



Serviço Público Federal

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

---

## NOTA TÉCNICA

---

**Número: Dimci/Ditel/028/2012**

**Referência: Medições de Campo do Sistema HD Radio na Faixa de FM em Brasília com a Rádio Comunitária da Associação de Moradores do Recanto das Emas - AREMAS**

---

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>APRESENTAÇÃO.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....  | 8         |
| 2.2. PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO .....   | 12        |
| <b>3. EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO.....  | 12        |
| 3.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO .....   | 17        |
| 3.3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....   | 18        |
| 3.4. PLANEJAMENTO DAS ROTAS.....   | 19        |
| <b>4. RESULTADOS DOS TESTES .....</b>  | <b>21</b> |
| 4.1. COMPARAÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DO SINAL ANALÓGICO MEDIDA COM A PREVISÃO TEÓRICA..... | 21        |
| 4.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPTOR PROFISSIONAL.....                    | 22        |
| 4.2.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA .....                     | 22        |
| 4.2.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO MÓVEL .....                        | 26        |
| 4.3. AVALIAÇÃO OBJETIVA DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTORES COMERCIAIS.....                                 | 29        |
| 4.3.1. AVALIAÇÃO DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTOR COMERCIAL NAS MEDIÇÕES ESTÁTICAS .....                   | 29        |
| 4.4. RESULTADOS DA RECEPÇÃO ANALÓGICA FM.....  | 31        |
| 4.4.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA EM RECEPÇÃO ESTÁTICA .....                                       | 31        |
| 4.5. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA RECEPÇÃO DOS ÁUDIOS ANALÓGICO E DIGITAL .....                   | 34        |
| <b>APÊNDICE .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>I. SISTEMA HD RADIO .....</b>   | <b>37</b> |
| I.1. HISTÓRICO E PADRONIZAÇÃO .....  | 37        |
| I.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA HD RADIO .....  | 39        |
| I.2.1. MODOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA HD RADIO NA FAIXA FM .....   | 39        |
| I.2.2. DIVERSIDADES NO TEMPO E NA FREQUÊNCIA.....  | 40        |
| I.2.3. MECANISMO <i>BLEND</i> .....  | 41        |
| I.2.4. LIMITES DE EMISSÕES ESPECTRAIS FM .....   | 41        |
| I.2.5. CANAL DE CONTROLE DO SISTEMA .....  | 43        |
| I.2.6. CANAIS LÓGICOS .....  | 44        |
| I.2.7. PARTIÇÕES DE FREQUÊNCIA E CONVENÇÕES ESPECTRAIS NOS MODOS DE TRANSMISSÃO.....                   | 45        |
| I.2.8. NÍVEIS DAS BANDAS LATERAIS DIGITAIS.....  | 51        |
| <b>II. RESULTADOS TABELADOS.....</b>   | <b>54</b> |
| II.1. DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES HD RADIO .....  | 54        |
| II.1.1. R1- ROTA OESTE (RECANTO DAS EMAS).....   | 54        |
| II.1.2. R2- ROTA LESTE (RIACHO FUNDO II) .....   | 55        |
| II.1.3. R3- ROTA NOROESTE (SAMAMBAIA).....   | 56        |
| II.1.4. R4- ROTA NORTE (SAMAMBAIA).....  | 57        |
| II.1.5. R5- ROTA SUL (DF 001 EPCT) .....   | 58        |
| II.1.6. R6- ROTA SUDOESTE ( RECANTO DAS EMAS).....   | 59        |
| II.1.7. C1- ROTA CIRCULAR URBANA – 1 KM DO TRANSMISSOR .....   | 60        |
| II.1.8. C2- ROTA CIRCULAR URBANA – 0,5 KM DO TRANSMISSOR .....   | 61        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| II.1.9.   | C3- ROTA CIRCULAR URBANA – 0,25 KM DO TRANSMISSOR .....                  | 62        |
| II.2.   | DETALHES DAS ROTAS E PONTOS FIXOS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES HD RADIO ..... | 63        |
| II.3.   | DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES HD RADIO .....                      | 64        |
| <b>III. PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DIGITAL .....</b> |  | <b>66</b> |
| III.1.  | METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY .....                                 | 66        |
| III.2.  | MELHORIAS NA METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY.....                     | 72        |
| <b>IV. ARQUIVO DE MEDIÇÃO DO SISTEMA HD RADIO .....</b>                               |  | <b>74</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>  |  | <b>75</b> |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Características técnicas da rádio comunitária AREMAS .....  | 10 |
| Tabela 2 – Modo de transmissão do IBOC utilizado durante os testes .....                                     | 12 |
| Tabela 3 – Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição .....                         | 14 |
| Tabela 4 – Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio.....                                     | 15 |
| Tabela 5 – Parâmetros de Avaliação .....   | 17 |
| Tabela 6-Descrição das rotas.....  | 19 |
| Tabela 7 – Resultados da recepção estática.....  | 23 |
| Tabela 8 – Pontos onde Rx_Mode=0/1 .....   | 23 |
| Tabela 9 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais .....  | 27 |
| Tabela 10 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares .....  | 28 |
| Tabela 11 – Medições fixas com receptores comerciais .....   | 29 |
| Tabela 12 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284 .....                    | 31 |
| Tabela 13 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho .....                        | 31 |
| Tabela 14 – Resultados do FM analógico em recepção estática .....  | 33 |
| Tabela 15 – Resultados comparativos entre FM e HD Radio na recepção estática. ....                           | 34 |
| Tabela 16 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática..... | 36 |
| <br>   |    |
| Tabela I.1-Limites de emissão do modo Híbrido HD Radio FM (*) .....  | 42 |
| Tabela I.2-Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM .....   | 43 |
| Tabela I.3-Taxa de informação aproximada dos canais lógicos primários .....                                  | 44 |
| Tabela I.4-Taxa de informação aproximada dos canais lógicos secundários.....                                 | 44 |
| Tabela I.5-Resumo da forma de onda Híbrida, modo de serviço MP1 .....  | 48 |
| Tabela I.6-Resumo da forma de onda Híbrida Estendida, modos de serviço MP2, MP3, MP11, MP5 e MP6 .....       | 50 |
| Tabela I.7-Escalamento de subportadoras OFDM .....   | 52 |
| <br>   |    |
| Tabela II.1-Detalhes da localização dos pontos de medições HD Radio .....                                    | 63 |



