



Serviço Público Federal

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

---

## NOTA TÉCNICA

---

**Nota Técnica: Ditel/027/2012**

**Referência: Medições de Campo do Sistema DRM+ (*Digital Radio Mondiale*) em Baixa Potência na Faixa de FM em Brasília, DF**



# ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>5</b>
<b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....</b>	<b>11</b>
2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....	11
2.2. MODOS DE TRANSMISSÃO DO DRM .....	16
<b>3. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
3.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....	17
3.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO .....	19
3.3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	20
3.4. PLANEJAMENTO DAS ROTAS.....	20
<b>4. RESULTADOS DOS TESTES .....</b>	<b>23</b>
4.1. PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	23
4.2. COMPARAÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DO SINAL ANALÓGICO MEDIDA COM A PREVISÃO TEÓRICA .....	23
4.3. RESULTADOS DO MODO DE TRANSMISSÃO 4QAM.....	24
4.3.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA.....	24
4.3.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO MÓVEL .....	27
4.4. RESULTADOS DO MODO DE TRANSMISSÃO 16QAM.....	29
4.4.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA.....	29
4.4.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA COM RECEPÇÃO MÓVEL .....	32
4.5. RESULTADOS DA RECEPÇÃO ANALÓGICA FM .....	34
4.5.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA EM RECEPÇÃO ESTÁTICA.....	34
4.5.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA RECEPÇÃO DOS ÁUDIOS ANALÓGICO E DIGITAL .....	37
4.6. IMPACTO DO SINAL DIGITAL DRM+ SOBRE O ÁUDIO ANALÓGICO.....	41
<b>5. APÊNDICE.....</b>	<b>42</b>
5.1. SISTEMA DRM .....	42
5.1.1. HISTÓRICO E PADRONIZAÇÃO .....	42
5.1.2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	42
5.1.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	43
5.1.4. TESTES REALIZADOS COM A TECNOLOGIA DRM .....	47
5.2. DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES DRM+ .....	50
5.2.1. R1 - ROTA OESTE (RECANTO DAS EMAS).....	50
5.2.2. R2 - ROTA LESTE (RIACHO FUNDO II).....	51
5.2.3. R3 - ROTA NOROESTE (SAMAMBAIA).....	52
5.2.4. R4 - ROTA NORTE (SAMAMBAIA).....	53
5.2.5. R5 - ROTA SUL (DF 001 EPCT) .....	54
5.2.6. R6 - ROTA SUDOESTE ( RECANTO DAS EMAS).....	55
5.2.7. C1 - ROTA CIRCULAR URBANA – 1 KM DO TRANSMISSOR .....	56
5.2.8. C2 - ROTA CIRCULAR URBANA – 0,5 KM DO TRANSMISSOR .....	57
5.2.9. C3 - ROTA CIRCULAR URBANA – 0,25 KM DO TRANSMISSOR .....	58
5.3. DETALHES DAS ROTAS E PONTOS FIXOS UTILIZADOS NAS MEDIÇÕES DRM+ .....	59
5.4. DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DRM+ .....	61
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>64</b>



## Índice de Figuras

Figura 1-Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS .....	11
Figura 2-Diagrama esquemático do transmissor.....	12
Figura 3-Modulador DRM+ .....	13
Figura 4-Serviço Journaline do DRM+ .....	13
Figura 5-Transmissor DRM+ .....	14
Figura 6-Transmissor analógico.....	14
Figura 7-Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal .....	14
Figura 8- Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 4QAM .....	15
Figura 9-Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 16QAM .....	15
Figura 10- Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição .....	17
Figura 11-Viatura móvel adaptada.....	17
Figura 12- Receptor DRM+ da RF Mondial: front-end (esq.); software do receptor (dir.) .....	18
Figura 13- Antena de recepção modelo Kathrein.....	18
Figura 14-Receptor UniWave .....	18
Figura 15- Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS .....	21
Figura 16-Rotas circulares (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS .....	22
Figura 17-Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico .....	24
Figura 18-Resultado da recepção estática no modo 4QAM.....	25
Figura 19-Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 4QAM .....	26
Figura 20-Limiões da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM.....	27
Figura 21-Resultados da recepção móvel no modo 4QAM .....	28
Figura 22-Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 4QAM.....	29
Figura 23-Resultados da recepção estática no modo 16 QAM .....	30
Figura 24-Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 16QAM .....	30
Figura 25-Limiões de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM.....	31
Figura 26- Resultados da recepção móvel no modo 16QAM .....	32
Figura 27- Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 16QAM.....	33
Figura 28-Avaliação subjetiva do áudio analógico FM .....	35
Figura 29-Recepção estática do áudio analógico no mapa; raios de 1 km e 1,5 km .....	35
Figura 30- Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM .....	36
Figura 31 - Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital modo 4QAM .....	38
Figura 32 - Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital 16QAM .....	40
Figura 33-Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir).....	41
Figura 5.1-Opções de codificação de áudio no DRM. ....	45



## Índice de Tabelas

Tabela 1- Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS .....	13
Tabela 2- Modos de transmissão DRM+ utilizados durante os testes .....	16
Tabela 3- Parâmetros de medição .....	19
Tabela 4- Descrição das rotas .....	21
Tabela 5- Resultados da recepção estática no modo 4QAM .....	25
Tabela 6- Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284 .....	34
Tabela 7 - Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho .....	34
Tabela 8- Resultados do áudio analógico em recepção estática .....	36
Tabela 9- Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática, modo 4QAM .....	37
Tabela 10 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática 4QAM .....	39
Tabela 11 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática 16QAM .....	40
Tabela 12 - Resumo dos resultados comparativos entre áudios analógico e digital na recepção estática 16QAM .....	41
Tabela 5.1- Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos de robustez DRM .....	44
Tabela 5.2- Usos dos modos de robustez DRM .....	44
Tabela 5.3- Características dos codificadores de áudio DRM .....	46
Tabela 5.4- Detalhes da localização dos pontos de medições no modo 4QAM .....	59
Tabela 5.5- Detalhes da localização dos pontos de medições no modo 16QAM .....	60
Tabela 5.6- Resultados de recepção estática DRM+ no modo 4QAM .....	61
Tabela 5.7- Resultados de recepção estática DRM+ no modo 16QAM .....	62
Tabela 5.8- Resultados do áudio FM para recepção estática .....	63



## 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.

Posteriormente, em junho de 2011, foi publicado um novo Chamamento Público, Ato de Chamamento Público n.º 01/2011, de 13 de junho de 2011, ampliando assim o prazo para a realização de testes com Rádio Digital.

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 foram 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 (Agência Nacional de Telecomunicações).

O presente trabalho relata os resultados dos testes do sistema DRM+ com a emissora de radiodifusão sonora da Associação de Moradores do Recanto das Emas (AREMAS), denominada neste texto “Rádio Comunitária AREMAS”, localizada em Brasília, Distrito Federal. A transmissão híbrida (analógica e digital) da Rádio Comunitária AREMAS foi realizada no período de 30 de junho a 10 de julho de 2012, tendo sido realizados testes diurnos.

Para a realização dos testes foi instalado um transmissor DRM+ e uma antena na estação da Rádio Comunitária AREMAS, que foram utilizados durante a campanha de medições para a transmissão do sinal digital, constituindo assim um sinal híbrido no ar com o sinal FM analógico, ambos transmitindo a mesma programação.

A realização desses testes foi autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) por meio do Ato Nº 3.674, de 29 de junho de 2012, 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**

Coordenação-Geral de Avaliação de Outorgas (CGOU) do Departamento de Acompanhamento e Avaliação (DEAA) da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica (SCE) do Ministério das Comunicações (MC)

**Entidades executantes**

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)  
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (CSF)

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

Engenheiros e técnicos do Departamento de Acompanhamento e Avaliação (DEAA)  
Engenheiros da Coordenação-Geral de Radiodifusão Comunitária (CGRC) do Departamento de Outorga de Serviços de Comunicação Eletrônica (DEOC), da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica (SCE)

**Colaborador técnico dos testes**

José Gomes (Mestrando da Universidade de Brasília, UnB)

**Locais dos testes**

Brasília – DF

**Emissora envolvida**

Rádio Comunitária da Associação de Moradores do Recanto das Emas, Brasília - DF

**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 (CETUC)  
Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM)  
Hannover University  
University of Kaiserslautern  
Bilbao University  
Fraunhofer Institut – (FhG)

**Entidades internacionais parceiras**

British Broadcasting Corporation (BBC)  
RFMondial  
Digidia  
Tele Diffusion de France (TDF )  
Nautel  
Thomson  
Radio e Televisão de Portugal (RTP)  
Deutsche Welle  
VT Group  
Harris Corporation  
Grupo de investigação TSR da UPV/EHU  
Fraunhofer IIS



### **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 (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

Neste documento são apresentados os resultados dos testes feitos com a emissora de Rádio Comunitária da Associação de Moradores do Recanto das Emas - AREMAS, localizada no Recanto das Emas, XV Região Administrativa de Brasília/DF, durante o período diurno, com o sistema DRM+ na faixa de frequência em VHF na banda II (banda FM). O objetivo dos testes era avaliar a área de cobertura do sinal digital comparada à cobertura do sinal analógico, bem como a robustez do sistema, de forma a verificar o funcionamento do mesmo diante da realidade brasileira.

Os testes foram conduzidos pelo Ministério das Comunicações (MC) com a colaboração da emissora Rádio Comunitária AREMAS, da Empresa Brasil de Comunicação (EBC), do Consórcio DRM, da Universidade Nacional Autônoma do México (UNAM), do grupo de pesquisa TSR da UPV / EHU e das empresas RF Mondial, Nautel, TDF e Fraunhofer IIS, com o apoio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).

O sistema de transmissão estava localizado na região administrativa de Recanto das Emas, na cidade de Brasília/DF. Os testes foram realizados no modo combinado, que junta os sinais digital e analógico no ar, ou seja, os sistemas de transmissão dos sinais DRM+ e FM são separados e utilizam diferentes antenas. O sinal analógico foi transmitido com potência de saída do transmissor de 25 W (Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada – EIRP de 29,7 W), enquanto o sinal digital, com potência de saída do transmissor de 5 W (EIRP de 3,5 W). A relação de proteção EIRP entre os sinais analógico e digital foi de 9,3 dB. As medições foram feitas principalmente em área urbana. Durante a campanha de medição, um receptor FM comercial foi utilizado na análise da recepção analógica, tanto para verificar eventuais impactos na sua recepção devido à introdução do sinal digital, como para auxiliar na verificação da área de cobertura do sinal.

Durante os testes foram realizadas medições nas situações de recepção estática e recepção móvel. As medições percorreram dois tipos de rotas, a saber: rotas radiais, nas quais a viatura afastava-se do ponto de transmissão, e rotas circulares, nas quais a viatura deslocava-se em volta do transmissor, mantendo os raios aproximados de 0,25 km, 0,5 km e 1 km. As rotas radiais foram planejadas para avaliar a área de cobertura dos sinais analógico e digital. As rotas circulares serviram para verificar a homogeneidade da área de cobertura.

As medições de intensidade de campo elétrico do sistema analógico são comparadas com valores teóricos para fins de validação. Esse parâmetro teve o comportamento previsto pelo modelo teórico no que tange ao decaimento com a distância. De uma forma geral os valores medidos estiveram inferiores aos valores previstos, em virtude do modelo utilizar o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana e a vegetação, as quais contribuem para a atenuação da intensidade de campo.

A tecnologia DRM+ permite a utilização de várias modulações com diferentes parâmetros de configuração para adequação do sinal em diferentes ambientes. Por esta razão, dois modos de transmissão DRM foram utilizados durante os testes: um modo mais robusto baseado na modulação 4QAM e outro, com uma maior capacidade, baseado na modulação 16QAM.

A recepção estática com o modo 4QAM apresentou cobertura digital de aproximadamente 1,3 km de distância do transmissor, sendo que até essa distância todos os pontos tiveram recepção digital. O limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital obtido a partir das medidas estáticas



ficou entre 52 e 55 dB $\mu$ V/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, para valores de SNR acima de 5,4 dB houve decodificação do áudio digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 0,5 dB e 5,4 dB, embora tenha havido um ponto com recepção digital (2,6 dB), a escassez de pontos no intervalo não permitiu definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.

A recepção estática com o modo 16QAM apresentou uma cobertura digital aproximada de 1,3 km para 5 W. O limiar de intensidade de campo elétrico foi observado entre 53 e 56 dB $\mu$ V/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, para valores de SNR acima de 6,4 dB houve decodificação do áudio digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 2,85 dB e 6,4 dB não houve registro de medição, o que não permite definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 16QAM.

Os limiares de intensidade de campo elétrico obtidos para os modos 4QAM e 16QAM são menores do que os limites para a recepção de FM em área urbana (74 dB $\mu$ V/m para área de serviço primária, 66 dB $\mu$ V/m para área urbana de serviço e 54 dB $\mu$ V/m para área de serviço rural) [1].

A recepção do áudio analógico foi avaliada por meio de medições estáticas realizadas com um receptor comercial da marca UniWave, utilizando-se a classificação de qualidade de recepção como “Recepção Boa” (áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve), “Recepção Pobre” (presença de ruído ao ponto da informação tornar-se ininteligível) e “Recepção Ruim” (somente ruído). Dentro de toda a região de testes, que ficou compreendida dentro do raio de 1,5 km em relação ao transmissor, obtiveram-se 18 pontos (56,3%) com “Recepção Boa”, 2 pontos (6,2%) com “Recepção Pobre” e 12 pontos (37,5%) com “Recepção Ruim”. Considerando a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na maioria dos pontos como “Recepção Boa”, e nos demais como “Recepção Pobre” e “Recepção Ruim”. Assim a distância de cobertura analógica pode ser estimada como atingindo a distância de 1 km da emissora, com algumas rotas atingindo uma distância superior a essa.

O limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de áudio ficou entre 66 e 70 dB $\mu$ V/m. Esse valor está próximo do valor de 66 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas urbanas.

Considerando as medições analógicas em toda a região de testes, em todos os 12 (doze) pontos cuja recepção analógica foi classificada como “Recepção Ruim”, foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências.

Comparando as recepções dos sinais analógico e digital no modo 4QAM, verificou-se por meio dos testes que, dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos), foram contabilizados 30 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade “Boa”, simultaneamente. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verificou-se que a recepção digital foi superior à analógica com qualidade “Boa”, pois nessa região todos os 20 pontos tiveram decodificação do sinal digital, enquanto que houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

Comparando as recepções dos sinais analógico e digital no modo 16QAM, observou-se que, dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos), foram contabilizados 29 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade “Boa”. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verifica-se que a recepção digital foi superior à analógica com qualidade “Boa”, pois nessa região todos os 20 pontos tiveram recepção digital enquanto que houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

Em relação à recepção móvel, no modo 4QAM pode-se considerar, em geral, que a cobertura é aceitável em um raio de 1 km, com exceção da rota R5, que apresentou muitas interrupções na recepção do áudio digital. Os resultados com o modo 16 QAM a uma distância de 0,5 km em relação ao transmissor são os mesmos que os obtidos para 4QAM. Entre 0,5 km e 1 km o modo 16QAM teve resultado pior em relação ao modo 4QAM no que tange à homogeneidade da decodificação do áudio. Para distâncias superiores a 1 km da emissora, os resultados no modo 16QAM são bem inferiores. Conforme esperado, as áreas de cobertura na recepção móvel foram menores do que as obtidas na recepção estática.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema DRM+ em Brasília em transmissão híbrida com baixa potência mostraram que o sistema digital, de uma forma geral, tem área de cobertura maior que a sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema FM no raio de 1,3 km a partir do transmissor, com potência EIRP de 9,3 dB abaixo da potência EIRP do FM.

Rio de Janeiro, 23 de novembro de 2012

**Rodolfo Saboia Lima de Souza**  
Chefe de Divisão de Metrologia em Telecomunicações  
Dimci – Ditel  
Inmetro



## 1. Introdução

Este documento apresenta os resultados de testes realizados no Recanto das Emas, XV Região Administrativa de Brasília/DF, com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM) de radiodifusão sonora digital [2], [3] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão em frequência modulada.

Os testes foram realizados em conjunto com a emissora de radiodifusão sonora em frequência modulada em VHF banda II (usualmente conhecida como banda de FM), Rádio Comunitária AREMAS.

A estrutura do documento é definida da seguinte maneira: o Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na emissora para irradiar os sinais digital e analógico durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel, os equipamentos e a metodologia de medições utilizados para caracterizar o sinal recebido. O Capítulo 4 relata os resultados dos testes, apresentando a comparação entre a intensidade de campo prevista e a obtida nas medições, a avaliação da cobertura de sinal digital com receptor profissional, os resultados da recepção analógica FM, a comparação entre resultados da recepção dos áudios analógico e digital e o impacto do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico. No Apêndice é apresentado o histórico e uma visão geral das características técnicas do sistema DRM, os detalhes das medições e os resultados dos testes.

## 2. Sistema de Transmissão

### 2.1. Características Técnicas do Sistema de Transmissão

O sistema de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS está localizado na cidade satélite Recanto das Emas, próxima a Brasília/DF, a aproximadamente 30 m de altitude em relação ao nível médio do terreno. A Figura 1 ilustra a localização do centro de transmissão. A circunferência com raio de 2 km delimita a região onde foram realizados os testes, e o raio de 1 km ilustra a área de serviço da emissora.



Figura 1-Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS

Esses testes foram realizados no modo combinado, que junta os sinais digital e analógico no ar. Isso significa que os sistemas de transmissão dos sinais DRM+ e FM são separados e utilizam diferentes antenas. O diagrama esquemático do sistema de transmissão é mostrado na Figura 2 e os principais componentes do sistema de transmissão são descritos na Tabela 1.

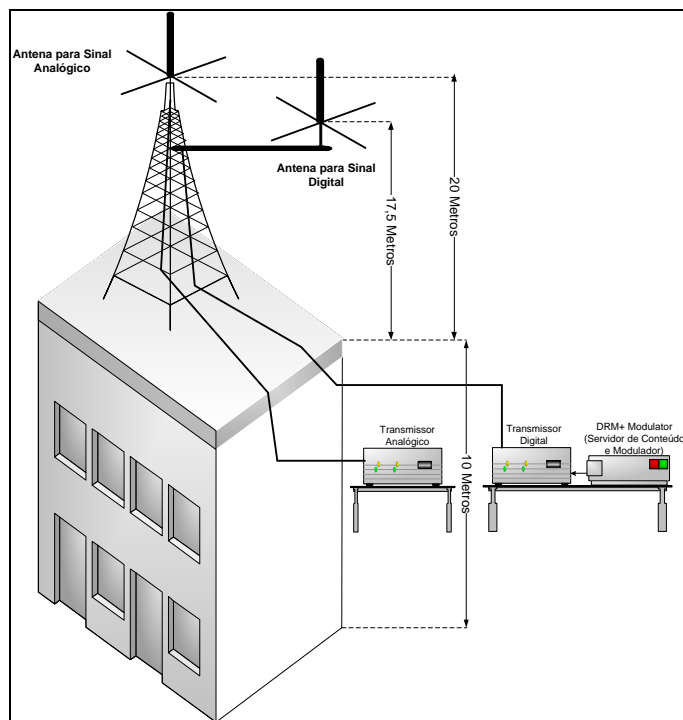


Figura 2-Diagrama esquemático do transmissor

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA	
ANALÓGICO	DIGITAL
FREQUÊNCIA: 98,1 MHz CANAL: 251	FREQUÊNCIA: 97,9 MHz CANAL: 250
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA	
CIDADE / ESTADO: Brasília / DF COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 15°54'10.19"S, 48° 3'44.69"W	
TRANSMISSOR	
FABRICANTE: Montel MODELO: MTFM98 POTÊNCIA NOMINAL: 25 W POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 25 W	FABRICANTE: NAUTEL POTÊNCIA NOMINAL: 80 W POTÊNCIA UTILIZADA NOS TESTES: 5 W
MODULADOR	
-----	DRM+ Modulador FABRICANTE: RF Mondial e FhG
ANTENA	
FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2 dBi, -0,15 dBd ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m	FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: Vertical DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2 dBi, -0,15 dBd ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 27,5 m

POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W	POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W
LINHA DE TRANSMISSÃO	
<b>FABRICANTE:</b> Datalink <b>MODELO:</b> DLC 213 Premium <b>COMPRIMENTO:</b> 22,0 m <b>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA:</b> 50 Ohms <b>ATENUAÇÃO DA LINHA:</b> 4,8 dB/100m <b>AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC):</b> 0,2 dB	<b>FABRICANTE:</b> Datalink <b>MODELO:</b> DLC 213 Premium <b>COMPRIMENTO:</b> 25,0 m <b>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA:</b> 50 Ohms <b>ATENUAÇÃO DA LINHA:</b> 4,8 dB/100m <b>AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC):</b> 2,3 dB
POTÊNCIA IRRADIADA	
<b>EIRP:</b> 29,7W <b>ERP:</b> 18,1 W	<b>EIRP:</b> 3,5 W <b>ERP:</b> 2,1 W
RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO	
RELAÇÃO DE PROTEÇÃO (FM ERP / HD Radio ERP): 9,3 dB	

Tabela 1-Características técnicas da Rádio Comunitária AREMAS

O equipamento denominado *DRM+ Modulator* mostrado na Figura 4, cujos fabricantes são as empresas RF Mondial e o Instituto Fraunhofer (FhG), é composto por um servidor de conteúdo e pelo modulador DRM+. O servidor de conteúdo do Instituto Fraunhofer permitiu a transmissão do serviço *Journaline* (transmissão de informações de páginas da web em tempo real). Para os testes, foram sincronizados os sites do Ministério das Comunicações, Deutsche Welle e DRM), conforme ilustra a Figura 4. O transmissor era um excitador DRM+ da Nautel (Figura 5), normalmente usado para alimentar um transmissor de alta potência, mas que durante esses testes funcionou como um transmissor, pois se tratava de uma transmissão de baixa potência. A Figura 6 ilustra o transmissor utilizado para transmitir o sinal analógico que foi combinado no ar com o sinal digital, formando um sinal híbrido *simulcast*.



