e em R3 modo 64QAM. Foram considerados os áudios com classificação de Recepção Boa, pois na Recepção Pobre ou Ruim a avaliação fica comprometida devido à presença de ruído externo. Os gráficos da Figura 65 apresentam a comparação entre resultados da avaliação subjetiva de áudio gravado durante transmissão analógica (DRM30 “off”) e simulcast (DRM30 “on”) dos receptores comerciais mencionados.

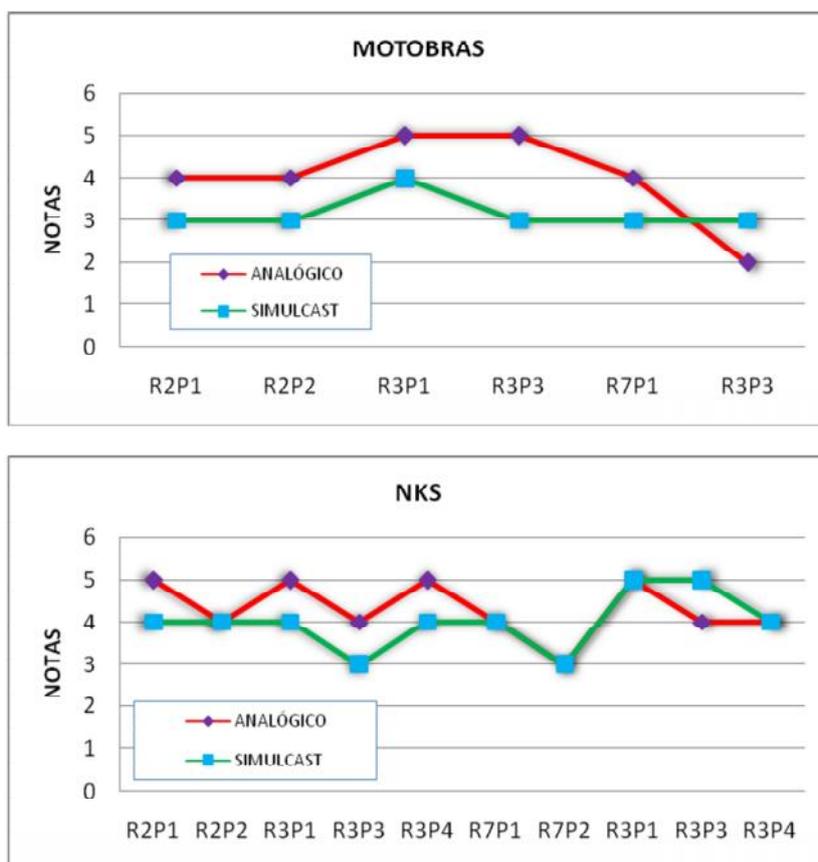


Figura 65 – Avaliação subjetiva do áudio de receptores comerciais

São feitas as seguintes observações a partir das avaliações subjetivas:

- Todos os áudios gravados classificados com Recepção Boa no analógico (nota  $\geq 3$ ) tiveram Recepção Boa no *simulcast*. Isto sugere que o sinal DRM30 não degrada significativamente a recepção AM.

- Há poucos áudios simulcast com nota 5, então algum ruído é introduzido pela presença do sinal DRM30.
- Com o receptor Motobras a maioria dos áudios *simulcast* foi avaliada com nota 3, ainda que o analógico tenha recebido notas 4 e 5. A nota 3 representa qualidade razoável e significa um efeito “levemente incômodo” [24] no áudio. Assim o ruído produzido pelo DRM30 no receptor Motobras é pequeno e aceitável pelos ouvintes. Sendo este receptor de baixo custo, por suas características é mais susceptível ao ruído do sinal DRM30.
- Com o receptor NKS a maioria dos áudios *simulcast* foi avaliada com nota 4, ainda que o analógico tenha recebido notas 4 e 5. A nota 4 representa qualidade boa e significa um efeito “perceptível, mas não incômodo” [24]. O ruído produzido pela presença do sinal DRM30 neste receptor foi pequeno e pouco perceptível para os ouvintes

O resultado da avaliação mostra que o ruído do sinal DRM30 é perceptível porém aceitável para os ouvintes, e possui nível similar nos vários pontos avaliados dentro da área de cobertura.

#### 4.5.1. Considerações sobre sinal AM da Rádio CBN

As figuras a seguir apresentam imagens do analisador de espectro da Rádio Cultura AM e Rádio CBN AM.