|  |    |
|--|----|
| Tabela II.2-Detalhes dos trechos para medições móveis .....            | 63 |
| Tabela II.3-Resultados do HD Radio para recepção em pontos fixos.....  | 64 |
| Tabela II.4-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos ..... | 65 |
| Tabela II.5-Resultados para recepção móvel. ....                       | 65 |
| <br>   |    |
| Tabela III.1-Exemplo da metodologia proposta pela iBiquity .....       | 68 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Localização do centro de transmissão da Rádio Comunitária AREMAS.....   | 8  |
| Figura 2 – Diagrama esquemático da transmissão .....   | 9  |
| Figura 3 - Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal.....  | 9  |
| Figura 4 – Visão do transmissor HD Radio .....   | 11 |
| Figura 5 – Detalhe da tela do gerador de sinal digital.....  | 11 |
| Figura 6 – Detalhe do excitador (esq.) e dos amplificadores (dir.).....  | 12 |
| Figura 7 – Visão do mastro (esq.) e detalhe da antena de dois elementos (dir.) da emissora AREMAS utilizada nos testes ..... | 12 |
| Figura 8 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição. ....   | 13 |
| Figura 9 – Diagrama dos equipamentos de medição.....   | 13 |
| Figura 10 – Antena de recepção modelo Kathrein.....  | 14 |
| Figura 11 – Tela do programa do receptor HD Radio.....   | 15 |
| Figura 12 – Espectro registrado no ponto de referência.....  | 16 |
| Figura 13 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq) e TOSHIBA (dir) .....   | 16 |
| Figura 14 – Receptores digitais comerciais SONY (esq) e JVC (dir).....   | 17 |
| Figura 15 – Receptor digital profissional HD Radio.....  | 17 |
| Figura 16 – Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS                                     | 20 |
| Figura 17 – Rotas circulares utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS .....                                      | 20 |
| Figura 18 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico .....                                    | 21 |
| Figura 19 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa .....  | 22 |
| Figura 20 - Percentual de Rx_Mode nas medições estáticas com alternância .....   | 24 |
| Figura 21 – Intensidade de campo digital em função da distância ao transmissor.....  | 25 |
| Figura 22 – Intensidade de campo digital versus SNR .....  | 25 |
| Figura 23 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições em mobilidade nas rotas radiais .....                                  | 27 |
| Figura 24 – Detalhe do registro Rx_Mode nas rotas circulares .....   | 28 |
| Figura 25 – Áudio SONY das medições fixas. ....  | 30 |
| Figura 26 – Áudio JVC das medições fixas. ....   | 30 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 27 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS .....         | 32 |
| Figura 28 – Recepção estática do áudio analógico no mapa .....                                  | 32 |
| Figura 29-Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM .....           | 33 |
| Figura 30 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital.....                   | 35 |
|   |    |
| Figura I.1-Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM.....              | 42 |
| Figura I.2-Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM.....                             | 43 |
| Figura I.3-Partição de frequência – Ordenação A.....  | 45 |
| Figura I.4-Partição de frequência – Ordenação B .....   | 45 |
| Figura I.5-Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral inferior.....   | 46 |
| Figura I.6-Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral superior.....   | 46 |
| Figura I.7-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, Modo Híbrido, modo de serviço MP1 ..    | 47 |
| Figura I.8-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, modo híbrido estendido .....            | 49 |
| Figura I.9-Espectro do Modo Digital Total, modos de serviço MP5 e MP6, MS1 até MS4 .....        | 51 |
| Figura I.10-Modo Híbrido Estendido.....   | 53 |
|   |    |
| Figura III.1-Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital. | 66 |
| Figura III.2-Ponto 1: distância ao transmissor de 1060 m .....                                  | 69 |
| Figura III.3-Ponto 2: distância ao transmissor de 1100 m .....                                  | 69 |
| Figura III.4-Ponto 3: distância ao transmissor de 996 m .....                                   | 70 |
| Figura III.5-Ponto 4: distância ao transmissor de 1134 m .....                                  | 71 |
| Figura III.6-Ponto 5: distância ao transmissor de 1150 m .....                                  | 72 |