Figura 3-Modulador DRM+

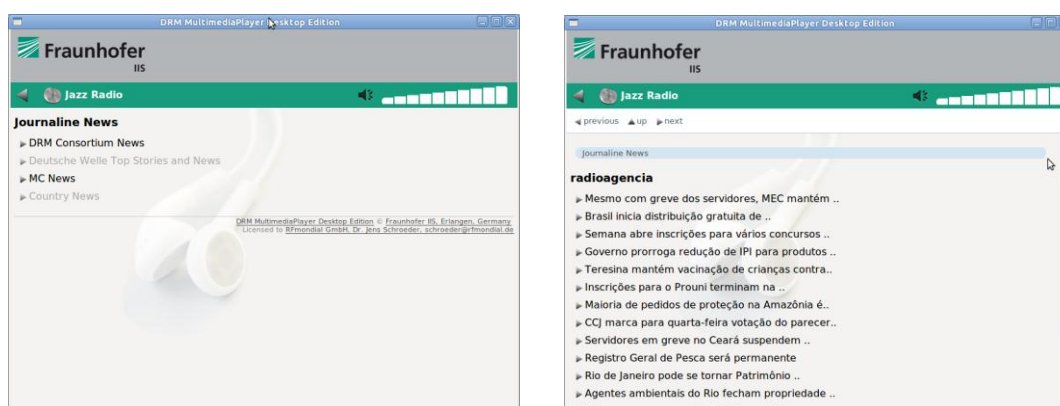


Figura 4-Serviço Journaline do DRM+



Figura 5-Transmissor DRM+



Figura 6-Transmissor analógico

As duas antenas de transmissão usadas eram do tipo omnidirecional, modelo CE-1600/FM, do fabricante CELTA, com ganho de 2 dBi e polarização vertical, instalada no topo de uma torre com 20 metros e localizada no telhado de um sobrado de 10 metros de altura. Portanto, as antenas de transmissão para irradiar os sinais analógico e digital encontravam-se a 30 metros e 27,5 metros respectivamente em relação ao nível do solo. Levando-se em conta as perdas de cabos e conectores, a EIRP de transmissão foi de 29,7 W e 3,5 W para os sinais analógico e digital referente às potências na saída dos transmissores de 25 W e 5 W, respectivamente. A Figura 7 mostra a instalação das antenas de transmissão usadas nos testes e o seu diagrama de radiação horizontal.

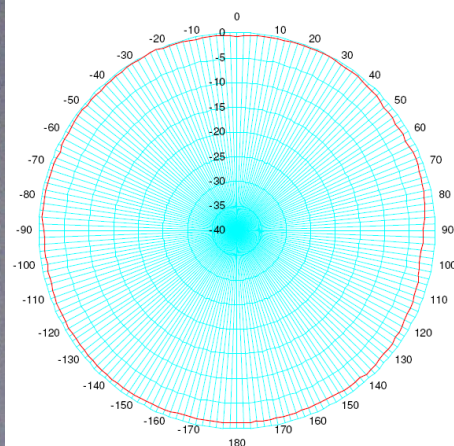


Figura 7-Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal

Durante os testes, foram utilizadas duas configurações de multiprogramação na transmissão do sinal digital: uma para 4QAM, na qual foram transmitidos ao mesmo tempo dois (2) programas, um áudio (“Jazz Radio”) e o serviço *Journaline*, e outra para 16QAM, na qual ocorreu a transmissão simultânea de quatro (4) programas, três com diferentes programações de áudio (“*Surround Radio*”, “*Country*”).



Radio”, “Speech Radio”) e o serviço *Journaline*. A Figura 8 e Figura 9 ilustram a tela do receptor profissional com exemplos de multiprogramações transmitidas.

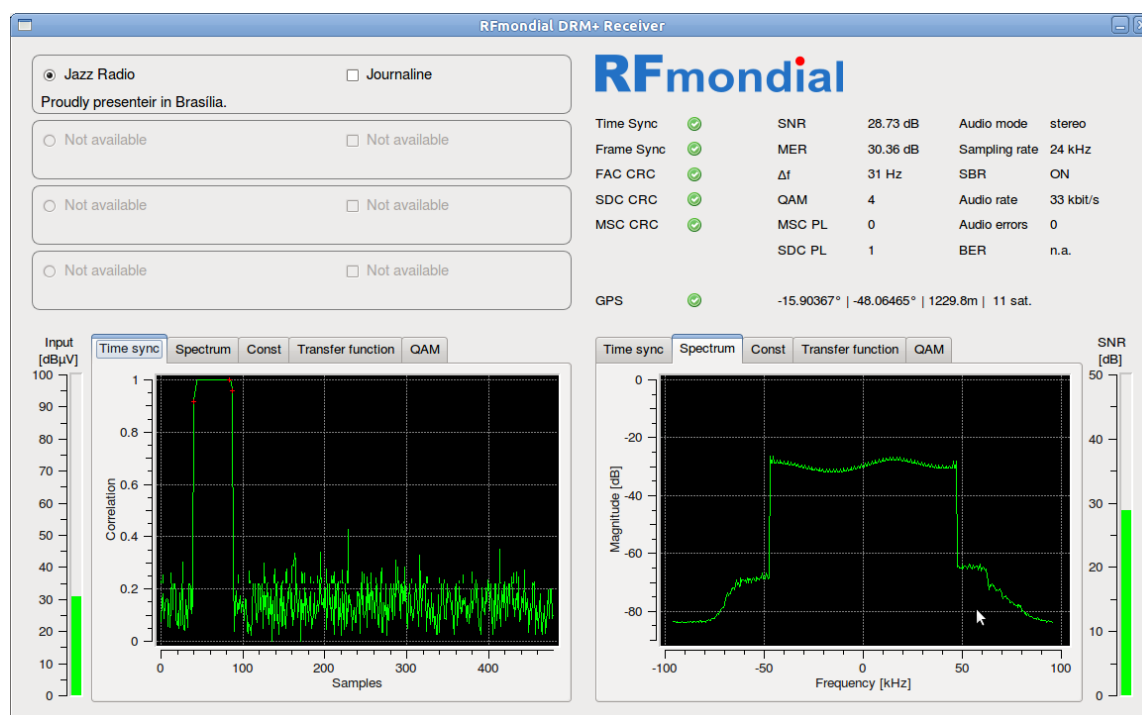


Figura 8- Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 4QAM

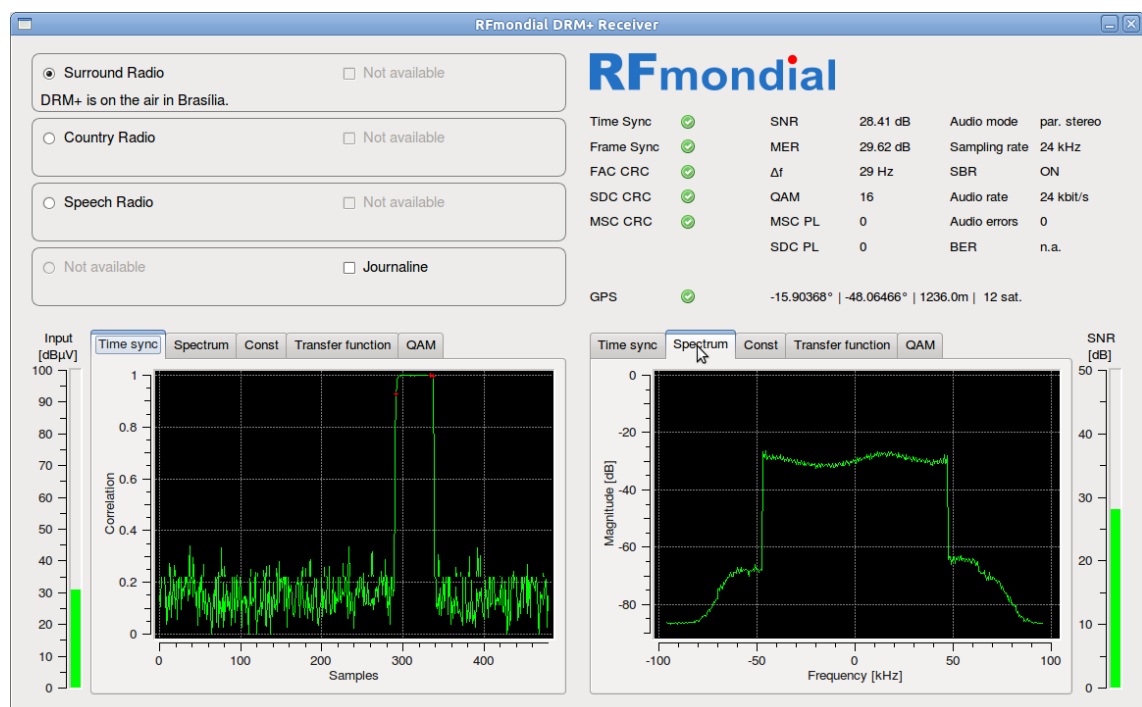


Figura 9-Multiprogramação utilizada nos testes. Serviços no modo 16QAM

## 2.2. Modos de Transmissão do DRM

O sistema DRM+ fornece uma ampla variedade de configurações para o sinal digital [2][3]. Essas diferentes configurações permitem ao radiodifusor adaptar o sinal a ser irradiado segundo as condições de propagação, as quais podem variar em função do tempo, dependendo da faixa de frequência ou do ambiente de propagação (rural ou urbano, por exemplo). Essa flexibilidade na escolha do parâmetro permite melhorar a robustez do sinal contra ruídos, interferências ou do efeito multipercurso. No entanto, aumentando-se a robustez do sinal, a taxa de dados dos bits úteis decresce.

Para os testes descritos neste trabalho, duas diferentes configurações foram utilizadas visando a robustez do sinal e outra a uma maior quantidade de serviços na multiprogramação. A primeira baseou-se na modulação 4QAM no Canal de Serviço Principal (MSC), e segunda, menos robusta utilizou a modulação 16QAM, também no MSC. O nível de proteção (taxa de código) selecionado para o modo 4QAM foi de 0,25, permitindo a transmissão de um áudio com qualidade estéreo. Para o modo 16QAM, a taxa de código usada foi de 0,33, o que permite a transmissão de uma qualidade de áudio estéreo em formato 5.1, além de mais dois (2) serviços de áudio, com qualidade inferior, e o Journaline. Os parâmetros utilizados em cada configuração são apresentados na Tabela 2. As taxas de bits indicadas nessa Tabela são aquelas utilizadas na configuração de codificação de áudio.

Nome	Modo de Robustez OFDM	Largura de Banda	Modulação MSC	Modulação SDC	Taxa de código MSC	Taxa de código SDC	Taxa de bits do Usuário (kbps)	Áudio
4QAM	E	100 kHz	0	1	0,25	0,25	37,3	Estéreo
16QAM	E	100 kHz	0	0	0,33	0,5	149,1	Estéreo

Tabela 2-Modos de transmissão DRM+ utilizados durante os testes



### 3. Equipamento de Medição e Metodologia

#### 3.1. Equipamentos de Medição

As medições do sistema DRM+ foram realizadas com a viatura de testes da Empresa Brasil de Comunicação (EBC), um veículo adaptado para execução de trabalhos em campo, conforme a Figura 10, na qual também pode ser visualizada a disposição dos equipamentos de medição no interior da viatura.



Figura 10- Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição

Na Figura 11 são apresentados os equipamentos utilizados nas medições. Os dois equipamentos principais de medição são o receptor profissional *DRM+ Radio* e o analisador de espectro. O equipamento profissional para coleta dos dados nas medições consiste no software *RFMondial*, instalado no laptop, e no receptor profissional de áudio digital HD Radio.

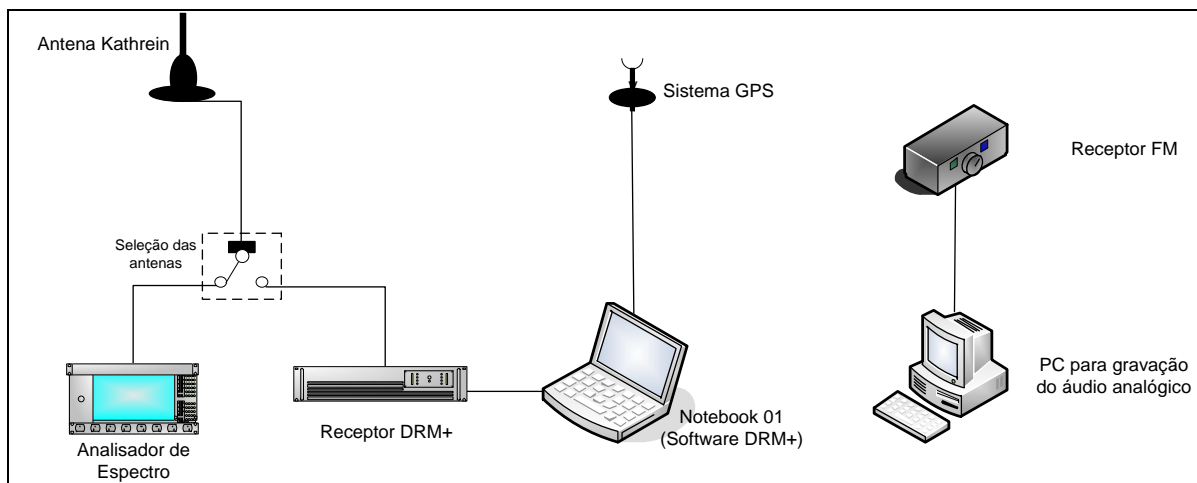


Figura 11-Viatura móvel adaptada

O receptor DRM+ é composto em duas partes, um front-end e um software que roda em um notebook (notebook) como ilustra a Figura 12. Um GPS conectado a um laptop fornece as informações da localização, que são salvas juntas com as informações de recepções. O analisador de espectro e o receptor foram conectados à antena (monopolo modelo K51164 do fabricante Kathrein, com ganho de

1,85 dBi, Figura 13), por meio de um *switch*, o que impossibilitou que o sistema fizesse os dois tipos de medições em simultâneo: recepção do sinal e captura do espectro.

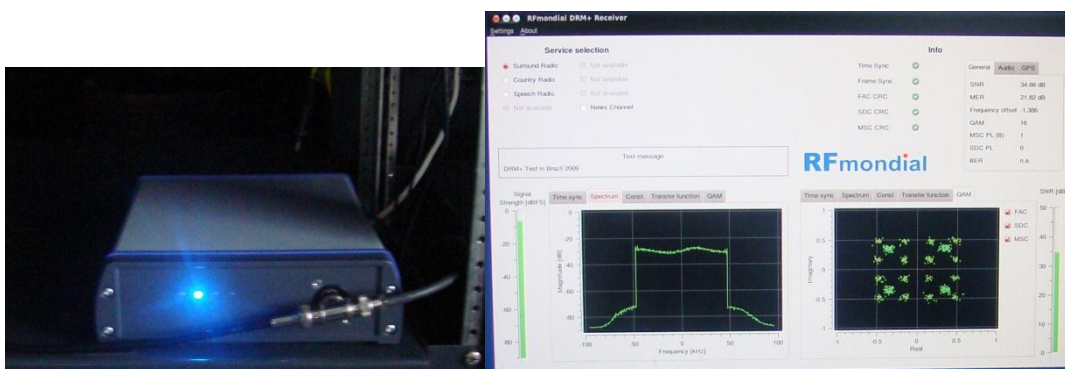


Figura 12- Receptor DRM+ da RF Mondial: front-end (esq.); software do receptor (dir.)



Figura 13- Antena de recepção modelo Kathrein

O outro bloco de medição, apresentado na Figura 11, é destinado à gravação do áudio analógico FM. O áudio analógico do sinal FM foi gravado pelo receptor comercial UniWave, Figura 14, com o intuito de avaliar a recepção analógica. Esse receptor decodifica sinais analógico e digital em frequência abaixo de 30 MHz, e sinais analógico na faixa de FM.



Figura 14-Receptor UniWave

### 3.2. Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição foram planejados para fornecerem uma ampla gama de parâmetros durante os testes. A Tabela 3 apresenta os parâmetros medidos durante os testes. Eles são divididos em três tipos: parâmetros que fornecem informações de radiofrequência (RF) e canal de propagação, parâmetros de banda básica e parâmetros auxiliares que ajudam na compreensão das causas e efeitos dos diferentes problemas de recepção.

Parâmetro	Tipo	Equipamento	Intervalo de medição
SNR (MER)	RF e canal de propagação	Receptor DRM+	100 ms
Quadros de áudio corretos (AQ)	Banda base		200 ms
Dados RSCI	Auxiliar		100 ms
Espectro	RF e canal de propagação	Analizador de Espectro	Medições estáticas
Localização	Auxiliar	GPS	1 s
Tempo	Auxiliar		1 s
Velocidade	Auxiliar		1 s
Gravações de áudio DRM+	Banda base	Receptor DRM+	Medições estáticas e móveis
Eventos	Auxiliar	Equipe	Cada evento
Fotos	Auxiliar	Equipe	Medições estáticas

Tabela 3-Parâmetros de medição

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: intensidade do campo elétrico, a relação sinal ruído, SNR (que é a MER do sinal DRM+), e a taxa de *frames* (quadros) de áudio recebidos corretamente, também conhecida como qualidade de áudio AQ. O registro da intensidade de campo elétrico com analisador de espectro foi realizado apenas nas medições estáticas, pois nas medições móveis somente um equipamento podia ser conectado, e este equipamento foi o receptor profissional DRM+.

O AQ é o parâmetro que define se o áudio foi recebido corretamente ou não. Para que a recepção do áudio seja definida como correta, é necessário que no mínimo 98% dos *frames* sejam recebidos corretamente. Nesse caso o áudio será decodificado corretamente, sem percepção de *drop out* (salto) do áudio pelo ouvinte. No entanto, para valores de AQ entre 90% e 98%, o ouvinte pode perceber o *drop out*, sem que esse provoque, porém, uma sensação incômoda para o ouvinte. Abaixo de 90% considera-se que não há recepção do áudio digital adequada para o ouvinte. Assim, a seguinte equação é utilizada:

$$AQ(\%) = \frac{\text{Número de frame de áudios decodificados corretamente}}{\text{Total de frames transmitidos}} \times 100\%$$

Os dados RSCI são importantes porque permitem reproduzir o sinal recebido em laboratório, como se estivesse sendo recebido naquele momento. Isso permitirá estudos futuros não definidos inicialmente.

Os espectros gravados permitem estudos sobre interferência e ruído, bem como cálculos de potência e intensidade de campo dos sinais.

O GPS fornece informações a respeito da posição e do tempo de cada amostra coletada. Assim, é possível avaliar as medições em mapas, identificando os ambientes de recepção, bem como análises em função da distância em relação ao transmissor, e de possíveis localizações de fontes interferentes, como por exemplo, outras estações.

Os eventos e as fotos coletadas pela equipe em campo ajudam a encontrar as causas dos problemas na recepção e os efeitos que elas causam no sinal e na qualidade do áudio.

### **3.3. Metodologia de Medição**

A campanha de testes com a unidade móvel foi realizada com medições estáticas e móveis, em dois tipos de rotas, radiais e circulares. Como não existia um guia para realização de testes com o sistema DRM na faixa de FM disponibilizado pela Anatel, o guia da Anatel para testes na faixa de Ondas Médias (OM) foi utilizado como orientação das medições em FM [4]. Conforme esta orientação foram realizadas medições em dois tipos de rotas, radiais e circulares.

A primeira medição diária era realizada no ponto de referência para determinar se os parâmetros de transmissão estavam corretos mediante comparação com os dados coletados no dia da caracterização da unidade móvel naquele ponto. Também era verificado se o equipamento de recepção estava com funcionamento adequado.