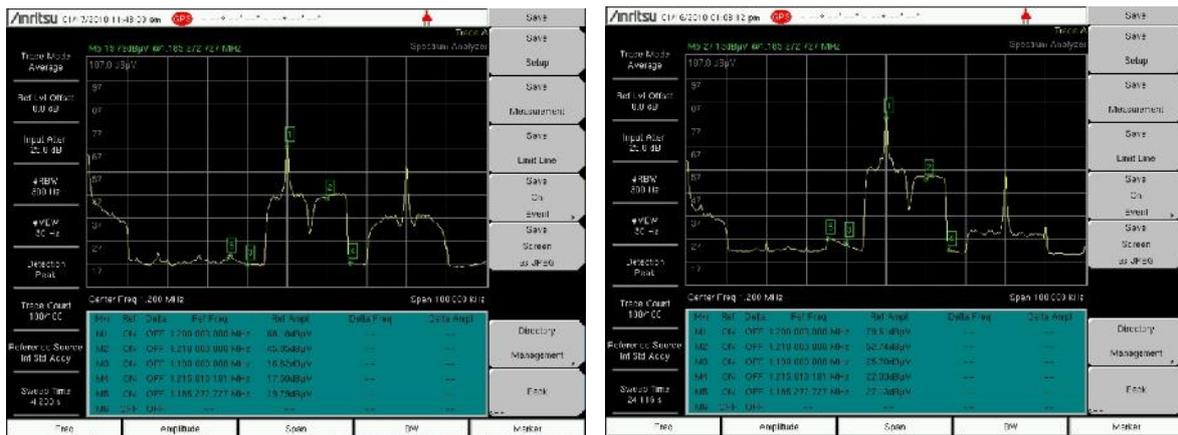


Figura 66 – Espectros gravados durante medições da Rádio Cultura AM

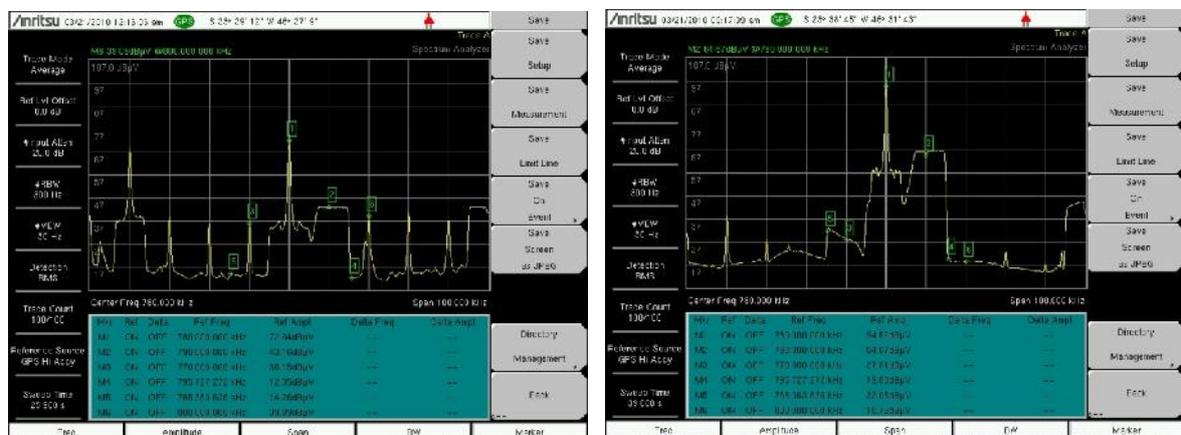


Figura 67- Espectros gravados durante medições da Rádio CBN

Observa-se que o nível do sinal DRM30 é menor ou igual ao nível das bandas laterais AM da Rádio Cultura, porém é maior na Rádio CBN. Nesta situação espera-se mais interferência do sinal DRM30 no sinal analógico da Rádio CBN.

A diferença entre a portadora AM e bandas laterais AM na Rádio Cultura é cerca de 15 dB, enquanto que na Rádio CBN é 35 dB. Isto demonstra que o índice de modulação da Rádio CBN é inferior ao da Rádio Cultura, o que indica que o sinal da Rádio CBN estava submodulado durante os testes.

#### **4.5.2. Conclusões sobre impacto do sinal DRM30 no sinal analógico hospedeiro**

Considerando-se que o sinal AM estava submodulado, o efeito do sinal DRM30 sobre o analógico poderia aumentar nesta situação. Estando o nível de sinal DRM30 maior que as subbandas AM, mais interferência é esperada sobre o sistema analógico.

O resultado da avaliação demonstrou que o sinal DRM30 não degradou significativamente a recepção AM, uma vez que o ruído adicionado foi perceptível porém aceitável para os ouvintes, ainda que tenha sido maior em receptor de baixo custo e reduzido em receptor de médio custo. O ruído recebido no sinal AM devido ao sinal DRM30 possui nível similar em vários pontos dentro da área de cobertura.

#### 4.6. Resultados das medições em mobilidade

Neste capítulo são apresentados os resultados das medições em mobilidade da transmissão *simulcast* da Rádio CBN AM registradas na unidade móvel sobre as rotas estabelecidas, conforme descrito no item 4.2. O registro dos pacotes de 400 ms é feito continuamente durante o percurso da rota. No Anexo IV são apresentadas as medições contínuas de cada rota separadamente.

Para melhor visualização do resultado geral, são apresentadas as medições de AQ calculado a cada 100 metros, para todas as rotas, na Figura 68 até Figura 71. Nestas figuras, os pontos em verde são  $AQ \geq 98\%$ , em amarelo está o intervalo  $90\% \leq AQ < 98\%$  e em vermelho os pontos onde  $AQ < 90\%$ .

