



Serviço Público Federal

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

NOTA TÉCNICA

Nota Técnica: Ditel/25/2012

Referência: Medições de Campo do Sistema DRM+ (*Digital Radio Mondiale*) em Baixa Potência na Faixa de FM em Xerém, Duque de Caxias / RJ.



Diretoria de Metrologia Científica e Industrial (Dimci)

Divisão de Telecomunicações (Ditel)

Endereço: Avenida Nossa Senhora das Graças, 50 – Prédio 6 – Xerém, CEP: 25250-020 – Duque de Caxias / RJ

Telefones: (21) 2679-9072 - Fax: (21) 2679-9001 Ramal 3128 – e-mail: ditel@inmetro.gov.br

MOD-GABIN-024 – Rev. 03 – Apr. Nov/10

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	8
SUMÁRIO EXECUTIVO.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	13
2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO	13
2.2 MODOS DE TRANSMISSÃO DO DRM.....	16
3. EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	17
3.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	17
3.2 PARÂMETROS DE MEDIÇÃO.....	19
3.3 METODOLOGIA DE MEDIÇÃO	20
3.4 ROTAS DE MEDIÇÃO	21
4. RESULTADOS DOS TESTES	22
4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	22
4.2 RESULTADOS DO MODO DE TRANSMISSÃO 4QAM.....	22
4.2.1 Avaliação da área de cobertura com recepção estática	22
4.2.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel	26
4.2.3 Limiares de recepção do modo 4QAM	27
4.3 RESULTADOS DO MODO DE TRANSMISSÃO 16QAM.....	28
4.3.1 Avaliação da área de cobertura com recepção estática	28
4.3.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel	31
4.3.3 Comparação entre as áreas de cobertura dos Modos 4QAM e 16QAM	33
4.3.4 Limiares de recepção do modo 16QAM	33
4.4 ESTIMATIVA DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL	35
5. APÊNDICE	40
5.1 SISTEMA DRM	40
5.1.1 Histórico e padronização.....	40
5.1.2 Características do sistema	40
5.1.3 Características técnicas	41
5.1.4 Testes realizados com a tecnologia DRM.....	45
5.2 DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES.....	48
5.2.1 Rota 1: Radial Nordeste – Petrópolis	49
5.2.2 Rota 2: Radial Sudoeste – Duque de Caxias	50
5.2.3 Rota 3: Radial Sudoeste – Xerém.....	52
5.2.4 Rota 4: Radial Norte – Petrópolis.....	54
5.3 RESULTADOS DE MEDIÇÕES ESTÁTICAS	56



5.4 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES EM MOBILIDADE.....	60
BIBLIOGRAFIA	65



Índice de Figuras

Figura 1 – Localização do transmissor do Inmetro	13
Figura 2 – Diagrama de blocos do transmissor	14
Figura 3 – <i>DRM+ Modulator</i>	14
Figura 4 – Transmissor DRM+	14
Figura 5 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal	15
Figura 6 – Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro	17
Figura 7 – Analisador de Espectro Anritsu MS2711D	17
Figura 8 – Receptor DRM+ da RF Mondial: <i>front-end</i> (esq.); software do receptor (dir.)	18
Figura 9 – Antena de recepção modelo Kathrein	18
Figura 10 – Diagrama dos equipamentos de medição	18
Figura 11 – Esquema das rotas de medição	21
Figura 12 – Resultado da recepção estática, modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W no mapa	23
Figura 13 – Resultado da recepção estática, modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W no mapa	24
Figura 14 – Intensidade de campo em função da distância, modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W	24
Figura 15 – Intensidade de campo em função da distância, modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W	25
Figura 16 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM com 1,36 W no mapa	26
Figura 17 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM com 4,36 W no mapa	27
Figura 18 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W	27
Figura 19 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W	28
Figura 20 – Representação no mapa dos resultados da recepção estática com modo 16QAM e potência de transmissão de 1,36 W	29
Figura 21 – Representação no mapa dos resultados da recepção estática modo 16QAM e potência de transmissão de 4,36 W	30
Figura 22 – Intensidade de campo elétrico em função da distância, modo 16QAM, com potência de transmissão de 1,36 W	30
Figura 23 – Intensidade de campo elétrico em função da distância, modo 16QAM, com potência de transmissão de 4,36 W	31

Figura 24 – Representação no mapa dos resultados da recepção móvel, modo 16QAM, e potência de transmissão de 1,36W	32
Figura 25 – Representação no mapa dos resultados da recepção móvel, modo 16QAM, e potência de transmissão de 4,36 W	32
Figura 26 – Limiares de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM, com potência de transmissão de 1,36 W	34
Figura 27 – Limiares de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM, com potência de transmissão de 4,36 W	34
Figura 28 – Predição da área de cobertura do sinal digital utilizando uma potência EIRP de 1,36 W	36
Figura 29 - Predição da área de cobertura do sinal digital utilizando uma potência EIRP de 4,36 W	36
Figura 30- Resultados das medições estáticas sobrepostas às predições de área de cobertura ...	37
Figura 31 – Resultados das medições em mobilidade sobrepostas às predições da área de cobertura.....	38
Figura 5.1 – Opções de codificação de áudio no DRM.....	43
Figura 5.2 – Rotas planejadas para os testes	48
Figura 5.3 – Rota 1. Radial Nordeste – Petrópolis.....	49
Figura 5.4 – Rota 2. Radial Sudoeste – Duque de Caxias.....	50
Figura 5.5 – Rota 3. Radial Sudoeste – Xerém	52
Figura 5.6 – Rota 4. Radial Norte – Petrópolis	54

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características técnicas do sistema de transmissão digital utilizado nos testes.....	15
Tabela 2 – Modos de transmissão DRM+ utilizados durante os testes	16
Tabela 3 – Parâmetros de medição.....	19
Tabela 4 – Localização do ponto de referência.....	20
Tabela 5 – Resultados da recepção estática modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W nas rotas R2 e R3.....	22
Tabela 6 – Resultados da recepção estática modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W nas rotas R1, R3 (três primeiros pontos) e R4.....	23
Tabela 7 – Resultados da recepção estática no modo 16QAM com 1,36 W de potência de transmissão, nas rotas R2, R3 e R4	29
Tabela 8 – Resultados da recepção estática no modo 16QAM com 4,36 W de potência de transmissão, em todas as rotas.....	29
Tabela 9 – Comparação entre as áreas de cobertura	33
Tabela 10 – Limiares de recepção estática do modo de transmissão 16QAM.....	35
Tabela 11 – Principais parâmetros para estimação da intensidade de campo elétrico digital	35
Tabela 5.1 – Parâmetros dos símbolos OFDM dos modos de robustez DRM.....	42
Tabela 5.2 – Usos dos modos de robustez DRM	42
Tabela 5.3 – Características dos codificadores de áudio DRM.....	43
Tabela 5.4 – Rotas selecionadas para os testes em Xerém.....	48
Tabela 5.5 – Detalhes da localização dos pontos da Rota 1 Radial Nordeste/Petrópolis.....	49
Tabela 5.6 – Detalhes dos trechos de medições em mobilidade Rota 1 Radial Nordeste/Petrópolis.....	50
Tabela 5.7 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 2 Radial Sudoeste/Duque de Caxias.....	51
Tabela 5.8 – Trechos de medições em mobilidade Rota 2 Radial Sudoeste/Duque de Caxias...	52
Tabela 5.9 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 3. Radial Sudoeste/Xerém..	53
Tabela 5.10 – Trechos de medições em mobilidade Rota 3. Radial Sudoeste/Xerém	53
Tabela 5.11 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 4. Radial Norte/Petrópolis	54
Tabela 5.12 – Trechos de medições em mobilidade Rota 4. Radial Norte/Petrópolis	55
Tabela 5.13 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W.....	56
Tabela 5.14 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W	57



Tabela 5.15 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 1,36 W	58
Tabela 5.16 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 4,36 W	60
Tabela 5.17 – Resultados de recepção em mobilidade - DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W	60
Tabela 5.18 – Resultados de recepção em mobilidade DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W	61
Tabela 5.19 – Resultados de recepção em mobilidade DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 1,36 W	62
Tabela 5.20 – Resultados de recepção em mobilidade - DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 4,36 W	64



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 à 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 de 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 os sistemas de Rádio Digital DRM30 e DRM+ para testes no Brasil. Os testes foram realizados por meio do esforço conjunto e da 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 a 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 apresenta os resultados dos testes do sistema DRM+ *Full Digital* com transmissão em baixa potência realizada em Duque de Caxias /RJ. Os testes consistiram na transmissão apenas do sinal digital. O período dos testes foi composto de duas etapas de uma semana, tendo sido a primeira no período de 08 de outubro a 15 de outubro de 2010, e a segunda, entre 11 de dezembro e 17 de dezembro de 2010, com a realização de testes diurnos.

Para a transmissão do sinal digital, foram instalados um transmissor DRM+ e uma antena no topo de um prédio do campus do Inmetro, localizado no distrito de Xerém, em Duque de Caxias/RJ.

Este documento tem como objetivo oferecer fundamentação técnica e apoio para futuros trabalhos de 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 Ministério das Comunicações que participaram dos testes

Engenheiros e técnicos do Departamento de Acompanhamento e Avaliação (DEAA)
Engenheiros da Delegacia Regional do Ministério das Comunicações no Rio de Janeiro (DRMC-RJ)

Equipe de engenheiros e técnicos do Inmetro que participaram dos testes

Augusto Pereira da Soledade
Jaci Rodrigues Nascimento Junior
João Afonso Cal Braz
Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos
Rodrigo Pereira David

Locais dos testes

Distrito de Xerém, Duque de Caxias/RJ

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.

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

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

José Maria Matias, PhD (UNAM): Doutor em Radiodifusão Digital e Propagação.

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

Este documento apresenta os resultados dos testes para avaliação do sistema DRM+ em baixa potência realizados no Distrito de Xerém, município de Duque de Caxias/RJ, na faixa VHF Banda II (faixa de FM), frequência de 93,7 MHz, no período diurno.

Os testes foram conduzidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) com a colaboração do Consórcio DRM e da Universidade Nacional Autônoma do México (UNAM), RF Mondial, Nautel, o grupo de pesquisa TSR da UPV / EHU, TDF e da Fraunhofer IIS e com o apoio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), e a supervisão do Ministério das Comunicações (MC).

O transmissor estava localizado em uma colina no campus do Inmetro em Xerém. Os testes foram realizados com a transmissão apenas do sinal digital DRM+ (*Full Digital*), utilizando dois valores de potência na saída do transmissor: 1,63 W e 5,63 W. Os valores da Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada (EIRP) foram de 1,36 e 4,36 W (denominadas de potência de transmissão ao longo deste documento), respectivamente.

Durante os testes, foram realizadas medições nas situações de recepção estática e recepção móvel. As medições percorreram rotas radiais, nas quais a viatura se afastava do ponto de transmissão, tendo sido planejadas para avaliar a área de cobertura do sinal digital. A análise dos dados foi realizada obtendo-se conclusões sobre a cobertura digital e o desempenho do sistema digital, o qual foi definido por meio dos limiares de intensidade de campo elétrico e de relação sinal-ruído (SNR), além da verificação da qualidade de áudio recebido.

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 robusto baseado na modulação 4QAM e outro, com uma maior capacidade, baseado na modulação 16QAM.

A recepção estática com o modo 4QAM apresentou bons resultados. Com potência de transmissão de 1,36 W, a cobertura do sinal digital atingiu 2,5 km de distância em relação ao transmissor, com limiar de intensidade de campo elétrico de aproximadamente 37 dB μ V/m. Com a potência de 4,36 W, a cobertura atingiu 3,5 km de distância, com limiar de intensidade de campo elétrico de 40 dB μ V/m. Cabe salientar que esses limiares apenas são válidos quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, para a potência de transmissão de 1,36 W o menor valor de SNR medida para recepção com o sistema DRM+ foi de 5 dB, ou seja, abaixo desse valor não foi possível decodificar o sinal. No entanto, no intervalo entre 5 dB e 7 dB houve um ponto sem recepção digital, e entre 7 dB e 11,5 dB não houve registro de medição de SNR. Para a potência de 4,36 W, o menor valor de SNR medido para recepção com o sistema foi de 7,3 dB, sendo que o próximo valor de SNR para recepção foi de 13,4 dB. Com SNR de 2,5 dB, não foi possível decodificar o sinal. No entanto, nos intervalos existentes entre esses três valores, não houve registros de medição de SNR. Devido a esses fatores, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.



A recepção estática com o modo 16QAM também apresentou bons resultados. Para potência de transmissão de 1,36 W a área de cobertura para recepção estática com o modo 16QAM foi a mesma obtida para 4QAM, ou seja, de 2,5 km, com limiar de intensidade de campo elétrico de aproximadamente 38 dB μ V/m para um valor de SNR de 8,5 dB. No entanto, no modo 4QAM houve maior homogeneidade da área de cobertura. Com a potência de 4,36 W, a cobertura atingiu 3,2 km de distância, com limiar de intensidade de campo elétrico de 41 dB μ V/m para um valor de SNR de 9,0 dB. Os resultados dos limiares de intensidade de campo elétrico e SNR para 1,36 W e 4,36 W deveriam ser os mesmos. A diferença de 0,5 dB no limiar de SNR é insignificante. A diferença de 3 dB do limiar de intensidade de campo é um pouco maior, porém é admissível porque a intensidade de campo tem grande variabilidade.

Os limiares de intensidade de campo obtidos para o modo 4QAM e para o modo 16QAM são muito menores do que os limites para a recepção analógica do serviço de FM (74 dB μ V/m para área de serviço primária, 66 dB μ V/m para área de serviço urbana, e 54 dB μ V/m para área de serviço rural) [1]. Por essa razão, a área de cobertura obtida é considerada boa, mesmo com as baixas potências de transmissão utilizadas no teste.

Em relação à recepção móvel, no modo 4QAM, a cobertura foi menor do que aquela obtida na recepção estática, como esperado, tendo atingido cerca de 2 km com 1,36 W e 3,0 km com 4,36 W.

No modo 16QAM, a cobertura da recepção móvel foi de cerca de 2,0 km para 1,36 W e de 2,5 km para 4,36 W. Essa área de cobertura para 1,36 W é semelhante à área de cobertura móvel para o modo 4QAM, mas nesse resultado deve ser considerado que existem alguns locais onde não houve recepção digital com o modo 16QAM no interior dessa área.

Os valores de intensidade de campo elétrico obtidos nas medições estáticas e em mobilidade, com as duas potências de transmissão (1,36 W e 4,36 W) e nas duas modulações, foram comparados com a previsão teórica da área de cobertura em cada caso. A comparação mostrou concordância entre os valores medidos e os teóricos.

Concluindo, os resultados dos testes DRM+ no Distrito de Xerém, em Duque de Caxias/RJ, apresentaram boa área de cobertura com transmissão digital em baixa potência.

Rio de Janeiro, 19 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 em Xerém (Duque de Caxias / RJ), com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema *Digital Radio Mondiale* (DRM) de radiodifusão sonora digital [2], [4] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão em frequência modulada.

Os testes foram realizados na faixa VHF Banda II (usualmente conhecida como faixa de FM), nas instalações do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), com transmissão em baixa potência, no período diurno.

A estrutura do documento é definida da seguinte maneira: o Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado no Inmetro para irradiar o sinal DRM+ durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel e os equipamentos de medição utilizados para caracterizar os sinais recebidos e a metodologia de medição. Os resultados dos testes são descritos no Capítulo 4, para os dois modos de transmissão DRM e as duas potências de transmissão que foram utilizados durante os testes. O Apêndice apresenta uma revisão do sistema DRM, os detalhes das rotas de medições e os resultados dos testes.

2. Sistema de Transmissão

2.1 Características Técnicas do Sistema de Transmissão

O campus do Inmetro em Xerém está localizado no município de Duque de Caxias/RJ, conforme a Figura 1. Ele está situado em uma reserva florestal, na base da serra de Petrópolis, a 40 km do centro da cidade do Rio de Janeiro / RJ.

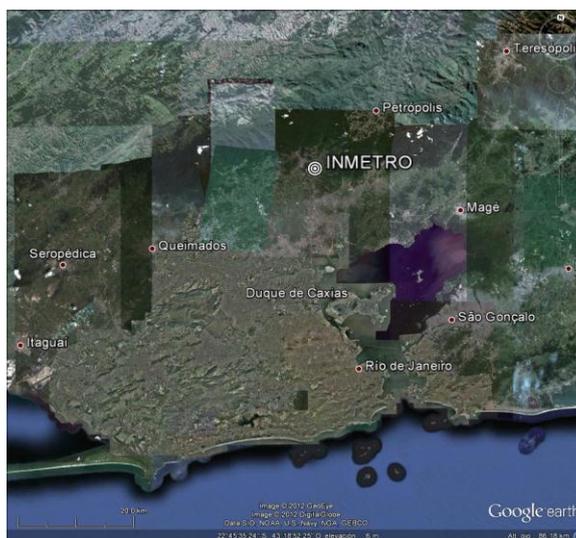


Figura 1 – Localização do transmissor do Inmetro

O transmissor digital e a antena de transmissão foram colocados no topo do Prédio 20, o qual está localizado numa colina de cerca de 85 metros acima do solo, dentro das instalações do Inmetro.

O esquema de transmissão é apresentado na Figura 2. Ele contém o servidor de conteúdo DRM+ que executa a digitalização e compressão do áudio e gera o fluxo de dados a ser transmitido. O modulador DRM+ gera o sinal DRM, que é amplificado pelo transmissor.

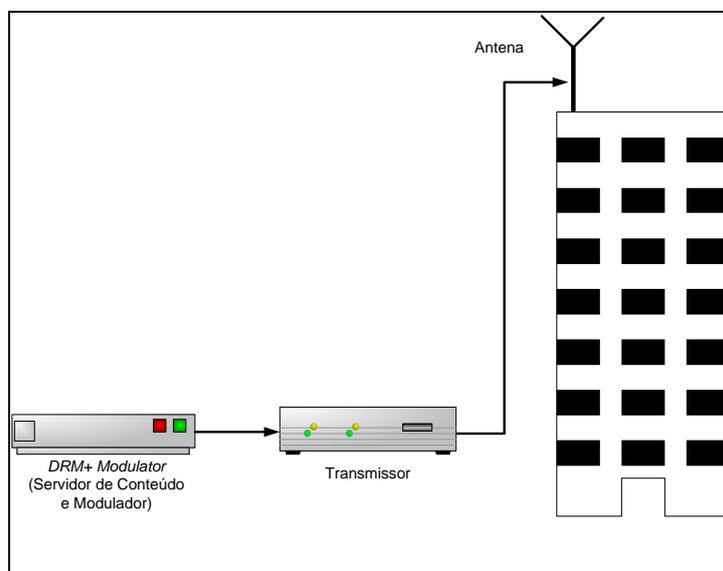


Figura 2 – Diagrama de blocos do transmissor

O equipamento denominado *DRM+ Modulator* (Figura 3), cujos fabricantes são as empresas RF Mondial e o Instituto Fraunhofer (FhG), é composto pelo servidor de conteúdo e pelo modulador DRM+. O transmissor era um excitador DRM+ da Nautel (Figura 4). Esse excitador normalmente é usado para alimentar um transmissor de alta potência, mas durante esses testes funcionou como um transmissor, pois se tratava de uma transmissão de baixa potência.