As atividades realizadas durante as medições nos pontos fixos são apresentadas a seguir:

- Captura do espectro do sinal simulcast.
- Captura dos dados do sinal digital DRM+ com o receptor profissional, por um período mínimo de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional, por um período mínimo de 5 minutos.
- Gravação do áudio analógico FM com receptor comercial, por um período mínimo de 3 minutos.
- Captura de fotografias do ambiente, considerando o ponto cardeal norte como referência.
- Caracterização do ambiente, por meio de software.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a medição, por meio de software (registro de ocorrências).

Com a viatura em movimento, as seguintes atividades foram realizadas:

- Captura dos dados do sinal digital DRM+ com o receptor profissional durante toda a rota.
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional durante toda a rota
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências)

### **3.4. Planejamento das Rotas**

As rotas radiais planejadas para os testes do sistema DRM+ foram escolhidas em função da orientação azimutal e atingem cerca de 1,6 km em relação ao transmissor da Rádio Comunitária AREMAS. As rotas circulares solicitadas pela Anatel para os testes têm como finalidade a avaliação do desempenho do sistema em diferentes ambientes de recepção [4]. Porém, devido às características de baixa potência da emissora, o que resulta em cobertura reduzida, a análise das rotas circulares nesse teste não é



aplicável com esse intuito. Portanto, as rotas circulares serviram para verificar a homogeneidade da área de cobertura, com raios aproximados de 0,25 km, 0,5 km e 1 km, tendo sido realizadas apenas medições em mobilidade nessas rotas.

A Tabela 4 descreve as rotas utilizadas, podendo as mesmas serem visualizadas na Figura 15 (rotas radiais) e na Figura 16 (rotas circulares). As localizações dos pontos fixos de medição ao longo das rotas estão detalhadas no item II do Apêndice deste documento.

Tipo de rota	Rota	Descrição
Radial	R1	Rota Oeste (Recanto das Emas)
	R2	Rota Leste (Riacho Fundo II)
	R3	Rota Noroeste (Samambaia)
	R4	Rota Norte (Samambaia)
	R5	Rota Sul (DF 001 EPCT)
	R6	Rota Sudoeste (Recanto das Emas)
Circular	C1	Rota Circular 1 km
	C2	Rota Circular 0,5 km
	C3	Rota Circular 0,25 km

Tabela 4-Descrição das rotas



Figura 15– Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS

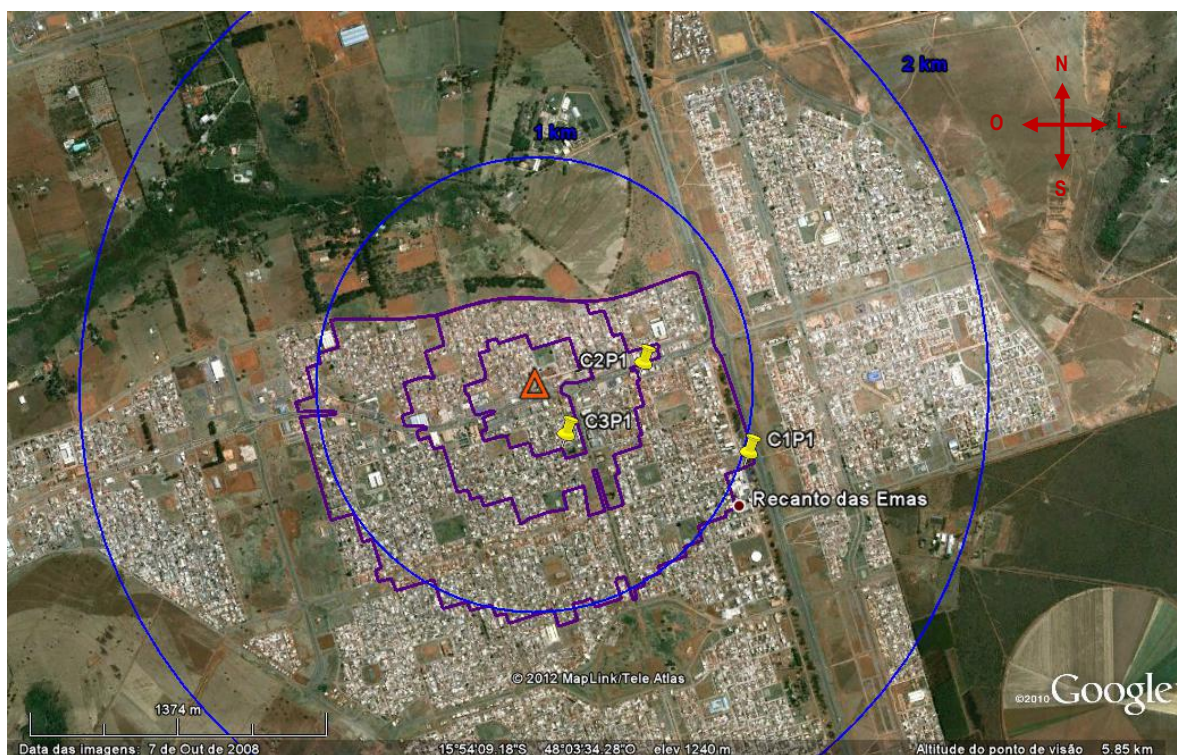


Figura 16-Rotas circulares (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS

## 4. Resultados dos Testes

Os resultados dos testes são avaliados para a realização das seguintes análises: comparação de medições de intensidade de campo elétrico do sinal analógico com valores teóricos, obtenção da cobertura de recepções estática e móvel, bem como dos limiares de recepção. Os resultados são obtidos com os dois modos de transmissão utilizados durante os testes, o modo 4QAM e o modo 16QAM.

### 4.1. Pré-processamento dos dados

A primeira etapa para obtenção dos resultados foi o pré-processamento, no qual as medições que parecessem ter sido afetadas por problemas diferentes dos de propagação ou do ambiente de recepção eram descartadas. Estes dados descartados não representariam o desempenho do sistema.

Tanto com a modulação 4QAM quanto com a 16QAM, foram realizadas medições em 35 pontos. Entretanto, três pontos (R5P5, R5P6 e R6P6) foram descartados, tendo em vista a ocorrência de falhas no registro dos seus dados, que ocasionou a inconsistência dos valores obtidos nesses pontos.

Os pontos de medição estática válidos são apresentados no item 5.3 do Apêndice.

### 4.2. Comparação da intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida com a previsão teórica

A intensidade de campo elétrico analógico medida é comparada com a previsão teórica para fins de verificação dos valores registrados durante os testes. A intensidade de campo teórica é obtida com o Sistema de Informações da Anatel (SIGAnatel) [5], ferramenta que possui um banco de dados geográficos do Brasil que, entre vários recursos, permite analisar a cobertura do sinal de uma estação de rádio e/ou TV, analisar a propagação em um enlace ponto-a-ponto e gerar o perfil de terreno. O modelo de previsão usa como dado de entrada o perfil do terreno entre o local do transmissor e o ponto de interesse, além da potência transmitida (EIRP), para cálculo da intensidade de campo recebida, empregando a atenuação de espaço livre e a difração causada pelos obstáculos existentes no perfil de terreno.

A Figura 17 apresenta a intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida e os valores teóricos calculados, bem como a previsão de espaço livre. A curva da intensidade de campo considerando somente a atenuação de espaço livre é utilizada como referência. A diferença desta curva para os pontos teóricos deve-se ao perfil do terreno que é considerado no modelo de previsão utilizado no SIGAnatel. Os valores medidos estão inferiores aos teóricos porque o modelo de previsão utiliza o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana, por isso o gráfico da Figura 17 mostra que em vários pontos de medição existe alguma discrepância entre valores teóricos e medidos. No entanto, observa-se que os dois conjuntos de pontos possuem decaimento similar com a distância, como esperado.



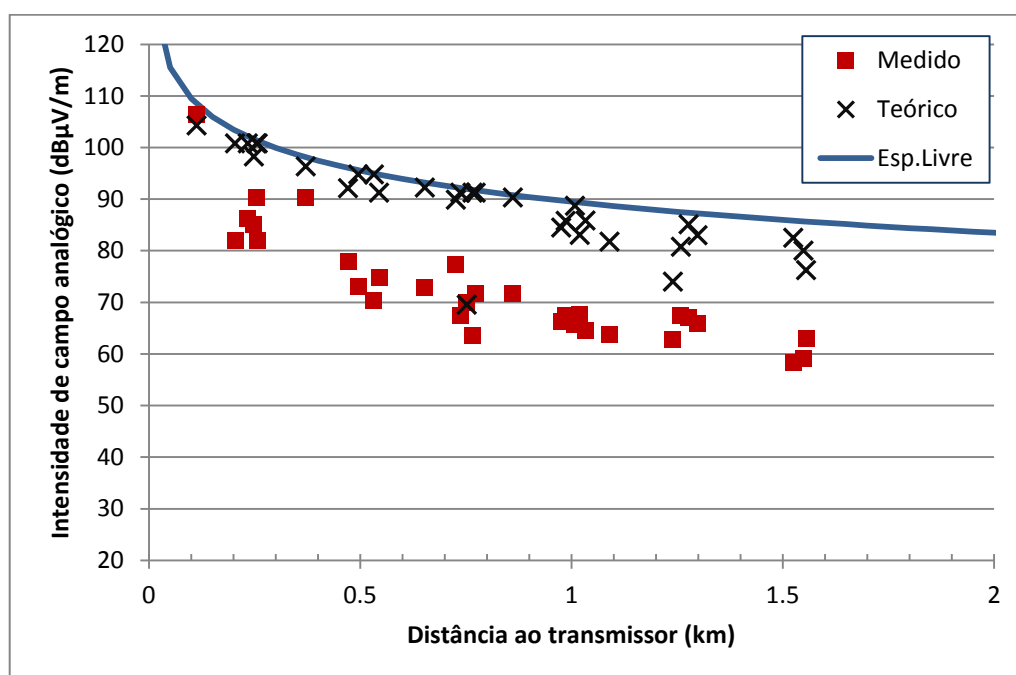


Figura 17-Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico

Com a digitalização do serviço de rádio faz-se necessário utilizar um modelo de previsão mais eficiente devido à variabilidade do sinal recebido. Ressalta-se a necessidade da proposição de um novo modelo para ser usado na faixa de frequência FM, uma vez que no sistema digital a grande diferença entre a previsão e o sinal medido (por exemplo, 20 dB em algumas distâncias no gráfico) pode impactar o planejamento do sistema introduzindo erro no cálculo da cobertura, comprometendo o atendimento do serviço proposto.

### 4.3. Resultados do Modo de Transmissão 4QAM

#### 4.3.1. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática

Na medição estática são obtidos, por meio do receptor profissional, a intensidade de campo elétrico digital mediano, a relação sinal-ruído (SNR) mediana e o valor do parâmetro de qualidade de áudio (AQ) durante o intervalo de medição.

Os resultados gerais da recepção no modo 4QAM são apresentados na Tabela 5, Figura 18 e Figura 19. A tabela apresenta o resumo estatístico dos resultados da recepção considerando o parâmetro AQ. A Figura 18 ilustra a localização desses pontos no mapa, na qual a coloração indica o percentual do parâmetro AQ em cada ponto. A coloração verde representa os valores de AQ iguais ou superiores a 98% e em vermelho representa AQ menores que 90%. A Figura 19 apresenta um gráfico de intensidade de campo elétrico recebido em função da distância ao transmissor. Nessas medições não houve pontos com valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%.



Parâmetro AQ	Toda a região de testes
	Pontos
$AQ \geq 98\%$	30 (93,8%)
$90\% \leq AQ < 98\%$	0 (0%)
$AQ < 90\%$	2 (6,2%)
<i>Total de medições</i>	32 (100%)

Tabela 5-Resultados da recepção estática no modo 4QAM

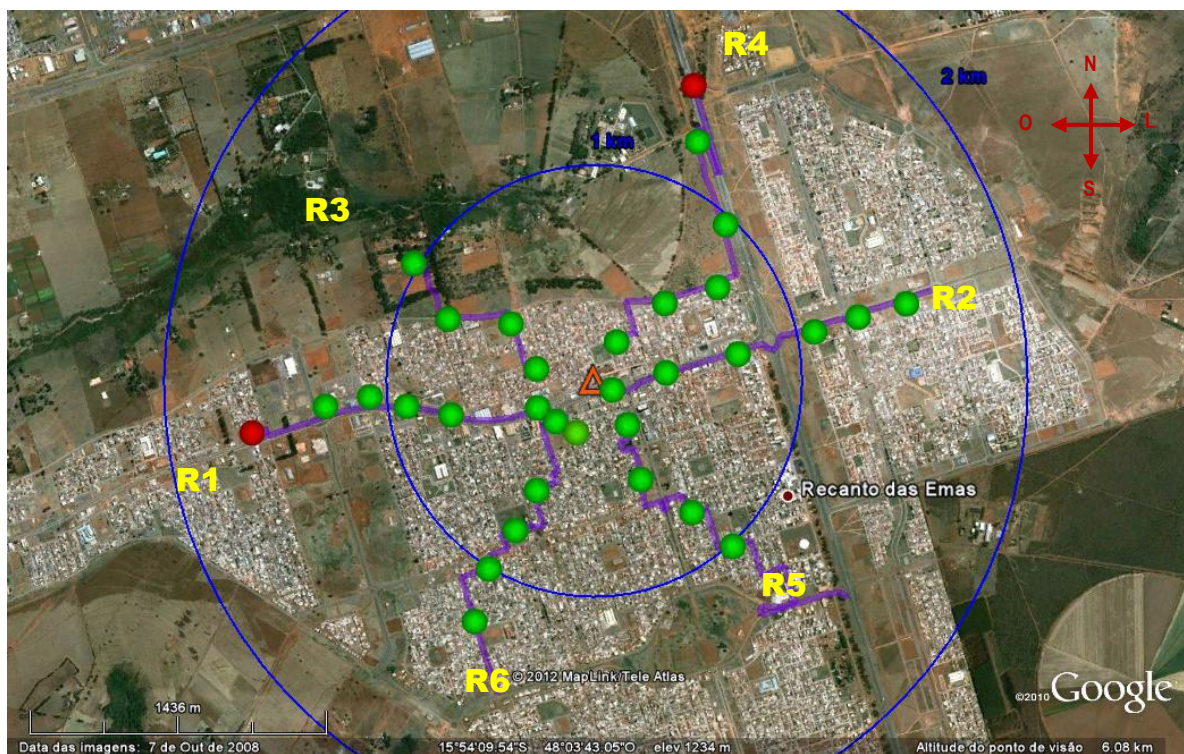


Figura 18-Resultado da recepção estática no modo 4QAM

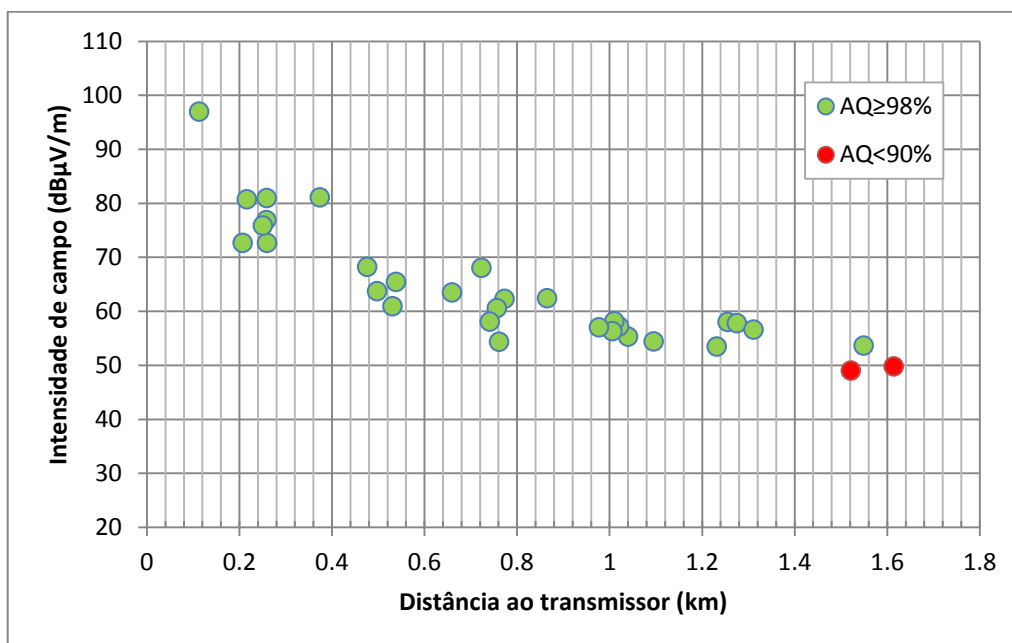


Figura 19-Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 4QAM

Observa-se por meio da Figura 18 e da Figura 19 que a cobertura do modo de transmissão DRM+ 4QAM é de aproximadamente 1,3 km de distância do transmissor, pois até essa distância todos os pontos tiveram recepção digital. Após essa distância, o ponto R4P6 situado a 1,52 km da emissora (direção norte) não teve recepção digital (primeiro ponto vermelho na Figura 19). Entretanto, houve recepção no ponto R2P6 a 1,55 km do transmissor (direção leste).

Os limiares para relação sinal ruído (SNR) e intensidade de campo são calculados a partir dos resultados de recepção estática, com os gráficos mostrando a intensidade de campo, SNR e qualidade de áudio AQ ( $AQ \geq 98\%$ ;  $90\% \leq AQ < 98\%$ ;  $AQ < 90\%$ ). A Figura 21 apresenta os resultados do modo 4QAM.

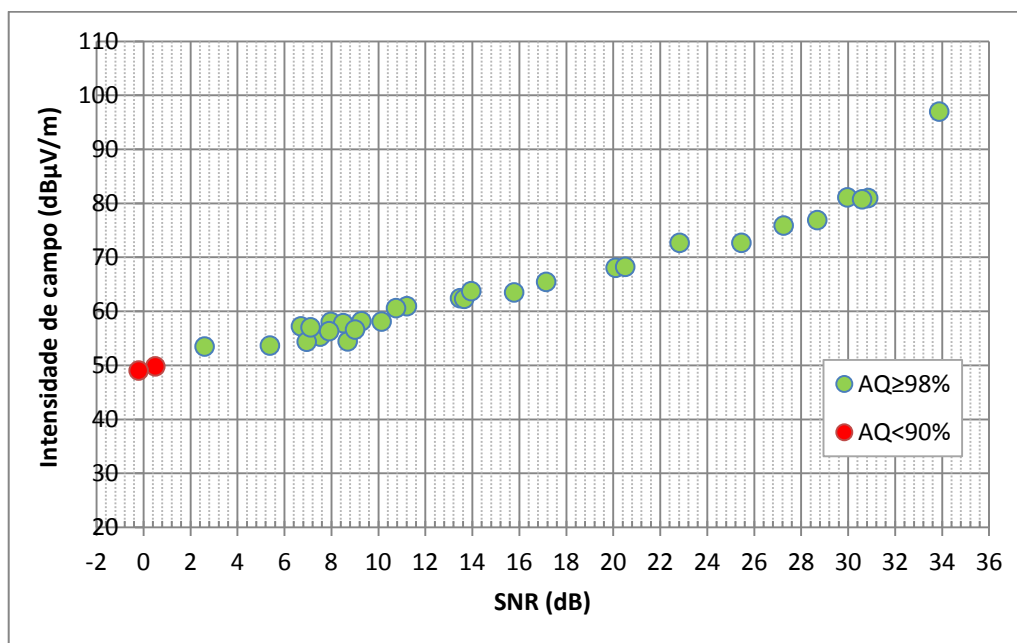


Figura 20-Limiaries da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM

Por meio da Figura 20 é possível observar que na recepção estática com o modo 4QAM o limiar de intensidade de campo elétrico ficou entre 52 e 55 dBμV/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, o maior valor de SNR medida em que não houve recepção no modo 4QAM foi de 0,5 dB, com AQ=89,2%, ou seja, abaixo desse valor de SNR não foi possível decodificar o sinal. Acima de 5,4 dB houve decodificação do sinal digital em todos os pontos medidos. Embora no intervalo entre 0,5 dB e 5,4 dB tenha havido um ponto com recepção digital (2,6 dB), a escassez de pontos no intervalo não permite definir com precisão um limiar de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.

#### 4.3.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os testes em questão foram realizados em rotas de pequena extensão (tipicamente até 2 km). Sendo assim, foi possível plotar todas as amostras coletadas diretamente no gráfico. Porém, ao visualizar o comportamento da recepção no mapa, deve-se estar ciente de que o número de amostras coletadas num pequeno trecho é enorme e pode haver sobreposição de várias delas.

Nas rotas radiais e circulares, cada ponto representa o valor de AQ a cada 50 metros de distância, sendo que os pontos em verde representam valores de AQ iguais ou superiores a 98% e, em vermelho, AQ menores que 90%. Nas medições móveis com 4QAM, não houve pontos que representassem valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%.