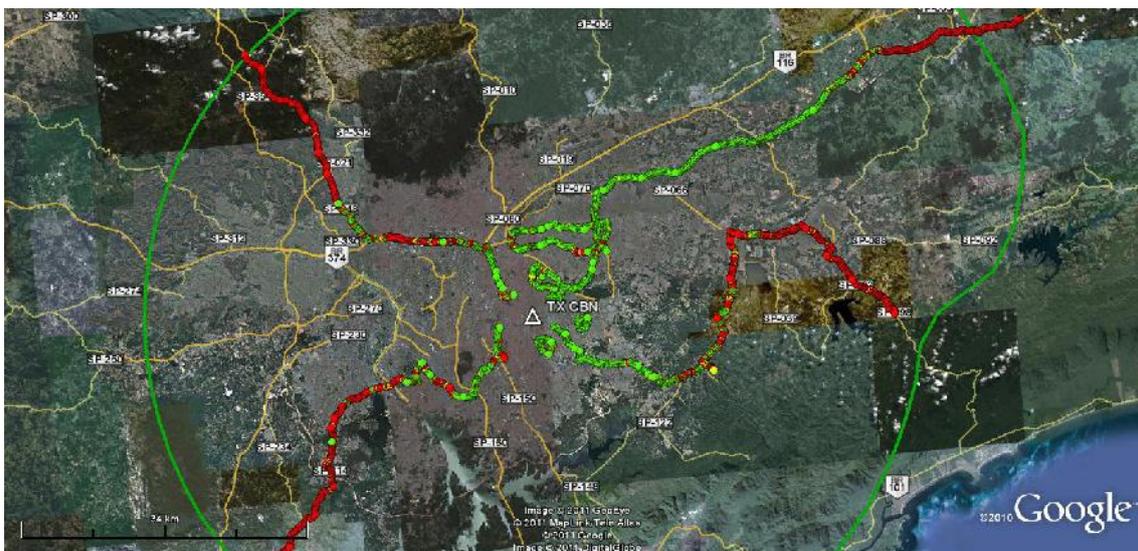


Figura 68 – Parâmetro AQ, medições diurnas 16QAM, Rádio CBN AM

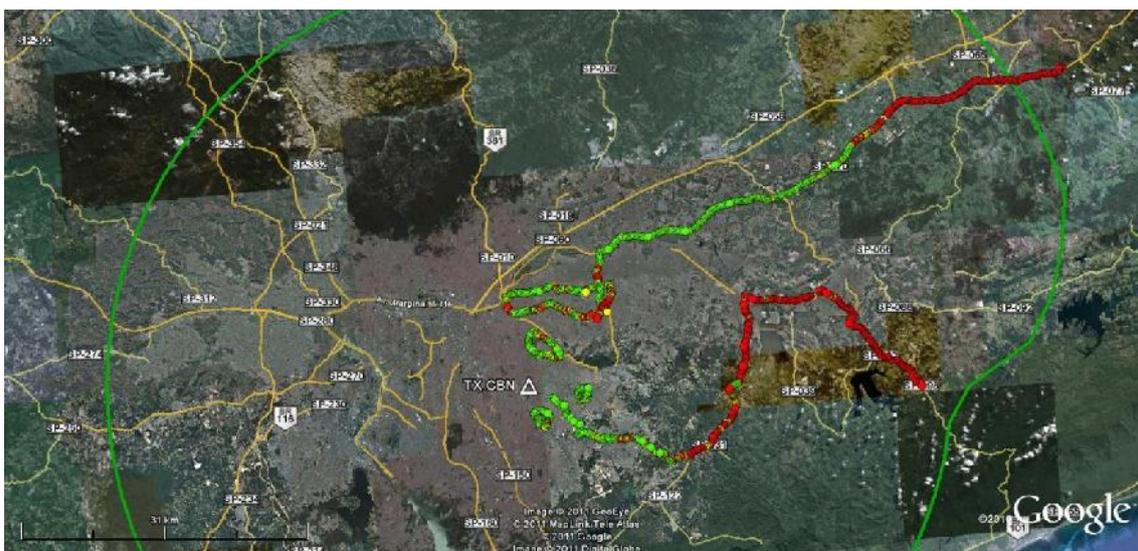


Figura 69 – Parâmetro AQ, medições diurnas 64QAM, Rádio CBN AM

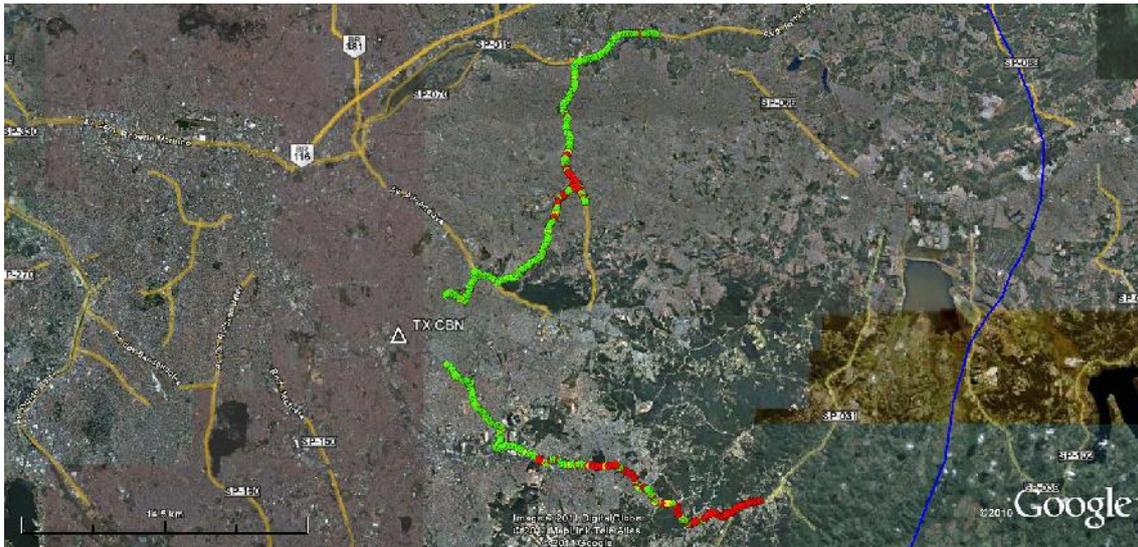


Figura 70 – Parâmetro AQ, medições noturnas 16QAM, Rádio CBN AM



Figura 71 – Parâmetro AQ, medições noturnas 64QAM, Rádio CBN AM

Os trechos de rotas percorridos, a duração, o comprimento dos trechos e os valores medidos de intensidade de campo elétrico mediano, relação sinal-ruído mediano (SNR) e qualidade de áudio (AQ) por trecho são apresentados na Tabela 41 a Tabela 44 para as medições diurnas e noturnas nas duas modulações. Na análise de mobilidade o parâmetro AQ é calculado para os trechos de rotas (percurso entre pontos fixos de medição) apresentando o percentual de pacotes de áudio decodificados corretamente em cada trecho de rota de medição.

O resultado de AQ apresentado nas tabelas a seguir refere-se ao AQ calculado para cada trecho de rota. As medições em mobilidade no modo 16QAM diurno foram realizadas em 35 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 20 trechos. As medições no modo 64QAM diurno foram realizadas em 27 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 13 trechos. Nas rotas circulares, localizadas próximas do transmissor, o valor de AQ esteve acima de 98% em 15 dentre 17 trechos de rotas. Nos dois trechos com AQ abaixo de 98% o menor valor obtido foi AQ=94,5%.