Figura 3 – *DRM+ Modulator*



Figura 4 – Transmissor DRM+

A antena de transmissão usada era do tipo omnidirecional, modelo CE-1600/FM, do fabricante CELTA, sendo apresentada na Figura 5. Possui ganho de 2 dBi, polarização vertical e foi instalada no topo do edifício, a uma altura de 24 metros em relação ao nível do solo. Levando-se

em conta as perdas de cabos e conectores e o ganho da antena, a EIRP de transmissão foi de 1,36 W e 4,36 W para as potências do transmissor de 1,63 W e 5,63 W, respectivamente.

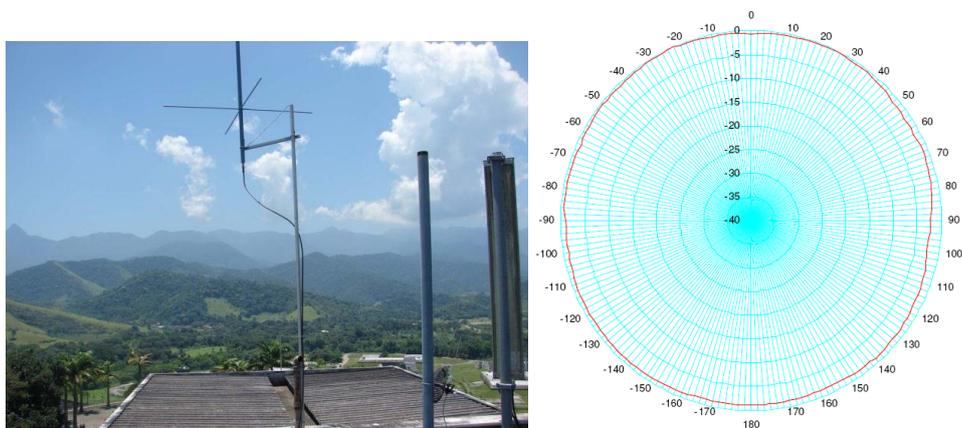


Figura 5 – Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal

A Tabela 1 apresenta os dados técnicos do sistema de transmissão utilizado nos testes realizados no Inmetro.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICO-OPERACIONAIS DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA
FREQUÊNCIA: 93,7 MHz
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA
CIDADE / ESTADO: DUQUE DE CAXIAS / RIO DE JANEIRO COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 22° 35' 34" S, 43° 16' 59" W
TRANSMISSOR
FABRICANTE: NAUTEL LIMITED POTÊNCIA NOMINAL: 80 W
DRM+ MODULATOR
FABRICANTE: RF Mondial e FhG
ANTENA
FABRICANTE: CELTA MODELO: CE-1600/FM POLARIZAÇÃO: vertical PADRÃO DE RADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2 dBi ALTURA SOBRE O TERRENO: 24 m POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W
LINHA DE TRANSMISSÃO
FABRICANTE: DATALINK MODELO: RG 213 COMPRIMENTO: 50 m IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA, CONECTORES E FILTRO: 3 dB ⁽¹⁾
POTÊNCIA RADIADA ⁽²⁾
POTÊNCIA DE SAÍDA DO TRANSMISSOR: 1,63 W e 5,63 W EFICIÊNCIA TOTAL (ATENUAÇÃO TOTAL+GANHO DA ANTENA): 80% ERP: 0,83 W e 2,66 W EIRP: 1,36 W e 4,36 W

Tabela 1 – Características técnicas do sistema de transmissão digital utilizado nos testes

⁽¹⁾ Os valores medidos estão entre 2,8 dB e 3,1 dB

⁽²⁾ Durante a instalação, a potência de saída do transmissor e a potência na entrada da antena foram medidas. Devido ao erro de medição, a eficiência total calculada não é a mesma para ambas as potências. A eficiência da tabela é apenas aproximada. O erro é de 0,3 dB.

2.2 Modos de Transmissão do DRM

O sistema DRM+ fornece uma ampla variedade de configurações para o sinal digital [2] [4]. 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). Essa flexibilidade na escolha dos parâmetros permite melhorar a robustez do sinal contra ruído, interferência ou efeito multipercurso. No entanto, aumentando-se a robustez do sinal, a taxa de dados dos bits úteis decresce, o que restringe a quantidade de dados disponíveis para utilização pelo sistema na transmissão dos serviços.

Para os testes descritos neste trabalho, duas diferentes configurações foram utilizadas visando verificar a robustez do sinal. A primeira fez uso da modulação 4QAM no Canal de Serviço Principal (MSC), e a 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 uma qualidade de áudio estéreo. Para o modo 16QAM, a taxa de código usada foi de 0,41, o que permite uma qualidade de áudio estéreo em formato 5.1. Os parâmetros que foram 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 (kbps)	Áudio
4QAM	E	100 kHz	0	1	0,25	0,25	37,3	Estéreo
16QAM	E	100 kHz	1	0	0,41	0,5	122,4	Estéreo

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

3. Equipamentos e Metodologia de Medição

3.1 Equipamentos de Medição

As medições do sistema DRM+ foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro, um veículo totalmente preparado e configurado para execução de trabalhos em campo, conforme mostrado na Figura 6. A estrutura disponível para o laboratório móvel conta com o compartilhamento dos equipamentos e recursos do laboratório de comunicações sem fio do Inmetro, ampliando as possibilidades de configurações de medição do veículo. Esse laboratório possui facilidade de adaptação de novos equipamentos e conjuntos de antenas para realizar todos os tipos de experimentos em diferentes sistemas de comunicações e frequências.



Figura 6 – Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro

Os principais equipamentos utilizados foram um analisador de espectro e um receptor DRM+. Como o receptor DRM+ não mede a intensidade de campo elétrico, essa tarefa foi feita por um analisador de espectro. Esses equipamentos possibilitaram a gravação de alguns parâmetros de radiofrequência (RF) e a gravação de áudio. O analisador de espectro era fabricado pela Anritsu, modelo Master MS2711D (Figura 7). O receptor DRM+ era fabricado pela RF Mondial (Figura 8). A antena de recepção era um monopolo modelo K51164 do fabricante Kathrein, com ganho de 1,85 dBi (Figura 9).



Figura 7 – Analisador de Espectro Anritsu MS2711D

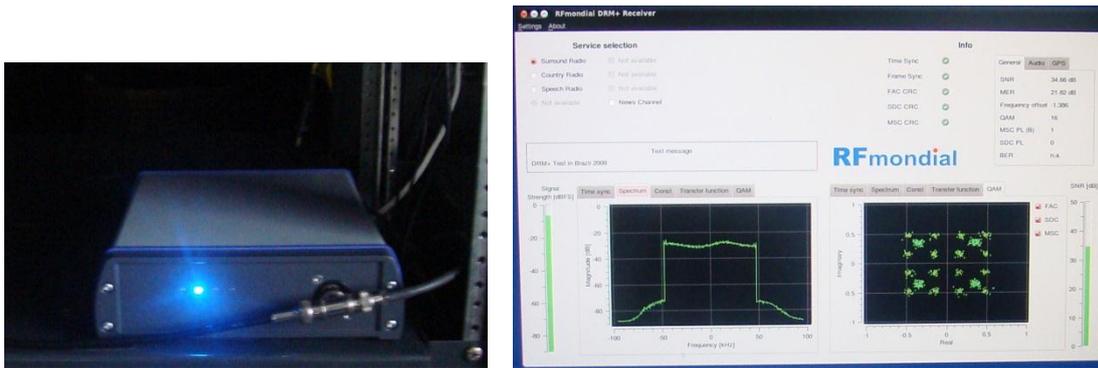


Figura 8 – Receptor DRM+ da RF Mondial: *front-end* (esq.); software do receptor (dir.)



Figura 9 – Antena de recepção modelo Kathrein

Na Figura 10, são apresentados os equipamentos utilizados nas medições.

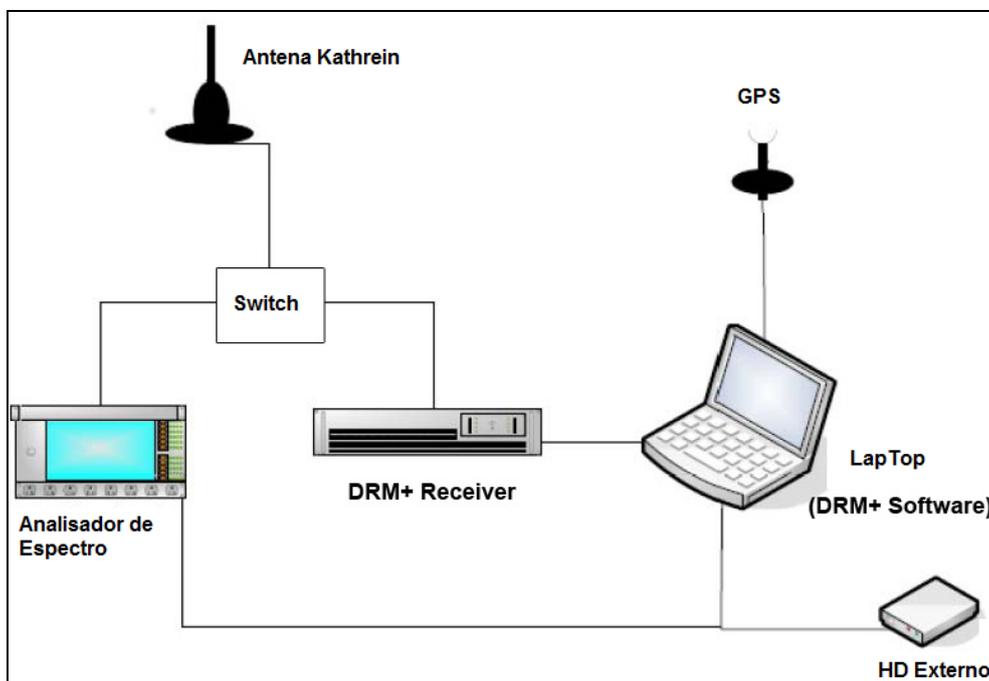


Figura 10 – Diagrama dos equipamentos de medição

A recepção e a decodificação do sinal DRM+ foram realizadas pelo receptor DRM+ (um *front-end*) juntamente com um software da RF Mondial instalado em um Laptop. No mesmo Laptop, um HD Externo foi conectado para salvar os dados que estavam sendo coletados por

esse software, e um GPS foi conectado para fornecer as informações de localização, que eram salvas junto com as informações de recepção dos sinais.

O analisador de espectro e o receptor foram conectados à antena por meio de um *switch*, o que significa que as medições de recepção do sinal (com o receptor DRM+) e de intensidade de campo elétrico do sinal (com o analisador de espectro) tiveram que ser realizadas de forma alternada.

3.2 Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição foram planejados para fornecer uma ampla gama de parâmetros durante os testes. A Tabela 3 apresenta os parâmetros medidos durante os testes, que serão utilizados na avaliação. 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 básica		200 ms
Dados RSCI	Auxiliar		100 ms
Espectro	RF e canal de propagação	Analisador de Espectro	Medições estáticas
Localização	Auxiliar	GPS	1 s
Tempo	Auxiliar		1 s
Velocidade	Auxiliar		1 s
Gravações de áudio DRM+	Banda básica	Receptor DRM+	Durante a medição
Eventos	Auxiliar	Equipe	Cada evento
Fotos	Auxiliar	Equipe	Medições estáticas

Tabela 3 – Parâmetros de medição

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: a intensidade do campo elétrico, a SNR (dada pela MER, taxa de erro de modulação 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 sinal 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 sobre propagação ou sobre o funcionamento do sistema, por exemplo.

Os espectros gravados permitem estudos sobre interferência e ruído, bem como cálculos de potência e de intensidade de campo elétrico 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 descrita na seção 3.1 foi realizada com medições estáticas e móveis. 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 OM foi utilizado como orientação das medições em FM [6].

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 em dias anteriores naquele ponto, em especial com os valores obtidos na caracterização da viatura e dos equipamentos. O ponto de referência foi escolhido no local mais distante do transmissor dentro do campus do Inmetro, a 750 metros deste, conforme Tabela 4. A comparação dos dados no ponto de referência também permitia verificar se o equipamento de recepção estava funcionando adequadamente.

Ponto	Coordenadas geográficas		Localização	Distância do transmissor (km)
Ponto de Referência	Latitude	22°35'16,7" S	Av. Sarg. Mário Kozel Filho	0,75
	Longitude	43°16'41,0" W		

Tabela 4 – Localização do ponto de referência

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

- Captura do espectro do sinal digital.
- Captura do sinal DRM+ com o receptor profissional DRM+, por um período de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional DRM+, por um período de 5 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 do sinal DRM+ com receptor profissional DRM+ durante toda a rota.
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).
- Gravação do áudio digital com o receptor profissional DRM+, durante toda a rota.

3.4 Rotas de Medição

Para as medições foram definidas quatro rotas radiais. Em se tratando de uma transmissão de baixa potência, concebida para as estações de rádio comunitárias, a estimativa de cobertura é de curta distância (menos de 5 km). As rotas circulares solicitadas pela Anatel para os testes têm como finalidade a avaliação do desempenho do sistema em diferentes ambientes de recepção [6]. Porém, devido à cobertura reduzida, a análise das rotas circulares não é aplicável. Portanto, não foram definidas rotas circulares nesses testes.

As rotas radiais definidas são apresentadas na Figura 11.

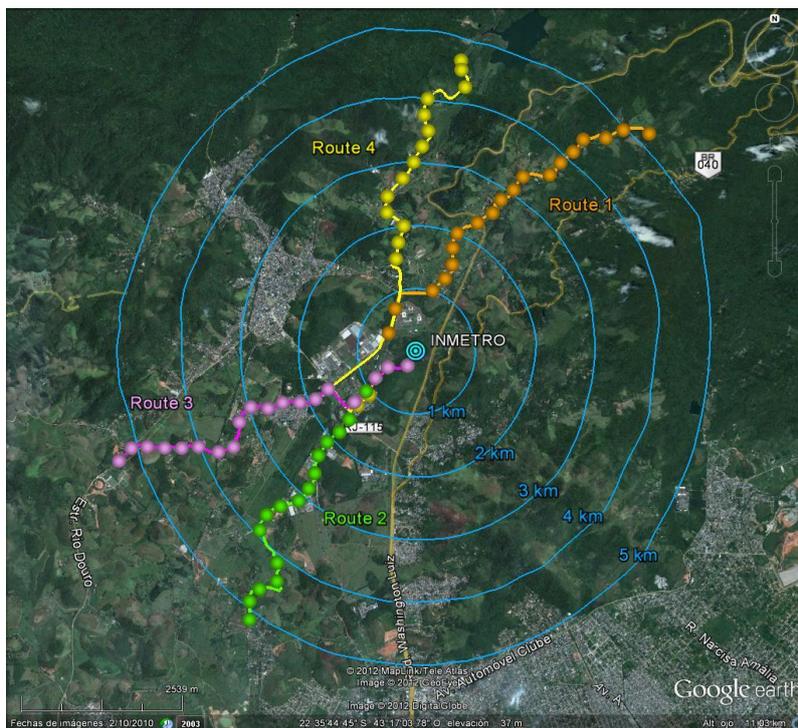


Figura 11 – Esquema das rotas de medição

Todas as rotas de medição têm uma extensão aproximada de 5 km com 20 pontos de medição. Em alguns casos, a equipe de medição decidiu não medir os pontos finais da rota porque ficou claro que não haveria cobertura.

4. Resultados dos Testes

A primeira etapa para obtenção dos resultados é o pré-processamento, no qual as medições são avaliadas para verificar se foram afetadas por problemas diferentes dos de propagação ou do ambiente de recepção. Nesse caso, esses dados são descartados, já que não representam o desempenho do sistema. Nesse teste, a maior parte das medições foi utilizada, e aquelas descartadas foram refeitas.

Os resultados dos testes são avaliados para obtenção das coberturas de recepções estática e móvel, bem como dos limiares de recepção. Os resultados foram obtidos com os dois modos de transmissão utilizados durante os testes, o modo 4QAM e o modo 16QAM.

4.1 Pré-processamento dos dados

Os testes foram realizados em dois períodos, o primeiro entre 08 de outubro e 15 de outubro de 2010; e o segundo entre 11 de dezembro e 17 de dezembro de 2010. Quando as medições foram reiniciadas em 11 de dezembro, a antena foi colocada no teto da van, em cima do sistema de ar condicionado. Depois de alguns minutos, os técnicos notaram que o ar condicionado poderia causar problemas de recepção, então a posição da antena foi modificada e as medições foram repetidas. As medições feitas com a antena na primeira posição foram descartadas.

4.2 Resultados do Modo de Transmissão 4QAM

4.2.1 Avaliação da área de cobertura com recepção estática

As medições durante a transmissão do modo 4QAM foram realizadas na Rota 2 e na Rota 3 com potência de transmissão de 1,36 W, e na Rota 1 e na Rota 4 com 4,36 W, além dos três primeiros pontos da Rota 3. No total, 40 pontos foram medidos com 1,36 W e 35 pontos com 4,36 W.

Os resultados gerais da recepção no modo 4QAM são apresentados na Tabela 5, na Tabela 6 e na Figura 12 até a Figura 15. As tabelas são o resumo estatístico dos resultados da recepção para as potências de transmissão de 1,36 W e 4,36 W. A Figura 12 e a Figura 13 apresentam os resultados da recepção no mapa, enquanto a Figura 14 e a Figura 15 apresentam gráficos com as intensidades de campo elétrico recebido em função das distâncias ao transmissor.