## **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.

A empresa iBiquity Digital Corporation, a partir do Chamamento Público, apresentou o sistema de Rádio Digital HD Radio 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) e o INCT-CSF (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Comunicações sem Fio), composto pela UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), UFPA (Universidade Federal do Pará), UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) e CETUC (Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC/Rio), criando uma equipe de trabalho composta por diversos profissionais, sob coordenação do Ministério das Comunicações, por meio da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica, e com apoio da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações).

O presente trabalho relata os testes do sistema HD Radio com a emissora de radiodifusão sonora da Associação de Moradores do Recanto das Emas (AREMAS), denominada neste texto “Rádio Comunitária AREMAS”, localizada em Brasília, Distrito Federal. A transmissão híbrida (analógica e digital) da Rádio Comunitária AREMAS foi realizada por um período de doze dias, de 30 de abril a 18 de maio de 2012, tendo sido realizados testes diurnos.

Para a realização dos testes foi instalado um transmissor HD Radio na estação da Rádio Comunitária AREMAS que, por meio da combinação em baixa potência, gerou um sinal híbrido com o sinal FM analógico e o sinal digital, ambos transmitindo a mesma programação.

A realização desses testes foi autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) por meio do Ato Nº 3.017, de 29 de maio de 2012, sob a classificação de Serviço Especial para Fins Científicos ou Experimentais.

Este documento tem como objetivo oferecer a fundamentação técnica de futuros trabalhos para apoio à 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 Coordenação-Geral de Radiodifusão Comunitária (CGRC) do Departamento de Outorga de Serviços de Comunicação Eletrônica (DEOC), da Secretaria de Serviços de Comunicação Eletrônica (SCE)

### **Locais dos testes**

Brasília – DF

### **Emissora envolvida**

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

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

Universidade de Brasília – UnB  
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN  
Universidade Federal do Pará – UFPA  
Centro de Estudos em Telecomunicações da PUC / Rio

### **Entidades internacionais parceiras**

iBiquity Digital Corporation

## Responsáveis pela Análise dos Dados

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

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

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

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

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

**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 Comunicações

**Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos**, PhD (Inmetro): Doutor em Eletromagnetismo Aplicado.

**João Alfredo Cal Braz**, MSc (Inmetro): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de Comunicações

## Sumário Executivo

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

Os testes foram conduzidos pelo Ministério das Comunicações (MC) com a colaboração da emissora Rádio Comunitária AREMAS, da Empresa Brasil de Comunicação (EBC) e da empresa *iBiquity Digital Corporation* com o apoio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel).

O sistema de transmissão estava localizado na região administrativa de Recanto das Emas, cidade de Brasília/DF. O sinal digital HD Radio foi transmitido no modo híbrido combinado em baixa potência com o sinal analógico, com separação de 163,8 kHz entre a portadora do sinal analógico FM e as portadoras do sinal digital HD Radio nas sub-bandas laterais inferior e superior. A potência utilizada no transmissor para o sinal analógico foi de 25 W e, para o sinal digital, de 0,25 W. A transmissão de ambos os sinais, analógico e digital, foi realizada pelo equipamento digital e foi usada a mesma antena de transmissão. A Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada (EIRP) do sinal analógico foi de 29,7 W e a do sinal digital, de 0,297 W. Assim, a relação de proteção (relação de potência EIRP entre os sinais analógico e digital) foi de 20 dB. Durante a campanha de medição, dois receptores FM comerciais foram utilizados na análise da recepção analógica, tanto para verificar eventuais impactos na sua recepção devido à introdução do sinal digital, como para auxiliar na verificação da área de cobertura do sinal.

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

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

O sistema HD Radio utiliza o mecanismo denominado *blend* que faz a comutação automática entre os sinais digital e analógico quando há falha na recepção do sinal digital. Considerando que o processamento digital insere um atraso no sinal transmitido, o áudio digital naturalmente fica defasado em relação ao analógico, com atraso correspondente ao tempo de processamento. Sendo assim, na transição do sinal digital para o analógico, e vice-versa, essa diferença é notada pelo ouvinte, podendo ser amenizada atrasando-se o sinal analógico em relação ao digital no transmissor.