Rota	Trecho	Modulação	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	AQ (%)
R2	R2P1 to R2P2	16QAM	25.0	35.46	28.62	100
R2	R2P2 to R2P3	16QAM	25.1	24.60	26.55	98.58
R2	R2P3 to R2P4	16QAM	90.4	132.03	16.88	78.96
R2	R2P4 to R2P5	16QAM	27.7	65.40	10.00	26.56
R2	R2Ref to R2P1	16QAM	19.3	17.56	27.08	93.48
R3	R3P1 to R3P2	16QAM	28.0	35.55	28.29	99.74
R3	R3P2 to R3P3	16QAM	20.6	35.48	25.04	97.70
R3	R3P3 to R3P4	16QAM	18.7	63.19	26.26	100.00
R3	R3P4 to R3P5	16QAM	14.2	55.98	17.68	99.87
R3	R3P5 to R3P6	16QAM	23.6	87.69	10.96	41.23
R6	R6P1 to R6P2	16QAM	23.2	33.46	25.74	96.33
R6	R6P2 to R6P3	16QAM	41.9	50.56	23.02	89.52
R6	R6P3 to R6P4	16QAM	51.6	60.32	12.32	51.30
R6	R6P4 to R6P5	16QAM	30.6	59.08	6.85	13.01
R7	R7P1 to R7P2	16QAM	18.3	32.32	27.17	97.16
R7	R7P2 to R7P3	16QAM	19.2	51.16	17.57	69.28
R7	R7P3 to R7P4	16QAM	11.1	31.18	16.31	80.97
R7	R7P4 to R7P5	16QAM	17.6	66.62	9.54	23.83
C1	C1P1 to C1P2	16QAM	13.5	23.95	28.39	94.52
C1	C1P2 to C1P3	16QAM	15.1	20.47	30.92	99.68
C1	C1P3 to C1P4	16QAM	12.8	17.63	30.49	99.89
C5	C5P1 to C5P2	16QAM	3.4	3.46	28.79	100
C5	C5P2 to C5P3	16QAM	6.8	6.09	27.75	99.15
C5	C5P3 to C5P4	16QAM	9.1	6.38	27.20	99.79
C5	C5P4 to C5P5	16QAM	3.2	4.00	28.44	100
C5	C5P5 to C5P1	16QAM	3.2	3.98	28.20	100
C8	C8P1 to C8P2	16QAM	8.3	6.61	28.64	99.88
C8	C8P2 to C8P3	16QAM	8.8	6.84	28.57	99.92
C8	C8P3 to C8P4	16QAM	18.2	17.05	26.11	97.57
C8	C8P4 to C8P5	16QAM	8.7	9.72	26.28	99.51
C8	C8P5 to C8P1	16QAM	7.7	10.02	27.15	99.78
C9	C9P1 to C9P2	16QAM	2.7	3.64	28.46	100
C9	C9P2 to C9P3	16QAM	5.6	3.74	28.89	100
C9	C9P3 to C9P4	16QAM	3.3	4.26	27.77	98.84
C9	C9P4 to C9P1	16QAM	3.9	4.46	26.83	99.98

Tabela 41 – Resultados das medições 16QAM diurnas em movimento, Rádio CBN

Rota	Trecho	Modulação	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	AQ (%)
R2	R2P1 to R2P2	64QAM	22.29	35.48	30.49	99.86
R2	R2P2 to R2P3	64QAM	34.55	23.47	21.43	59.14
R2	R2P3 to R2P4	64QAM	61.97	118.88	17.52	48.67
R2	R2P4 to R2P5	64QAM	24.70	60.95	15.48	15.80
R3	R3P2 to R3P3	64QAM	17.59	31.31	25.00	82.80
R3	R3P3 to R3P4	64QAM	17.91	63.24	27.46	99.99
R3	R3P4 to R3P5	64QAM	16.17	55.82	20.61	98.52
R3	R3P5 to R3P6	64QAM	23.21	89.85	13.97	18.06
C1	C1P1 to C1P2	64QAM	10.99	24.18	24.45	88.96
C1	C1P2 to C1P3	64QAM	15.04	20.47	28.07	97.84
C1	C1P3 to C1P4	64QAM	12.95	17.54	25.13	95.42
C1	C1P4 to C1P5	64QAM	14.49	21.16	25.38	80.64
C1	C1P5 to C1P1	64QAM	10.23	24.96	22.20	93.65

C5	C5P1 to C5P2	64QAM	2.81	3.50	28.70	100
C5	C5P2 to C5P3	64QAM	7.30	6.10	27.61	96.37
C5	C5P3 to C5P4	64QAM	7.34	6.37	27.37	98.62
C5	C5P4 to C5P5	64QAM	3.63	4.04	28.35	100
C5	C5P5 to C5P1	64QAM	4.67	3.99	27.18	99.30
C8	C8P1 to C8P2	64QAM	5.93	6.38	26.12	98.64
C8	C8P2 to C8P3	64QAM	7.47	6.87	28.39	99.46
C8	C8P3 to C8P4	64QAM	7.63	7.23	28.18	99.98
C8	C8P4 to C8P5	64QAM	7.17	9.66	26.69	92.94
C8	C8P5 to C8P1	64QAM	5.93	10.04	26.91	96.67
C9	C9P1 to C9P2	64QAM	2.51	3.63	28.45	100
C9	C9P2 to C9P3	64QAM	3.58	3.63	28.71	100
C9	C9P3 to C9P4	64QAM	4.61	4.28	27.25	88.11
C9	C9P4 to C9P1	64QAM	4.43	4.46	27.82	98.15

Tabela 42 – Resultados das medições 64QAM diurnas em movimento, Rádio CBN

As medições noturnas em mobilidade no modo 16QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 2 trechos. As medições em 64QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 1 trecho.

Rota	Trecho	Modulação	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	AQ (%)
R2	R2P1 to R2P2	16QAM	25.87	35.31	27.24	99.20
R2	R2P2 to R2P3	16QAM	17.15	24.30	19.11	85.74
R2	R2P3 to R2P4	16QAM	10.85	21.10	11.81	51.14
R3	R3P1 to R3P2	16QAM	28.03	36.33	25.41	97.54
R3	R3P2 to R3P3	16QAM	19.55	35.66	20.30	85.33
R3	R3P3 to R3P4	16QAM	5.87	18.75	25.28	99.98

Tabela 43 - Resultados das medições 16QAM noturnas em movimento, Rádio CBN

Rota	Trecho	Modulação	Duração (min)	Comprimento (km)	SNR Mediano (dB)	AQ (%)
R2	R2P1ToR2P2	64QAM	21.40	35.29	26.30	93.20
R2	R2P2ToR2P3	64QAM	13.65	22.93	16.83	38.40
R2	R2P3ToR2P4	64QAM	11.07	21.14	16.57	34.08
R3	R3P1ToR3P2	64QAM	22.34	35.45	27.65	95.80
R3	R3P2ToR3P3	64QAM	17.01	35.51	22.08	78.85
R3	R3P3ToR3P4	64QAM	11.54	30.57	25.52	98.35

Tabela 44 - Resultados das medições 64QAM noturnas em movimento, Rádio CBN

Os resultados dos parâmetros medidos de qualidade de áudio (AQ) e relação sinal-ruído são apresentados na forma de mapa para todas as rotas percorridas. Cada ponto de medição mostrado nos mapas corresponde ao registro de um pacote de 400 ms e seu respectivo resultado de AQ e SNR.