Parâmetro AQ	Raio de 2,5 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
$AQ \geq 98\%$	18 (95%)	22 (55%)
$90\% \leq AQ < 98\%$	0 (0%)	0 (0%)
$AQ < 90\%$	1 (5%)	18 (45%)
<i>Total de medições</i>	19 (100%)	40 (100%)

Tabela 5 – Resultados da recepção estática modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W nas rotas R2 e R3

Parâmetro AQ	Raio de 3,5 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
AQ \geq 98%	30 (100%)	34 (97%)
90% \leq AQ<98%	0 (0%)	0 (0%)
AQ<90%	0 (0%)	1 (3%)
<i>Total de medições</i>	30 (100%)	35 (100%)

Tabela 6 – Resultados da recepção estática modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W nas rotas R1, R3 (três primeiros pontos) e R4

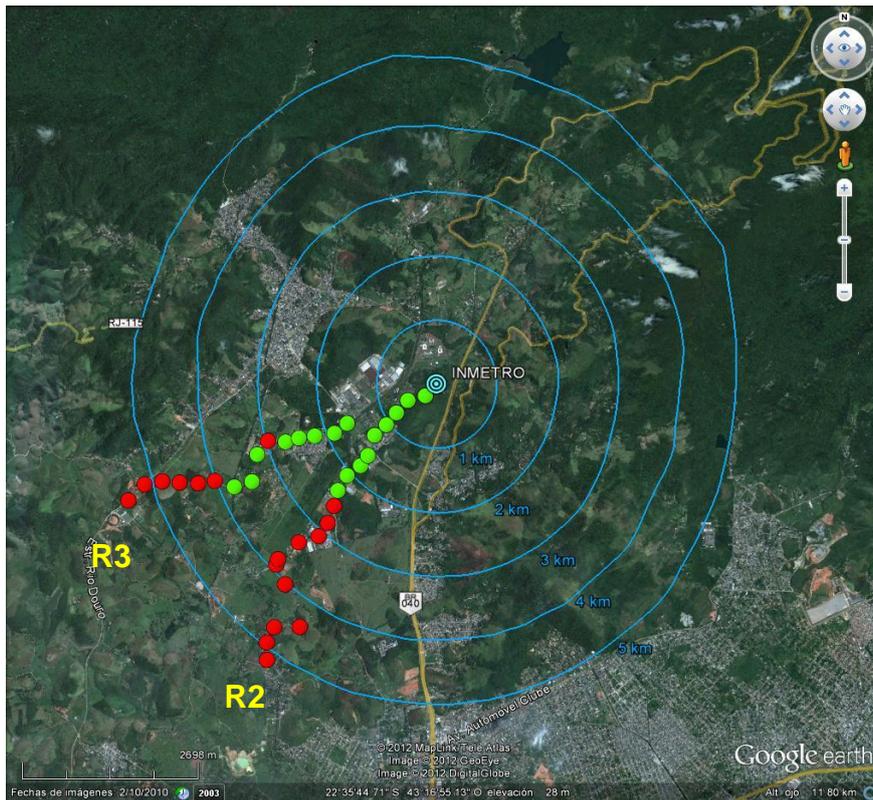


Figura 12 – Resultado da recepção estática, modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W no mapa

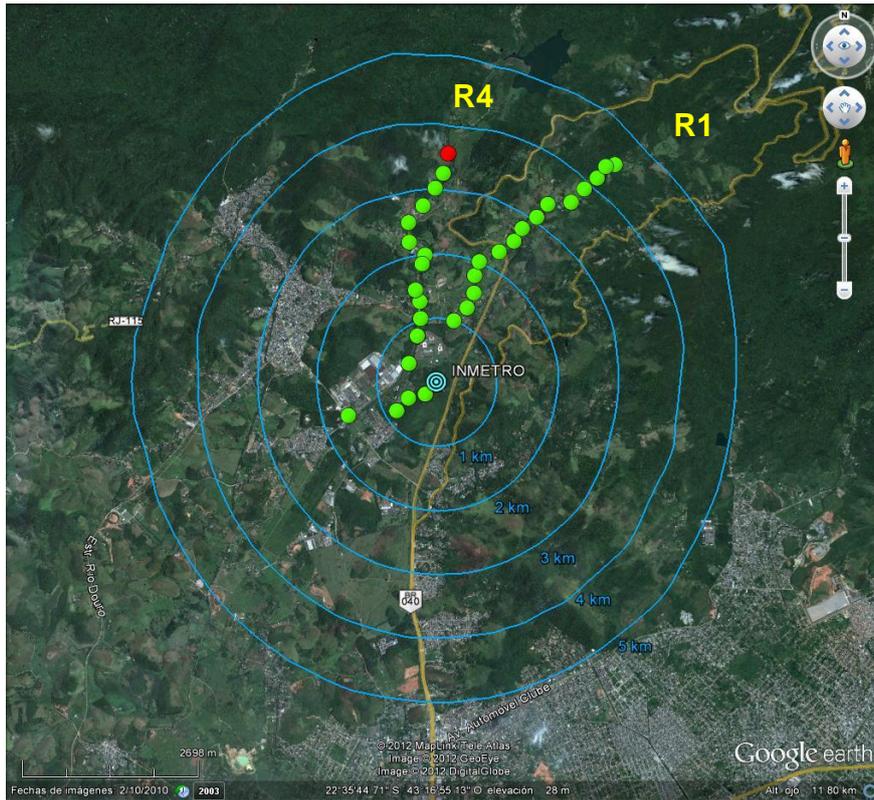


Figura 13 – Resultado da recepção estática, modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W no mapa

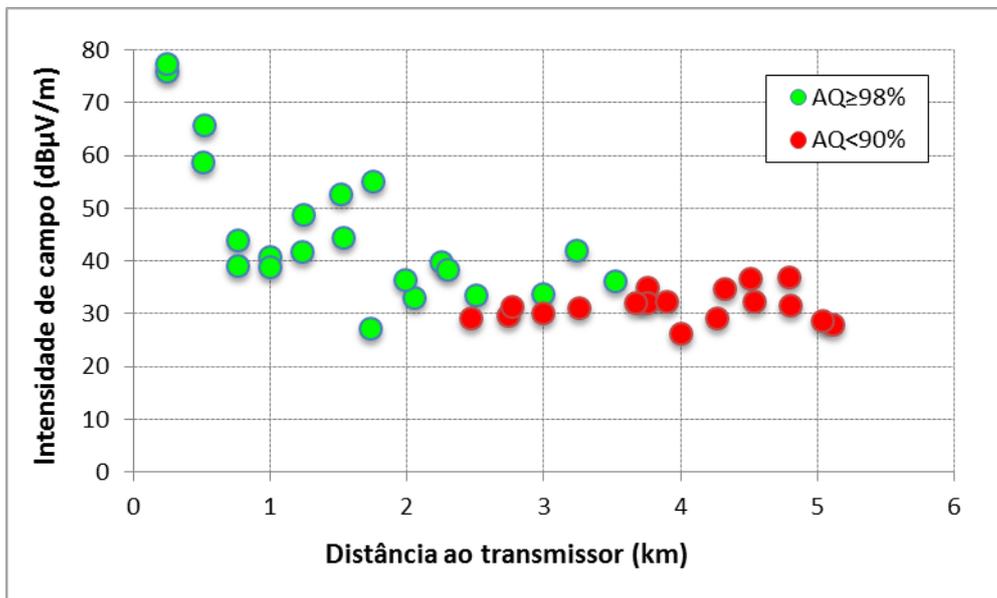


Figura 14 – Intensidade de campo em função da distância, modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W

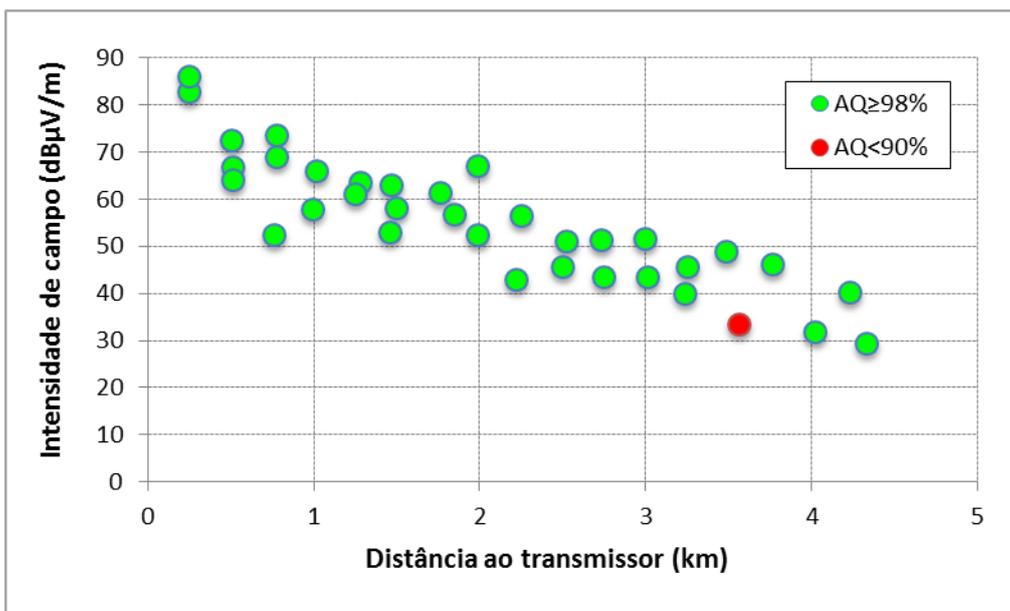


Figura 15 – Intensidade de campo em função da distância, modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W

De acordo com a Tabela 5, a Figura 12 e a Figura 14, a cobertura do modo de transmissão DRM 4QAM com potência de transmissão de 1,36 W é de 2,5 km de distância do transmissor. Nesse intervalo, não houve recepção em apenas um ponto, distante a 2,5 km do transmissor. Esse fato está claramente demonstrado na Figura 12. Verificou-se ainda que em três pontos da Rota 3 houve recepção entre 3 e 4 km de distância do transmissor. A cobertura na Rota 2 é limitada a 2,5 km por um pequeno morro que causa o sombreamento parcial do sinal. Mesmo o morro não sendo grande, é suficiente para atenuar o sinal e provocar a recepção ruim.

Com a potência de 4,36 W, nas rotas R1, R3 (três primeiros pontos) e R4, a cobertura foi até uma distância de 3,5 km do transmissor. Ressalta-se que na Rota 1 houve recepção durante todo o percurso até 4,5 km do transmissor.

4.2.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os resultados da recepção móvel no modo 4QAM com potência de transmissão de 1,36 W são mostrados no mapa da Figura 16, no qual cada ponto representa o valor médio de AQ a cada 50 metros de distância. Os pontos com coloração verde representam valores de AQ iguais ou superiores a 98%, em amarelo representam valores de AQ menores que 98% e iguais ou superiores a 90%, e em vermelho representam AQ menores que 90%.

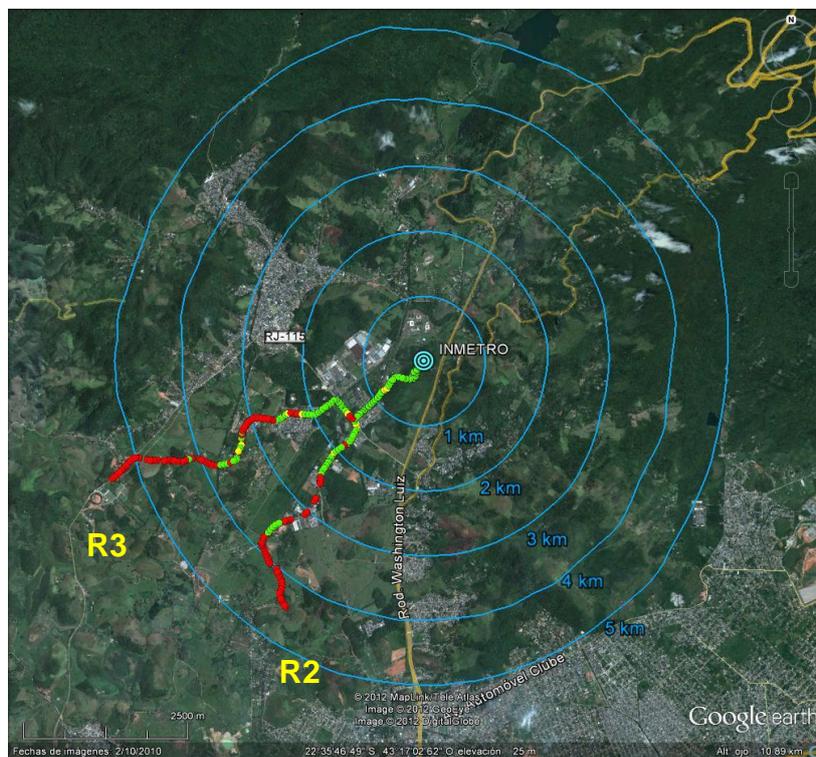


Figura 16 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM com 1,36 W no mapa

Observa-se, na Figura 16, que a cobertura atinge pouco mais de 2 km. Entretanto, existe uma área dentro desse intervalo em que a recepção apresentou problemas. Essa pequena área é identificada como residencial e está fora da linha de visada do transmissor. Essa provavelmente é a causa dos problemas de recepção.

Os resultados que são apresentados na Figura 17 correspondem aos resultados de recepção móvel no modo 4QAM com potência de transmissão de 4,36 W. Na Rota 1, direção nordeste, o sinal foi recebido até o final do percurso de 4,5 km de distância do transmissor, mesmo com pequenos problemas de recepção ocorrendo em 3 km. Por outro lado, na Rota 4, direção norte, a cobertura chega a apenas 3 km do transmissor. Nesse caso, também existem problemas de recepção de menor importância na mesma área residencial (na direção sudoeste do transmissor) em que problemas de recepção foram detectados com a potência de transmissão de 1,36 W.

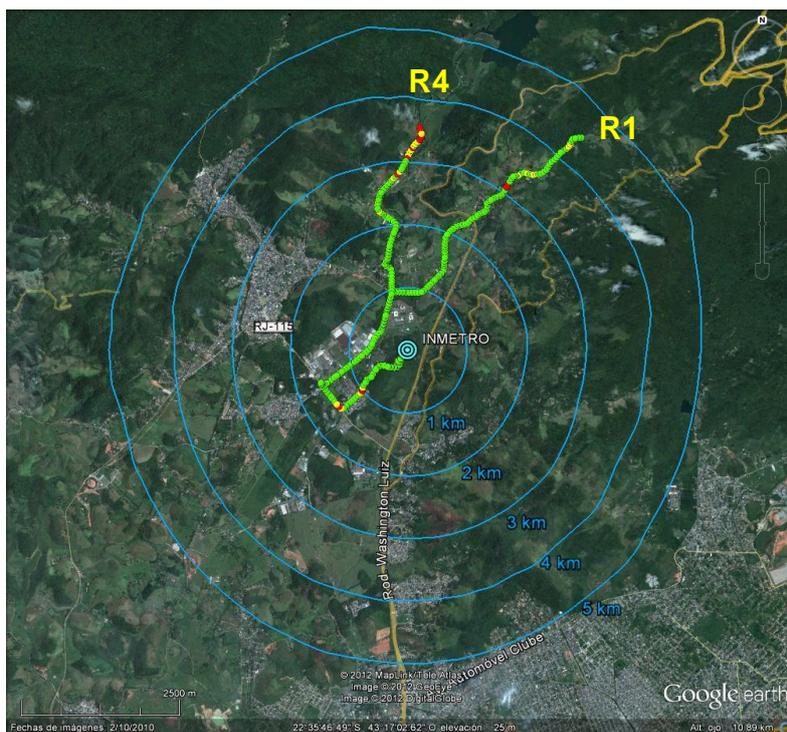


Figura 17 – Resultados da recepção móvel no modo 4QAM com 4,36 W no mapa

4.2.3 Limiares de recepção do modo 4QAM

Os limiares para a relação sinal-ruído (SNR) e a intensidade de campo são calculados a partir dos resultados de recepção estática, com os gráficos mostrando a intensidade de campo, a SNR e a qualidade de áudio AQ ($AQ \geq 98\%$; $90\% \leq AQ < 98\%$; $AQ < 90\%$). A Figura 18 e a Figura 19 apresentam os resultados do modo 4QAM.

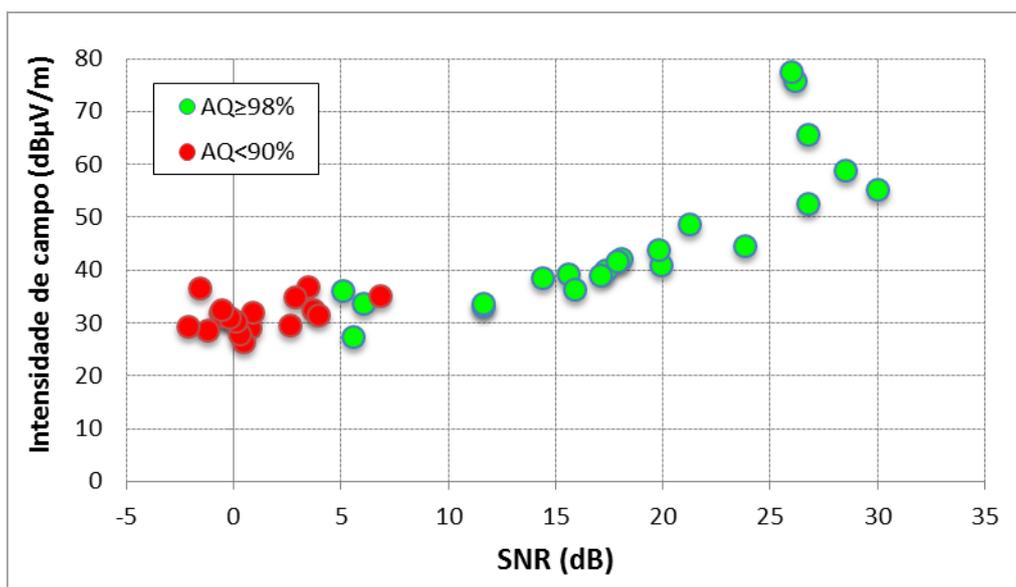


Figura 18 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM, potência de transmissão 1,36 W

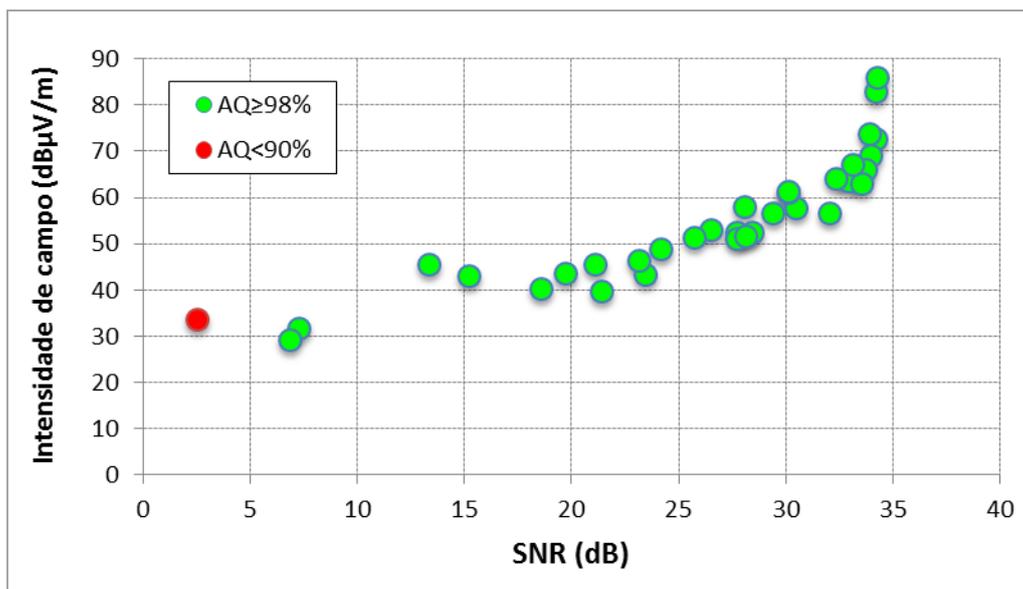


Figura 19 – Limiares da intensidade de campo e SNR na recepção no modo 4QAM, potência de transmissão 4,36 W

Por meio da Figura 18 e da Figura 19, é possível observar que a recepção estática com o modo 4QAM apresentou bons resultados. Com potência de transmissão de 1,36 W, a cobertura do sinal digital atingiu 2,5 km de distância em relação ao transmissor, com limiar de intensidade de campo elétrico de aproximadamente 37 dBµV/m. Com a potência de 4,36 W, a cobertura atingiu 3,5 km de distância, com limiar de intensidade de campo elétrico de 40 dBµV/m. Cabe salientar que esses limiares apenas são válidos quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado. No teste em questão, para a potência de 1,36 W o menor valor de SNR medida para recepção com o sistema DRM+ foi de 5 dB, ou seja, abaixo desse valor não foi possível decodificar o sinal. No entanto, no intervalo entre 5 dB e 7 dB houve um ponto sem recepção digital, e entre 7 dB e 11,5 dB não houve registro de medição de SNR. Para a potência de 4,36 W, o menor valor de SNR medido para recepção com o sistema foi de 7,3 dB, sendo que o próximo valor de SNR para recepção foi de 13,4 dB. Com SNR de 2,5 dB, não foi possível decodificar o sinal. No entanto, nos intervalos existentes entre esses três valores, não houve registros de medição de SNR. Devido a esses fatores, não foi possível definir um limiar preciso de SNR para a recepção estática com o sistema DRM+ no modo 4QAM.