Durante as medições em mobilidade, o áudio gravado com o receptor profissional permitiu observar o funcionamento do mecanismo *blend*. Como no centro de transmissão não houve nenhum processo de atraso do áudio analógico em relação ao digital, ficou claro durante a campanha de medição que os áudios na recepção têm uma diferença de aproximadamente 8 segundos, com o áudio analógico sempre adiantado em relação ao digital.

Para o ouvinte, quando o *blend* se inicia, a percepção é de que houve perda de parte da informação. No retorno do sinal digital (final do *blend*), o ouvinte percebe a repetição de um trecho de 8 segundos do áudio escutado anteriormente no formato analógico. Portanto, é necessário o tratamento adequado do tempo de atraso do áudio digital em relação ao analógico no centro de transmissão para que o efeito do *blend* não acarrete desconforto para o ouvinte.

Na medição estática faz-se o registro da recepção digital em cada local de medição. Com a utilização do receptor profissional, foram realizadas 35 medições em toda região, havendo decodificação do sinal digital em 15 pontos (43%), decodificação do sinal digital com alternância para áudio analógico em 15 pontos (43%), e não decodificação do sinal digital em 5 pontos (14%). Sendo uma transmissão de baixa potência, o ponto de medição mais distante da emissora estava localizado a 1,6 km desta, pois a partir desta distância foi verificado que tanto a recepção analógica quanto a digital ficaram críticas.

Os resultados da recepção estática do sinal digital com o receptor profissional indicam que ocorreram as três situações de recepção (digital, Rx\_Mode=1; digital com *blend*, Rx\_Mode=0/1; analógico, Rx\_Mode=0) nos pontos de 4 (quatro) rotas, a saber R1, R2, R5 e R6. Nas rotas R3 e R4 ocorreram apenas dois tipos (Rx\_Mode=1 ou 0/1). A ocorrência de alternância entre recepção digital e analógica (Rx\_Mode=0/1) se mostrou independente da distância ao transmissor. O ponto de medição mais distante com decodificação de sinal digital estava a 1,5 km da emissora.

Efetuada-se uma análise nos 15 (quinze) pontos onde houve alternância de recepção digital com analógica (Rx\_Mode=0/1), tem-se que em 13 (treze) pontos os valores percentuais de Rx\_Mode=1 estiveram bastante altos, acima de 90%, indicando a predominância da decodificação do sinal digital durante estas medições estáticas.

Os 2 (dois) pontos onde houve alternância com percentual de quadros com Rx\_Mode=1 menor que 90% foram o R5P6 e R6P1. O ponto R6P1 estava mais próximo do transmissor, a 200 m deste, e teve decodificação do sinal digital (Rx\_Mode=1) em 63,66% dos quadros de áudio recebidos. Não houve registro de ocorrência que justificasse este baixo percentual. Esta medição durou 3,1 min, sendo que nos primeiros 80 segundos houve decodificação do sinal digital, e em seguida iniciou-se a alternância de Rx\_Mode=0/1.

O ponto R5P6 estava situado a 1,52 km da emissora e obteve decodificação do sinal digital (Rx\_Mode=1) em 15,85% dos quadros de áudio recebidos. O local de medição estava situado em rodovia com tráfego moderado a alto, perto de diversas linhas de transmissão elétrica de baixa, média e alta potência localizadas de 5 a 25 metros da unidade móvel. Durante todo o período desta medição ocorreu a alternância, havendo a predominância da não decodificação do sinal digital, ou seja, com Rx\_Mode=0.



A estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com o receptor profissional não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com Rx\_Mode=1 e Rx\_Mode=0/1 em toda a extensão de medição.

Em relação ao limiar de SNR, tem-se que, no teste em questão, o menor valor de SNR medido para boa recepção foi de 7,2 dB. Abaixo de 2,1 dB não foi possível realizar a decodificação do sinal digital. No intervalo de 2,1 a 7,2 dB foram registrados quatro pontos de medição nos quais houve alternância da recepção digital com a analógica. No entanto houve pontos com SNR maiores que 7,2 dB com alternância entre recepção digital e analógica. Desta forma, não houve a possibilidade de definir com mais precisão um limiar mínimo de SNR para a recepção estática com o sistema HD Radio.

Na avaliação do áudio digital em medições estáticas com receptores comerciais foram usados um receptor de mesa da marca SONY e um receptor automotivo JVC, que possuem mecanismo de *blend*. Utilizando-se o critério de ocorrência ou não de *blends* no áudio gravado durante medições estáticas, obteve-se dentro do raio de 1,6 km recepção digital em 54% dos locais com o receptor JVC e 12% com o receptor SONY. A estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com receptores digitais comerciais não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com recepção “Digital” e “Mista” em toda a extensão de medição.