No caso dos valores de AQ, a apresentação é feita em duas cores: verde o ponto onde os pacotes tiveram 8 ou mais quadros de áudio decodificados corretamente, e vermelho para menos de 8 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 nesta análise são aqueles obtidos na análise de pontos fixos, referentes ao primeiro ponto onde  $AQ \geq 98\%$ . Cada caso é reapresentado na Tabela 45.

Modulação/Modo Robustez/Ocupação do espectro/Taxa Codificação	Período	SNR medido (dB)
16QAM/A3/0.62	Diurno	15,1
64QAM/A3/0.6	Diurno	19,3
16QAM/B3/0.62	Noturno	14,8
64QAM/B3/0.6	Noturno	18,7

Tabela 45 – Valores dos SNR limiares diurnos e noturnos empregados na análise de mobilidade

O Anexo IV apresenta o registro de todas as medições em mobilidade com resultados do parâmetro qualidade de áudio AQ, SNR e as análises comentadas em cada rota.

#### 4.6.1. Conclusões das medições em mobilidade

A análise das medições em mobilidade mostrou que o comportamento da recepção do sinal *simulcast* da Rádio CBN na cidade de São Paulo, sobre as rotas estabelecidas para teste.

Em termos de levantamento dos resultados, as medições diurnas em mobilidade no modo 16QAM foram realizadas em 35 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 20 trechos. As medições em 64QAM foram realizadas em 27 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 13 trechos. Nas rotas circulares, localizadas próximas do transmissor, o valor de AQ esteve acima de 98% em 15 dentre 17 trechos de rotas. Nos dois trechos com AQ abaixo de 98% o menor valor obtido foi  $AQ=94,5\%$ .

As medições noturnas em mobilidade no modo 16QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 2 trechos. As medições em 64QAM foram realizadas em 6 trechos, e a qualidade de áudio esteve acima de 98% em 1 trecho.

As análises em cada trecho de rota mostraram que a recepção do sinal digital é afetada pela presença de linhas férreas, linhas de alta tensão e ocupação do terreno. A rota R3 apresentou recepção boa em vários de seus trechos em função da topologia do terreno e também pelo fato do percurso da rota ter atingido região com condutividade do solo maior do que o valor da região do local de transmissão, o que produziu aumento na intensidade de campo elétrico nos trechos finais da R3.

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 DRM30

#### 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 5 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 DRM30 explora as propriedades de propagação das bandas AM. A introdução de serviços DRM30 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 sistemas 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 Pitro 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 realizadas 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 a locais de alto tráfego de automóveis, enquanto que a distribuição lognormal representa bem as outras regiões urbanas. O comportamento da intensidade de campo elétrico 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 50 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 DRM 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.

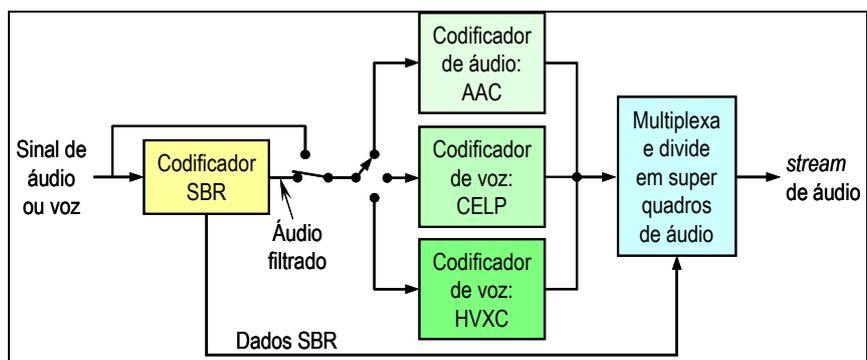


Figura A.1 - Opções de codificação de fonte (áudio ou voz) disponíveis no sistema DRM30

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 CBN

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	R2P1	16 QAM	23°37'11.1" S	46°30'58.56" W	2.78
2	R2P2	16 QAM	23°39'52.68" S	46°27'28.2" W	10.53
3	R2P3	16 QAM	23°40'56.88" S	46°24'23.76" W	15.94
4	R2P4	16 QAM	23°32'31.92" S	46°13'48.84" W	32.28
5	R3P1	16 QAM	23°35'17.88" S	46°30'58.26" W	3.02
6	R3P2	16 QAM	23°32'49.5" S	46°27'40.38" W	10.26
7	R3P3	16 QAM	23°29'12.48" S	46°27'9.9" W	15.85
8	R3P4	16 QAM	23°26'33" S	46°18'2.76" W	30.31
9	R3P5	16 QAM	23°23'28.74" S	46°10'3.9" W	44.73
10	R6P1	16 QAM	23°36'54.66" S	46°34'41.4" W	4.14
11	R6P2	16 QAM	23°40'9.24" S	46°36'39" W	10.16
12	R6P3	16 QAM	23°39'48.6" S	46°41'23.1" W	16.66
13	R6P4	16 QAM	23°44'47.46" S	46°47'32.28" W	30.18
14	R7P1	16 QAM	23°34'54.18" S	46°33'29.82" W	3.32
15	R7P2	16 QAM	23°31'38.46" S	46°35'35.16" W	10.31
16	R7P3	16 QAM	23°30'7.14" S	46°43'33.06" W	22.28
17	R7P4	16 QAM	23°25'58.92" S	46°45'36.12" W	29.60
18	R7P5	16 QAM	23°17'54.84" S	46°50'26.88" W	45.93
19	C1P1	16 QAM	23°31'56.4" S	46°31'47.7" W	8.19
20	C1P2	16 QAM	23°30'54.84" S	46°32'57.6" W	10.09
21	C1P3	16 QAM	23°30'54.12" S	46°29'52.92" W	10.88
22	C1P5	16 QAM	23°32'35.1" S	46°28'8.76" W	9.95
23	C5P1	16 QAM	23°37'56.04" S	46°32'7.44" W	2.94
24	C5P2	16 QAM	23°37'54.9" S	46°31'34.2" W	3.17
25	C5P3	16 QAM	23°38'27.78" S	46°31'20.22" W	4.25
26	C5P4	16 QAM	23°38'46.98" S	46°31'38.82" W	4.64
27	C5P5	16 QAM	23°38'22.68" S	46°31'58.44" W	3.79
28	C5REF	16 QAM	23°38'45.9" S	46°31'43.02" W	4.58
29	C8P1	16 QAM	23°34'48.42" S	46°30'11.04" W	4.63
30	C8P2	16 QAM	23°34'35.04" S	46°31'5.64" W	3.88
31	C8P3	16 QAM	23°34'18.42" S	46°31'54.9" W	3.84
32	C8P4	16 QAM	23°33'29.22" S	46°32'4.08" W	5.30
33	C8P5	16 QAM	23°33'47.52" S	46°30'55.32" W	5.30
34	C9P1	16 QAM	23°37'27.24" S	46°29'11.04" W	5.73
35	C9P2	16 QAM	23°36'56.64" S	46°29'16.68" W	5.31
36	C9P3	16 QAM	23°36'45.84" S	46°28'50.76" W	5.98
37	C9P4	16 QAM	23°37'7.92" S	46°28'41.76" W	6.35