4.3 Resultados do Modo de Transmissão 16QAM

4.3.1 Avaliação da área de cobertura com recepção estática

As medições durante a transmissão do modo 16QAM foram realizadas na Rota 2, na Rota 3 e na Rota 4, com potência de transmissão de 1,36 W, e em todas as Rotas (Rota 1, Rota 2, Rota 3 e Rota 4) com 4,36 W. O total de medições estáticas foi de 52 pontos para a potência de transmissão de 1,36 W e de 71 pontos para 4,36 W. Esse total de pontos representa um grande número de medições, que permitem uma boa visão do desempenho do sistema para o modo de transmissão 16QAM.

Os resultados da recepção estática do modo de transmissão 16QAM são apresentados na Tabela 7, na Tabela 8, e na Figura 20 até a Figura 23.

Parâmetro AQ	Raio de 2,5 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
$AQ \geq 98\%$	27 (100%)	33 (63%)
$90\% \leq AQ < 98\%$	0 (0%)	0 (0%)
$AQ < 90\%$	0 (0%)	19 (37%)
<i>Total de medições</i>	27 (100%)	52 (100%)

Tabela 7 – Resultados da recepção estática no modo 16QAM com 1,36 W de potência de transmissão, nas rotas R2, R3 e R4

Parâmetro AQ	Raio de 3,5 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
$AQ \geq 98\%$	50 (96%)	58 (81,5%)
$90\% \leq AQ < 98\%$	1 (2%)	1 (1,5%)
$AQ < 90\%$	1 (2%)	12 (17%)
<i>Total de medições</i>	52 (100%)	71 (100%)

Tabela 8 – Resultados da recepção estática no modo 16QAM com 4,36 W de potência de transmissão, em todas as rotas

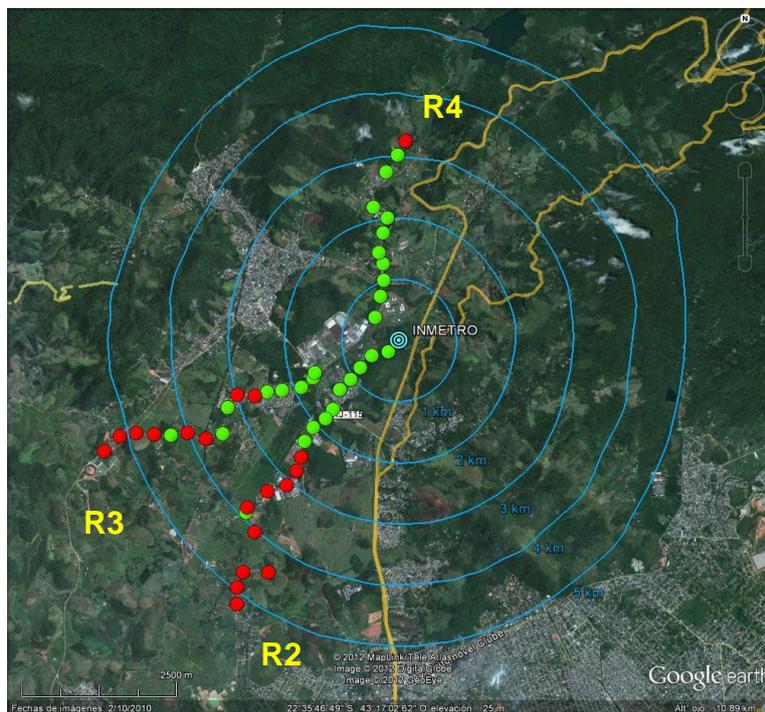


Figura 20 – Representação no mapa dos resultados da recepção estática com modo 16QAM e potência de transmissão de 1,36 W

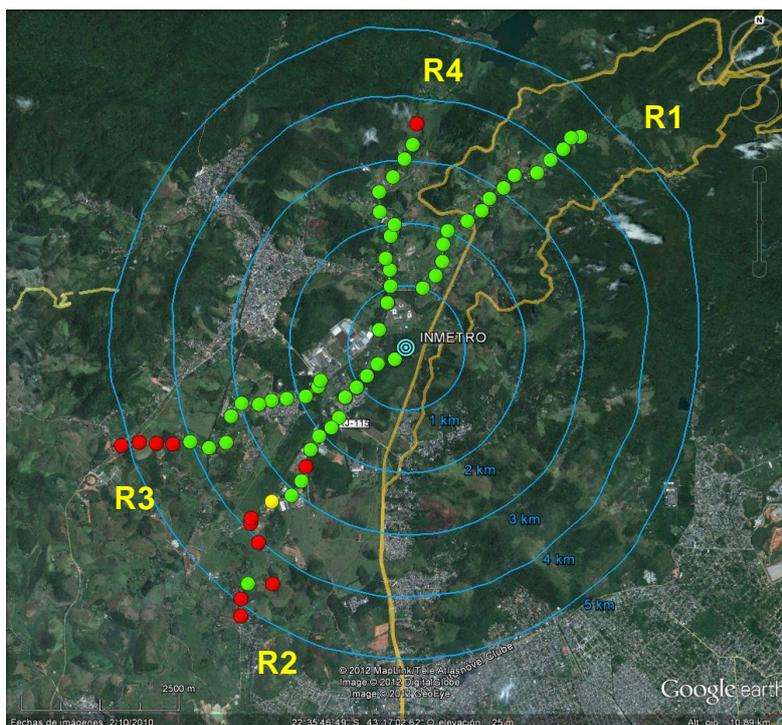


Figura 21 – Representação no mapa dos resultados da recepção estática modo 16QAM e potência de transmissão de 4,36 W

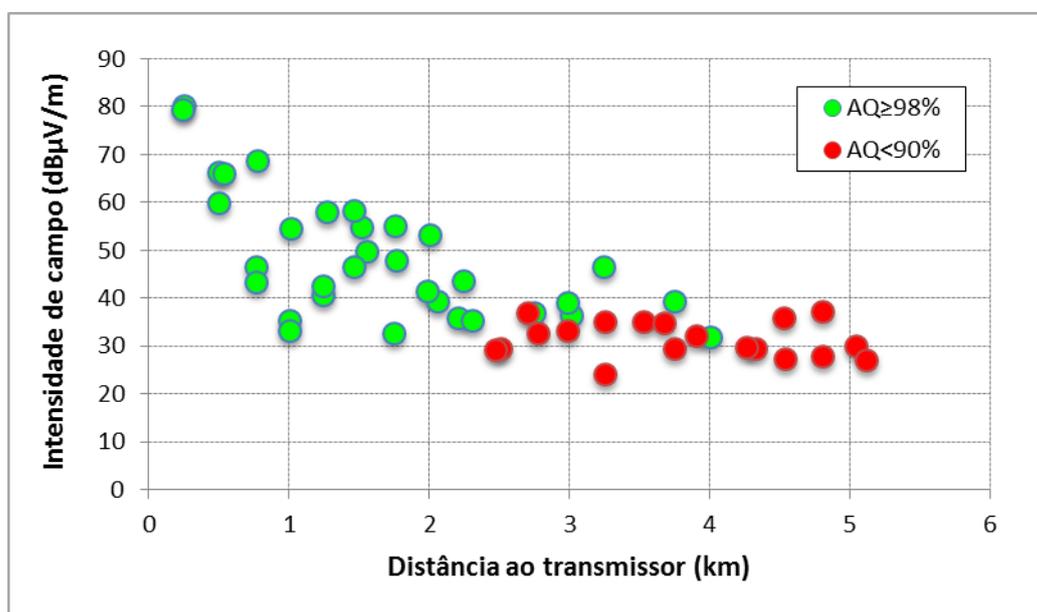


Figura 22 – Intensidade de campo elétrico em função da distância, modo 16QAM, com potência de transmissão de 1,36 W

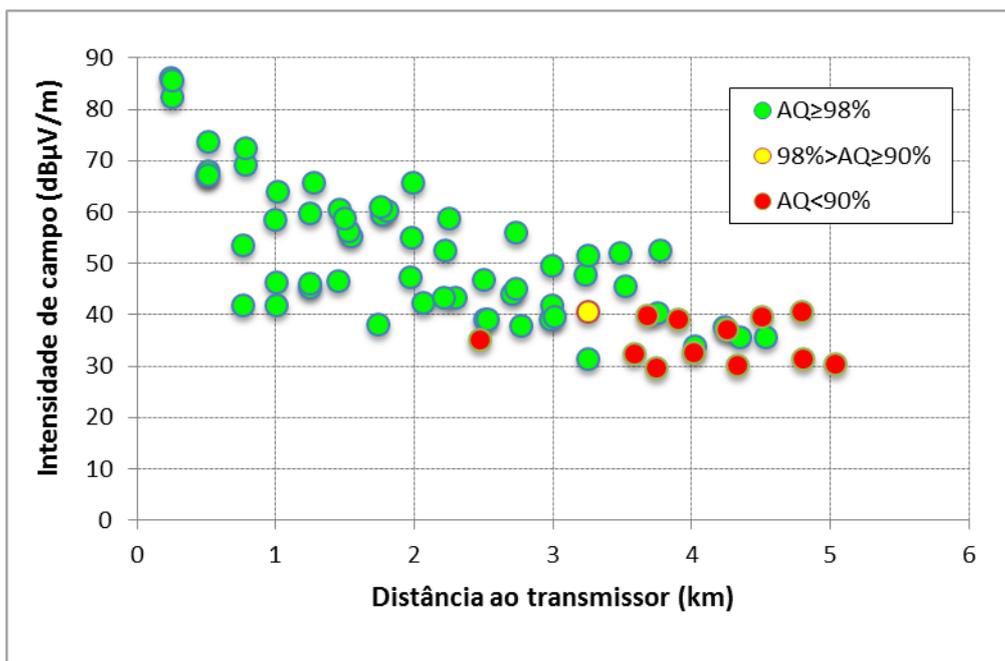


Figura 23 – Intensidade de campo elétrico em função da distância, modo 16QAM, com potência de transmissão de 4,36 W

A cobertura do sinal 16QAM com a potência de transmissão de 1,36 W é de cerca de 2,5 km de distância do transmissor, de acordo com a Tabela 7, a Figura 20 e a Figura 22. Até essa distância houve apenas um único ponto sem recepção, o qual estava próximo ao limite de cobertura, a 2,47 km do transmissor. No entanto, na Rota 4, a cobertura chega a 3 km, como pode ser visto na Figura 20.

Com a potência de transmissão de 4,36 W, a cobertura foi até 3,2 km do transmissor. Nesse intervalo, há apenas um ponto sem recepção, a cerca de 2,5 km do transmissor. Há um ponto com recepção regular antes de 3,5 km, no qual a taxa de quadros de áudio decodificados corretamente foi de 96%, isto é, a recepção estava muito próxima do AQ igual a 98%. Nos outros 50 pontos medidos no raio de 3,5 km houve recepção com $AQ \geq 98\%$. Ressalte-se que na Rota 1 houve recepção em todos os pontos de medição, até 4,5 km do transmissor, conforme a Figura 21.

As áreas de cobertura de 2,5 e 3,2 km a partir do transmissor, para 1,36 W e 4,36 W, estão ilustradas nos gráficos da Figura 22 e da Figura 23.

4.3.2 Avaliação da área de cobertura com recepção móvel

Os resultados da recepção móvel para o modo de transmissão 16QAM e potência de transmissão de 1,36 W são mostrados na Figura 24. A cobertura é aceitável em um raio de 2,0 km, mesmo havendo pontos marcados em amarelo e em vermelho. Os pontos vermelhos indicam que a cobertura não é completa dentro dessa área, havendo problemas de recepção, os quais ocorrem principalmente em uma pequena vila e em uma área industrial. Nessa área industrial, o sinal é também sombreado pelo morro situado à frente da antena de transmissão.

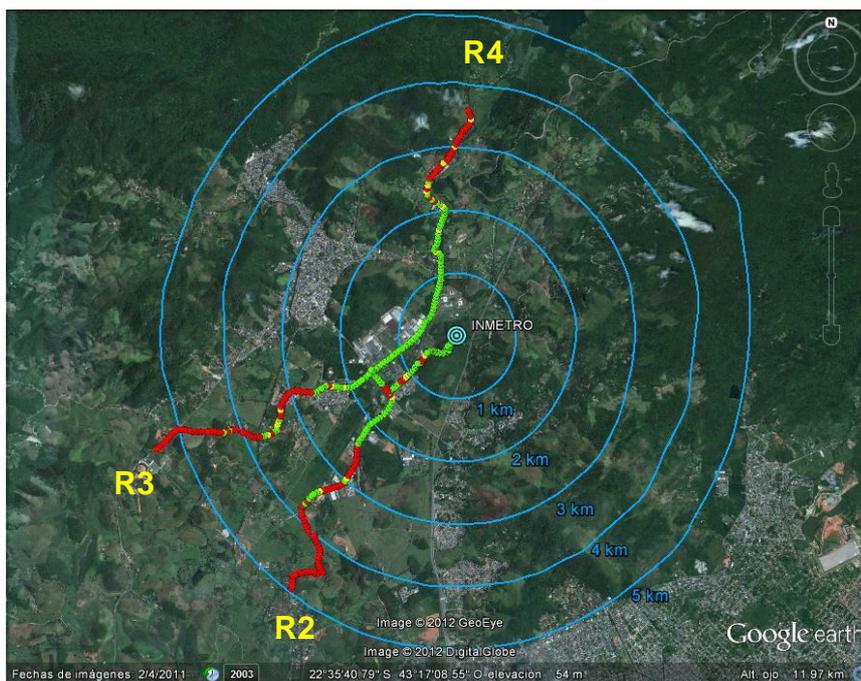


Figura 24 – Representação no mapa dos resultados da recepção móvel, modo 16QAM, e potência de transmissão de 1,36W

Os resultados da recepção móvel para o modo de transmissão 16QAM e potência de transmissão 4,36 W são mostrados na Figura 25, os quais são melhores do que com 1,36 W, como esperado. Para 4,36 W, a cobertura da recepção móvel foi de aproximadamente 2,5 km, com apresentação de menos problemas de recepção na área discutida para o caso de transmissão de 1,36 W (pequena vila e área industrial).

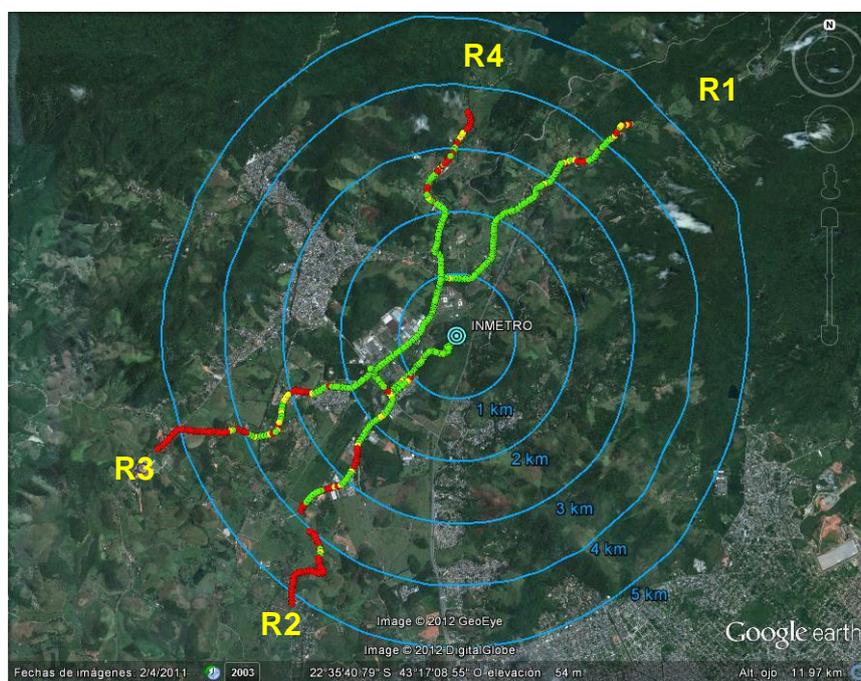


Figura 25 – Representação no mapa dos resultados da recepção móvel, modo 16QAM, e potência de transmissão de 4,36 W

4.3.3 Comparação entre as áreas de cobertura dos Modos 4QAM e 16QAM

A Tabela 9 apresenta uma análise comparativa das áreas de cobertura com as recepções estática e móvel, em função das potências de transmissão (1,36 W e 4,36 W) e das modulações (4QAM e 16QAM).

Ao aumentar a potência de transmissão de 1,36 W para 4,36 W, o esperado é que a área de cobertura também aumente, de maneira não proporcional ao aumento da potência, tanto para a recepção estática quanto para a móvel. Analisando os resultados com o modo 16QAM, observou-se o comportamento previsto. Entretanto, para o modo 4QAM, a mesma análise não pôde ser realizada, tendo em vista as diferenças existentes entre as características dos ambientes em que se encontravam as rotas percorridas nas medições com 1,36 W (R2 e R3, direção sudoeste) e com 4,36 W (R1 e R4, direção norte).

Utilizando-se a mesma potência com as duas modulações, esperava-se que os resultados obtidos com a modulação 4QAM tivessem maior área de cobertura (alcance). Com a potência de 4,36 W constatou-se que tanto a área de cobertura (alcance) como a homogeneidade desta foram maiores com 4QAM. No entanto, com a potência de 1,36 W, é observado o aumento apenas da homogeneidade, ou seja, foram apresentados menos problemas de recepção na mesma área de cobertura.

Modo	Recepção Estática		Recepção Móvel	
	Potência de 1,36 W	Potência de 4,36 W	Potência de 1,36 W	Potência de 4,36 W
4QAM	2,5 km	3,5 km	2,0 km	3,0 km
16QAM	2,5 km	3,2 km	2,0 km	2,5 km

Tabela 9 – Comparação entre as áreas de cobertura

4.3.4 Limiares de recepção do modo 16QAM

A metodologia para definir os limiares de recepção estática da SNR e da intensidade de campo para o modo de transmissão 16QAM é a mesma utilizada para o modo 4QAM (ou seja, por meio do gráfico de intensidade de campo elétrico em função da SNR).

O limiar para a intensidade de campo elétrico com potência de transmissão de 1,36 W é obtido por meio da Figura 26, resultando em aproximadamente 38 dB μ V/m. Todos os pontos onde não houve recepção têm intensidade de campo abaixo desse valor. O limiar de SNR para 1,36 W é de aproximadamente 8,5 dB.