Os resultados da recepção móvel para o modo de transmissão 4QAM, nas rotas radiais, são mostrados na Figura 21. Os resultados gerais são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** o Apêndice.



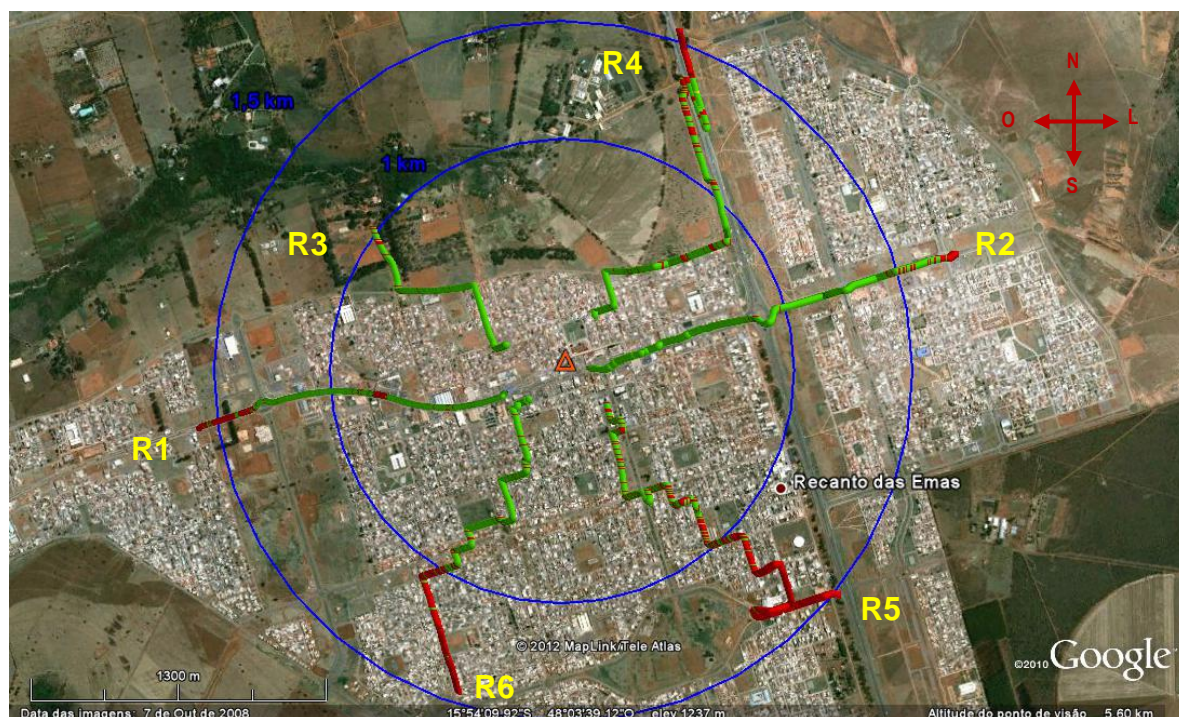


Figura 21-Resultados da recepção móvel no modo 4QAM

A partir da Figura 21, pode-se considerar, de modo geral, que a cobertura é aceitável em um raio de 1 km, com exceção da rota R5, na direção sul (DF 001 EPCT), que apresentou muitas interrupções na recepção do áudio digital.

As rotas R1 e R2 tiveram área de cobertura de aproximadamente 1,5 km. A rota R1 tem uma falha de recepção a 750 metros em relação ao transmissor devida à presença de uma linha de transmissão de alta tensão nesse local. A rota R4 apresentou recepção intermitente no trecho entre 1,0 km e 1,5 km. Esse comportamento se deve à presença de um conjunto de linhas de transmissão de alta tensão de 125 kV e 500 kV, bem como de uma grande quantidade de placas metálicas de propaganda (*outdoor*), ao longo de todo trecho.

Na rota R5, por meio dos arquivos de registro de ocorrências, pôde-se verificar a presença de muitas cercas elétricas, que geravam interferências no sinal, o que pode ter influenciado na decodificação do áudio digital.

Os resultados da recepção móvel no modo 4QAM para as rotas circulares são mostrados no mapa da Figura 22.



Figura 22-Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 4QAM

Os resultados das rotas circulares mostram que a recepção do áudio digital é homogênea até um raio de 0,5 km de distância da emissora. No contorno a 1 km em relação ao transmissor praticamente não houve decodificação do áudio digital. Como não houve rotas circulares entre 0,5 km e 1 km, não foi possível definir um valor preciso de raio de cobertura do sinal com as medições móveis circulares com 4QAM.

#### 4.4. Resultados do Modo de Transmissão 16QAM

##### 4.4.1. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção estática

Os resultados da recepção estática do modo de transmissão 16QAM são apresentados na Tabela , Figura 23 e Figura 24. Nessas figuras, pontos com coloração verde representam valores de AQ iguais ou superiores a 98%, pontos em amarelo, valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%, e, em vermelho, valores de AQ menores que 90%.

Parâmetro AQ	Toda a região de testes
	Pontos
$AQ \geq 98\%$	28 (87,5%)
$90\% \leq AQ < 98\%$	1 (3,1%)
$AQ < 90\%$	3 (9,4%)
Total de medições	32 (100%)

Tabela 9-Resultados da recepção estática no modo 16QAM





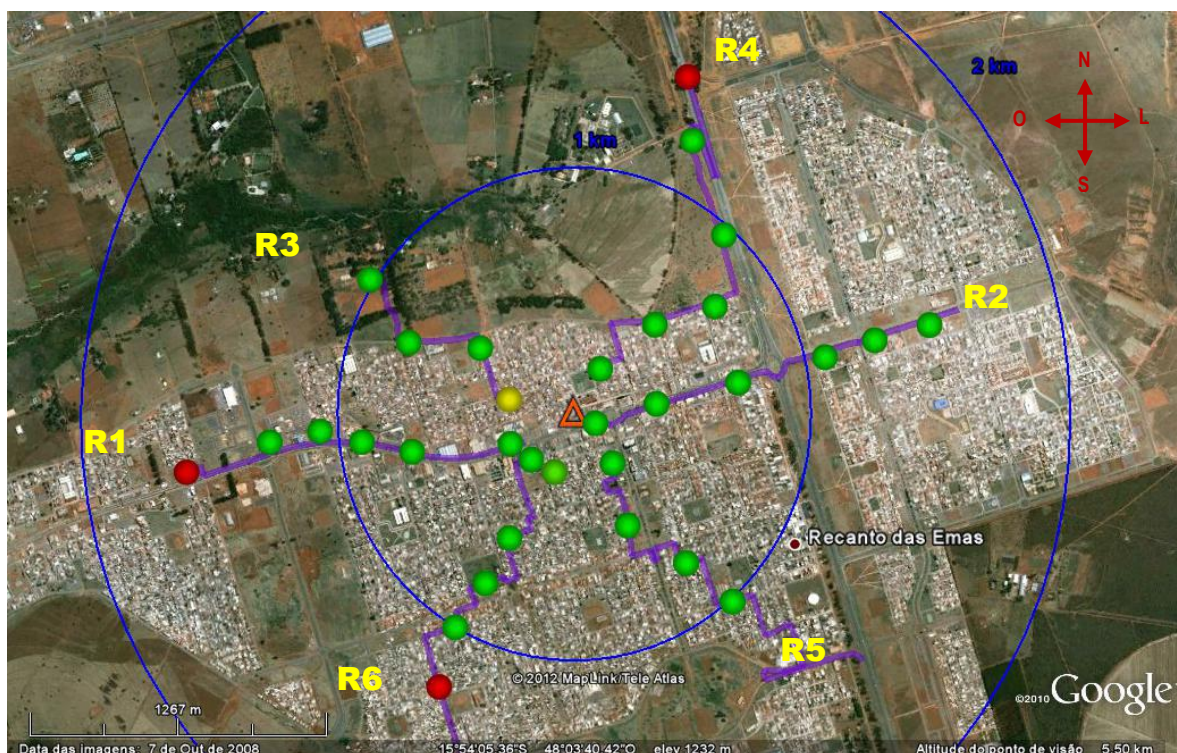


Figura 23-Resultados da recepção estática no modo 16 QAM

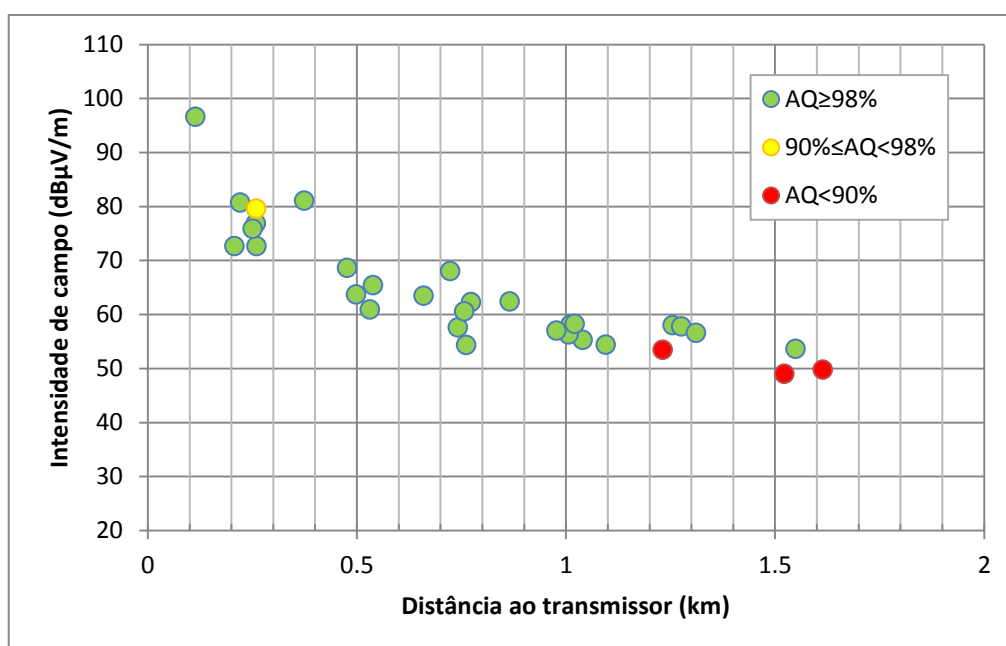


Figura 24-Intensidade de campo elétrico digital em função da distância, modo 16QAM

A cobertura do sinal no modo 16QAM é de cerca de 1,3 km de distância do transmissor. Até esta distância houve apenas um ponto sem recepção digital, R6P5, a 1,23 km do transmissor. No entanto, no ponto R2P6, localizado a 1,55 km da emissora ocorreu boa recepção digital. Verificou-se ainda uma recepção digital dentro da faixa  $90\% \leq AQ < 98$  no ponto R3P1 em 0,259 km do transmissor, no

qual a taxa de quadros de áudio decodificados corretamente foi de 95,6%, isto é, a recepção estava muito próxima do AQ igual a 98%.

A metodologia para definir os limiares de recepção estática da SNR e intensidade de campo no caso 16 QAM é a mesma utilizada para 4QAM, ou seja, por meio do gráfico de intensidade de campo elétrico em função do SNR. A Figura 25 apresenta os resultados do modo 16QAM.

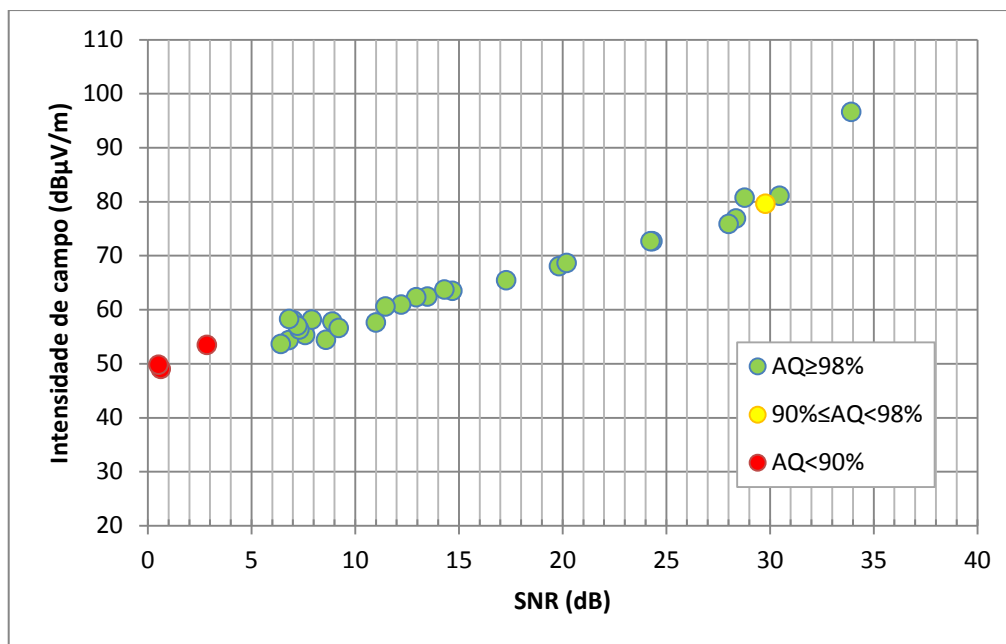


Figura 25-Limiar de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM

Por meio da Figura 25 é possível observar que a recepção estática com o modo 16QAM apresentou o limiar de intensidade de campo elétrico entre 53 e 56 dBμV/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, o maior valor de SNR medida em que não houve recepção com o modo 16QAM foi de 2,85 dB, ou seja, abaixo desse valor não foi possível decodificar o sinal. Acima de 6,4 dB houve decodificação do sinal digital em todos os pontos medidos. No intervalo entre 2,85 dB e 6,4 dB não houve registro de medição de SNR. Devido a esse fator, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 16QAM

#### 4.4.2. Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

As rotas percorridas nas medições móveis com 16QAM foram as mesmas que com o modo 4QAM. Mesmo havendo alteração do ambiente em virtude de tráfegos de veículos e pessoas, o ambiente em teste no modo 16QAM pode ser considerado o mesmo.

Os resultados das medições móveis para as rotas radiais, com o modo 16QAM, são ilustrados na Figura 26. Observa-se que os resultados com o modo 16 QAM a uma distância de 0,5 km em relação ao transmissor são os mesmos que os obtidos para 4QAM. Entre 0,5 km e 1 km o modo 16QAM teve resultado pior em relação ao modo 4QAM no que tange à homogeneidade da decodificação do áudio. Para distâncias superiores a 1 km da emissora, os resultados no modo 16QAM são bem inferiores.

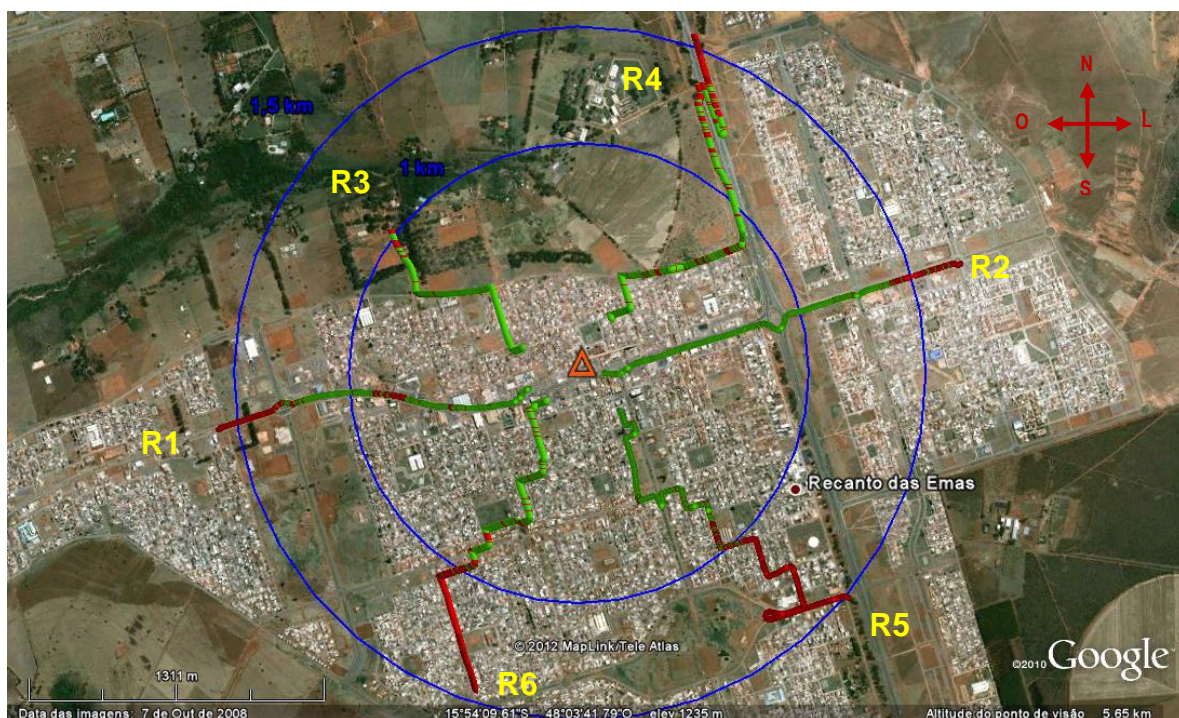


Figura 26- Resultados da recepção móvel no modo 16QAM

Os resultados da recepção móvel no modo 16QAM para as rotas circulares são mostrados no mapa da Figura 27.



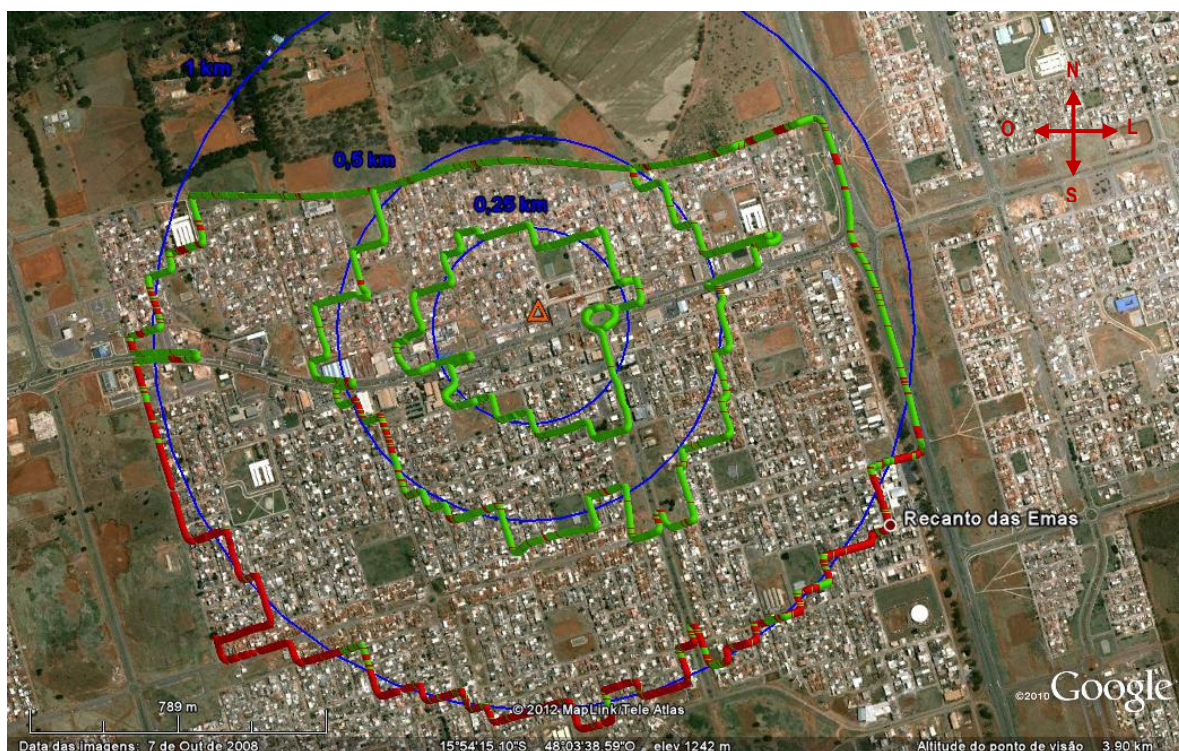


Figura 27- Resultados da recepção móvel nas rotas circulares no modo 16QAM

Os resultados das rotas circulares mostram que a recepção do áudio digital foi homogênea até um raio de 0,25 km de distância da emissora. No contorno de 0,5 km em relação ao transmissor, embora tenha ocorrido falha de recepção em um pequeno trecho da circular, pôde-se considerar que houve uma boa cobertura nessa região. No contorno a 1 km em relação ao transmissor praticamente não houve decodificação do áudio digital. Como não houve rotas circulares entre 0,5 km e 1 km, não foi possível definir um valor preciso de raio de cobertura do sinal com as medições móveis circulares com 16QAM.