Tabela III 1 – Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	R2P1	64 QAM	23°35'17.7" S	46°30'58.2" W	2.78
2	R2P2	64 QAM	23°32'49.62" S	46°27'40.08" W	10.52
3	R2P3	64 QAM	23°29'12.48" S	46°27'9.9" W	15.94
4	R2P4	64 QAM	23°26'33.06" S	46°18'3" W	32.28
5	R2P5	64 QAM	23°23'30.06" S	46°10'6.36" W	42.61
6	R2REF	64 QAM	23°20'16.68" S	45°56'40.14" W	4.58
7	R3P1	64 QAM	23°35'17.7" S	46°30'58.2" W	3.03
8	R3P2	64 QAM	23°32'49.62" S	46°27'40.08" W	10.26
9	R3P3	64 QAM	23°29'12.48" S	46°27'9.9" W	15.85

10	R3P4	64 QAM	23°26'33.06" S	46°18'3" W	30.30
11	R3P5	64 QAM	23°23'30.06" S	46°10'6.36" W	44.65
12	R6P1	64 QAM	23°36'54.42" S	46°34'43.2" W	4.19
13	R6P2	64 QAM	23°40'9.24" S	46°36'39" W	10.16
14	R6P3	64 QAM	23°39'48.54" S	46°41'22.92" W	16.66
15	R6P4	64 QAM	23°44'47.4" S	46°47'32.34" W	30.18
16	C1P1	64 QAM	23°31'56.4" S	46°31'47.64" W	8.19
17	C1P2	64 QAM	23°30'54.84" S	46°32'57.6" W	10.09
18	C1P3	64 QAM	23°30'54.3" S	46°29'52.98" W	10.88
19	C1P4	64 QAM	23°30'54.9" S	46°27'16.8" W	13.21
20	C1P5	64 QAM	23°32'34.98" S	46°28'8.82" W	9.95
21	C5P1	64 QAM	23°37'55.86" S	46°32'7.56" W	2.94
22	C5P2	64 QAM	23°37'54.84" S	46°31'34.2" W	3.16
23	C5P3	64 QAM	23°38'27.84" S	46°31'20.22" W	4.25
24	C5P4	64 QAM	23°38'47.04" S	46°31'38.64" W	4.64
25	C5P5	64 QAM	23°38'22.56" S	46°31'58.56" W	3.79
26	C8P1	64 QAM	23°34'48.48" S	46°30'10.98" W	4.63
27	C8P2	64 QAM	23°34'35.28" S	46°31'5.34" W	3.88
28	C8P3	64 QAM	23°34'18.36" S	46°31'54.78" W	3.84
29	C8P4	64 QAM	23°33'29.22" S	46°32'4.08" W	5.30
30	C8P5	64 QAM	23°33'47.4" S	46°30'55.32" W	5.30
31	C9P2	64 QAM	23°36'56.76" S	46°29'16.56" W	5.31
32	C9P3	64 QAM	23°36'45.84" S	46°28'50.76" W	5.98
33	C9P4	64 QAM	23°37'7.8" S	46°28'41.58" W	6.36

Tabela III 2- Informações de localização dos pontos de medição diurnos em 64QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	R2P1 SC	16 QAM	23°37'11.28" S	46°30'58.5" W	2.78
2	R2P2 SC	16 QAM	23°39'52.62" S	46°27'28.32" W	10.52
3	R2P3 SC	16 QAM	23°40'56.82" S	46°24'23.76" W	15.94
4	R2P4 SC	16 QAM	23°40'52.98" S	46°21'38.04" W	20.02
5	R3P1 SC	16 QAM	23°35'18.01" S	46°30'58.14" W	3.02
6	R3P2 SC	16 QAM	23°32'49.44" S	46°27'40.32" W	10.26
7	R3P3 SC	16 QAM	23°29'12.66" S	46°27'9.48" W	15.85
8	R3P4 SC	16 QAM	23°28'6.31" S	46°24'44.76" W	19.96

Tabela III 3- Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 16QAM

Item	Rota/Ponto	Modulação	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)
1	R2P1 SC	64 QAM	23°37'11.28" S	46°30'58.62" W	2.78
2	R2P2 SC	64 QAM	23°39'52.62" S	46°27'28.26" W	10.52
3	R2P3 SC	64 QAM	23°40'56.76" S	46°24'23.7" W	15.94
4	R2P4 SC	64 QAM	23°40'52.92" S	46°21'38.22" W	20.02
5	R2REF SC	64 QAM	23°38'45.84" S	46°31'43.14" W	4.58
6	R3P1 SC	64 QAM	23°32'49.44" S	46°27'40.26" W	3.03
7	R3P2 SC	64 QAM	23°29'12.6" S	46°27'9.54" W	10.26
8	R3P3 SC	64 QAM	23°28'6.18" S	46°24'45" W	15.85
9	R3P4 SC	64 QAM	23°28'6.18" S	46°24'45.06" W	19.95

Tabela III 4 - Informações de localização dos pontos de medição noturnos em 64QAM

### Rota Radial 2 - Sudeste

Pontos Fixos	Localização
R2P1	Av. Ana Clara c/ Rua Francisco Bueno Luis
R2P2	Av. das Nações c/ Rua Lombarda
R2P3	Estr. Taiacupeba (SP 043) 600 metros após sair da Rod. Índio Tibiriçá
R2P4	Rod. Com Paulo Rolim Loureiro (SP-098) - Contorno de 2 mV/m (cerca de 12,4 km após trevo para Mogi das Cruzes - 7 ou 8 km antes da descida brusca da serra)