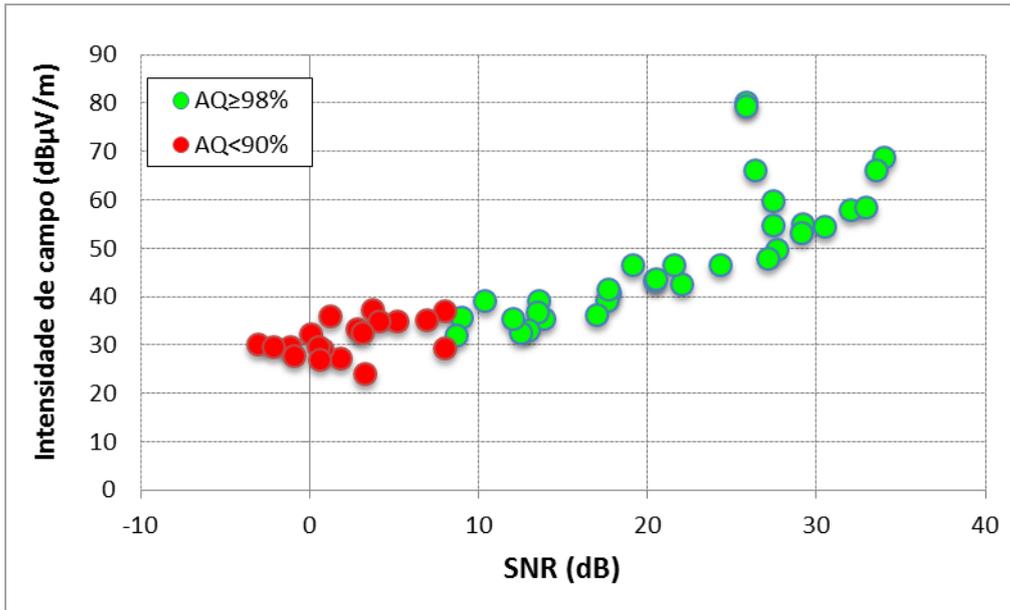


Figura 26 – Limiares de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM, com potência de transmissão de 1,36 W

Os limiares para a intensidade de campo elétrico e SNR com potência de transmissão de 4,36 W são obtidos por meio da Figura 27, que correspondem aproximadamente a 41 dBµV/m e 9 dB.

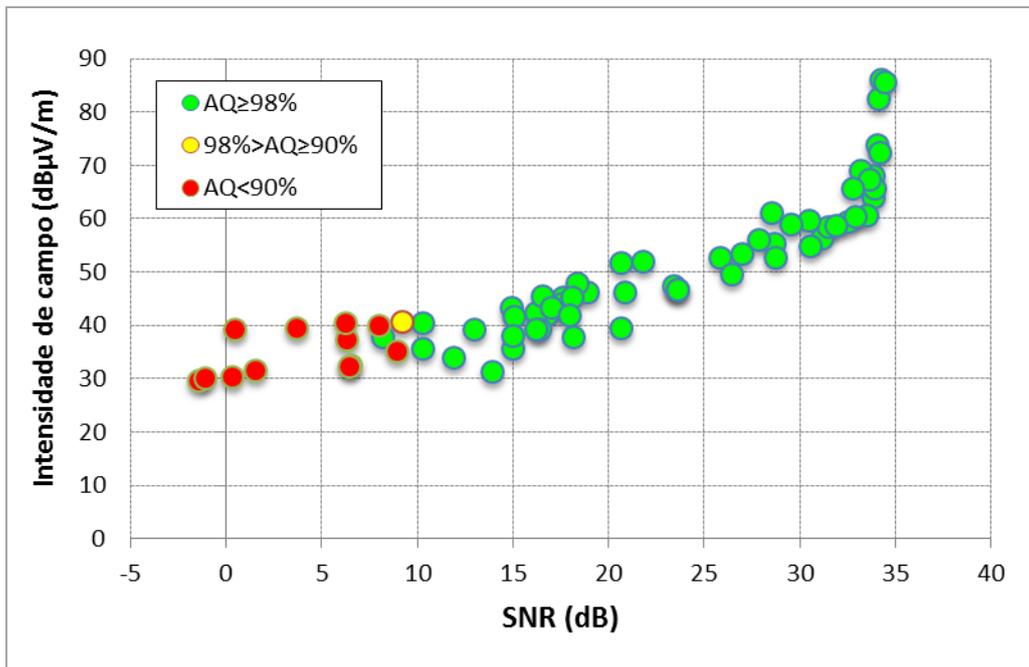


Figura 27 – Limiares de recepção da intensidade de campo e SNR, modo 16QAM, com potência de transmissão de 4,36 W

Os resultados para 1,36 W (Figura 26) e para 4,36 W (Figura 27) deveriam ser os mesmos. A diferença de 0,5 dB no limiar de SNR é insignificante. A diferença de 3 dB do limiar de intensidade de campo é um pouco maior, porém é admissível porque a intensidade de campo tem grande variabilidade.

Os limiares para 16QAM são apresentados na Tabela 10. Ambos os valores são maiores do que os limiares de 4QAM, como já era esperado.

Modo de transmissão	Potência de Transmissão	Limiar de intensidade de campo	Limiar de SNR
16QAM	1,36 W	38 dB μ V/m	8,5 dB
	4,36 W	41 dB μ V/m	9,0 dB

Tabela 10 – Limiares de recepção estática do modo de transmissão 16QAM

4.4 Estimativa da Área de Cobertura do Sinal Digital

A estimativa da área de cobertura do sinal digital foi feita com o software *Radio Mobile*, o qual é baseado no modelo de propagação de Longley-Rice (também chamado de ITS, *Irregular Terrain Model*). Esse software utiliza bases de dados topográficos para a predição, mas não considera a ocupação urbana e a vegetação do ambiente diretamente. No entanto, permite ao usuário definir as perdas devidas à ocupação urbana e à vegetação em função de porcentagem. Os principais parâmetros de entrada usados na estimativa são apresentados na Tabela 11

Parâmetro	Valor
Condutividade do solo	3 mS/m
Refratividade da superfície (unidades N)	301
Permissividade relativa do solo	15
Clima	Marítimo Sub-tropical
Modo de variabilidade	<i>Broadcast</i>
Porcentagem do tempo	95%
Porcentagem dos lugares	95%
Porcentagem das situações	95%

Tabela 11 – Principais parâmetros para estimação da intensidade de campo elétrico digital

Para a predição de cobertura do sinal foram consideradas as duas potências de transmissão EIRP utilizadas nos testes, 1,36 W e 4,36 W, gerando duas estimativas diferentes de intensidade de campo elétrico. Os resultados dessas estimativas de intensidade de campo são apresentados na Figura 28 e Figura 29. A circunferência com raio de 5 km delimita a região onde foram realizados os testes.

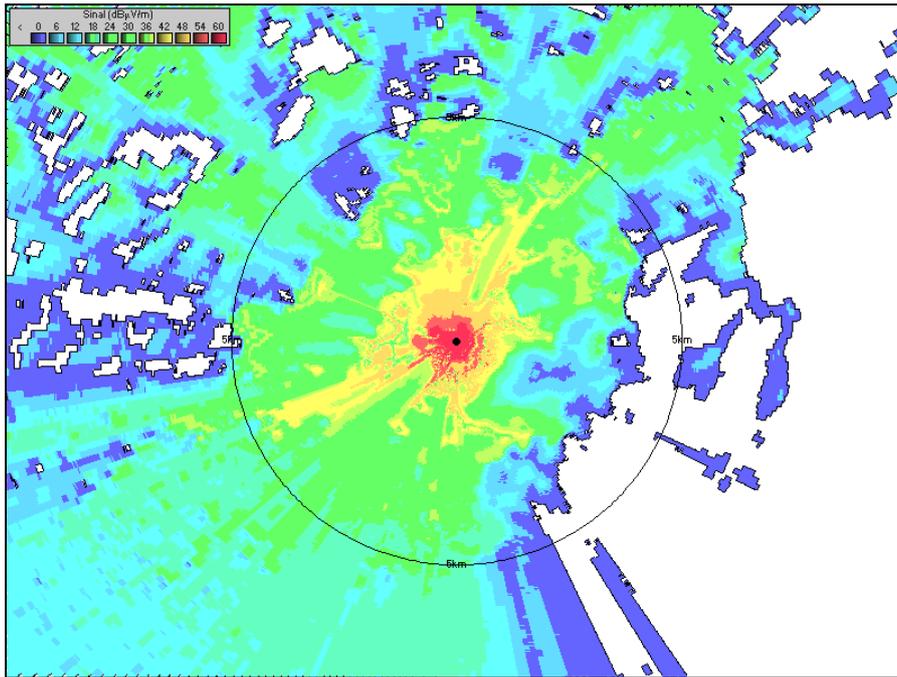


Figura 28 – Predição da área de cobertura do sinal digital utilizando uma potência EIRP de 1,36 W

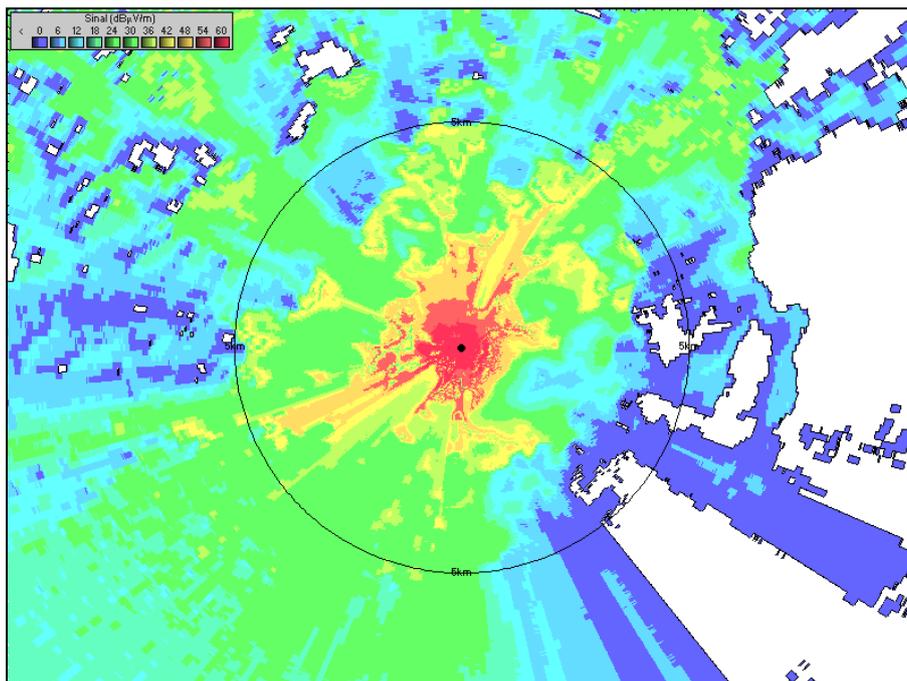
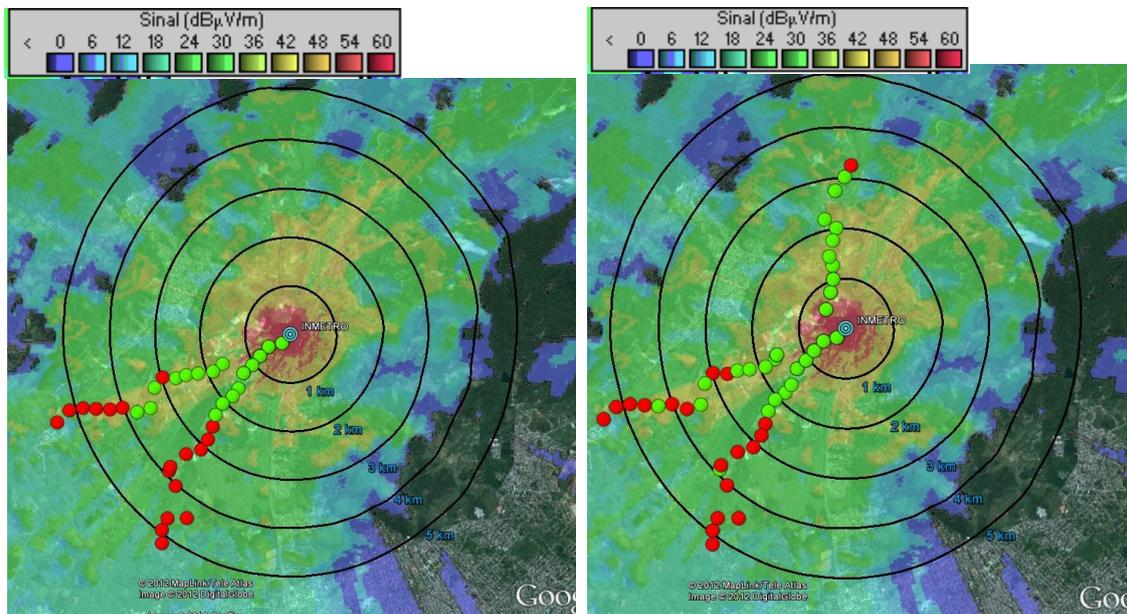


Figura 29 - Predição da área de cobertura do sinal digital utilizando uma potência EIRP de 4,36 W

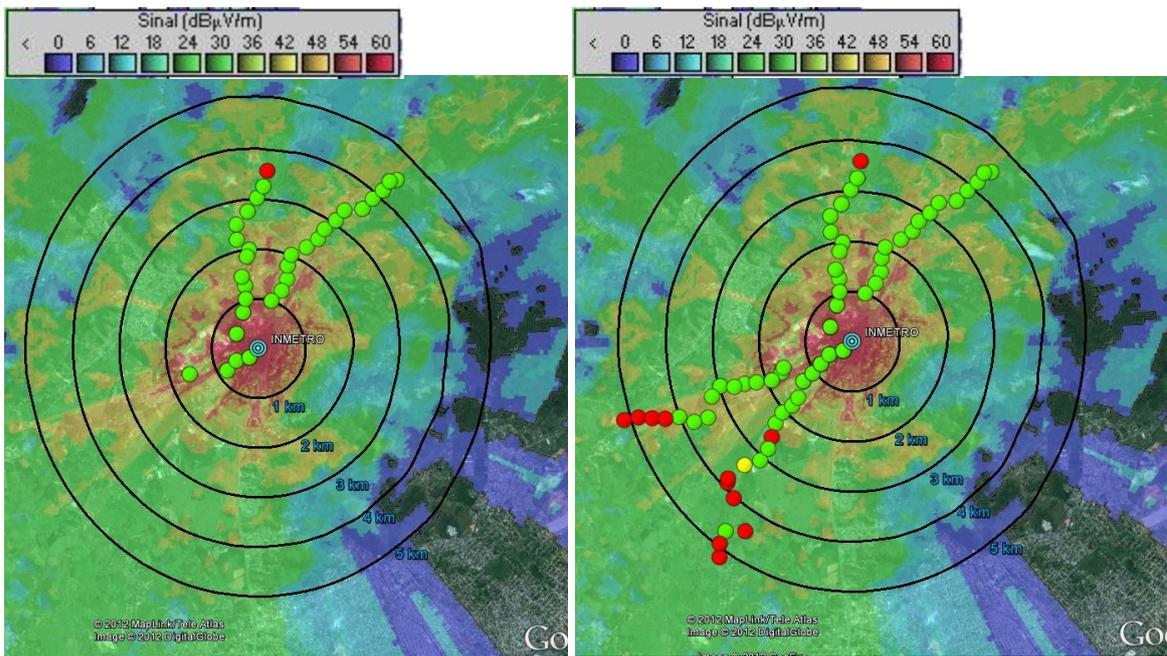
A Figura 30 ilustra os resultados das medições estáticas, para as transmissões com 4QAM e 16QAM, sobrepostos aos mapas com as áreas de cobertura previstas utilizando 1,36 W e 4,36 W de potência EIRP. Assim, é possível verificar que os limiares de recepção teóricos na condição estática, que garantem a recepção do sinal digital para os modos 4QAM e 16 QAM, ficaram entre 36 dB μ V/m e 42 dB μ V/m. No entanto, é possível visualizar na Figura 30 (a) e (b) que em determinadas condições obteve-se a decodificação do sinal digital em limiares entre 30 dB μ V/m a 36 dB μ V/m para o modo 4QAM. Isso pode ser atribuído ao fato dessa recepção ter ocorrido em regiões rurais, onde é possível a decodificação do sinal digital com pequenos valores de

intensidade de campo elétrico associados a baixos valores de SNR. Cabe salientar que esses limiares apenas são válidos quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado.



(a) 4QAM/1,36 W

(b) 16QAM/1,36 W



(c) 4QAM/4,36 W

(d) 16QAM/4,36 W

Figura 30- Resultados das medições estáticas sobrepostas às predições de área de cobertura

Na recepção móvel, espera-se que a intensidade de campo elétrico requerida para a decodificação do sinal digital seja maior. A Figura 31 ilustra os resultados das medições com a

viatura em movimento, para as transmissões com 4QAM e 16QAM, sobrepostos aos mapas com as áreas de cobertura previstas utilizando 1,36 W e 4,36 W de potência EIRP. Assim, é possível verificar que os limiares de recepção teóricos, na condição de mobilidade, que garantem a recepção do sinal digital para os modos 4QAM e 16QAM ficaram nos intervalos de 36 dB μ V/m a 42 dB μ V/m e 42 dB μ V/m a 48 dB μ V/m, respectivamente. Esses valores podem ser bem visualizados verificando-se a Figura 31 (c) e (d). Cabe salientar que esses limiares apenas são válidos quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal DRM+ é respeitado.

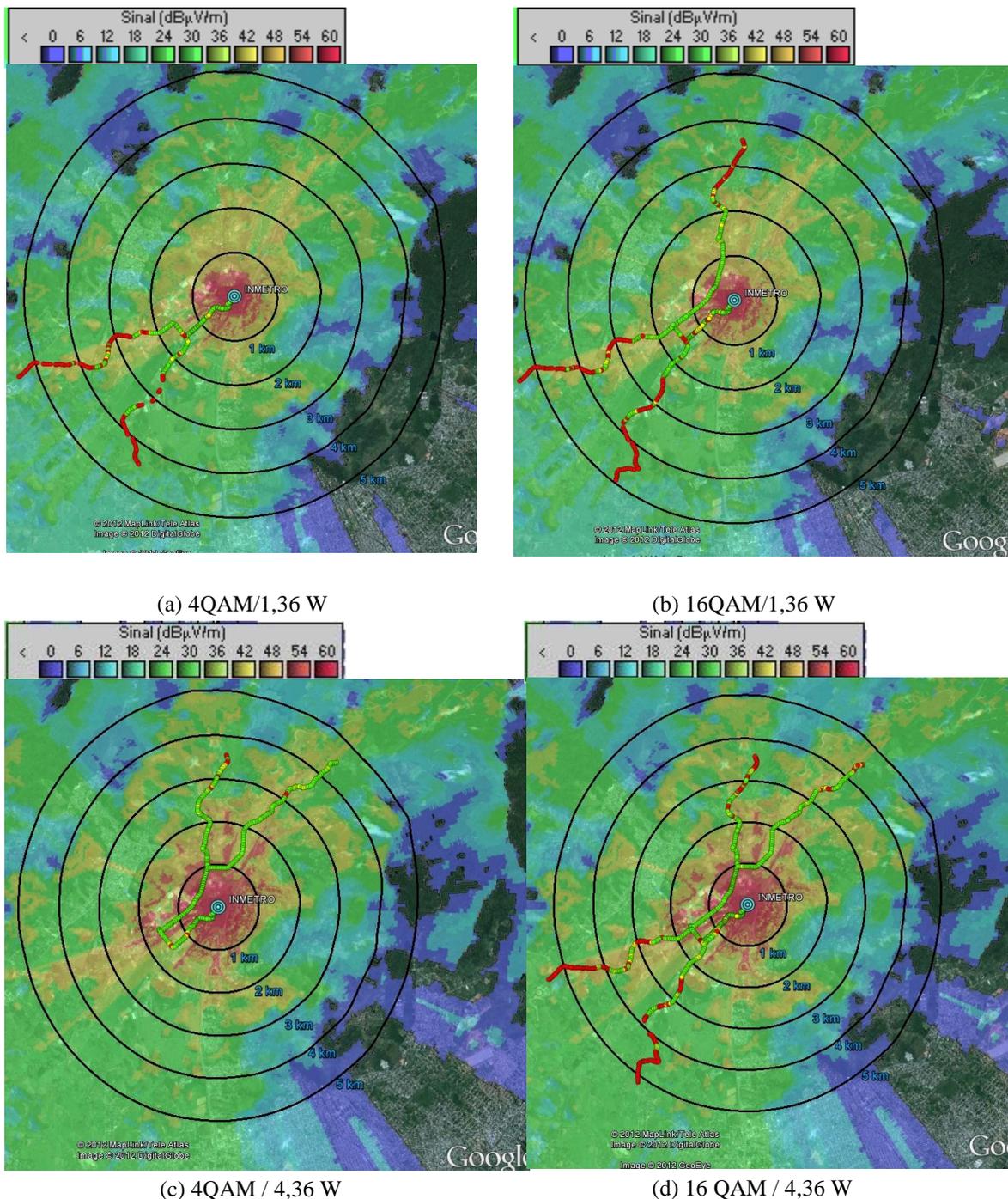


Figura 31 – Resultados das medições em mobilidade sobrepostas às previsões da área de cobertura

Os resultados utilizando o software *Radio Mobile* mostraram que os limiares teóricos para recepção estática encontrados para os modos 4 QAM e 16 QAM estão entre 36 dB μ V/m e 42 dB μ V/m, bem próximos dos valores obtidos nos testes, que foram de 37 dB μ V/m a 40 dB μ V/m para o modo 4 QAM e 38 dB μ V/m a 41 dB μ V/m para o modo 16 QAM.