## 4.5. Resultados da Recepção Analógica FM

### 4.5.1. Avaliação da área de cobertura em recepção estática

A cobertura do sinal analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS foi estimada para permitir a comparação com a cobertura do sinal digital. Essa estimativa é feita com base na qualidade do áudio analógico, o qual é avaliado subjetivamente seguindo as orientações da Recomendação UIT-R BS 1284 [6]. Foram utilizadas as gravações de áudio analógico feitas em pontos fixos de medições, de um receptor comercial, UniWave. Esses áudios foram avaliados por um grupo de pessoas, que atribuíram notas variando de 1 a 5, conforme a classificação da Recomendação UIT-R BS 1284 (Tabela 6). A partir das notas atribuídas para cada áudio, obteve-se a média aritmética da qualidade do áudio em cada ponto fixo. Como foram realizadas medições analógicas durante as medições em 4QAM e em 16QAM, para determinar um valor único para a qualidade do áudio analógico em cada ponto, foi realizada a média aritmética dos valores obtidos nos testes das duas modulações. Em seguida, os valores de qualidade calculados foram utilizados na análise da área de cobertura analógica. A Tabela 5.8 do Apêndice apresenta a média das notas atribuídas ao áudio referente ao receptor comercial. É importante ressaltar que não foram realizadas medições móveis do áudio analógico FM.

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

Tabela 6– Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284

Para consolidação dos resultados obtidos neste trabalho, foram definidos três limiares de recepção: “Recepção Boa” contém as notas entre 5 e 3 inclusive, “Recepção Pobre” com notas entre 3 e 2, e “Recepção Ruim” com notas iguais ou menores que 2. A Tabela 14 apresenta a definição da classificação das notas empregadas neste trabalho.

<b>Notas</b>	<b>Classificação</b>	<b>Definição</b>
$3 \leq \text{Nota} \leq 5$	Recepção Boa	Áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve
$2 < \text{Nota} < 3$	Recepção Pobre	Presença de ruído ao ponto da informação do áudio tornar-se ininteligível
$\text{Nota} \leq 2$	Recepção Ruim	Somente ruído

Tabela 7 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho

A classificação da qualidade do áudio analógico FM obtido em cada ponto fixo a partir de medições da Rádio Comunitária AREMAS é apresentada na Figura 28, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, e na Figura 29. Os pontos em verde representam “Recepção Boa”, em amarelo, “Recepção Pobre” e em vermelho, “Recepção Ruim”.



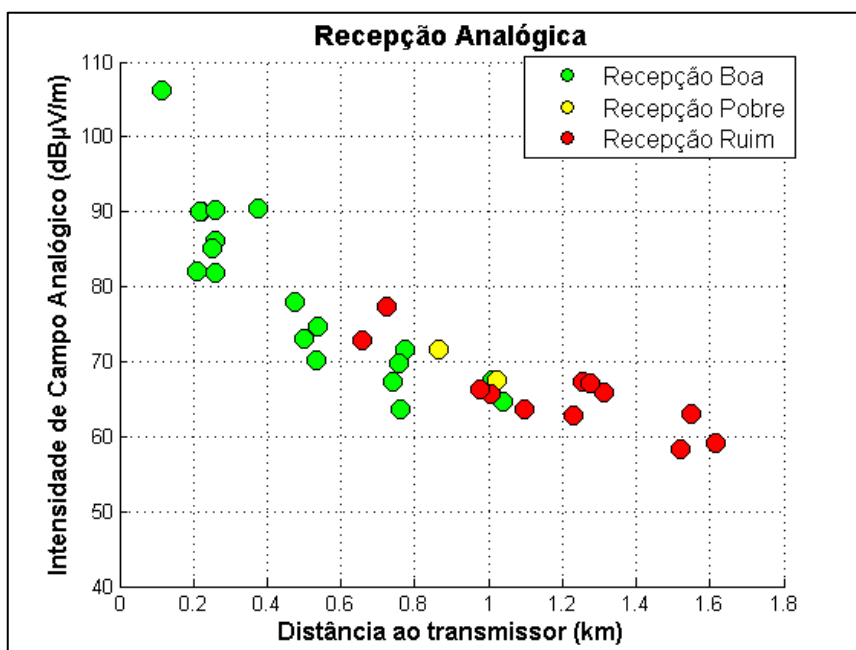


Figura 28-Avaliação subjetiva do áudio analógico FM

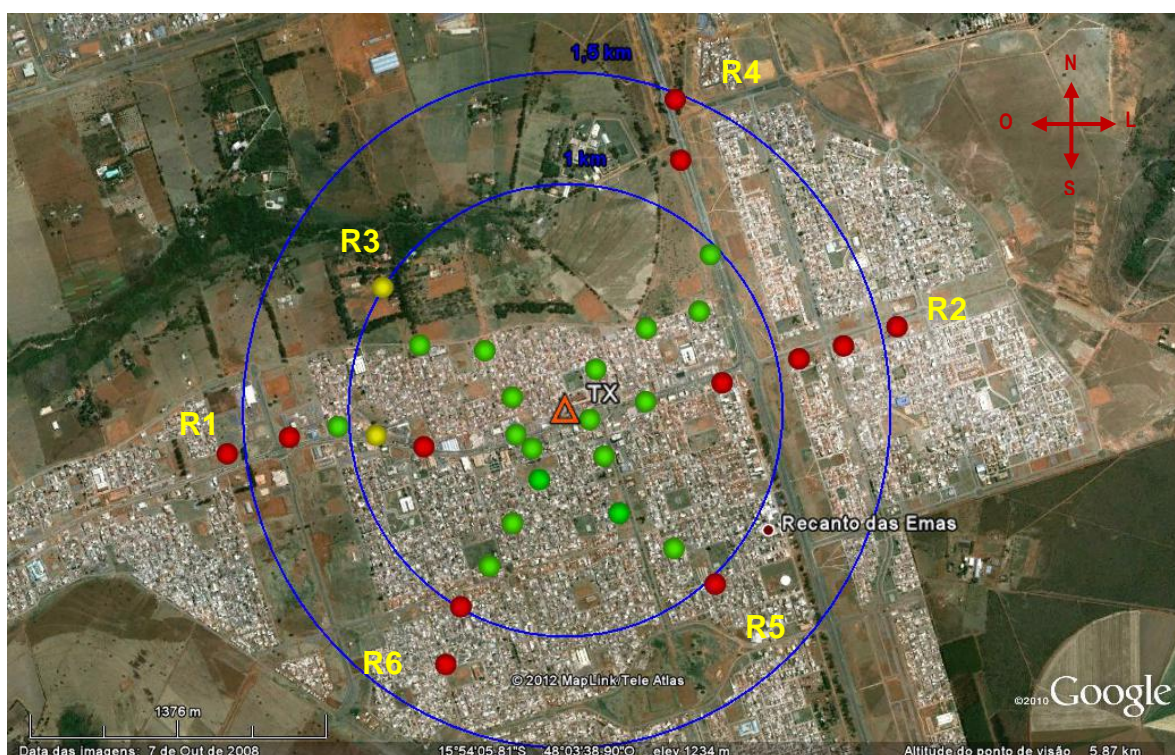


Figura 29-Recepção estática do áudio analógico no mapa; raios de 1 km e 1,5 km

Na Figura 28 e na Figura 29, é possível verificar que, até a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na maioria dos pontos como “Recepção Boa”, também havendo 2 pontos com “Recepção Pobre” (R1P3, a 0,86 km do transmissor; e R3P4, a 1 km do transmissor) e outros 3 pontos (R1P2/R2P3/R6P4) com “Recepção Ruim”. Na rota R4 houve

cobertura analógica até o R4P4, a 1,01 km da emissora. Para distâncias superiores a 1 km, a maioria dos pontos foi classificada como “Recepção Ruim”. Assim a distância da cobertura analógica pode ser estimada como atingindo a distância de 1 km da emissora.

Observa-se no gráfico que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico esteve entre 66 e 70 dB $\mu$ V/m. Esta faixa está próximo do valor de 66 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas urbanas [7] [8].

O áudio analógico foi registrado em 32 locais e a classificação da recepção encontra-se na Tabela 8. Dentro de um raio de 1 km em relação ao transmissor, houve 16 pontos (80%) classificados com “Recepção Boa” analógica, 1 ponto classificado como “Recepção Pobre” e 3 pontos com “Recepção Ruim”.

Recepção Analógica	Raio de 1 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Boa	16 (80%)	18 (56,3%)
Pobre	1 (5%)	2 (6,2%)
Ruim	3 (15%)	12 (37,5%)
<i>Total de medições</i>	20 (100%)	32 (100%)

Tabela 8-Resultados do áudio analógico em recepção estática

Considerando toda a região de testes, dentre os 12 (doze) pontos que receberam nota da recepção analógica como “Recepção Ruim”, em todos foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências. Os 12 (doze) pontos de medição são indicados na Figura 30.

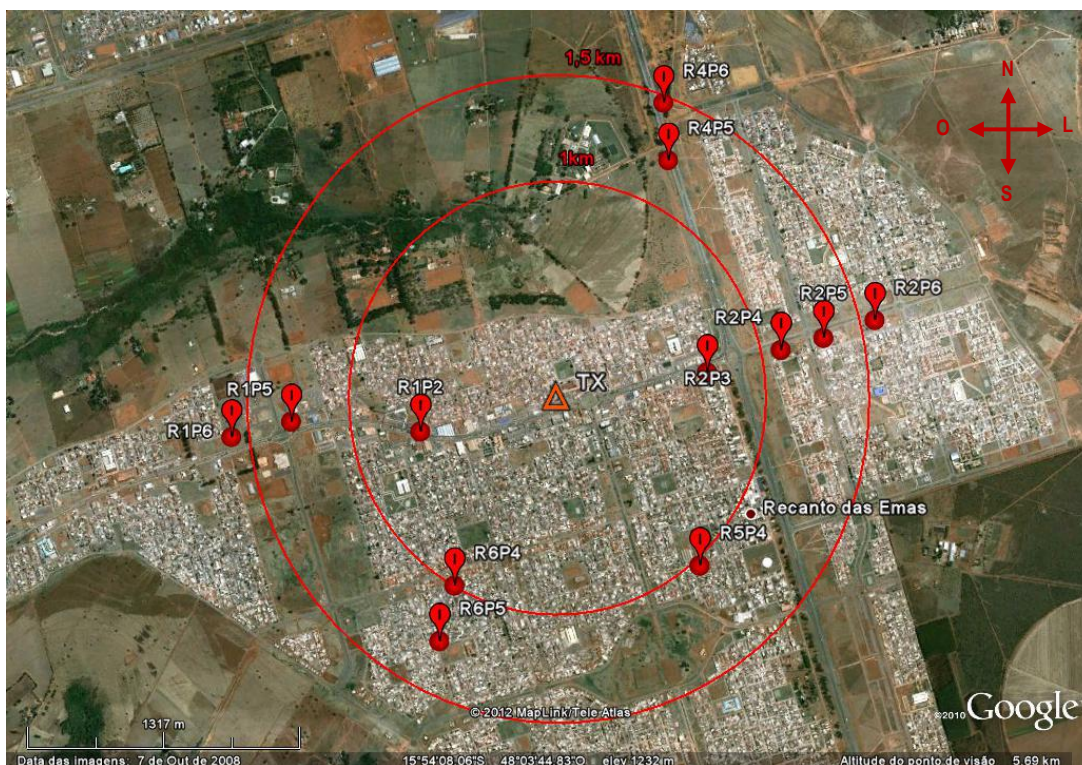


Figura 30- Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM



#### 4.5.2. Comparação entre os resultados da recepção dos áudios analógico e digital

Os resultados referentes à qualidade do áudio analógico (sistema FM) e à recepção digital profissional (sistema DRM+) para as modulações 4QAM e 16QAM podem ser comparados, com base no parâmetro AQ do sinal digital e no tipo de recepção do sinal analógico, para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura.

A Tabela 9 apresenta os resultados em cada ponto fixo para a modulação de 4QAM.

Pontos	Modulação	Distância ao transmissor (km)	Qualidade do áudio digital AQ (%)	Qualidade de áudio FM
Ponto de referência	4QAM	0,22	99,03	4,5
R1P1	4QAM	0,26	100	4,3
R1P2	4QAM	0,66	100	2,0
R1P3	4QAM	0,87	100	2,5
R1P4	4QAM	1,04	100	3,6
R1P5	4QAM	1,26	100	0,0
R1P6	4QAM	1,61	89,25	0,0
R2P1	4QAM	0,11	99,46	4,2
R2P2	4QAM	0,37	100	3,6
R2P3	4QAM	0,72	100	1,4
R2P4	4QAM	1,10	100	1,3
R2P5	4QAM	1,31	98,14	0,0
R2P6	4QAM	1,55	100	0,0
R3P1	4QAM	0,26	99,09	3,4
R3P2	4QAM	0,48	100	4,2
R3P3	4QAM	0,74	98,96	4,0
R3P4	4QAM	1,02	100	2,5
R4P1	4QAM	0,26	100	4,1
R4P2	4QAM	0,54	100	4,1
R4P3	4QAM	0,77	100	4,2
R4P4	4QAM	1,01	100	3,6
R4P5	4QAM	1,28	100	2,0
R4P6	4QAM	1,52	44,32	0,0
R5P1	4QAM	0,25	100	4,3
R5P2	4QAM	0,50	100	4,1
R5P3	4QAM	0,76	100	4,5
R5P4	4QAM	1,01	100	0,0
R6P1	4QAM	0,21	100	4,3
R6P2	4QAM	0,53	100	4,3
R6P3	4QAM	0,76	100	4,2
R6P4	4QAM	0,98	100	2,0
R6P5	4QAM	1,23	99,75	0,0

Tabela 9- Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática, modo 4QAM

Os resultados das medições em 4QAM mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos fixos) foram contabilizados 30 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade boa. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verifica-se que a recepção digital foi superior a analógica com qualidade “Boa”, pois nesta região todos os 20 pontos tiveram recepção digital e houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

O parâmetro AQ do sinal digital e o tipo de recepção do sinal analógico podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A Tabela 9 apresenta os resultados em cada ponto fixo e a Tabela 10 mostra o resumo dos resultados, na qual, para fins de comparação com o digital, as classificações do áudio analógico FM como Recepção Pobre ou Recepção Ruim são agrupadas.

Os valores da Tabela 9 são apresentados na Figura 31. Conforme a classificação definida na Tabela 7, o limiar para “Recepção Boa” do áudio analógico corresponde à nota 3. Nessa avaliação, quando o AQ foi igual ou maior que 98%, atribuiu-se a nota máxima para a qualidade do áudio digital, devido às características intrínsecas do sistema digital com a configuração utilizada. Apenas para fins de visualização dos pontos onde AQ foi menor que 98% e maior ou igual a 90%, esses estão indicados como uma nota “média” igual a 2,5 no áudio digital. Para  $AQ < 90\%$  foi atribuída nota igual a 0.

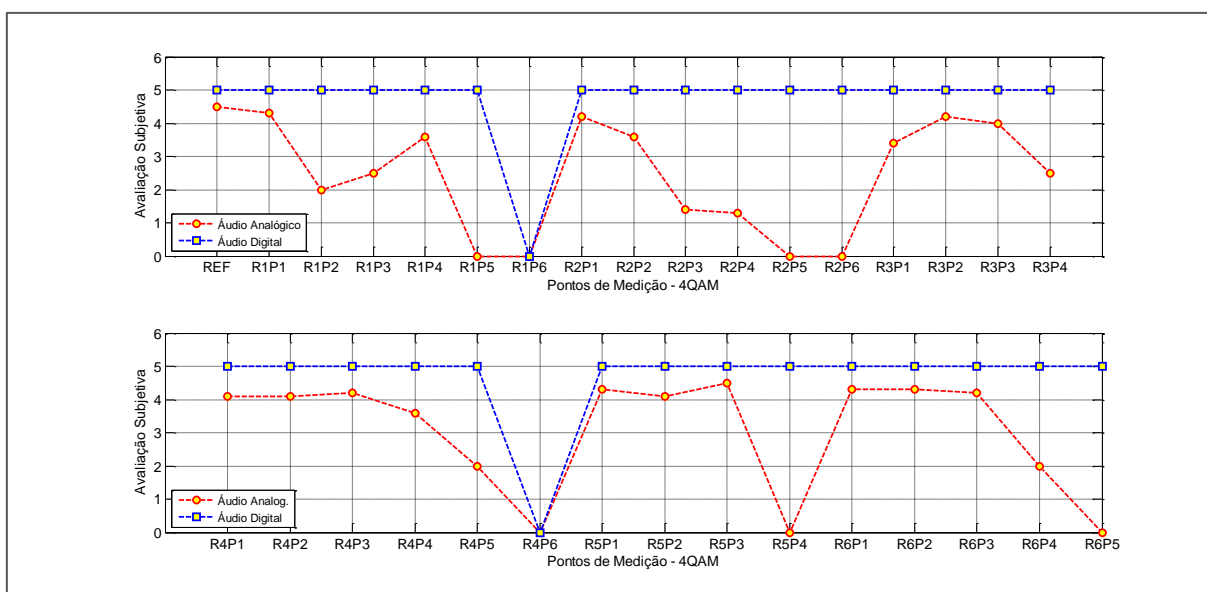


Figura 31 - Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital modo 4QAM

A Tabela 10 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 9, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à recepção digital 4QAM e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- pontos onde houve áudio digital ( $AQ \geq 98\%$  e  $90\% \leq AQ < 98\%$ ) e o analógico estava bom;
- pontos onde houve áudio digital ( $AQ \geq 98\%$  e  $90\% \leq AQ < 98\%$ ), porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- pontos onde não houve áudio digital ( $AQ < 90\%$ ), porém o áudio analógico estava bom;
- pontos onde não houve áudio digital ( $AQ < 90\%$ ), e o áudio analógico estava pobre e ruim.

		Recepção do Áudio Analógico		
		Boa	Pobre e Ruim	Totais
Recepção do Áudio Digital	AQ ≥ 98%	18 (56,3%)	12 (37,5%)	30 (93,8%)
	90% ≤ AQ < 98%	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	AQ < 90%	0 (0%)	2 (6,2%)	2 (6,2%)
	Totais	18 (56,3%)	14 (43,7%)	32 (100%)

Tabela 10 - Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática 4QAM

Da Tabela 10 verifica-se que em 18 locais (56,3%) houve recepção digital com  $AQ \geq 98\%$  e recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” simultaneamente. Em outros 12 locais (38%) houve recepção digital com  $AQ \geq 98\%$  enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”. Nos 2 pontos onde não houve recepção do áudio digital, o áudio analógico foi classificado como “Recepção Pobre e Ruim”.

A Tabela 11 apresenta os resultados em cada ponto fixo para a modulação de 16QAM.

Pontos	Modulação	Distância ao transmissor (km)	Qualidade do áudio digital AQ (%)	Qualidade de áudio FM
Ponto de referência	16QAM	0,22	99,01	4,5
R1P1	16QAM	0,26	100	4,3
R1P2	16QAM	0,66	100	2,0
R1P3	16QAM	0,87	100	2,5
R1P4	16QAM	1,04	100	3,6
R1P5	16QAM	1,26	100	0,0
R1P6	16QAM	1,61	0,88	0,0
R2P1	16QAM	0,11	100	4,2
R2P2	16QAM	0,37	100	3,6
R2P3	16QAM	0,72	100	1,4
R2P4	16QAM	1,10	100	1,3
R2P5	16QAM	1,31	98,84	0,0
R2P6	16QAM	1,55	99,98	0,0
R3P1	16QAM	0,26	95,60	3,4
R3P2	16QAM	0,48	100	4,2
R3P3	16QAM	0,74	100	4,0
R3P4	16QAM	1,02	99,96	2,5
R4P1	16QAM	0,26	100	4,1
R4P2	16QAM	0,54	100	4,1
R4P3	16QAM	0,77	100	4,2
R4P4	16QAM	1,01	100	3,6
R4P5	16QAM	1,28	100	2,0
R4P6	16QAM	1,52	1,41	0,0
R5P1	16QAM	0,25	100	4,3
R5P2	16QAM	0,50	100	4,1
R5P3	16QAM	0,76	100	4,5
R5P4	16QAM	1,01	100	0,0
R6P1	16QAM	0,21	100	4,3
R6P2	16QAM	0,53	100	4,3

R6P3	16QAM	0,76	100	4,2
R6P4	16QAM	0,98	100	2,0
R6P5	16QAM	1,23	79,04	0,0

Tabela 11 - Resultados comparativos entre FM e DRM+ na recepção estática 16QAM

Os resultados das medições em 16QAM mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (32 pontos fixos) foram contabilizados 29 pontos com recepção digital e 18 pontos com áudio analógico com qualidade boa. Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (20 pontos fixos), verifica-se que a recepção digital foi superior a analógica com qualidade “Boa”, pois nesta região todos os 20 pontos tiveram recepção digital enquanto que houve 16 pontos com áudio analógico com qualidade de “Recepção Boa”.