Figura III. 1 Rota 2

### Rota Radial 3 - Noroeste

Pontos Fixos	Localização
R3P1	R. Sta. Maria do Cambucá com R. George Morland
R3P2	Av. Afonso de Sampaio e Sousa com Av. Aricanduvada
R3P3	Estr. Sta. Isabel com R. Sumaré (Jd. Ns. d'Ajuda)
R3P4	Rod. Gov. Carvalho Pinto, após ponte sobre a Rod. Gen. Euyale de Jesus Zerbine

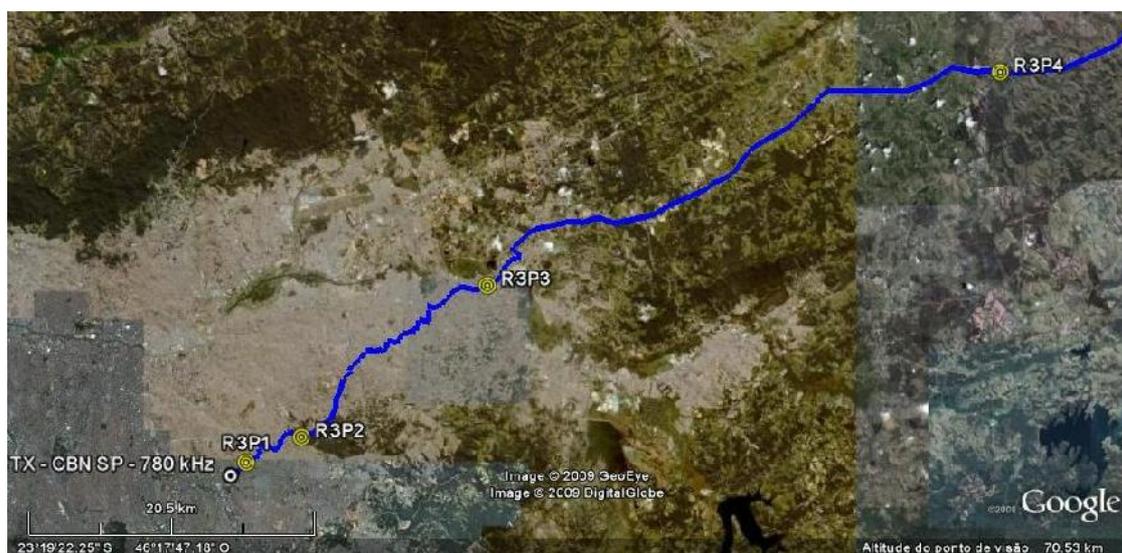


Figura III. 2 – Rota 3

### Rota Radial 6 – Rota Sudoeste

Pontos Fixos	Localização
R6P1	Estacionamento na Rua Felipe Camarão (Próximo a "Refinarias" e Av. Prosperidade)
R6P2	Estacionamento de "supermercado" Av. Goiás com Av. Guido Aliberti
R6P3	Estr. M'boi-mirim - Estacionamento frente à R. João de Abreu (Recanto Paragom)
R6P4	Rod. Régis Bittencourt - após sair da Estr. da Embratel

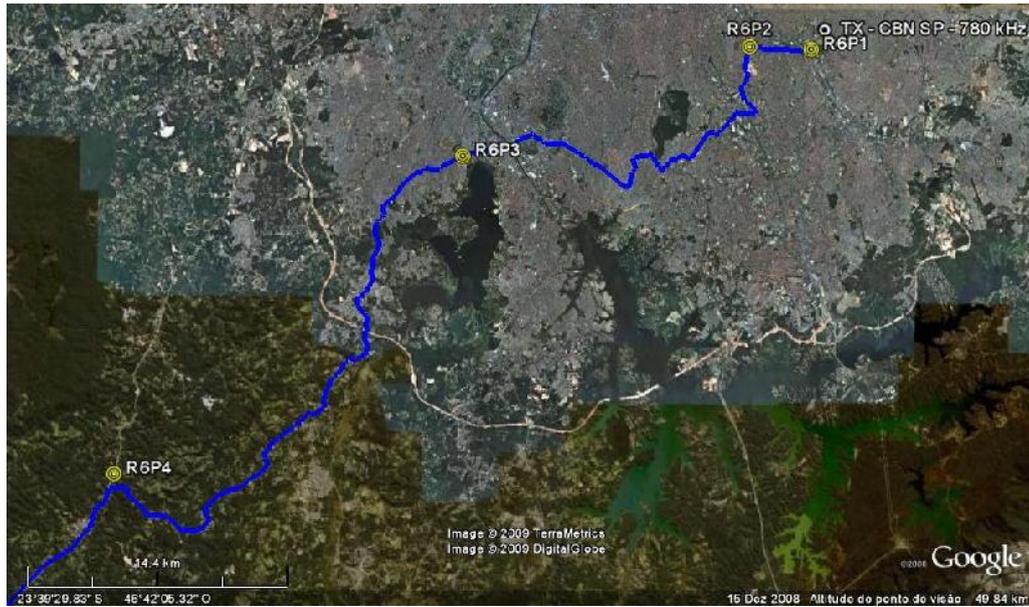


Figura III. 3 – Rota Radial 6

### Rota Radial 7 - Noroeste

Pontos Fixos	Localização
R7P1	R. Firmino Alves com Av. São Lucas (Praça São Lucas)
R7P2	Av. Salim Farah Maluf com Rua do Acre
R7P3	Rod. dos Bandeirantes, após sair da Marginal Tietê
R7P4	Rod. dos Bandeirantes (Restaurante Frango Assado)