Em relação à análise de mobilidade, como era esperado, esses limiares teóricos são maiores. Na predição teórica ficaram entre 36 dB μ V/m e 42 dB μ V/m no modo 4QAM e 42 dB μ V/m a 48 dB μ V/m no modo 16 QAM.

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* 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 do VHF. Em outubro de 2009, o Consórcio possuía 93 membros e 90 financiadores de 39 países envolvidos [4].

O DRM foi criado em Guangzhou, China, em 1998, inicialmente com o objetivo de digitalização das bandas de radiodifusão AM até 30 MHz – Ondas Longas (OL), Ondas Médias (OM) e Ondas Curtas (OC). A especificação do sistema DRM para a transmissão abaixo de 30 MHz ("DRM30") foi publicada pela primeira vez pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) em 2001 [7], seguida de uma Recomendação da *International Telecommunication Union* (ITU) que definia a utilização do sistema de radiodifusão sonora digital a nível internacional [3].

Em 2005, foi tomada a decisão de estender o sistema DRM para operar nas bandas de transmissão VHF ("DRM+"). Esse trabalho requereu um desenvolvimento adicional a fim de definir o novo modo de transmissão em VHF, que, após refinamento por meio de ensaios laboratoriais e de campo, culminou na publicação da atual (e estendida) especificação DRM, a ETSI ES 201 980 [2].

5.1.2 Características do sistema

A tecnologia DRM é um padrão aberto, que permite que todos os fabricantes tenham acesso às suas 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 OM, 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 DRM pode ocupar uma variedade de diferentes larguras de banda, dependendo da localização e das frequências em uso. Para frequências abaixo de 30 MHz, nas Américas, a largura da banda de Ondas Médias usada é de 10 kHz, enquanto na Europa, a largura é de 9 kHz. Já nas faixas de Ondas Curtas, utiliza-se a largura de banda de 10 kHz. O sistema também permite o uso da metade e do dobro dessas larguras de banda, ou seja, as larguras de banda definidas são 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz e 20 kHz, para transmissões abaixo de 30 MHz. A largura de banda definida para frequências acima de 30 MHz é de 95 kHz de ocupação e 100 kHz de alocação. No modo *simulcast*, o sinal digital com largura de banda de 95 kHz é acoplado ao sinal analógico que possui uma largura de banda de 200 kHz, totalizando 295 kHz.

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 quantificar os parâmetros de operação para garantir a compatibilidade analógico/digital, de forma a apoiar o processo de transição da radiodifusão analógica para a digital. Outra característica do sistema DRM é possibilitar que os transmissores analógicos sejam adaptados para transmissões digitais e analógicas.

Uma alternativa proposta para a radiodifusão local é o uso da banda de 26 MHz [9]. Apesar do uso tradicional de bandas HF para transmissão a longas distâncias com grandes áreas de cobertura, principalmente por meio de reflexões na ionosfera (ondas celestes), esse tipo de propagação da onda é fortemente influenciado pela densidade de elétrons nas camadas da ionosfera no céu, que é uma consequência da atividade solar. 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 [10]. 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 de 26 MHz). 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 mais elevadas, que podem então ser usadas para transmitir com cobertura local. Assim, a cobertura de uma cidade ou de 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 kbps 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 DRM possibilita o uso de três esquemas de codificação: AAC, CELP e HVXC. O AAC, padrão avançado de codificação de áudio, 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). Os codecs HVXC e CELP são definidos 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 [4].

5.1.3 Características técnicas

O sistema digital de radiodifusão DRM 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 em frequência modulada (FM). O sistema operando em frequências abaixo de 30 MHz é chamado de DRM30 [2]-[4]. O DRM+ é uma extensão do sistema DRM para operar na faixa de frequências 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][3][11].

O sinal DRM utiliza a 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 o DRM30 pode ser escolhida: 4,5 kHz, 5 kHz, 9 kHz, 10 kHz, 18 kHz ou 20 kHz. Para o DRM+, a largura de banda alocada é sempre de 100 kHz (95 kHz ocupada).

Os modos de transmissão OFDM oferecidos pelo sistema DRM são quatro para DRM30 e um para DRM+, e eles são identificados pelas letras A, B, C, D e E. Esses modos diferem na separação das portadoras OFDM, no comprimento e duração dos símbolos OFDM e no intervalo de guarda do OFDM, como é mostrado na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2 [2],[4]. O modo E é o modo concebido para as bandas de VHF, por isso foi o modo usado nos testes em Xerém.

Parâmetros	Modo de robustez				
	A	B	C	D	E
Espaçamento entre portadoras (Δf_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	Sistema
A	Canais gaussianos, com fading desprezível	Cobertura local ou regional por meio de onda de superfície nas bandas OM e OL. Cobertura local usando onda espacial em OC numa banda de 26 MHz.	DRM30
B	Canais seletivos no tempo e na frequência, com maior <i>delay spread</i>	Cobertura nacional e internacional usando onda celeste em bandas OM e OC.	
C	Tão robusto como o modo B, mas com maior espalhamento Doppler	Cobertura internacional utilizando onda celeste na banda OC.	
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 banda OC.	
E	Canais seletivos no tempo e em frequência	Transmissões em bandas VHF entre 30 e 174 MHz.	DRM+

Tabela 5.2 – Usos dos modos de robustez DRM

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],[4]. 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 igual ou 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 estão contidos no MSC e os nomes de tais serviços. O receptor decodifica o FAC primeiro, depois decodifica o SDC e, finalmente, o 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 (*Forward Error Correction*) 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, o tamanho dos símbolos pode ser longo ou curto, o que corresponde a um intervalo de tempo de 0,4 s ou 2,4 s, respectivamente. No 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: um 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 e de voz) no sistema DRM. Os três codificadores disponíveis fazem parte do MPEG-4 e algumas de suas características são mostradas na Tabela 5.3.

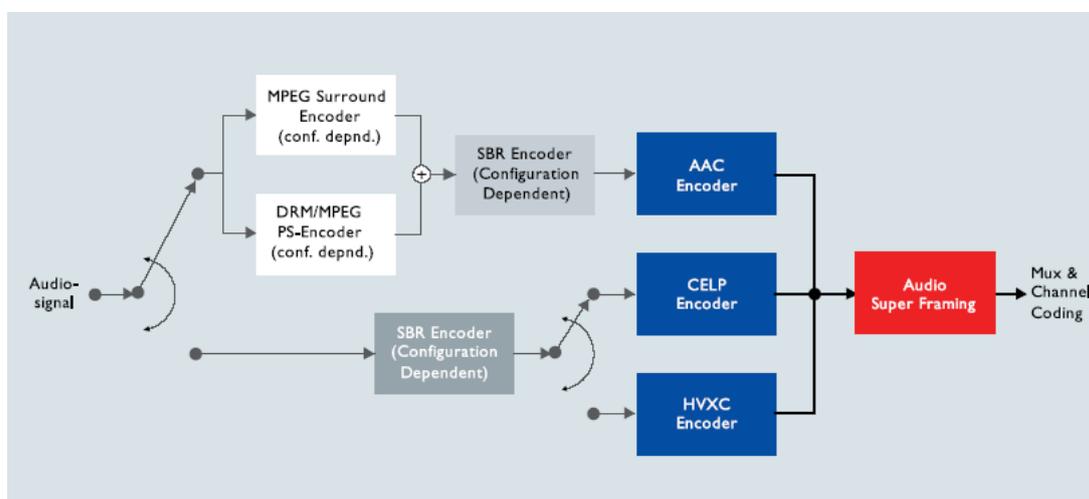


Figura 5.1 – Opções de codificação de áudio no DRM

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 kbps para DRM30 e 80 kbps para DRM+.	Para codificação de áudio genérico, mono, estéreo ou <i>surround</i>
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

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 truncando 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. Isso requer informações auxiliares do SBR que gastam aproximadamente 2 kbps. Nesse 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 a saída do 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.

A combinação do codificador AAC com o esquema de SBR é chamado aacPlus ou HE AAC (*High Efficiency AAC*) [12]. 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 à proporcionada 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. Esse esquema também exige a transmissão de informações auxiliares que gastam cerca de 2 kbps e são extraídas 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 [12].

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 bits 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 serem armazenados na memória *flash*.

5.1.4 Testes realizados com a tecnologia DRM

O padrão DRM cobre muitas bandas de frequência, que experimentam diferentes modos de propagação. Os modos de transmissão podem ser *simulcast*, redes SFN (*Single Frequency Network*) ou AFS (*Alternative Frequency Switching*). Para avaliar o desempenho do sistema nessas bandas e com essas possibilidades, vários testes de campo foram realizados.

Em 2005, uma campanha de extensas medições foi realizada em Madri e nas regiões vizinhas, o que originou o documento ITU-6E 175E "Digital Radio Mondiale (DRM) Daytime Tests" [13]. O principal objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho do DRM utilizando a banda de Ondas Médias.

Nesse 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 [14]. O principal resultado dessa 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 pôde 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 [13],[15]. A partir das medições dos campos foram obtidos valores de C/N (CNR, relação portadora-ruído) 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 [16].

Outros ensaios na faixa de OM foram realizados no México [17], França [18], Índia [4] e outros países com bons resultados. Ensaio realizado na Alemanha mostraram o bom desempenho da rede SFN em OM [19]

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 [20], 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 [21].

A transmissão em OC para longas distâncias e a cobertura nacional em bandas de OT (Ondas 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 OC mostraram a viabilidade do sistema DRM para a aplicação citada. Os resultados mais relevantes foram enviados para a ITU [19] e EBU (*European Broadcasting Union*) [22]. Devido à variabilidade de propagação das OC, 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 desse sistema mostraram uma confiabilidade de mais de 90% na maioria dos casos [23],[24]. O Consórcio tem feito testes em MFN, SFN e NVIS (próximo de

incidência vertical da onda celeste, para a banda tropical), mas a maioria dos estudos não têm sido relatados em publicações científicas. Um dos mais importantes foi o estudo de ensaios NVIS feitos na Tailândia, em 2002, onde o modo B se mostrou insuficiente para este tipo de propagação. Após esses resultados, o modo C e o 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 mínima de 18 W em 95,2 MHz. Foram testes subjetivos de recepção de FM em canais vizinhos com e sem a presença de sinal DRM+ no ar. As conclusões foram que o primeiro transmissor DRM+ funcionou com sucesso e que a transmissão não causou interferência significativa nos sinais FM [25].

De março a maio de 2008, a Universidade de Ciências Aplicadas de Kaiserslautern realizou testes de campo na Banda II do VHF 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+ [26]. As transmissões eram feitas a partir de uma estação de rádio experimental da Universidade com 35 W, com frequências entre 87,6 e 87,9 MHz. A compatibilidade foi avaliada em termos de recepções fixa e móvel e concluiu que os sistemas DRM+ e FM poderiam coexistir na banda de 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 infraestrutura, com o objetivo de avaliar a cobertura real do DRM+ em comparação com o estimado [27]. Os resultados mostraram que as recepções fixa e móvel do DRM+, com modulações 4-QAM e 16-QAM, tinham 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 Pleyel com uma potência de 400 W, em 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 integradas a um multiplex DAB (Eureka-147) por razões de custo, cobertura ou saturação da banda de FM [28].

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 acima de 30 dB μ V/m e uma SNR de 10 dB, enquanto que para o modo de 16-QAM a recepção foi possível acima de 46 dB μ 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 de cerca de 15 km para o 16-QAM [29],[30].



O padrão DRM não cobre a Banda III do VHF (174-216 MHz na Região 2 da UIT), mas alguns testes foram feitos sobre essa 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 superior a 35 dB μ 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 μ V/m e uma SNR de 20 dB, até 15 km de distância do transmissor [32].

Em fevereiro de 2010, a Universidade de Kaiserslautern testou o DRM+ na Banda III para verificar os resultados obtidos em laboratório. Os testes foram realizados nos mesmos locais de testes na Banda II. Nos pontos fixos, foi medida a relação de proteção do DRM+, quando o sinal 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 nesses ensaios de campo. Por outro lado, os resultados indicam que a recepção móvel do 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) [31].

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 quatro 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 [33].

Todos os ensaios foram feitos com baixa potência e mostraram um bom desempenho do sinal DRM+. Eles também mostraram a possibilidade de usar essa tecnologia na Banda I (50-68 MHz) e na 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

Neste anexo são apresentados os detalhes da localização das quatro rotas radiais de medição. Considerando-se que a transmissão é de baixa potência, a estimativa de cobertura é de pequena extensão (menos de 5 km). As rotas circulares definidas pela Anatel para os testes se propõem a avaliar o desempenho do sistema em diferentes ambientes de recepção [6]. Porém, devido à pequena cobertura, esse tipo de avaliação não é aplicável. Sendo assim, não foram definidas rotas circulares nesse teste em Xerém. A Tabela 5.4 apresenta a descrição das rotas radiais.

Rota	Descrição
R1	Radial Nordeste – Petrópolis
R2	Radial Sudoeste – Duque de Caxias
R3	Radial Sudoeste – Xerém
R4	Radial Norte – Petrópolis

Tabela 5.4 – Rotas selecionadas para os testes em Xerém

As rotas estabelecidas são apresentadas na Figura 5.2 e os pontos de medição estáticos são apresentados em pontos situados ao longo das rotas.

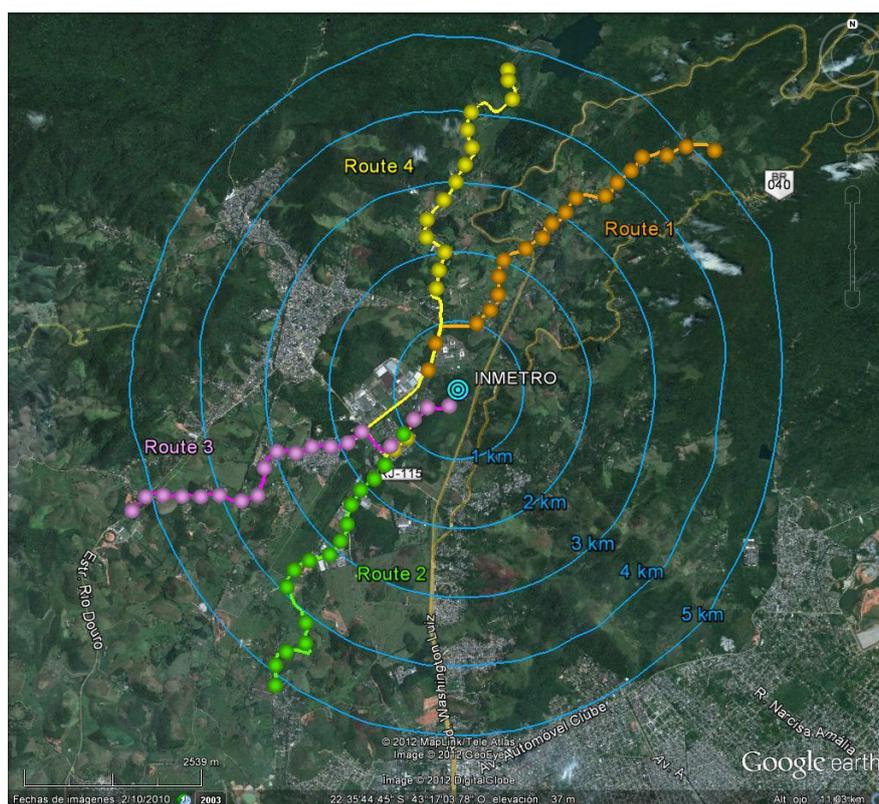


Figura 5.2 – Rotas planejadas para os testes

Todas as rotas de medição tem uma extensão aproximada de 5 km e tiveram 20 pontos de medição definidos. Em alguns casos, a equipe de medição decidiu não realizar medições nos pontos finais das rotas porque ficou claro que não haveria cobertura.

No próximo subitem são apresentados os detalhes de cada rota.