Conforme o procedimento utilizado para as medições de 4QAM, os valores da Tabela 11 são apresentados na Figura 32 e depois consolidados na Tabela 12.

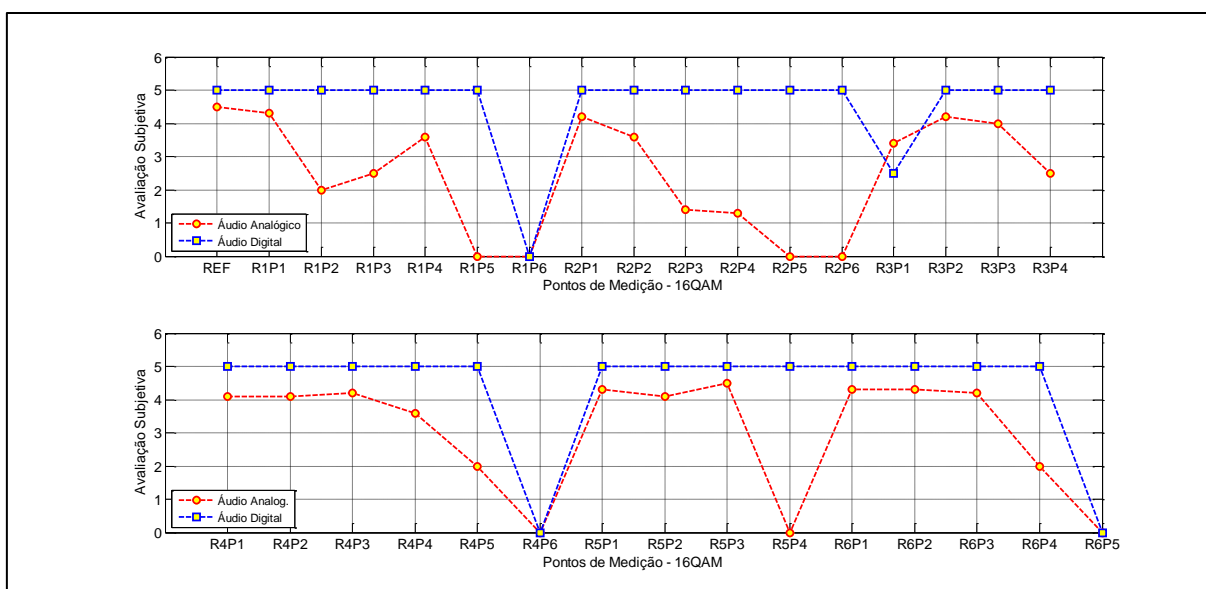


Figura 32 - Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital 16QAM

A Tabela 12 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 11, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à recepção digital 16QAM e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- pontos onde houve áudio digital ( $AQ \geq 98\%$  e  $90\% \leq AQ < 98\%$ ) e o analógico estava bom;
- pontos onde houve áudio digital ( $AQ \geq 98\%$  e  $90\% \leq AQ < 98\%$ ), porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- pontos onde não houve áudio digital ( $AQ < 90\%$ ), porém o áudio analógico estava bom;
- pontos onde não houve áudio digital ( $AQ < 90\%$ ), e o áudio analógico estava pobre e ruim.



		Recepção do Áudio Analógico		
		Boa	Pobre e Ruim	Totais
Recepção do Áudio Digital	AQ $\geq$ 98%	17 (53,1%)	11 (34,4%)	28 (87,5%)
	90% $\leq$ AQ<98%	1 (3,1%)	0 (0%)	1 (3,1%)
	AQ < 98%	0 (0%)	3 (9,4%)	3 (9,4%)
	Totais	18 (56,2%)	14 (43,8%)	32 (100%)

Tabela 12 - Resumo dos resultados comparativos entre áudios analógico e digital na recepção estática 16QAM

Da Tabela 12 verifica-se que em 17 locais (53,1%) houve recepção digital com  $AQ \geq 98\%$  e recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” simultaneamente, e em apenas 1 (3,1%) ponto com recepção digital com  $90\% \leq AQ < 98\%$  ao mesmo tempo que áudio analógico estava com qualidade “Boa”. Em outros 11 locais (34,4%) houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”. Não houve local com recepção analógica com qualidade de “Recepção Boa” sem recepção digital.

#### 4.6. Impacto do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico

A avaliação do impacto da presença do sinal digital DRM+ sobre o áudio analógico é realizada por meio da avaliação subjetiva de áudios analógicos do receptor comercial, que foram gravados durante medições com o transmissor digital ligado e desligado. Para este fim foram feitas medições em cada situação do transmissor, no ponto de referência. Os áudios gravados do receptor analógico comercial (modelo UniWave) foram analisados subjetivamente conforme orientações da Recomendação UIT-R BS 1284. Foi verificado que a presença do sinal digital DRM+ não causou impacto na qualidade do áudio analógico FM. A Figura 33 ilustra os registros obtidos do analisador de espectro no ponto de medição, nas situações de sinal digital desligado e ligado.

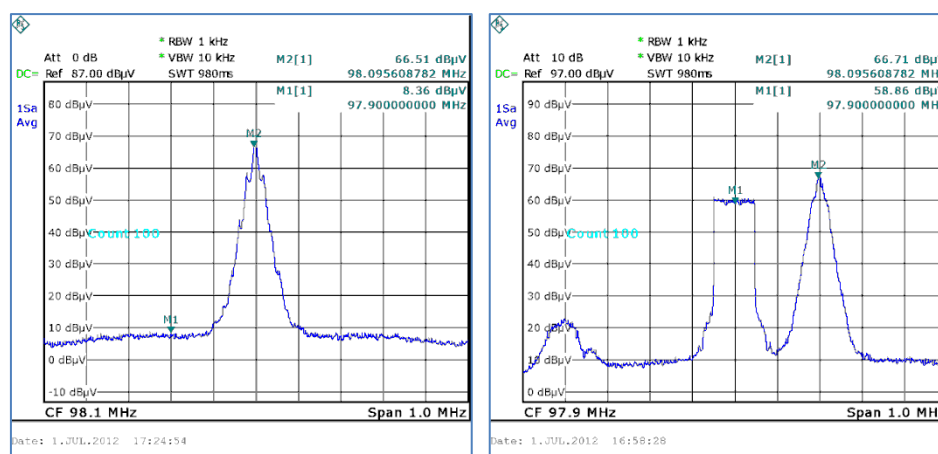


Figura 33-Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir)

## 5. APÊNDICE

### 5.1. Sistema DRM

#### 5.1.1. Histórico e padronização

A tecnologia Digital Radio Mondiale (DRM) é um padrão aberto de radiodifusão sonora digital. O Consórcio Digital Radio Mondiale (DRM) é uma organização internacional sem fins lucrativos composta por radiodifusores, provedores de rede, fabricantes de transmissores e receptores, universidades, associações de radiodifusores e institutos de pesquisa. Seu objetivo é apoiar e difundir um sistema de radiodifusão digital apropriado para uso em todas as faixas de frequências até a Banda III VHF. O Consórcio possui 93 membros e 90 financiadores de 39 países envolvidos até outubro de 2009 [3].

O DRM foi criado em Guangzhou, China em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalização das bandas de radiodifusão AM até 30MHz (ondas longas, médias e curtas). A especificação do sistema DRM para a transmissão abaixo de 30MHz ("DRM30") foi publicado pela primeira vez pelo ETSI em 2001 [9], seguido de uma Recomendação ITU definindo a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [10].

Em 2005 foi tomada a decisão de estender o sistema DRM para operar nas bandas de transmissão VHF, conhecido como "DRM+". Este trabalho requereu um desenvolvimento adicional necessário a fim de definir o novo modo de VHF, que, após refinamento através de ensaios laboratoriais e ensaios de campo, culminou na publicação da atual (e estendida) especificação DRM, a ETSI ES 201 980 [10].

#### 5.1.2. Descrição do sistema

A tecnologia DRM é um padrão aberto, que permite que todos os fabricantes tenham acesso às especificações técnicas e possam projetar e fabricar os equipamentos. O DRM foi desenvolvido para oferecer melhor qualidade de áudio em bandas de radiodifusão AM. Na banda de Ondas Médias (normalmente conhecido como AM), o sistema DRM permite um modo simulcast com a alocação da banda do serviço de AM tradicional ao lado do sinal AM com boa qualidade de áudio. O sistema pode ocupar uma variedade de diferentes larguras de banda, dependendo da localização e as frequências em uso. Nas Américas é usada na banda de onda média a largura de 10 kHz, enquanto na Europa há uma largura de 9 kHz. Nas faixas de ondas curtas a largura de banda de 10 kHz também é usada. O sistema também permite o uso da metade e o dobro das larguras de banda, ou seja, as larguras de banda definidas são 4,5, 5, 9, 10, 18 e 20 kHz, para a transmissão abaixo de 30 MHz. A largura de banda definida para frequências acima de 30 MHz é de 95 kHz, que também é definida para a banda FM (VHF banda II).

O sistema DRM permite que as transmissões digitais existentes possam co-existir com as transmissões analógicas atuais, e uma parte significativa do trabalho tem sido feito para quantificar os parâmetros de operação para garantir a compatibilidade analógico/digital. Isto oferece atendimento no processo de transição da radiodifusão analógica para a digital. O sistema DRM permite que os transmissores analógicos sejam adaptados para transmissões digitais e analógicas.

Uma proposta é o uso da banda de 26 MHz para radiodifusão local [11]. O uso tradicional de bandas HF de transmissão de longa distância com grandes áreas de cobertura é feita principalmente através de reflexões na ionosfera (ondas celestes). Este tipo de propagação da onda é fortemente influenciado pela densidade de elétrons nas camadas da ionosfera nos céus, que é uma consequência da atividade solar. Por esta razão o programa é composto de radiodifusão em HF levando em consideração a hora do dia e mudanças sazonais na atividade solar e que o nível de atividade solar 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 é a densidade de elétrons necessária para tornar possível o retorno da onda para a Terra e, portanto, para permitir a recepção do sinal [12]. Isso explica o baixo uso de frequências mais elevadas na faixa de HF para serviços de radiodifusão através de ondas celestiais (sendo mais afetada a banda MHz 26). A propagação em linha de vista não tem essas limitações e pode fornecer áreas de cobertura de vários quilômetros ao redor do transmissor nessas bandas de frequências, que podem então ser usadas para transmitir com cobertura local. Assim, a cobertura de uma cidade ou uma pequena região pode ser feita de forma semelhante ao rádio FM.

Em relação à largura do canal de 10 kHz, a taxa de streaming de mídia é limitada a cerca de 35 kbit/s para um único canal e 72 kbps quando se utilizam dois canais. Embora a taxa de bits não seja muito alta, a qualidade atinge ou ultrapassa a qualidade das transmissões em FM. O padrão avançado de codificação de áudio (AAC), combinado com a técnica SBR (Replicação da Banda do Sinal) fornece alta qualidade de áudio em taxas de bits muito baixas (por exemplo, 22 kbps). Além do padrão AAC, DRM define o uso dos codecs HVXC e CELP para uso na transmissão de sinais de voz em 4 kbps ou menos. Com o DRM30 com largura de banda de 18/20 kHz e com o DRM+, é possível transmitir áudio surround 5.1 [3].

### 5.1.3. Características Técnicas

O sistema digital de radiodifusão DRM (Digital Radio Mondiale) pode ser usado em bandas de frequências de rádio abaixo de 174 MHz, ou seja, ele pode ser usado nas bandas de radiodifusão LF, MF, HF e VHF, para substituir a radiodifusão analógica baseada em modulação de amplitude (AM) e frequência modulada (FM). O sistema operando em frequências abaixo de 30 MHz é chamado de DRM30 [2] [3] [10]. O DRM+ é uma extensão do sistema DRM para operar na faixa de frequência entre 30 e 174 MHz. Sinais DRM+ ocupam uma largura de banda de 95 kHz e oferecem taxas de bits de 35 kbps a 185 kbps com qualidade de som estéreo ou surround, além de serviços de dados. O sistema DRM tem a aprovação da União Internacional das Telecomunicações (UIT), da Comissão Eletrotécnica Internacional e é um padrão ETSI (European Telecommunications Standards Institute) [2] [10] [13].

O sinal DRM utiliza modulação OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), que fornece elevada robustez contra os efeitos de propagação. O sistema DRM permite modificar vários parâmetros do sistema para focar na qualidade da transmissão de radiodifusão sonora ou na robustez contra os efeitos do ruído, interferência, multipercurso e Efeito Doppler. Os principais parâmetros modificáveis são o modo de transmissão OFDM (que define o tempo de guarda e a separação entre as subportadoras), as modulações, a taxa de código para controle de erros e o grau de entrelaçamento. Quanto maior for a robustez fornecida pela configuração escolhida, menor a taxa de bits de dados eficaz disponível, e, conseqüentemente, menor a qualidade do áudio. Além dos parâmetros mencionados acima, uma das seis larguras espectrais para DRM30 pode ser escolhida: 4.5 kHz, 5 kHz,

9 kHz, 10 kHz, 18 kHz ou 20 kHz. Para DRM+ a largura de banda é sempre 100 kHz (95 kHz ocupada).

Parâmetros	Modo de robustez				
	A	B	C	D	E
Espaçamento entre portadoras( $\Delta f_p$ )	41.667 Hz	46.875 Hz	68.182 Hz	107.143 Hz	444.444 Hz
Duração da parte utilizável (ortogonal) de um símbolo OFDM ( $T_u = 1/\Delta f_p$ )	24 ms	21.333 ms	14.667 ms	9.333 ms	2.25 ms
Intervalo de guarda( $T_g$ )	2.667 ms	5.333 ms	5.333 ms	7.333 ms	0.25 ms
Duração do símbolo OFDM ( $T_s = T_u + T_g$ )	26.667 ms	26.667 ms	20 ms	16.667 ms	2.5 ms
$T_g / T_u$	1/9	1/4	4/11	11/14	1/9

Tabela 5.1-Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos de robustez DRM

Modo de Robustez	Condições típicas de propagação	Utilização típica	
A	Canais gaussianos, com fading desprezível	Cobertura local ou regional por meio de onda de superfície nas bandas MW e LW. Cobertura local usando onda espacial em SW numa banda de 26 MHz.	DRM30
B	Canais seletivos no tempo e na frequência, com maior delay spread	Cobertura nacional e internacional usando onda celeste em bandas MW e SW.	
C	Tão robusto como o modo B, mas com maior espalhamento Doppler	Cobertura internacional utilizando onda celeste na banda SW.	
D	Tão robusto como o modo B, mas com severo espalhamento Doppler	Onda celeste requerendo elevada robustez, particularmente com incidência quase vertical na propagação da onda celeste para cobertura nacional em bandas SW.	
E	Canais seletivos no tempo e em frequência.	Transmissões em bandas VHF entre 30 and 174 MHz	DRM+

Tabela 5.2-Usos dos modos de robustez DRM

Os modos de transmissão OFDM oferecidos pelo sistema DRM são quatro para DRM30 e outro para DRM+, e eles são identificados pelas letras A, B, C, D e E. Estes modos diferem na separação das portadoras OFDM, o comprimento dos símbolos OFDM na duração e o intervalo de guarda do OFDM como é mostrado na Tabela 5.1 e Tabela 5.2 [2] [3]. O modo E é o modo concebido para as bandas de VHF.

Os componentes das informações transmitidas pelo sistema de DRM são divididos e multiplexados em três canais lógicos: o Canal de Acesso Rápido (FAC), o Canal de Descrição de Serviço (SDC) e o Canal de Serviço Principal (MSC) [2] [3]. O MSC contém os serviços (áudio e dados) e, portanto, detém a maioria da capacidade de transmissão do sinal DRM. As portadoras que carregam o MSC podem usar modulação 16-QAM ou 64-QAM no DRM30 e 4-QAM ou 16-QAM no DRM+. O SDC

contém uma descrição de como decodificar os serviços contidos no MSC. As portadoras que transportam os dados do SDC sempre usam uma modulação mais robusta (ou seja, de ordem mais baixa) do que a utilizada pelo MSC.

O FAC transporta dados que informam ao receptor a largura espectral do sinal DRM, as modulações usadas com o SDC e o MSC, a intercalação, quantos serviços contém o MSC e o nome de tais serviços. O receptor decodifica o FAC primeiro, e depois decodificar o SDC e, finalmente, a MSC. Como o FAC carrega os dados mais críticos do sistema, exige uma maior robustez, o que é conseguido através de modulação 4-QAM e um FEC robusto [2].

Grupos de símbolos OFDM do MSC e SDC são entrelaçados no tempo, a fim de reduzir os efeitos de curto prazo do desvanecimento (fading). No DRM30 a extensão (número de símbolos) pode ser longa ou curta, o que corresponde a um intervalo de tempo de 0.4 s ou 2.4 s, respectivamente. Em DRM+ a profundidade do entrelaçador é única e é de 600 ms [2].

O sistema DRM oferece grande flexibilidade na codificação de fonte, permitindo a utilização de três esquemas de codificação: uma para codificação de áudio (AAC) e dois para codificação de voz (CELP e HVXC). A Figura 5.1 mostra as possibilidades de codificação de fonte (áudio) no sistema DRM. Os três codificadores disponíveis fazem parte do MPEG-4 e algumas de suas características são mostradas na Tabela 5.3.

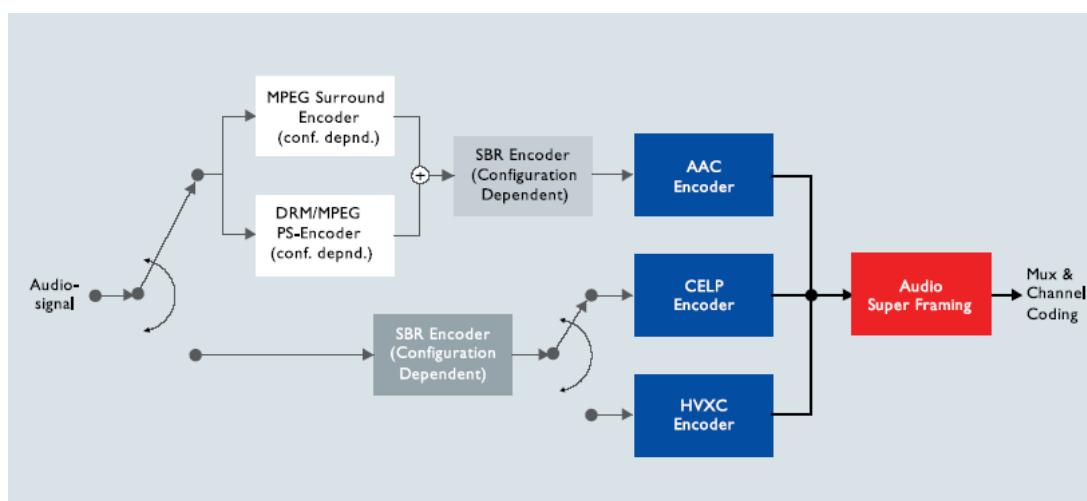


Figura 5.1-Opções de codificação de áudio no DRM.

O codificador AAC (Advanced Audio Coding) é para a codificação de áudio genérico, mono, estéreo ou surround. No sistema DRM, as taxas de amostragem permitidas com o AAC são de 12 kHz ou 24 kHz no DRM30 e de 24 kHz ou 48 kHz no DRM+. Em princípio, o áudio codificado teria então uma largura de banda menor que 6 kHz ou 12 kHz, respectivamente. No entanto, o sistema DRM permite o uso da técnica SBR (Spectral Band Replication) que é capaz de melhorar a percepção de um sinal de áudio espectralmente truncado baixas frequências. Ele usa, de forma dinâmica, o conteúdo espectral de informações de baixa frequência para criar uma imitação para as informações de alta frequência perdidas. Isto requer informações auxiliares do SBR que gastam aproximadamente de 2 kbps. Neste caso, o codificador AAC codifica um sinal de áudio de banda estreita - com largura de banda inferior a 6 (ou 12) kHz - e em paralelo o codificador SBR extrai e codifica apenas a forma (ou envoltória) do



espectro de áudio original para frequências acima de 6 (ou 12) kHz. Essas duas informações, a saída do codificador AAC e saída de codificador SBR são transmitidas e usadas pelo decodificador para criar uma imitação das informações de alta frequência espectral perdidas, que são combinadas com as informações de baixa frequência espectral para produzir um sinal de áudio que se estende a 15 kHz ou mais.