Os resultados mostram que os dois modelos de receptores comerciais tiveram desempenhos diferentes. Pequenas diferenças na montagem do setup de medição de cada receptor, tais como tipo e local da instalação da antena de recepção, influenciam no nível de potência recebida internamente em cada receptor, impactando no desempenho de cada aparelho. Além disso, na medição em baixa potência, a intensidade de campo decai rapidamente em curta distância em relação ao transmissor, podendo atingir valores superiores a 40 dB de diferença desde a emissora até a distância de 1 km.

A recepção do áudio analógico foi avaliada por meio de medições estáticas realizadas com dois receptores comerciais, um da marca NKS e outro da marca TOSHIBA, utilizando-se a classificação de qualidade de recepção como “Recepção Boa” (áudio com presença de ruído, desde imperceptível a leve), “Recepção Pobre” (presença de ruído ao ponto da informação tornar-se ininteligível) e “Recepção Ruim” (somente ruído). Dentro de toda a região de testes, que ficou compreendida dentro do raio de 1,6 km em relação ao transmissor, obtiveram-se 14 pontos (40%) com “Recepção Boa”, 6 pontos (17%) com “Recepção Pobre” e 15 pontos (43%) com “Recepção Ruim”. Considerando a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na maioria dos pontos como “Recepção Boa”, e nos demais como “Recepção Pobre” e “Recepção Ruim”. Na rota R6 (sudeste) o ponto R6P5, localizado a 1,24 km da emissora, teve “Recepção Boa”, porém antes dele o ponto R6P4 (0,98 km da emissora) teve “Recepção Pobre”. Na rota R5 (sudeste) houve cobertura analógica até o R5P4, a 1 km da emissora. Para distâncias superiores a 1 km, ocorreu predominantemente a “Recepção Ruim”. Assim, a distância da cobertura analógica pode ser estimada como atingindo 1 km da emissora.

O limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de áudio ficou aproximadamente em 65 dB $\mu$ V/m. Este valor está próximo do valor de 66 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas urbanas.

Dentre os 15 (quinze) pontos que receberam nota da recepção analógica como “Recepção Ruim”, em 12 (doze) deles foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências.

Comparando as recepções dos sinais analógico e digital, verificou-se por meio dos testes que a decodificação do sinal digital ocorreu em 15 (quinze) pontos e a recepção do sinal analógico com “Recepção Boa” também ocorreu em 14 (quatorze) pontos, porém não necessariamente os mesmos pontos. Dentro do raio de 1 km houve 12 (doze) pontos de medição com decodificação do sinal digital e 12 (doze) pontos com o áudio analógico com qualidade de recepção boa (não sendo necessariamente os mesmos pontos), caracterizando bom desempenho do sistema digital nessa região, e de onde se conclui que a cobertura do HD Radio é similar à cobertura do FM nessa área.

Nas medições em mobilidade com receptor profissional verifica-se a decodificação do sinal digital, as ocorrências de *blends* (comutação automática entre os sinais digital e analógico) e a estimativa da área de cobertura digital em cada uma das rotas.

Avaliando as 6 (seis) rotas radiais, verifica-se que a rota R1 foi a rota que apresentou mais alternância na recepção digital com analógica ao longo da rota, tendo no entanto apresentado cobertura digital até 1,5 km da emissora. Nas rotas R2, R5 e R6 houve decodificação de sinal digital na maior parte da medição, até a distância aproximada de 1,25 km da emissora. A rota R3 apresentou o maior percentual de decodificação do sinal digital nas rotas radiais em mobilidade, 96,14%, tendo se estendido apenas até 1 km devido à pequena ocupação urbana naquela direção. A rota R4 apresentou cobertura até 1,5 km.

Em relação aos resultados em mobilidade sobre as rotas circulares, elas foram percorridas em torno da emissora em raios de 0,25 km (C3), 0,5 km (C2) e 1 km (C1). A rota C3, mais próxima ao transmissor, teve decodificação do sinal digital em praticamente todo o percurso. A rota C2 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sudeste da emissora e em pontos esparsos. A rota C1 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sul da emissora e em pontos esparsos ao longo da rota.

Diante do exposto, com relação à recepção em mobilidade nas rotas radiais e circulares, os resultados dentro da área de 1 km não foram homogêneos, podendo-se considerar ainda que houve cobertura digital até as distâncias de 1,25 km (R2,R5 e R6) e 1,5 km (R1 e R4) da emissora.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema HD Radio em Brasília em transmissão híbrida com baixa potência mostraram que o sistema digital, de uma forma geral, tem área de cobertura similar à do sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema FM no raio de 1,6 km a partir do transmissor, estando 20 dB abaixo do FM (1% da potência EIRP do sinal analógico).

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 o resultado dos testes realizados no Recanto das Emas, XV Região Administrativa de Brasília/DF, com o objetivo de avaliar o desempenho do sistema *HD Radio* de radiodifusão sonora digital [1] [2] para aplicação nas faixas de frequências de radiodifusão em frequência modulada.