5.2.1 Rota 1: Radial Nordeste – Petrópolis

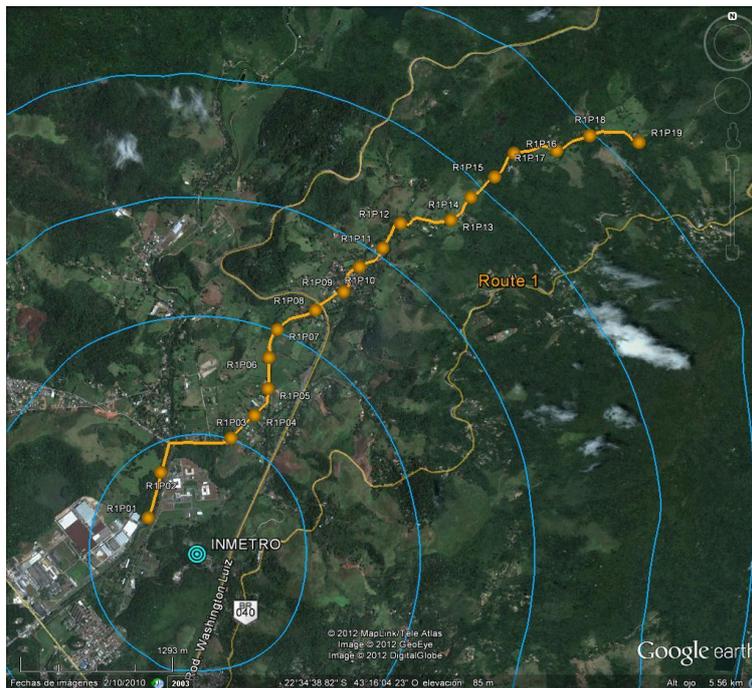


Figura 5.3 – Rota 1. Radial Nordeste – Petrópolis

Ponto	Localização	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)	Azimute em relação ao transmissor (°)
R1P01	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°35'25,1" S	43°17'14,2 W	0,5	304
R1P02	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°35'11,6 S	43°17'09,6 W	0,75	337
R1P03	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°35'03,9 S	43°16'49,5 W	1,00	16
R1P04	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'56,3 S	43°16'42,5 W	1,25	22
R1P05	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'49,4 S	43°16'38,9 W	1,50	23
R1P06	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'40,6 S	43°16'38,5 W	1,75	20
R1P07	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'33,5 S	43°16'35,8 W	2,00	20
R1P08	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'28,6 S	43°16'25,1 W	2,25	25
R1P09	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'23,2 S	43°16'17,2 W	2,50	29
R1P10	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'16,8 S	43°16'12,7 W	2,75	29
R1P11	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'11,2 S	43°16'04,9 W	3,00	31
R1P12	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'04,6 S	43°15'58,8 W	3,25	32
R1P13	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°34'03,8 S	43°15'46,3 W	3,50	37
R1P14	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°33'57,2 S	43°15'39,0 W	3,75	37
R1P15	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°33'51,6 S	43°15'32,4 W	4,00	38
R1P16	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°33'46,0 S	43°15'27,9 W	4,25	38
R1P17	Estrada Rio -Petrópolis BR 040	22°33'45,2 S	43°15'22,7 W	4,50	39

Tabela 5.5 – Detalhes da localização dos pontos da Rota 1 Radial Nordeste/Petrópolis

Essa rota tem apenas 17 pontos porque além desses pontos não havia recepção do sinal, logo não foi feito registro de medição.

Trecho	Rota	Comprimento do trecho (km)
R1P01 a R1P02	Radial 1	0,41
R1P02 a R1P03	Radial 1	0,79
R1P03 a R1P04	Radial 1	0,28
R1P04 a R1P05	Radial 1	0,27
R1P05 a R1P06	Radial 1	0,26
R1P06 a R1P07	Radial 1	0,25
R1P07 a R1P08	Radial 1	0,36
R1P08 a R1P09	Radial 1	0,29
R1P09 a R1P10	Radial 1	0,30
R1P10 a R1P11	Radial 1	0,27
R1P11 a R1P12	Radial 1	0,27
R1P12 a R1P13	Radial 1	0,45
R1P13 a R1P14	Radial 1	0,25
R1P14 a R1P15	Radial 1	0,26
R1P15 a R1P16	Radial 1	0,25
R1P16 a R1P17	Radial 1	0,37

Tabela 5.6 – Detalhes dos trechos de medições em mobilidade Rota 1 Radial Nordeste/Petrópolis

5.2.2 Rota 2: Radial Sudoeste – Duque de Caxias

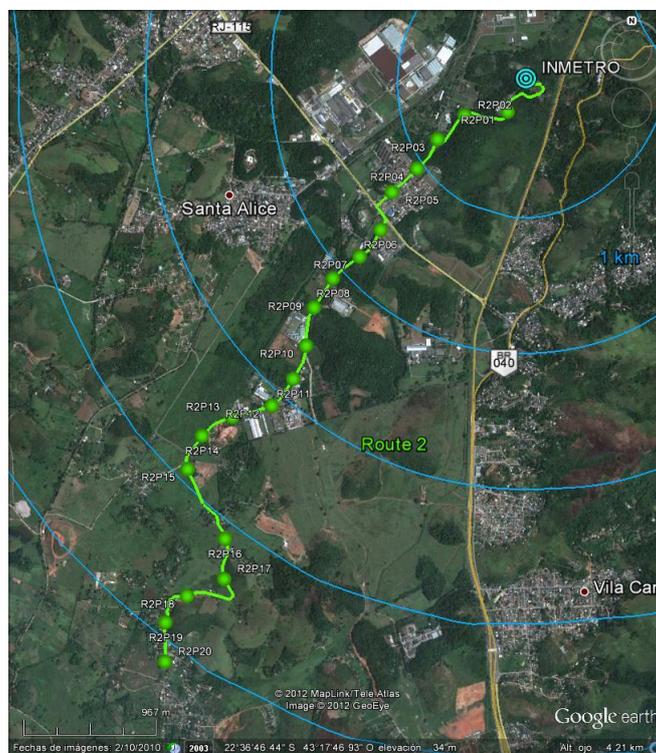


Figura 5.4 – Rota 2. Radial Sudoeste – Duque de Caxias

Ponto	Localização	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)	Azimute em relação ao transmissor (°)
R2P01	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'40,4" S	43°17'03,4" W	0,25	223
R2P02	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'43,5" S	43°17' 14,4" W	0,50	240
R2P03	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'47,0" S	43°17' 21,2" W	0,75	234
R2P04	Rua Nossa Senhora das Graças - Xerém	22°35'54,9" S	43°17'26,4" W	1,00	230
R2P05	Rua Nossa Senhora das Graças - Xerém	22°36'00,5" S	43°17'32,9" W	1,25	230
R2P06	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'10,5" S	43°17'36,8" W	1,50	223
R2P07	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'15,9" S	43°17'40,9" W	1,75	222
R2P08	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'20,7" S	43°17'47,7" W	2,00	224
R2P09	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'28,1" S	43°17'52,4" W	2,25	222
R2P10	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'36,2" S	43°17'55,0" W	2,50	219
R2P11	Rua Cap. Guyneme - Xerém	22°36'44,5" S	43°17'57,7" W	2,75	217
R2P12	Rua Dezesete - Xerém	22°36'50,3" S	43°18'03,3" W	3,00	217
R2P13	Rua Dezesete - Xerém	22°36'50,3" S	43°18'13,9" W	3,25	220
R2P14	Rua Dezesete - Xerém	22°37'03,7" S	43°18'25,6" W	3,50	222
R2P15	Estrada Cantão de Santa Cruz - Xerém	22°37'05,5" S	43°18'26,0" W	3,75	221
R2P16	Estrada Cantão de Santa Cruz - Xerém	22°37'16,4" S	43°18'21,6" W	4,00	216
R2P17	Estrada Cantão de Santa Cruz - Xerém	22°37'35,7" S	43°18'13,5" W	4,25	209
R2P18	Rua Pan Americano - Xerém	22°37'36,6" S	43°18'27,5" W	4,50	213
R2P19	Rua Pan Americano - Xerém	22°37'45,4" S	43°18'31,3" W	4,75	213
R2P20	Rua Pan Americano - Xerém	22°37'54,9" S	43°18'31,5" W	5,00	211

Tabela 5.7 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 2 Radial Sudoeste/Duque de Caxias

Trecho	Rota	Comprimento do trecho (km)
R2P01 a R2P02	Duque de Caxias	0,49
R2P02 a R2P03	Duque de Caxias	0,36
R2P03 to R2P04	Duque de Caxias	0,26
R2P04 a R2P05	Duque de Caxias	0,26
R2P05 a R2P06	Duque de Caxias	0,36
R2P06 a R2P07	Duque de Caxias	0,26
R2P07 a R2P08	Duque de Caxias	0,26
R2P08 a R2P09	Duque de Caxias	0,25
R2P09 a R2P10	Duque de Caxias	0,29
R2P10 a R2P11	Duque de Caxias	0,27
R2P11 a R2P12	Duque de Caxias	0,26
R2P12 a R2P13	Duque de Caxias	0,30
R2P13 a R2P14	Duque de Caxias	0,28
R2P14 a R2P15	Duque de Caxias	0,28
R2P15 a R2P16	Duque de Caxias	0,60



R2P16 a R2P17	Duque de Caxias	0,31
R2P17 a R2P18	Duque de Caxias	0,50
R2P18 a R2P19	Duque de Caxias	0,30
R2P19 a R2P20	Duque de Caxias	0,29

Tabela 5.8 – Trechos de medições em mobilidade Rota 2 Radial Sudoeste/Duque de Caxias

5.2.3 Rota 3: Radial Sudoeste – Xerém

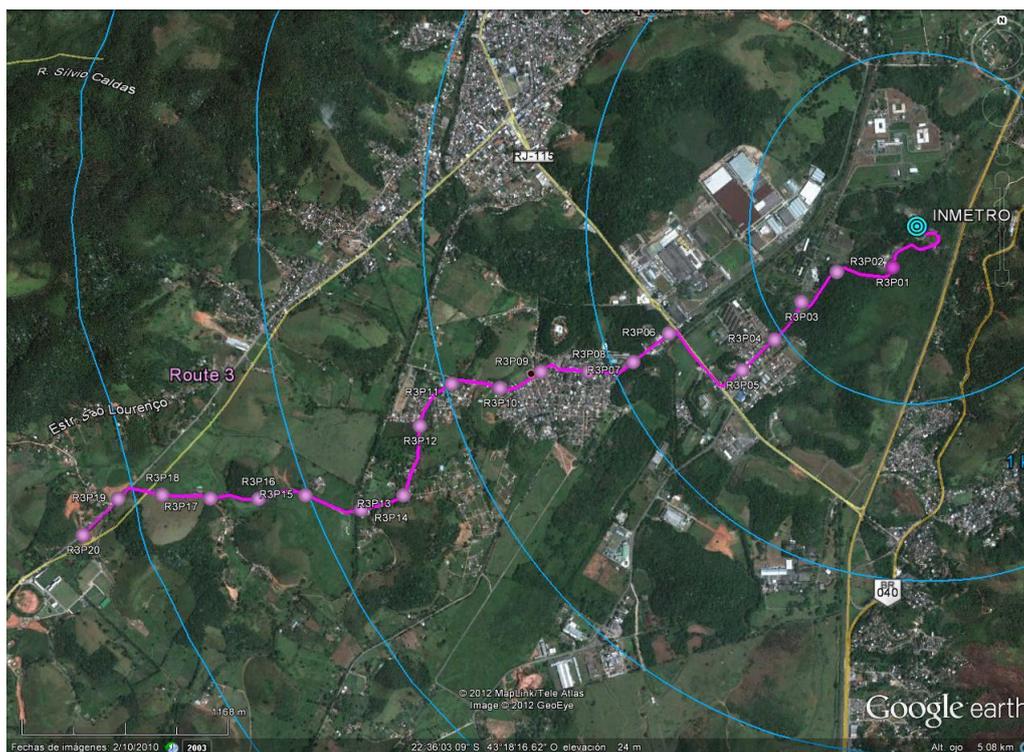


Figura 5.5 – Rota 3. Radial Sudoeste – Xerém

Ponto	Localização	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)	Azimute em relação ao transmissor (°)
R3P01	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'40,4" S	43°17'03,4" W	0,25	223
R3P02	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'43,5" S	43°17' 14,4" W	0,50	240
R3P03	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'47,0" S	43°17' 21,2" W	0,75	234
R3P04	Rua Nossa Senhora das Graças esq Rua Amazonas - Xerém	22°35'54,9" S	43°17'26,4" W	1,00	230
R3P05	Rua Nossa Senhora das Graças - Xerém	22°36'00,5" S	43°17'32,9" W	1,25	230
R3P06	Alameda Santa Alice esq Rua Prof Manoel Avelino Souza - Xerém	22°35'54,4" S	43°17'47,9" W	1,50	246
R3P07	Alameda Santa Alice - Xerém	22°35'59,5" S	43°17'54,5" W	1,75	244
R3P08	Alameda Santa Alice - Xerém	22°36'00,8" S	43°18'05,4" W	2,00	247
R3P09	Estrada Dois Irmãos - Xerém	22°36'01,9" S	43°18'14,1" W	2,25	248



R3P10	Estrada Dois Irmãos - Xerém	22°36'03,9" S	43°18'21,2" W	2,50	249
R3P11	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'03,1" S	43°18'31,0" W	2,75	251
R3P12	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'10,1" S	43°18'36,8" W	3,00	249
R3P13	Estrada da Igreja Velha, próxima a uma bifurcação - Xerém	22°36'23,7" S	43°18'39,7" W	3,25	242
R3P14	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'26,6" S	43°18'49,2" W	3,50	243
R3P15	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36' 23,5" S	43°18'59,5" W	3,75	246
R3P16	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'24,6" S	43°19'08,9" W	4,00	247
R3P17	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'24,3" S	43°19'18,5" W	4,25	249
R3P18	Estrada da Igreja Velha - Xerém	22°36'23,6" S	43°19'28,5" W	4,50	250
R3P19	Estrada Rio D'Ouro - Xerém	22°36'25,3" S	43°19 38,1" W	4,75	251
R3P20	Rua Pan Americano - Xerém	22°36'33,3" S	43°19'46,9" W	5,00	249

Tabela 5.9 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 3. Radial Sudoeste/Xerém

Trecho	Rota	Comprimento do trecho (km)
R3P01 a R3P02	Xerém	0,36
R3P02 a R3P03	Xerém	0,31
R3P03 a R3P04	Xerém	0,26
R3P04 a R3P05	Xerém	0,25
R3P05 a R3P06	Xerém	0,61
R3P06 a R3P07	Xerém	0,26
R3P07 a R3P08	Xerém	0,27
R3P08 a R3P09	Xerém	0,28
R3P09 a R3P10	Xerém	0,26
R3P10 a R3P11	Xerém	0,28
R3P11 a R3P12	Xerém	0,31
R3P12 a R3P13	Xerém	0,41
R3P13 a R3P14	Xerém	0,25
R3P14 a R3P15	Xerém	0,34
R3P15 a R3P16	Xerém	0,27
R3P16 a R3P17	Xerém	0,27
R3P17 a R3P18	Xerém	0,28
R3P18 a R3P19	Xerém	0,28
R3P19 a R3P20	Xerém	0,29

Tabela 5.10 – Trechos de medições em mobilidade Rota 3. Radial Sudoeste/Xerém

5.2.4 Rota 4: Radial Norte – Petrópolis

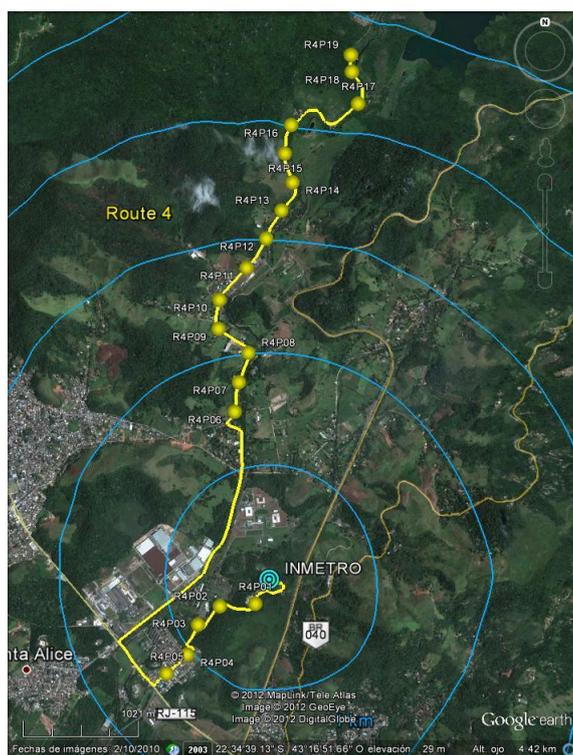


Figura 5.6 – Rota 4. Radial Norte – Petrópolis

Ponto	Localização	Latitude	Longitude	Distância ao transmissor (km)	Azimute em relação ao transmissor (°)
R4P01	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'40,4" S	43°17'03,4" W	0,25	223
R4P01A	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'51,4" S	43°17'47,0" W	1,50	249
R4P02	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'25,3" S	43°17'14,4" W	0,50	30
R4P03	Sede do INMETRO - Xerém	22°35'11,4" S	43°17'09,7" W	0,75	337
R4P04	Av. Nóbrega Ribeiro - Xerém	22°35'02,4" S	43°17'07,8" W	1,00	345
R4P05	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'53,8" S	43°17'08,2" W	1,25	347
R4P06	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'47,9" S	43°17'10,5" W	1,50	347
R4P07	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'34,7" S	43°17'07,0" W	1,75	352
R4P08	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'30,0" S	43°17'05,6" W	2,00	354
R4P09	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'23,6" S	43°17'13,9" W	2,25	349
R4P10	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'14,0" S	43°17'14,3" W	2,50	350
R4P11	Estrada do Garrão - Xerém	22°34'05,3" S	43°17'06,5" W	2,75	355
R4P12	Estrada do Garrão - Xerém	22°33'56,6" S	43°17'00,0" W	3,00	359
R4P13	Estrada do Garrão - Xerém	22°33'49,3" S	43°16'55,8" W	3,25	2
R4P14	Estrada do Garrão - Xerém	22°33'39,0" S	43°16'52,8" W	3,50	3

Tabela 5.11 – Detalhes da localização dos pontos de medição Rota 4. Radial Norte/Petrópolis

Essa rota tem apenas 13 pontos porque além desses pontos não havia recepção do sinal, logo não foi feito registro de medição.