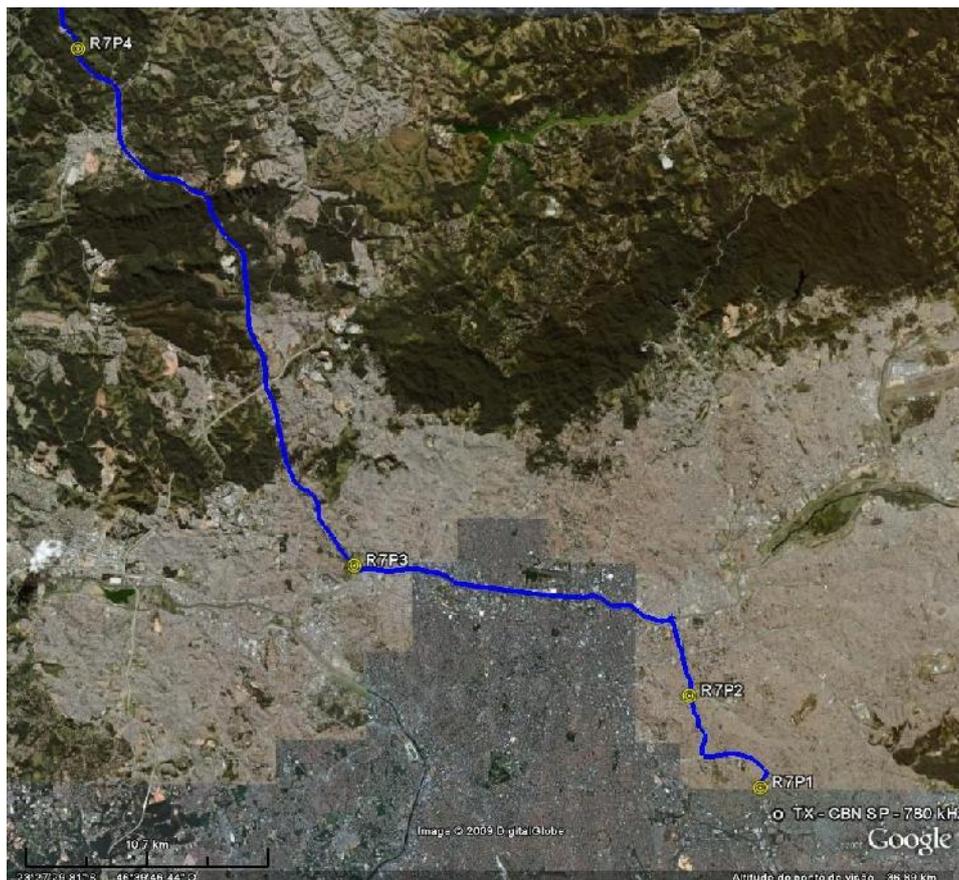


Figura III. 4 – Rota Radial 7

## Rota Circular 1

Pontos Fixos	Localização
C1P1	Avenida Domingos Franciulli Neto - Próximo a prédios e viaduto Tiquatira I
C1P2	Estr de Moji das Cruzes com Rua José Garcia Terra
C1P3	Avenida do Imp. com R. das Uajaras
C1P4	R. Dr. Luís Aires (próximo à Estação de trem (Av. Eng. Ardevan Machado)
C1P5	Av. Conde de Frontin com R. Gil de Oliveira (próximo a uma estação de trem)

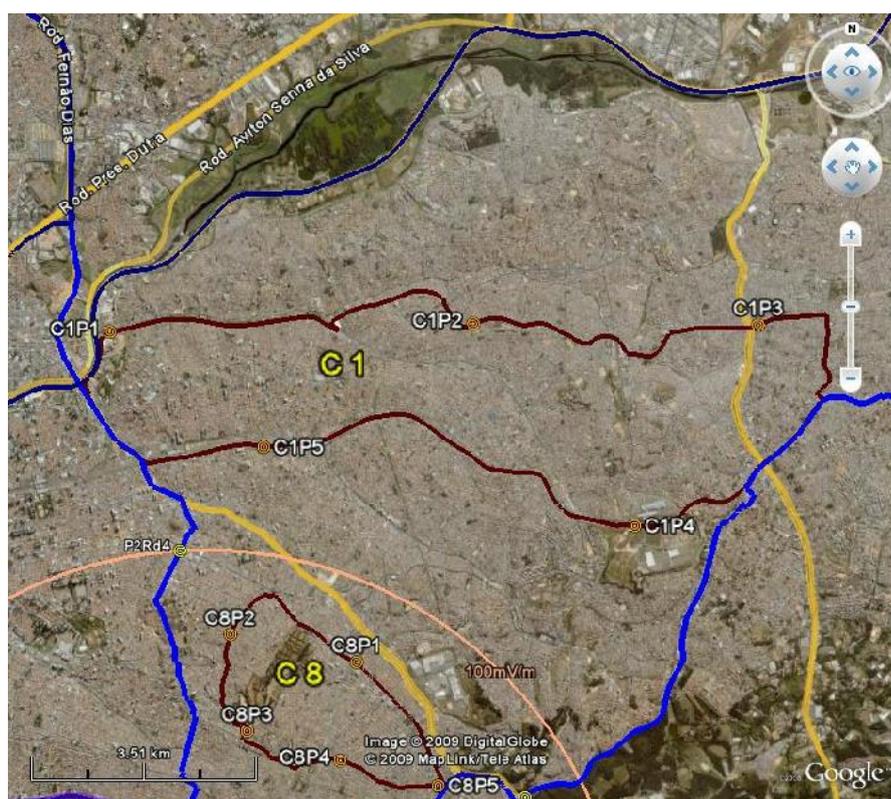


Figura III. 5 – Rota Circular 1



## Rota Circular 8 – Contornos Protegido Diurno

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

Pontos Fixos	Localização
C8P1	Avenida Rio das Pedras com Avenida Mazzaropi.
C8P2	Rua Taubaté com Rua Vacanga.
C8P3	Avenida João XXIII com Rua N. Sra. das Dores.
C8P4	Avenida dos Nacionalistas com R. Eng. José Bach.
C8P5	Avenida Pst. Cícero Canuto de Lima (Praça, após sair da Avenida Rio das Pedras).



Figura III. 7 – Rota Circular 8



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

**CBN**



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

**CBN**



## 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] Broadcasters’ User 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 ES 201 980 v1.2.2 “Digital Radio Mondiale (DRM) System Specification”, 2003
- [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”, Faculdade de Engenharia de Bilbao, Universidade do País Basco, Espanha
- [9] J. M. Matias, D. Guerra, G. Prieto, I. Fernandez, P. Angueira, “Description and Results of the DRM Long term Tests,” Universidade do País Basco, Bilbao, Espanha
- [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”, Department of Electronics & Telecommunications, Bilbao Faculty of Engineering (University of the Basque Country)
- [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, Março 1997
- [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”.