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

A estrutura do documento é definida da maneira detalhada a seguir. O Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na emissora para irradiar os sinais digital e analógico durante os testes. O Capítulo 3 descreve a unidade móvel, os equipamentos e a metodologia de medições utilizados para caracterizar o sinal recebido. O Capítulo 4 relata os resultados dos testes, apresentando a comparação entre a intensidade de campo prevista e a obtida nas medições, a avaliação da cobertura de sinal digital com receptor profissional e com receptores comerciais, os resultados da recepção analógica FM, a comparação entre resultados da recepção dos áudios analógico e digital. No Apêndice é apresentado o histórico e uma visão geral das características técnicas do sistema *HD Radio*, os detalhes das medições e os seus respectivos resultados, a descrição do procedimento para obtenção da intensidade do campo elétrico digital e um exemplo do arquivo de medições do receptor profissional *HD Radio*.

## 2. Sistema de Transmissão

### 2.1. Características Técnicas do Sistema de Transmissão

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



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

A configuração do centro de transmissão instalado para esse teste é denominada de Combinação em Baixa Potência, em virtude dos sinais FM analógico e HD Radio já estarem em baixa potência no instante da combinação entre ambos. Essa combinação foi realizada no próprio transmissor HD Radio, que modulou o áudio de entrada e forneceu na sua saída os sinais digital e analógico FM. Nesse caso, o transmissor analógico da emissora não foi utilizado. Como a transmissão de ambos os sinais, analógico e digital, foi realizada pelo equipamento digital, a mesma antena de transmissão foi usada, bem como os mesmos guias de onda. O diagrama esquemático do sistema de transmissão é mostrado na Figura 2.

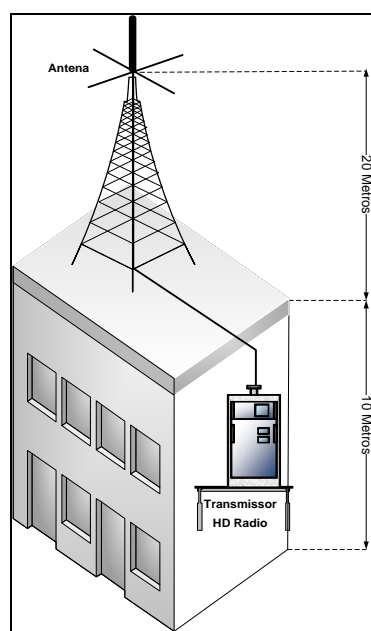


Figura 2 – Diagrama esquemático da transmissão

A antena de transmissão usada era do tipo omnidirecional, modelo CE-1600/FM, do fabricante CELTA, com ganho de 2 dBi e polarização vertical, instalada no topo de uma torre com 20 metros e localizada no telhado de um sobrado de 10 metros de altura. Portanto, a antena de transmissão encontrava-se a 30 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 29,7 W e 0,297 W para os sinais analógico e digital, referentes às potências na saída dos transmissores de 25 W e 0,25 W, respectivamente. A Figura 3 mostra a instalação da antena de transmissão usada nos testes e o seu diagrama de radiação horizontal.

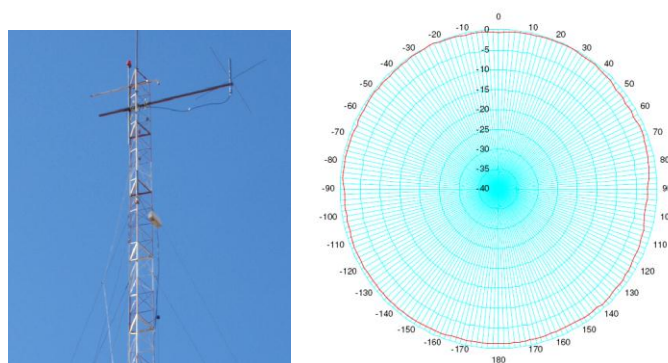


Figura 3 - Antena de transmissão e diagrama de radiação horizontal

Os principais componentes do sistema de transmissão são descritos na Tabela 1.

| ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA  |  |
|--|--|
| ANALÓGICO  | DIGITAL  |
| FREQUÊNCIA: 98,1 MHz<br>CANAL: 251   | FREQUÊNCIA: 98,1 MHz   |
| LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA  |  |
| CIDADE / ESTADO: Brasília/DF<br>COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 15° 54' 10,19" S 48° 03' 44,69" W   |  |
| TRANSMISSOR  |  |
| FABRICANTE: Harris Broadcasting Communications<br>MODELO: FAX10K<br>(* POTÊNCIA NOMINAL (Análogica e Digital):<br>3400 W / 300 W<br>POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES:<br>25 W                                      | FABRICANTE: Harris Broadcasting Communications<br>MODELO: FAX10K<br>(* POTÊNCIA NOMINAL (Análogica e Digital):<br>3400 W / 300 W<br>POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES:<br>0,25 W                                    |
| ANTENA   |  |
| FABRICANTE: CELTA<br>MODELO: CE-1600/FM<br>POLARIZAÇÃO: Vertical<br>DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional<br>GANHO: 2 dBi (-0,15 dBd)<br>ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m<br>POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W | FABRICANTE: CELTA<br>MODELO: CE-1600/FM<br>POLARIZAÇÃO: Vertical<br>DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional<br>GANHO: 2 dBi (-0,15 dBd)<br>ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 30 m<br>POTÊNCIA MÁXIMA: 120 W |
| LINHA DE TRANSMISSÃO   |  |
| FABRICANTE: Datalink<br>MODELO: DLC 213 Premium<br>COMPRIMENTO: 22,0 m<br>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms<br>ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m<br>AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 0,2 dB              | FABRICANTE: Datalink<br>MODELO: DLC 213 Premium<br>COMPRIMENTO: 22,0 m<br>IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms<br>ATENUAÇÃO DA LINHA: 4,8 dB/100m<br>AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES E FILTROS, ETC): 0,2 dB              |
| POTÊNCIA IRRADIADA   |  |
| EIRP: 29,7 W<br>ERP: 18,1 W  | EIRP: 0,297 W<br>ERP: 0,181 W  |
| RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO  |  |
| RELAÇÃO DE PROTEÇÃO NO AR (FM ERP / HD Radio ERP): 20 dB   |  |

Tabela 1 – Características técnicas da rádio comunitária AREMAS

(\* O equipamento foi adaptado para utilizar potências inferiores a 300 W.

O sinal *HD Radio* ocupa as bandas laterais superior e inferior em relação ao sinal analógico. A frequência central das sub-bandas possui espaçamento de canal de  $\pm 163,89$  kHz da frequência central FM, sendo que cada sub-banda ocupa uma largura de canal adjacente de 69,041 kHz.

A relação de proteção entre as potências utilizadas na saída das antenas, EIRP, foi de 20 dB, conforme Tabela 1.

O transmissor utilizado para o teste do sinal digital é fabricado pela Harris Broadcasting Communications. Nesse equipamento os áudios são codificados e os parâmetros de transmissão são programados. O equipamento é mostrado na Figura 4 até a Figura 6.



Figura 4 – Visão do transmissor HD Radio

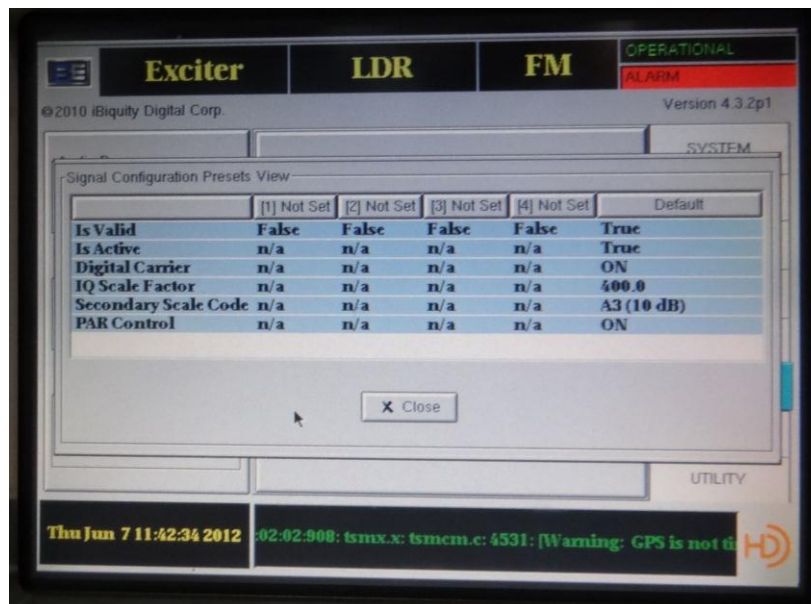


Figura 5 – Detalhe da tela do gerador de sinal digital.





Figura 6 – Detalhe do excitador (esq.) e dos amplificadores (dir.).

A Figura 7 mostra a torre com o sistema irradiante e o detalhe da antena instalada.



Figura 7 – Visão do mastro (esq.) e detalhe da antena de dois elementos (dir.) da emissora AREMAS utilizada nos testes

## 2.2. Parâmetros de transmissão

O sistema HD Radio oferece três configurações para transmissão do sinal digital [3] [4], apresentadas no item I do Apêndice desta Nota Técnica. Os testes descritos neste documento foram realizados com o modo híbrido, com a configuração apresentada na Tabela 2.

| Ocupação Espectral | Modo de Serviço | Canais Disponíveis | Modulação | Taxa de transmissão | Taxa de Codificação |
|--------------------|-----------------|--------------------|-----------|---------------------|---------------------|
| Híbrido            | MP1             | MPS                | 64 QAM    | 98 kbps             | 2/5                 |

Tabela 2 – Modo de transmissão do IBOC utilizado durante os testes

## 3. Equipamentos e Metodologia de Medição

### 3.1. Equipamentos de Medição

As medições do sistema HD Radio foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações da Empresa Brasil de Comunicação (EBC), um veículo adaptado para execução de trabalhos em campo, conforme Figura 8.