Trecho	Rota	Comprimento do trecho (km)
R4P01 a R4P01A	Petrópolis	2,12
R4P01A a R4P02	Petrópolis	1,32
R4P02 a R4P03	Petrópolis	0,46
R4P03 a R4P04	Petrópolis	0,35
R4P04 a R4P05	Petrópolis	0,25
R4P05 a R4P06	Petrópolis	0,26
R4P06 a R4P07	Petrópolis	0,43
R4P07 a R4P08	Petrópolis	0,16
R4P08 a R4P09	Petrópolis	0,34
R4P09 a R4P10	Petrópolis	0,26
R4P10 a R4P11	Petrópolis	0,36
R4P11 a R4P12	Petrópolis	0,32
R4P12 a R4P13	Petrópolis	0,28
R4P13 a R4P14	Petrópolis	0,36

Tabela 5.12 – Trechos de medições em mobilidade Rota 4. Radial Norte/Petrópolis

5.3 Resultados de medições estáticas

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

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de campo elétrico mediano (dB μ V/m)
R2P01	0,25	100	26,2	76
R2P02	0,50	100	28,5	59
R2P03	0,75	100	15,6	39
R2P04	1,00	100	20,0	41
R2P05	1,25	100	21,3	49
R2P06	1,50	100	23,9	44
R2P07	1,75	99,5	5,6	27
R2P08	2,00	99,9	15,9	36
R2P09	2,25	100	17,3	40
R2P10	2,50	2,5	0,8	29
R2P11	2,75	23,1	2,6	30
R2P12	3,00	0	0,1	30
R2P13	3,25	0	-0,2	31
R2P14	3,50	0,3	0,9	32
R2P15	3,75	89,0	6,8	35
R2P16	4,00	0	-0,6	32
R2P17	4,25	0	2,9	35
R2P18	4,50	0	3,7	32
R2P19	4,75	0	3,9	32
R2P20	5,00	0	-1,2	29
R3P01	0,25	99,9	26,0	77
R3P02	0,50	100	26,8	66
R3P03	0,75	100	19,8	44
R3P04	1,00	100	17,1	39
R3P05	1,25	99,7	17,9	42
R3P06	1,50	100	26,8	53
R3P07	1,75	100	30,0	55
R3P08	2,00	100	11,7	33
R3P09	2,25	100	14,4	38
R3P10	2,50	100	11,6	34
R3P11	2,75	1,8	-0,5	31
R3P12	3,00	98,5	6,1	34
R3P13	3,25	100	18,1	42
R3P14	3,50	99,8	5,1	36
R3P15	3,75	2,1	-0,6	32
R3P16	4,00	1,5	0,5	26
R3P17	4,25	0	-2,1	29
R3P18	4,50	0	-1,6	37
R3P19	4,75	16,1	3,4	37
R3P20	5,00	0,8	0,3	28

Tabela 5.13 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de campo elétrico mediano (dB μ V/m)
R1P01	0,5	100	32,4	64
R1P02	0,75	100	33,9	74
R1P03	1,00	100	30,5	58
R1P04	1,25	100	30,2	61
R1P05	1,50	100	28,1	58
R1P06	1,75	100	30,1	61
R1P07	2,00	100	33,1	67
R1P08	2,25	100	29,4	57
R1P09	2,50	100	21,1	46
R1P10	2,75	100	25,8	51
R1P11	3,00	100	28,1	52
R1P12	3,25	100	13,4	46
R1P13	3,50	100	24,2	49
R1P14	3,75	100	23,1	46
R1P15	4,00	100	7,3	32
R1P16	4,25	100	18,6	40
R1P17	4,50	100	6,8	29
R3P01	0,25	100	34,2	83
R3P02	0,50	100	34,2	73
R3P03	0,75	100	27,7	52
R4P01	0,25	100	34,3	86
R4P01A	1,50	100	26,6	53
R4P02	0,50	100	33,5	67
R4P03	0,75	100	34,0	69
R4P04	1,00	100	33,7	66
R4P05	1,25	100	33,0	63
R4P06	1,50	100	33,6	63
R4P07	1,75	100	32,0	57
R4P08	2,00	100	28,5	52
R4P09	2,25	100	15,2	43
R4P10	2,50	100	27,7	51
R4P11	2,75	100	19,8	44
R4P12	3,00	100	23,5	43
R4P13	3,25	100	21,4	40
R4P14	3,50	0,1	2,5	34

Tabela 5.14 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de campo elétrico mediano (dB μ V/m)
R2P01	0,25	100	25,8	80
R2P02	0,50	100	27,4	60
R2P03	0,75	100	24,3	47
R2P04	1,00	100	13,9	35
R2P05	1,25	100	17,8	41
R2P06	1,50	100	27,7	50
R2P07	1,75	99,7	12,6	33
R2P08	2,00	99,8	17,7	41
R2P09	2,25	99,9	20,6	44
R2P10	2,50	0	0,8	29
R2P11	2,75	9,8	8,1	37
R2P12	3,00	0,2	2,8	33
R2P13	3,25	0,2	4,1	35

R2P14	3,50	0,9	5,2	35
R2P15	3,75	100	13,6	39
R2P16	4,00	0	0,1	32
R2P17	4,25	0	-1,1	30
R2P18	4,50	0,7	1,8	27
R2P19	4,75	0	-0,9	28
R2P20	5,00	0	-3,1	30
R3P01	0,25	100	25,8	79
R3P02	0,50	100	26,4	66
R3P03	0,75	100	20,5	43
R3P04	1,00	99,8	13,0	33
R3P05	1,25	100	22,0	43
R3P06	1,50	99,7	27,4	55
R3P07	1,75	100	29,2	55
R3P08	2,00	100	17,6	39
R3P09	2,25	98,5	12,1	35
R3P10	2,50	8,6	8,0	29
R3P11	2,75	0	3,2	33
R3P12	3,00	99,8	10,4	39
R3P13	3,25	100	21,6	47
R3P14	3,50	6,8	7,0	35
R3P15	3,75	0	-2,1	30
R3P16	4,00	98,5	8,7	32
R3P17	4,25	0	0,6	30
R3P18	4,50	0,5	1,2	36
R3P19	4,75	0,2	3,7	37
R3P20	5,00	0	0,6	27
R4P01A	1,50	100	19,1	46
R4P02	0,50	100	33,5	66
R4P03	0,75	100	34,0	69
R4P04	1,00	100	30,5	54
R4P05	1,25	99,5	32,1	58
R4P06	1,50	98,4	33,0	58
R4P07	1,75	99,2	27,1	48
R4P08	2,00	100	29,1	53
R4P09	2,25	99,8	9,0	36
R4P11	2,75	100	13,5	37
R4P12	3,00	100	17,0	36
R4P13	3,25	0	3,3	24

Tabela 5.15 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 1,36 W

Ponto	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)	Intensidade de campo elétrico mediano (dB μ V/m)
R1P01	0,5	100	33,7	67
R1P02	0,75	100	34,2	72
R1P03	1,00	100	31,5	58
R1P04	1,25	100	30,5	60
R1P05	1,50	100	29,5	59
R1P06	1,75	100	28,6	61
R1P07	2,00	100	32,8	66
R1P08	2,25	100	31,9	59
R1P09	2,50	100	23,6	47
R1P10	2,75	100	27,9	56
R1P11	3,00	100	26,4	50

R1P12	3,25	100	20,7	52
R1P13	3,50	100	21,8	52
R1P14	3,75	100	28,8	53
R1P15	4,00	100	11,9	34
R1P16	4,25	100	18,2	38
R1P17	4,50	100	15,0	36
R2P01	0,25	100	34,3	86
R2P02	0,50	100	34,1	74
R2P03	0,75	100	16,8	42
R2P04	1,00	100	20,9	46
R2P05	1,25	100	17,6	45
R2P06	1,50	100	28,7	55
R2P07	1,75	99,8	15,0	38
R2P08	2,00	100	23,4	47
R2P09	2,25	100	25,8	53
R2P10	2,50	53,1	8,9	35
R2P11	2,75	100	17,5	44
R2P12	3,00	100	13,0	39
R2P13	3,25	96,1	9,2	41
R2P14	3,50	35,6	8,0	40
R2P15	3,75	0	-1,4	30
R2P16	4,00	0	0,5	39
R2P17	4,25	0	-1,1	30
R2P18	4,50	99,3	10,3	36
R2P19	4,75	0	1,5	31
R2P20	5,00	0	0,3	30
R3P01	0,25	100	34,2	83
R3P02	0,50	100	33,7	67
R3P03	0,75	100	27,0	53
R3P04	1,00	99,8	18,0	42
R3P05	1,25	100	18,9	46
R3P06	1,50	100	31,1	56
R3P07	1,75	100	32,5	60
R3P08	2,00	100	16,2	42
R3P09	2,25	100	15,0	43
R3P10	2,50	100	16,5	39
R3P11	2,75	98,5	8,2	38
R3P12	3,00	100	15,1	42
R3P13	3,25	100	18,4	48
R3P14	3,50	100	16,5	46
R3P15	3,75	99,8	10,3	40
R3P16	4,00	56,0	6,6	33
R3P17	4,25	85,1	6,3	37
R3P18	4,50	5,7	3,7	40
R3P19	4,75	4,0	6,2	41
R4P01	0,25	100	34,5	86
R4P01A	1,50	100	23,6	47
R4P02	0,50	100	33,9	68
R4P03	0,75	100	33,2	69
R4P04	1,00	100	33,9	64
R4P05	1,25	100	33,9	66
R4P06	1,50	100	33,6	61
R4P07	1,75	100	32,9	60
R4P08	2,00	100	30,6	55
R4P09	2,25	100	17,0	43
R4P10	2,50	100	16,2	39
R4P11	2,75	100	18,1	45
R4P12	3,00	100	20,7	40



R4P13	3,25	99,8	13,9	31
R4P14	3,50	0	6,4	32

Tabela 5.16 – Resultados de recepção estática DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 4,36 W

5.4 Resultados das medições em mobilidade

Os resultados das medições em mobilidade são apresentados nas tabelas a seguir.

Trecho de rota	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)
R2P01 a R2P02	100	27,0
R2P02 a R2P03	96,3	15,7
R2P03 a R2P04	100	24,0
R2P04 a R2P05	100	23,3
R2P05 a R2P06	99,2	22,8
R2P06 a R2P07	98,1	16,5
R2P07 a R2P08	98,8	15,3
R2P08 a R2P09	100	16,4
R2P09 a R2P10	60,7	5,0
R2P10 a R2P11	0	1,0
R2P11 a R2P12	1,2	0,7
R2P12 a R2P13	0	-0,2
R2P13 a R2P14	81,6	8,7
R2P14 a R2P15	63,6	5,0
R2P15 a R2P16	0	0,4
R2P16 a R2P17	18,7	2,7
R2P17 a R2P18	0	1,8
R3P01 a R3P02	100	26,6
R3P02 a R3P03	97,1	19,0
R3P03 a R3P04	99,7	23,7
R3P04 a R3P05	100	18,2
R3P05 a R3P06	97,2	24,9
R3P06 a R3P07	100	29,2
R3P07 a R3P08	98,7	19,2
R3P08 a R3P09	90,5	14,7
R3P09 a R3P10	92,1	12,6
R3P10 a R3P11	1,5	-0,2
R3P11 a R3P12	67,5	6,5
R3P12 a R3P13	97,0	15,8
R3P13 a R3P14	93,7	14,4
R3P14 a R3P15	59,0	5,1
R3P15 a R3P16	42,2	1,5
R3P16 a R3P17	5,2	0,7
R3P17 a R3P18	31,4	0,9
R3P18 a R3P19	20,3	2,7
R3P19 a R3P20	7,2	0,7

Tabela 5.17 – Resultados de recepção em mobilidade - DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 1,36 W

Trecho de rota	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)
R1P01 a R1P02	100	33,3
R1P02 a R1P03	99,9	30,3
R1P03 a R1P04	100	27,3
R1P04 a R1P05	100	26,6
R1P05 a R1P06	100	30,0
R1P06 a R1P07	100	31,5
R1P07 a R1P08	100	28,6
R1P08 a R1P09	99,9	26,5
R1P09 a R1P10	100	29,1
R1P10 a R1P11	99,7	24,0
R1P11 a R1P12	83,8	22,6
R1P12 a R1P13	98,7	17,1
R1P13 a R1P14	100	26,0
R1P14 a R1P15	100	23,2
R1P15 a R1P16	97,3	18,1
R1P16 a R1P17	99,3	9,0
R3P01 a R3P02	100	33,4
R3P02 a R3P03	100	24,1
R4P01 a R4P01A	98,0	26,3
R4P01A a R4P02	100	31,1
R4P02 a R4P03	100	33,3
R4P03 a R4P04	100	33,7
R4P04 a R4P05	100	33,8
R4P05 a R4P06	100	32,6
R4P06 a R4P07	100	31,8
R4P07 a R4P09	100	26,2
R4P09 a R4P10	99,0	16,7
R4P10 a R4P11	99,7	22,1
R4P11 a R4P12	96,6	16,4
R4P12 a R4P13	96,6	15,3
R4P13 a R4P14	88,3	10,3

Tabela 5.18 – Resultados de recepção em mobilidade DRM+, modo 4QAM, potência de transmissão de 4,36 W

Trecho de rota	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)
R2P01 a R2P02	99,7	26,4
R2P02 a R2P03	94,8	20,4
R2P03 a R2P04	97,9	24,4
R2P04 a R2P05	89,9	17,7
R2P05 a R2P06	96,2	20,2
R2P06 a R2P07	95,5	22,4
R2P07 a R2P08	99,5	17,5
R2P08 a R2P09	100	19,5
R2P09 a R2P10	58,9	11,2
R2P10 a R2P11	20,1	7,5

R2P11 a R2P12	77,7	11,8
R2P12 a R2P13	17,5	5,7
R2P13 a R2P14	81,8	14,1
R2P14 a R2P15	60,6	10,0
R2P15 a R2P16	4,0	4,3
R2P16 a R2P17	42,3	7,3
R2P17 a R2P18	15,7	5,5
R2P18 a R2P19	25,5	4,6
R2P19 a R2P20	0	-1,6
R3P01 a R3P02	100	26,2
R3P02 a R3P03	90,0	21,3
R3P03 a R3P04	98,5	24,1
R3P04 a R3P05	88,9	17,4
R3P05 a R3P06	93,5	23,3
R3P06 a R3P07	100	29,2
R3P07 a R3P08	99,3	22,8
R3P08 a R3P09	91,9	17,0
R3P09 a R3P10	96,3	19,1
R3P10 a R3P11	5,5	1,0
R3P11 a R3P12	44,3	8,4
R3P12 a R3P13	91,0	17,1
R3P13 a R3P14	86,9	17,3
R3P14 a R3P15	61,8	8,8
R3P15 a R3P16	74,8	10,0
R3P16 a R3P17	6,2	2,6
R3P17 a R3P18	14,7	2,3
R3P18 a R3P19	13,8	3,6
R3P19 a R3P20	2,6	1,7
R4P01A a R4P02	100	30,3
R4P02 a R4P03	100	33,3
R4P03 a R4P04	100	31,2
R4P04 a R4P05	100	32,9
R4P05 a R4P06	99,4	31,5
R4P06 a R4P07	99,5	29,2
R4P07 a R4P08	100	29,7
R4P08 a R4P09	96,8	18,1
R4P09 a R4P10	89,4	16,0
R4P10 a R4P11	86,1	15,0
R4P11 a R4P12	82,8	13,9
R4P12 a R4P13	53,5	10,3
R4P13 a R4P14	35,9	7,1

Tabela 5.19 – Resultados de recepção em mobilidade DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 1,36 W

Trecho de rota	Qualidade de áudio (%)	SNR Mediana (dB)
R1P01 a R1P02	100	34,2
R1P02 a R1P03	99,8	30,1
R1P03 a R1P04	99,7	28,2
R1P04 a R1P05	100	28,2
R1P05 a R1P06	100	29,4
R1P06 a R1P07	100	31,8
R1P07 a R1P08	100	30,0
R1P08 a R1P09	100	25,1
R1P09 a R1P10	99,7	27,8
R1P10 a R1P11	98,2	25,2
R1P11 a R1P12	98,2	24,0
R1P12 a R1P13	85,9	16,9
R1P13 a R1P14	84,5	25,1
R1P14 a R1P15	97,8	20,6
R1P15 a R1P16	87,5	18,0
R1P16 a R1P17	87,7	15,6
R2P01 a R2P02	99,7	33,1
R2P02 a R2P03	98,8	23,3
R2P03 a R2P04	99,5	27,0
R2P04 a R2P05	95,9	21,4
R2P05 a R2P06	99,3	24,2
R2P06 a R2P07	98,8	26,3
R2P07 a R2P08	100	22,3
R2P08 a R2P09	100	24,7
R2P09 a R2P10	82,0	12,7
R2P10 a R2P11	69,5	12,2
R2P11 a R2P12	100	17,7
R2P12 a R2P13	61,7	10,0
R2P13 a R2P14	88,6	16,0
R2P14 a R2P15	65,1	9,6
R2P15 a R2P16	0	2,4
R2P16 a R2P17	32,7	2,8
R2P17 a R2P18	26,4	5,4
R2P18 a R2P19	37,3	6,3
R2P19 a R2P20	0	-0,8
R3P01 a R3P02	100	33,6
R3P02 a R3P03	99,2	25,4
R3P03 a R3P04	99,4	23,9
R3P04 a R3P05	98,1	21,3
R3P05 a R3P06	97,7	30,3
R3P06 a R3P07	100	31,9
R3P07 a R3P08	100	25,1
R3P08 a R3P09	98,1	18,2
R3P09 a R3P10	92,8	17,5
R3P10 a R3P11	34,1	5,4

R3P11 a R3P12	98,3	14,3
R3P12 a R3P13	97,3	18,3
R3P13 a R3P14	94,5	18,4
R3P14 a R3P15	68,2	10,4
R3P15 a R3P16	48,8	7,7
R3P16 a R3P17	45,9	6,5
R3P17 a R3P18	42,4	6,6
R3P18 a R3P19	32,3	6,7
R3P19 a R3P20	10,7	3,0
R4P01 a R4P01A	96,9	30,5
R4P01A a R4P02	100	31,7
R4P02 a R4P03	100	33,3
R4P03 a R4P04	100	33,9
R4P04 a R4P05	100	34,1
R4P05 a R4P06	100	32,8
R4P06 a R4P07	100	32,6
R4P07 a R4P08	100	31,9
R4P08 a R4P09	98,8	22,8
R4P09 a R4P10	90,1	16,1
R4P10 a R4P11	96,1	18,1
R4P11 a R4P12	87,9	18,7
R4P12 a R4P13	92,0	15,3
R4P13 a R4P14	27,8	7,9

Tabela 5.20 – Resultados de recepção em mobilidade - DRM+, modo 16QAM, potência de transmissão de 4,36 W

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] Rec. ITU-R BS.1514-1: Systems for digital sound broadcasting in the broadcasting bands below 30 MHz, 2002.
- [4] “Digital Radio Mondiale (DRM). A Broadcaster’s Guide. Version 1.1”, DRM Consortium, June 2010.
- [5] Rec. ITU-R BS.1660-5: Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band, 2011.
- [6] 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/>.
- [7] ETSI TS 101 980: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, v1.1.1, 2001.
- [8] G. Prieto, I. Pichel, D. Guerra, P. Angueira, J.M. Matías, J.L. Ordiales, A. Arrinda, “Digital Radio Mondiale: Broadcasting and Reception”, Dubrovnik (Croacia), IEEE Melecon 2004.
- [9] DRM, “Broadcasters' User Manual”, A Digital Radio Mondiale™ (DRM™) Publication. 1st edition, p. 47, Março 2004
- [10] P. M. Hall et al., “*Radiowave propagation*” IEEElectromagnetic Waves Series 30, Peter Peregrinus Ltd., 1989
- [11] “IEC 62272-1 “Digital Radio Mondiale (DRM) - Part 1: System Specification”, International Electrotechnical Commission, 2003.
- [12] M. Dietz, S Meltzer, “CT-aacPlus – A state-of-the-art audio coding system.” EBU Technical review N°291, 2002
- [13] ITU Radio Communications Study Group. E-175E Document. “Digital Radio Mondiale DRM Daytime Tests”, 2005
- [14] ITU-R P.368-7 (03/92) Recommendation, “Ground-wave propagation curves for frequencies between 10 kHz and 30 MHz”.1992
- [15] 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
- [16] 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
- [17] ITU Radio Communications Study Group. 6E-403E Document. “MW Simulcast Tests in Mexico DF”, 2006

- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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.
- [22] James Briggs, “Digital Broadcasting Below 30 MHz: DRM a Summary of the Field Trials”. EBU Technical Review, N° 296. October 2003.
- [23] ITU Radio Communications Study Group. 6E-200E Document. “Longterm Tests Results (February 2002)”, 2002
- [24] 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.
- [25] Maier, Friederike; Waal, Albert; Pagel, D. “DRM+ Field Trial Hanover. 2008”.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] “DRM+ successfully trialled in Paris”. DRM Consortium Press Summary. 12th June, 2009
- [29] Maier, Friederike. “Preliminary report: DRM+ measurements in band II”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010
- [30] Digital Radio Mondiale (DRM). “Comments on preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BS.1114-6”. ITU-R, Document 6A/347-E 2010.
- [31] 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.
- [32] Maier, Friederike y Pagel, Detlef. “Preliminary report: DRM+ measurements in band III”. Institute of Communications Technology, University of Hanover, 2010.
- [33] Cornell, Lindsay. “DRM+ Tests and Trials”. DRM Consortium, 2011.