Codificadores	Taxa de amostragem (kHz)	Taxa de bits (kbps)	Aplicação
AAC	12 e 24 para DRM30 24 e 48 para DRM+	Qualquer taxa de bits. A granularidade é 20 bps para DRM30 e 80 bps para DRM+.	Para codificação de áudio genérico, mono, stereo ou surround
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 5.3- Características dos codificadores de áudio DRM

A combinação do codificador AAC com o esquema de SBR é chamado aacPlus ou HE AAC (High Efficiency AAC) [14]. O aacPlus é capaz de fornecer sinais de áudio estereofônico de alta qualidade (equivalente à qualidade oferecida por CDs) com taxas de bit em torno de 48 kbps, e os sinais de áudio mono com qualidade próxima ao proporcionado pelas estações de FM podem ser alcançados a taxas de bits em torno de 20 kbps.

O sistema DRM permite também o uso de um sistema estéreo paramétrico, que usa uma técnica de síntese para decodificar o sinal de áudio para melhorar o mono AAC, dando a percepção de um sinal estéreo. Este esquema também exige a transmissão de informações auxiliares que gastam cerca de 2 kbps e é extraído pelo codificador do sinal original de áudio estéreo. Portanto, para implementar a expansão de largura de banda e o estéreo paramétrico é necessário gastar mais cerca de 4 kbps. No entanto, estes dois regimes, quando combinados com codificação AAC, proporcionam uma excelente qualidade de áudio com uma taxa de bits total tão baixa quanto 20 kbps [14].

O codificador de voz CELP MPEG-4 (Code Excited Linear Prediction) fornece boa qualidade em baixas taxas de bits, como mostra a Tabela 5.3. Ele permite ao DRM transmitir até quatro programas de fala (notícias, por exemplo), ou o mesmo programa em até quatro idiomas, o que é de grande interesse internacional na radiodifusão.

O codificador de voz HVXC (Harmonic Vector Excitation Coding) usa taxas de bit menores que o codificador CELP, como mostra a Tabela 5.3. Destina-se igualmente para a transmissão simultânea de diversos programas de fala ou o mesmo programa em até quatro idiomas diferentes. Ele também possibilita aos programas de rádio ser armazenados na memória flash.

#### 5.1.4. Testes realizados com a tecnologia DRM

O padrão DRM cobre muitas bandas de frequência nas quais ocorrem diferentes modos de propagação. Os modos de transmissão podem ser o simulcast, redes SFN ou AFS. Para avaliar o desempenho do sistema nestas bandas e essas possibilidades, vários testes de campo foram realizados.

Em 2005, uma campanha de extensas medições foi realizada em Madrid e nas regiões vizinhas, o que originou o documento ITU-6E 175E "Digital Radio Mondiale (DRM) Daytime Tests " [15]. O principal objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do DRM utilizando a banda de onda média.

Neste trabalho foi apresentado um estudo de comparação detalhada entre os valores de campo medido em ambientes suburbanos e rurais e os valores previstos dados pela Recomendação ITU-R P.368-7 [16]. O principal resultado desta análise levou a um casamento muito bom entre os dados previstos pelo método de Millington e os valores medidos. Para distâncias de até 35 km do transmissor, um áudio com qualidade perfeita pode ser observado tanto em áreas rurais como suburbanas. No km 35-70, havia algumas poucas quedas do áudio. O possível efeito da velocidade do veículo não parece ser significativo para a recepção [17] [18]. A partir das medições dos campos foram obtidos valores de C/N para a recepção mínima do DRM que foram comparados com a relação C/N mínima recomendada pela UIT. Os resultados da comparação foram satisfatórios e estão resumidos no artigo de Gorka Prieto et al [36].

Outros ensaios na faixa MW foram realizados no México [19], França [20], Índia [3] e outros países com bons resultados. Ensaios realizados na Alemanha mostraram o bom desempenho da rede SFN em MW [21].

A proposta do Consórcio DRM é o uso da banda de 26 MHz para cobertura local. Em 2005, as medições foram realizadas na Cidade do México, cujos resultados foram mostrados por JM Matias et al [22], para examinar a radiodifusão na cobertura local para faixa alta do HF (26 MHz). A propagação em linha de vista é o principal mecanismo de propagação dentro de uma faixa de vários quilômetros a partir do transmissor, embora a propagação das ondas de superfície também seja relevante nas proximidades do transmissor. Os resultados mostraram que os diferentes ambientes urbanos estudados não foram significativamente afetados pela variação temporal na intensidade dos campos medidos. Em outros estudos realizados em Brasília, os resultados foram melhores porque o ambiente era menos crítico, ou seja, com menor densidade predial [23].

A transmissão SW para longas distâncias ou a cobertura nacional em bandas tropicais têm sido alvo de pesquisas e testes desde o início do Consórcio. O RADIATE (Radio Digital Am Tests) foi um projeto para testar o sistema DRM em todas as bandas. Os testes de SW mostraram a viabilidade do sistema de DRM para esta aplicação. Os resultados mais relevantes foram enviados para a ITU [21] e EBU [24]. Devido à variabilidade de propagação SW, em 2001, o Consórcio decidiu criar um sistema de monitoramento de longo prazo para avaliar a confiabilidade do sistema em longos períodos de tempo. Os primeiros resultados deste sistema mostraram uma confiabilidade mais de 90% na maioria dos casos [25] [26]. O Consórcio tem feito testes em MFN, SFN e NVIS (próximo de incidência vertical da onda celeste, para a banda tropical), mas mais dos estudos não têm sido relatados em publicações científicas. Uma dos mais importantes foram os ensaios NVIS feitos na Tailândia, em 2002, aonde o

modo B se mostrou insuficiente para este tipo de propagação. Após estes resultados, o modo C e D foram desenvolvidos para NVIS.

O primeiro teste de transmissão DRM+ foi realizado em 21 de novembro de 2007, em Hannover, Alemanha. Foi uma transmissão com potência de mínima de 18 W em 95.2 MHz. Foram testes subjetivos de recepção de FM em canais vizinhos com e sem a presença de DRM+ sinal no ar. As conclusões foram que o primeiro transmissor DRM+ funcionou com sucesso e a transmissão não causou interferência significativa nos sinais FM [27].

De março a maio de 2008, a Universidade de Ciências Aplicadas de Kaiserslautern realizou testes de campo na banda VHF II em Kaiserslautern. Seus objetivos foram verificar e ampliar os resultados de laboratório sobre a compatibilidade entre FM e DRM+ e obter os primeiros resultados sobre a cobertura de DRM+ [28]. As transmissões eram feitas a partir de uma estação de rádio experimental da Universidade com 35 W entre 87.6 e 87.9 MHz. A compatibilidade foi avaliada em termos de recepção fixa e móvel e concluiu que o DRM+ e os sistemas FM poderiam coexistir na banda FM, uma vez que se verificou que ambos os sinais têm um grau semelhante de interferência em um sinal de FM. Ou seja, em comparação com FM, para viabilizar a compatibilidade, o sinal DRM+ deve estar 5 dB abaixo para co-canal e canal adjacente, enquanto que com uma separação maior do que 200 kHz entre canais, não há problemas de compatibilidade.

De junho a agosto de 2009, a Universidade de Kaiserslautern fez outra campanha de ensaios em campo com a mesma infra-estrutura com o objetivo de avaliar a cobertura real do DRM+ em comparação com o estimado [29]. Os resultados mostraram que a recepção fixa e móvel do DRM+, com modulações 4-QAM e 16-QAM, tinha uma cobertura significativamente maior que o FM. Em qualquer local da recepção o limiar de recepção era pelo menos 20 dB mais baixo para o DRM+.

Também em junho, a Universidade de Kaiserslautern fez uma demonstração do DRM+ na banda I (50-68 MHz na Região 2 da UIT), em Paris, França, para as autoridades de regulamentação das telecomunicações do país. O sinal DRM+ foi transmitido a partir do Tour Peyel com uma potência de 400 W a 64.5 MHz, e foi recebido a 10 km de distância nos escritórios do governo. O DRM+ provou ser uma solução técnica para as estações que podem ser integrados a um multiplex DAB (Eureka-147) por razões de custo, cobertura ou saturação da banda de FM [30].

Outros testes foram realizados na Banda II (banda de FM) em 19 de janeiro e 03 de março de 2010 em Hanover, na Alemanha, pelo Instituto de Tecnologia de Comunicações da Universidade de Hanover. O transmissor estava operando com 30 W em 95.2 MHz e foi testada a recepção com os modos 4-QAM e 16-QAM em ambientes urbanos e rurais. De acordo com os resultados, o modo 4-QAM foi recebido com boa qualidade, com valores de intensidade de campo abaixo de 30 dB $\mu$ V/m e uma SNR de 10 dB, enquanto que para o modo de 16-QAM a recepção foi possível abaixo de 46 dB $\mu$ V/m e com cerca de 18 dB de SNR. A recepção foi perdida a uma distância de 30 km para o modo 4-QAM e cerca de 15 km para o 16-QAM [31] [32].

O padrão DRM não cobre a Banda III do VHF (174-216 MHz na Região 2 da UIT), mas alguns testes foram feitos sobre esta banda. No mesmo período dos ensaios anteriores relatados, a Universidade de Hanover também fez testes na banda III com os mesmos objetivos e na mesma área. O transmissor foi operado em 176.64 MHz, com uma potência de 30 W. O modo 4-QAM foi recebido com boa qualidade, com intensidade de campo inferior a 35 dB $\mu$ V/m e uma SNR de 12 dB. A cobertura chegou

a 30 km. Por outro lado, no modo 16-QAM uma boa recepção é alcançada com 48 dB $\mu$ V/m e um SNR de 20 dB, até 15 km de distância do transmissor [33].

Em fevereiro de 2010 a Universidade de Kaiserslautern testou o DRM+ na Band III para verificar os resultados obtidos em laboratório. Os testes foram realizados nos mesmos locais de testes de banda II. Nos pontos fixos foi medida a relação de proteção DRM+, quando foi interferido por um sinal DAB. Ensaios de laboratório mostraram que ambos os sinais poderiam coexistir. O sinal DAB é mais sensível e precisa de 10 dB de relação de proteção em relação ao DRM+. Enquanto isso, o sinal DRM+ só precisa de -7 dB de relação de proteção no modo 4-QAM e -2 dB com o modo 16-QAM. Estes resultados foram confirmados nestes ensaios de campo. Por outro lado, os resultados indicam que a recepção móvel de DRM+ comparada com o DAB e o DAB+ dentro da área de cobertura é aceitável e que o DRM+ pode ser recebido em velocidades muito elevadas (até 230 km/h) [34].

Em 29 e 30 de novembro de 2009, o primeiro teste de campo do DRM+ na região da Ásia-Pacífico foi realizado no Sri Lanka. O objetivo era medir a cobertura e a recepção móvel. O transmissor utilizou 47 W em 87.6 MHz e 4 rotas foram definidas, que começaram no transmissor e cruzaram áreas urbanas e rurais. A cobertura com boa recepção foi até 9 km, mas com áreas sem recepção devido à interferência de estações de FM em canais adjacentes [35].

Todos os ensaios foram feitos com baixa potência e mostraram um bom desempenho do sinal DRM+. Eles também mostraram a possibilidade de usar esta tecnologia na banda I (50-68 MHz) e banda III (174-216 MHz), mesmo que esta banda não seja coberta pela última versão do padrão DRM [2].

## 5.2. Detalhes das rotas utilizadas nas medições DRM+

Neste apêndice são apresentados detalhes do planejamento da localização das rotas radiais e circulares.

### 5.2.1. R1 - Rota Oeste (Recanto das Emas)

Comprimento: 1,5 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
	Latitude	Longitude		
R1P1	15°54'12.82"S	48° 3'50.88"O	Av. Rec. Emas	0,199
	Longitude	48° 3'50.88"O		
R1P2	15°54'14.33"S	48° 4'3.97"O	Av. Rec. Emas Rua direita.	0,585
	Longitude	48° 4'3.97"O		
R1P3	15°54'13.22"S	48° 4'11.97"O	Av. Rec. Emas	0,816
	Longitude	48° 4'11.97"O		
R1P4	15°54'12.87"S	48° 4'18.08"O	Av. Rec. Emas	0,995
	Longitude	48° 4'18.08"O		
R1P5	15°54'13.27"S	48° 4'26.44"O	Av. Rec. Emas Estrada direita.	1,244
	Longitude	48° 4'26.44"O		
R1P6	15°54'16.06"S	48° 4'36.51"O	Av. Rec. Emas Rua direita.	1,553
	Longitude	48° 4'36.51"O		





### 5.2.2. R2 - Rota Leste (Riacho fundo II)

Comprimento: 1,5 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
R2P1	Latitude	15°54'10.46"S	Av. Rec. Emas Q203	0,106
	Longitude	48° 3'41.10"O		
R2P2	Latitude	15°54'7.80"S	Av. Rec. Emas Q201	0,372
	Longitude	48° 3'32.37"O		
R2P3	Latitude	15°54'4.96"S	Av. Rec. Emas Q201	0,724
	Longitude	48° 3'20.89"O		
R2P4	Latitude	15°54'1.51"S	Retorno em frente da QN 9A conjunto 1	1,015
	Longitude	48° 3'11.70"O		
R2P5	Latitude	15°54'0.23"S	Retorno em frente da QN 9A conjunto 2	1,193
	Longitude	48° 3'5.88"O		
R2P6	Latitude	15°53'56.90"S	Riacho Fundo II Qn 10 Cj 2	1,572
	Longitude	48° 2'53.60"O		
	Longitude	48° 0'56.40"O		



### 5.2.3. R3 - Rota Noroeste (Samambaia)

Comprimento: 1 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
R3P1	Latitude	15°54'6.41"S	Rec.Emas Q103 Cj 2	0,275
	Longitude	48° 3'53.07"O		
R3P2	Latitude	15°54'0.51"S	Rec.Emas Q103 Cj 7A	0,470
	Longitude	48° 3'57.04"O		
R3P3	Latitude	15°53'59.39"S	Rec.Emas Q104 Cj 5	0,756
	Longitude	48° 4'7.62"O		
R3P4	Latitude	15°53'51.58"S	Rec.Emas Q104 estrada de terra	1,010
	Longitude	48° 4'12.75"O		





#### 5.2.4. R4 - Rota Norte (Samambaia)

Comprimento: 1,5 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
R4P1	Latitude	15°54'3.13"S	Q 103 Cj. 2 Rec.Emas	0,251
	Longitude	48° 3'40.22"O		
R4P2	Latitude	15°53'57.05"S	Q 101 Cj.Rec.Emas	0,539
	Longitude	48° 3'32.72"O		
R4P3	Latitude	15°53'54.80"S	Av. Vargem da Benção Q 101	0,781
	Longitude	48° 3'23.80"O		
R4P4	Latitude	15°53'46.63"S	Estrada de terra paralela a DF001	0,980
	Longitude	48° 3'22.52"O		
R4P5	Latitude	15°53'32.10"S	DF001	1,281
	Longitude	48° 3'27.30"O		
R4P6	Latitude	15°53'23.40"S	DF001	1,523
	Longitude	48° 3'28.10"O		
	Longitude	48° 2'57.62"O		





### 5.2.5. R5 - Rota Sul (DF 001 EPCT)

Comprimento: 1,5 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
R5P1	Latitude	15°54'15.93"S	Q 203 Cj. 2 Rec. Emas	0,250
	Longitude	48° 3'38.60"O		
R5P2	Latitude	15°54'25.30"S	Q 204 Cj.4 Rec. Emas	0,525
	Longitude	48° 3'36.50"O		
R5P3	Latitude	15°54'29.12"S	Q 401 Cj.4 Rec. Emas	0,758
	Longitude	48° 3'28.27"O		
R5P4	Latitude	15°54'34.18"S	Q 401 Cj. 8 Rec. Emas	0,996
	Longitude	48° 3'22.15"O		
R5P5	Latitude	15°54'37.73"S	Q 402 Cj. 9 Rec. Emas	1,247
	Longitude	48° 3'13.83"O		
R5P6	Latitude	15°54'41.75"S	Q 601 Cj. 2 Rec. Emas	1,497
	Longitude	48° 3'6.32"O		
	Longitude	48° 2'25.46"O		

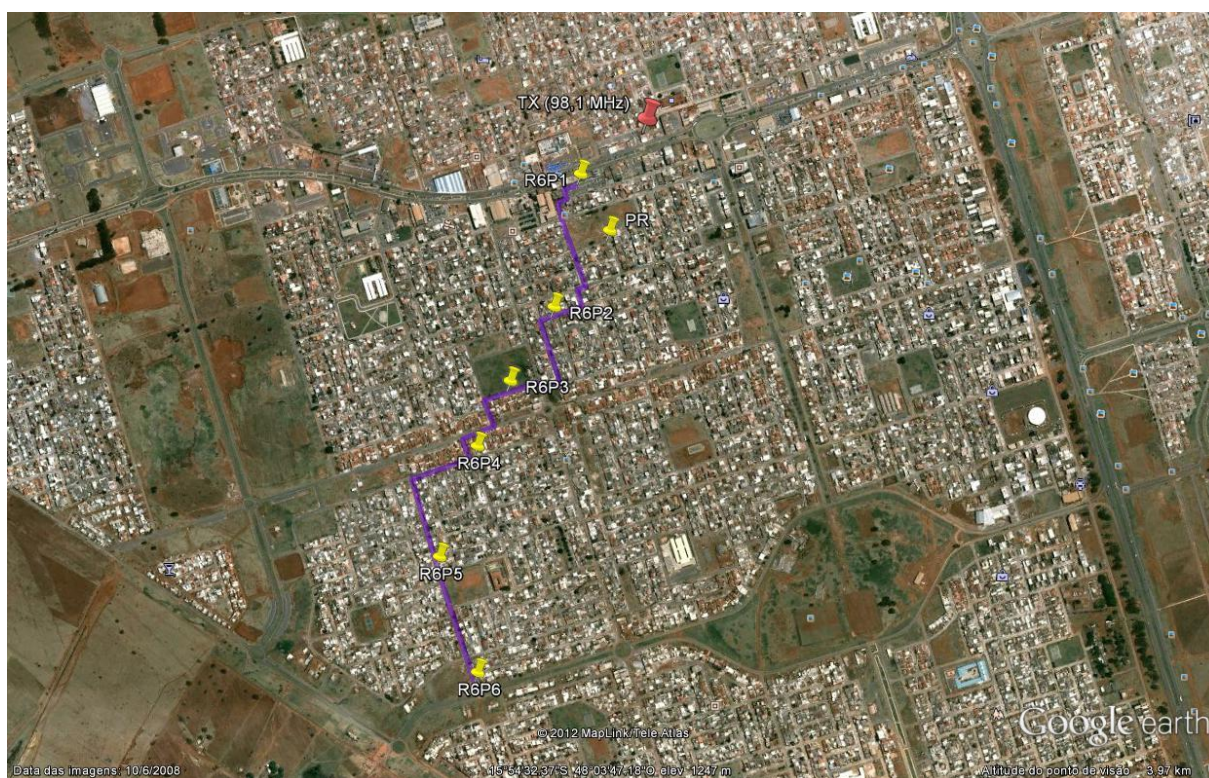




### 5.2.6. R6 - Rota Sudoeste ( Recanto das Emas)

Comprimento: 1,5 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
R6P1	Latitude	15°54'14.50"S	Q203 Cj11 Est.Rec.Emas	0,215
	Longitude	48° 3'50.40"O		
R6P2	Latitude	15°54'25.70"S	Q204 Cj19 Rec. Emas	0,536
	Longitude	48° 3'52.70"O		
R6P3	Latitude	15°54'31.92"S	Q205 Cj16 Rec. Emas	0,756
	Longitude	48° 3'56.53"O		
R6P4	Latitude	15°54'37.40"S	Q205 Cj29 Rec. Emas	0,944
	Longitude	48° 3'59.40"O		
R6P5	Latitude	15°54'46.74"S	Q205 Cj28 Rec. Emas	1,245
	Longitude	48° 4'2.74"O		
R6P6	Latitude	15°54'56.51"S	Q205 Cj1 Rec. Emas	1,489
	Longitude	48° 3'59.42"O		

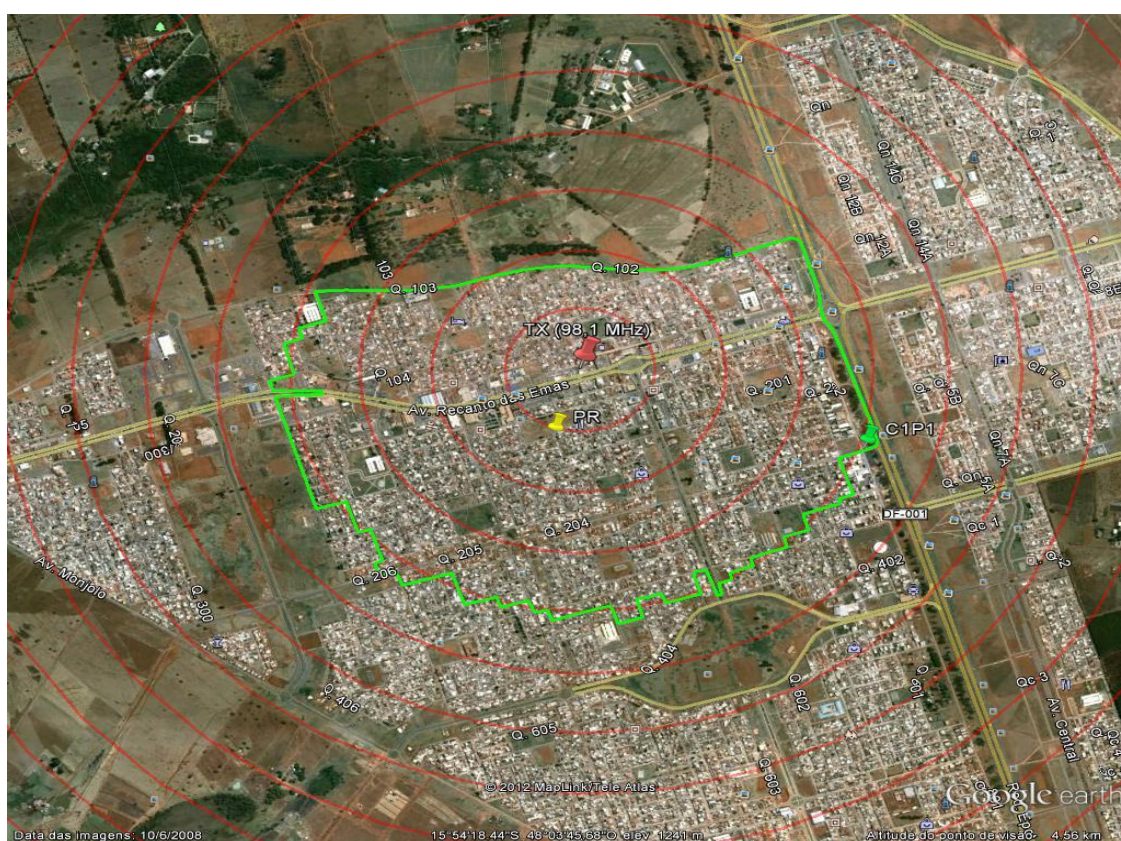




### 5.2.7. C1 - Rota Circular Urbana – 1 km do transmissor

Comprimento: 7,3 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
C1P1	Latitude	15°54'20.90"S	Frente a quadra 202	0,4 a 1,4
	Longitude	48° 3'12.43"O		





### 5.2.8. C2 - Rota Circular Urbana – 0,5 km do transmissor

Comprimento: 4,97 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
C2P1	Latitude	15°54'7.97"S	Comércio local em frente à Q 201 conjunto 12	0,415 a 0,653
	Longitude	48° 3'28.27"O		

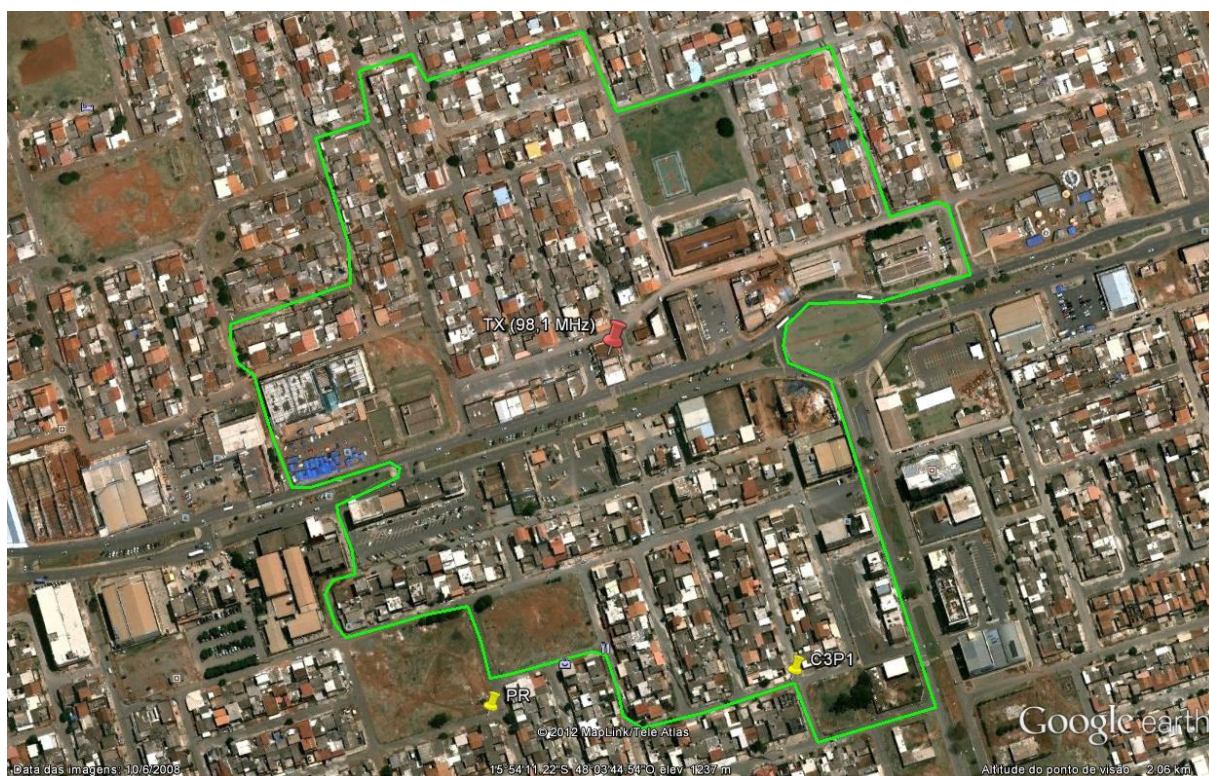




### 5.2.9. C3 - Rota Circular Urbana – 0,25 km do transmissor

Comprimento: 2,47 km

Pontos Fixos	Coordenadas		Localização	Distância ao Tx (km)
C3P1	Latitude	15°54'18.33"S	Q 203 conjunto 3	0,130 a 0,364
	Longitude	48° 3'39,94"O		



### 5.3. Detalhes das rotas e pontos fixos utilizados nas medições DRM+

Neste apêndice são descritos os detalhes da localização dos pontos de medição em cada modulação.

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Latitude			Longitude		
		Grau	Minuto	Segundo	Grau	Minuto	Segundo
Ponto de Referência	0,22	-15	54	-16,96	-48	3	46,59
R1P1	0,26	-15	54	13,22	-48	3	52,73
R1P2	0,66	-15	54	14,33	-48	4	6,56
R1P3	0,87	-15	54	13,05	-48	4	13,69
R1P4	1,04	-15	54	11,62	-48	4	19,61
R1P5	1,26	-15	54	13,10	-48	4	26,77
R1P6	1,61	-15	54	17,17	-48	4	38,58
R2P1	0,11	-15	54	10,45	-48	3	40,85
R2P2	0,37	-15	54	7,85	-48	3	32,32
R2P3	0,72	-15	54	4,97	-48	3	20,94
R2P4	1,10	-15	54	1,57	-48	3	8,82
R2P5	1,31	-15	53	59,29	-48	3	1,86
R2P6	1,55	-15	53	57,25	-48	2	54,19
R3P1	0,26	-15	54	7,27	-48	3	52,94
R3P2	0,48	-15	54	0,36	-48	3	57,04
R3P3	0,74	-15	53	59,60	-48	4	7,11
R3P4	1,02	-15	53	51,02	-48	4	12,70
R4P1	0,26	-15	54	3,14	-48	3	40,18
R4P2	0,54	-15	53	57,22	-48	3	32,55
R4P3	0,77	-15	53	54,76	-48	3	24,13
R4P4	1,01	-15	53	45,13	-48	3	22,86
R4P5	1,28	-15	53	32,36	-48	3	27,26
R4P6	1,52	-15	53	23,71	-48	3	27,92
R5P1	0,25	-15	54	15,82	-48	3	38,46
R5P2	0,50	-15	54	24,13	-48	3	36,35
R5P3	0,76	-15	54	29,11	-48	3	28,25
R5P4	1,01	-15	54	34,23	-48	3	21,79
R6P1	0,21	-15	54	15,34	-48	3	49,84
R6P2	0,53	-15	54	25,87	-48	3	52,86
R6P3	0,76	-15	54	31,97	-48	3	56,23
R6P4	0,98	-15	54	37,88	-48	4	0,44
R6P5	1,23	-15	54	45,97	-48	4	2,72

Tabela 5.4-Detalhes da localização dos pontos de medições no modo 4QAM

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Latitude			Longitude		
		Grau	Minuto	Segundo	Grau	Minuto	Segundo
Ponto de Referência	0,22	-15	54	17,11	-48	3	46,57
R1P1	0,26	-15	54	13,25	-48	3	52,78
R1P2	0,66	-15	54	14,29	-48	4	6,47
R1P3	0,87	-15	54	12,98	-48	4	13,67
R1P4	1,04	-15	54	11,46	-48	4	19,68
R1P5	1,26	-15	54	13,04	-48	4	26,84
R1P6	1,61	-15	54	17,16	-48	4	38,54
R2P1	0,11	-15	54	10,39	-48	3	40,88
R2P2	0,37	-15	54	7,82	-48	3	32,34
R2P3	0,72	-15	54	4,97	-48	3	20,95
R2P4	1,10	-15	54	1,50	-48	3	8,94
R2P5	1,31	-15	53	59,46	-48	3	1,98
R2P6	1,55	-15	53	57,29	-48	2	54,29
R3P1	0,26	-15	54	7,30	-48	3	52,88
R3P2	0,48	-15	54	0,35	-48	3	57,04
R3P3	0,74	-15	53	59,62	-48	4	7,10
R3P4	1,02	-15	53	51,01	-48	4	12,68
R4P1	0,26	-15	54	2,99	-48	3	40,17
R4P2	0,54	-15	53	57,29	-48	3	32,50
R4P3	0,77	-15	53	54,72	-48	3	24,23
R4P4	1,01	-15	53	45,14	-48	3	22,80
R4P5	1,28	-15	53	32,37	-48	3	27,43
R4P6	1,52	-15	53	23,63	-48	3	27,92
R5P1	0,25	-15	54	15,69	-48	3	38,49
R5P2	0,50	-15	54	24,19	-48	3	36,38
R5P3	0,76	-15	54	29,15	-48	3	28,32
R5P4	1,01	-15	54	34,22	-48	3	21,80
R6P1	0,21	-15	54	14,95	-48	3	49,61
R6P2	0,53	-15	54	25,55	-48	3	52,72
R6P3	0,76	-15	54	32,07	-48	3	56,13
R6P4	0,98	-15	54	37,94	-48	4	0,52
R6P5	1,23	-15	54	46,10	-48	4	2,72

Tabela 5.5-Detalhes da localização dos pontos de medições no modo 16QAM





#### 5.4. Detalhes dos Resultados das Medições DRM+

Os resultados das medições estáticas em cada modulação são apresentados nas tabelas a seguir.

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de Áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de Campo Elétrico Mediano (dBμV/m)
Ponto de Referência	0,22	99,0	30,6	80,71
R1P1	0,26	100	28,7	76,85
R1P2	0,66	100	15,8	63,51
R1P3	0,87	100	13,5	62,39
R1P4	1,04	100	7,5	55,29
R1P5	1,26	100	8,0	58,03
R1P6	1,61	89,2	0,5	49,81
R2P1	0,11	99,5	33,9	96,99
R2P2	0,37	100	30,0	81,09
R2P3	0,72	100	20,1	68,05
R2P4	1,10	100	8,7	54,44
R2P5	1,31	98,1	9,0	56,62
R2P6	1,55	100	5,4	53,64
R3P1	0,26	99,1	30,9	80,94
R3P2	0,48	100	20,5	68,21
R3P3	0,74	99,0	10,2	58,09
R3P4	1,02	100	6,7	57,20
R4P1	0,26	100	25,5	72,65
R4P2	0,54	100	17,2	65,41
R4P3	0,77	100	13,7	62,30
R4P4	1,01	100	9,3	58,17
R4P5	1,28	100	8,5	57,80
R4P6	1,52	44,3	-0,2	49,00
R5P1	0,25	100	27,3	75,86
R5P2	0,50	100	14,0	63,73
R5P3	0,76	100,0	7,0	54,36
R5P4	1,01	100	7,9	56,34
R6P1	0,21	100	22,8	72,67
R6P2	0,53	100	11,2	60,94
R6P3	0,76	100	10,8	60,57
R6P4	0,98	100,0	7,1	57,02
R6P5	1,23	99,7	2,6	53,47

Tabela 5.6-Resultados de recepção estática DRM+ no modo 4QAM

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de Áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de Campo Elétrico Mediano (dBuV/m)
Ponto de Referência	0,22	99,0	28,8	80,71
R1P1	0,26	100	28,4	76,85
R1P2	0,66	100	14,7	63,51
R1P3	0,87	100	13,5	62,39
R1P4	1,04	100	7,6	55,29
R1P5	1,26	100	7,0	58,03
R1P6	1,61	0,9	0,5	49,81
R2P1	0,11	100	33,9	96,62
R2P2	0,37	100	30,5	81,09
R2P3	0,72	100	19,8	68,05
R2P4	1,10	100	8,6	54,44
R2P5	1,31	98,8	9,2	56,62
R2P6	1,55	100	6,4	53,64
R3P1	0,26	95,6	29,8	79,60
R3P2	0,48	100	20,2	68,65
R3P3	0,74	100	11,0	57,60
R3P4	1,02	100	6,8	58,24
R4P1	0,26	100	24,3	72,65
R4P2	0,54	100	17,3	65,41
R4P3	0,77	100	12,9	62,30
R4P4	1,01	100	7,9	58,17
R4P5	1,28	100	8,9	57,80
R4P6	1,52	1,4	0,6	49,00
R5P1	0,25	100	28,0	75,86
R5P2	0,50	100	14,3	63,73
R5P3	0,76	100	6,8	54,36
R5P4	1,01	100	7,3	56,34
R6P1	0,21	100	24,2	72,67
R6P2	0,53	100	12,2	60,94
R6P3	0,76	100	11,5	60,57
R6P4	0,98	100	7,2	57,02
R6P5	1,23	79,0	2,9	53,47

Tabela 5.7-Resultados de recepção estática DRM+ no modo 16QAM



Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Intensidade do Campo Elétrico Analógico Mediano (dBμV/m)	Qualidade do Áudio FM
Ponto de Referência	0,22	90,01	4,5
R1P1	0,26	86,15	4,3
R1P2	0,66	72,81	2,0
R1P3	0,87	71,69	2,5
R1P4	1,04	64,59	3,6
R1P5	1,26	67,33	0,0
R1P6	1,61	59,11	0,0
R2P1	0,11	106,29	4,2
R2P2	0,37	90,39	3,6
R2P3	0,72	77,35	1,4
R2P4	1,10	63,74	1,3
R2P5	1,31	65,92	0,0
R2P6	1,55	62,94	0,0
R3P1	0,26	90,24	3,4
R3P2	0,48	77,95	4,2
R3P3	0,74	67,39	4,0
R3P4	1,02	67,54	2,5
R4P1	0,26	81,95	4,1
R4P2	0,54	74,71	4,1
R4P3	0,77	71,60	4,2
R4P4	1,01	67,47	3,6
R4P5	1,28	67,10	2,0
R4P6	1,52	58,30	0,0
R5P1	0,25	85,16	4,3
R5P2	0,50	73,03	4,1
R5P3	0,76	63,66	4,5
R5P4	1,01	65,64	0,0
R6P1	0,21	81,97	4,3
R6P2	0,53	70,24	4,3
R6P3	0,76	69,87	4,2
R6P4	0,98	66,32	2,0
R6P5	1,23	62,77	0,0

Tabela 5.8-Resultados do áudio FM para recepção estática



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Anatel, Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (Resolução nº67, de 12 de novembro de 1998, D.O.U. 26/03/1999 – Alterada pela resolução nº 349, de 25 de setembro de 2003).
- [2] ETSI ES 201 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v3.1.1, 2009.
- [3] Digital Radio Mondiale (DRM). A Broadcaster’s Guide. Version 1.1”, DRM Consortium, June 2010.
- [4] Guia para avaliação do Sistema de Rádio Digital DRM na faixa de Onda Média 2009. Anatel, October 2010. Available at <http://www.anatel.gov.br/>
- [5] Anatel (2008), “SIGAnatel - Sistema de Informações Geográficas”, Disponível em <http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel>
- [6] Recommendation ITU-R BS.1284-1: General methods for the subjective assessment of sound quality, 2003. Disponível em [www.itu.int](http://www.itu.int).
- [7] Anatel, Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada (Resolução nº67, de 12 de novembro de 1998, D.O.U. 26/03/1999 – Alterada pela resolução nº 349, de 25 de setembro de 2003).
- [8] Rec. ITU-R BS.412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, 1998.
- [9] ETSI TS 101 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v1.1.1, 2001
- [10] Rec. ITU-R BS.1514-1: Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz, 2002
- [11] DRM, “Broadcasters' User Manual”, A Digital Radio Mondiale™ (DRM™) Publication. 1st edition,. p. 47, Março 2004
- [12] P. M. Hall et al., “Radiowave propagation” IEEElectromagnetic Waves Series 30, Peter Peregrinus Ltd., 1989
- [13] “IEC 62272-1 “Digital Radio Mondiale (DRM)—Part 1: System Specification,”, International Electrotechnical Commission, 2003.
- [14] M. Dietz, S Meltzer, “CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system.” EBU Technical review N°291, 2002
- [15] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005
- [16] ITU-R P.368-7 (03/92) Recommendation, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”.1992
- [17] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005



- [18] 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, December 2005
- [19] ITU Radio Communications Study Group. 6E-403E Document. "MW Simulcast Tests in Mexico DF", 2006
- [20] ITU Radio Communications Study Group. 6E-183E Document. "Digital Sound Broadcasting in the Broadcasting Bands Below 30 MHz. First Simulcast Field Tests in MW", 2002
- [21] ITU Radio Communications Study Group. 6E-54E Document. "Digital Broadcasting at Frequencies below 30 MHz. MF and HF Field Tests Report Summary. Final System Performance Report for IST-RADIATE 1999-20113 for ITU ", 2004
- [22] Matias, J. M.; Corderi, I. L.; Angueira, P.; Gil, U.; Ordiales, J. L.; Arrinda, A.;, "DRM (Digital Radio Mondiale) Local Coverage Tests Using the 26 MHz Broadcasting Band", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol 53, Issue 1, Part 1, p. 59-68, March 2007
- [23] Neves, R.G.; Pena, I.; Lima, F.F.; Abdalla, H.; Angueira, P.; Silva, L.M, "Local digital radio in the 26 MHz band using DRM - Results of the Brasilia field trials", *Microwave and Optoelectronics Conference*, 2007. IMOC 2007
- [24] James Briggs, "Digital Broadcasting Below 30 MHz: DRM a Summary of the Field Trials". EBU Technical Review, N° 296. October 2003
- [25] ITU Radio Communications Study Group. 6E-200E Document. "Longterm Tests Results (February 2002)", 2002
- [26] Matias, J. M.; Guerra D.; G. Prieto; Angueira P., Fernandez I., "Descriptions and Results of the DRM Long Term Tests", 5th Workshop Digital Broadcasting, Erlangen (Germany), September 2004
- [27] Maier, Friederike; Waal, Albert; Pagel, D. "DRM+ Field Trial Hanover. 2008".
- [28] Steil, Andreas; Schad, Felix; Feilen, Michael; y Hedrich, Ewald. "Leaving the dead-end street: New ways for the digitisation of the VHF-FM sound broadcasting with DRM+. Part I: DRM+ Field Trial: Concept, Setup, and First Results". 9th Workshop Digital Broadcasting. Erlangen, Germany, September 2008.
- [29] Steil, Andres; Lehnert, Joachim; Schad, Felix; y Köhler, Martin. "Leaving the dead-end street: New ways for the digitisation of the VHF sound broadcasting with DRM+". 10th Workshop Digital Broadcasting. Ilmenau, Germany, September 2009
- [30] "DRM+ successfully trialled in Paris". DRM Consortium Press Summary. 12th June, 2009
- [31] Maier, Friederike. "Preliminary report: DRM+ measurements in band II". Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010
- [32] Digital Radio Mondiale (DRM). "Comments on preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BS.1114-6". ITU-R, Document 6A/347-E 2010
- [33] Maier, Friederike y Pagel, Detlef. "Preliminary report: DRM+ measurements in band III". Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010
- [34] Steil, Andreas y Lehnert, Joachim. "DRM+. A perfect complement to DAB/DAB+ in VHF band III - Technical results, planning aspects, and regulatory work". 11th Workshop Digital Broadcasting. Erlangen, Germany, September 2010
- [35] Cornell, Lindsay. "DRM+ Tests and Trials". DRM Consortium, 2011



[36] 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, October 2005.