Figura 8 – Viatura móvel adaptada com detalhes dos equipamentos de medição.

A Figura 8 apresenta a disposição dos equipamentos de medição no interior da viatura. Os dois equipamentos principais de medição são o receptor profissional HD Radio e o analisador de espectro. O equipamento profissional para coleta dos dados nas medições consiste no software *HD Prospector Field Test System*, instalado no laptop, e no receptor profissional de áudio digital HD Radio.

Na Figura 9 o primeiro bloco apresenta todos os equipamentos utilizados nas medições em campo que coletam dados que são avaliados objetivamente, e o segundo bloco apresenta equipamentos preparados para gravação de áudio de receptores analógicos e digitais, que geram dados que são avaliados subjetivamente.

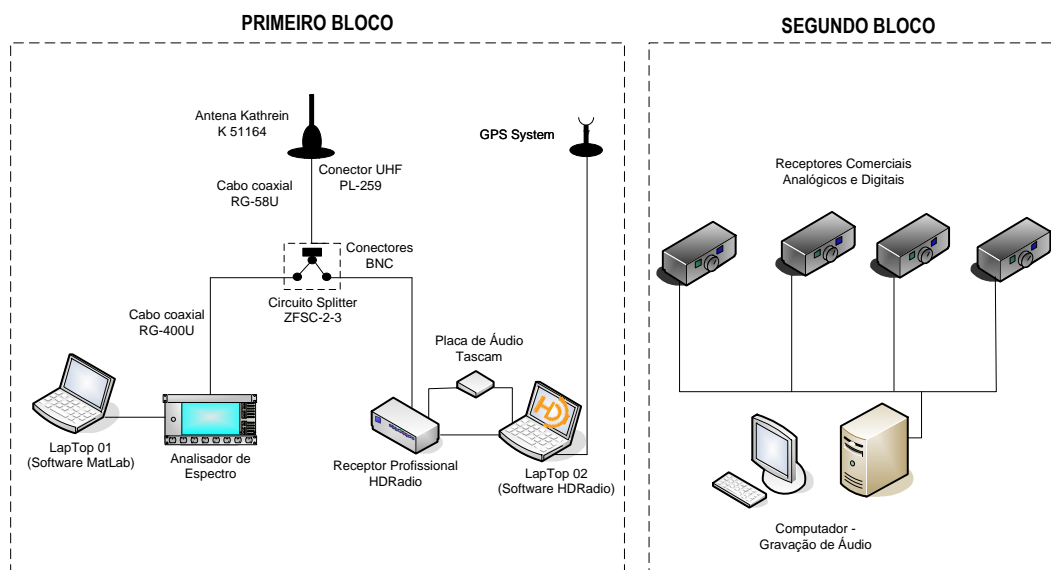


Figura 9 – Diagrama dos equipamentos de medição

No primeiro bloco, o analisador de espectro e o receptor HD Radio foram conectados à antena Kathrein (Figura 10), por meio de um divisor de potência, permitindo que o sistema realizasse simultaneamente as medições de recepção de sinal (com o receptor HD Radio) e de intensidade do sinal (com o analisador de espectro). Cada um desses equipamentos tem um laptop dedicado. Na Tabela 3 são apresentadas as características técnicas dos equipamentos utilizados.





Figura 10 – Antena de recepção modelo Kathrein

| Dispositivo / Equipamento              | Descrição  |
|--|--|
| Antena                                 | Kathrein K51164 Magnet-Haftantenne<br>Tipo monopolo, 58-300 MHz, Ganho 0dB, comprimento 1380mm<br>Fator K=7,708 dBm-1(50 Ω) @95,7MHz |
| Divisor                                | Mini Circuits Model ZFSC-2-4+<br>Perda 3,31 dB@1 MHz & 100 MHz   |
| Cabo da antena para divisor            | Tipo RG58U<br>Perda 0.01dB/m@ 1MHz<br>Comprimento 4 m  |
| Cabo do divisor para analisador        | Tipo RG-400U<br>Perda 0.01dB/m@1MHz<br>Comprimento 1 m   |
| Cabo do divisor para receptor HD Radio | Tipo RG-400U<br>Perda 0.012dB/m@1MHz<br>Comprimento 1.3 m  |
| Analisador de espectro                 | ANRITSU MS2724B (9 kHz-20GHz)  |
| GPS                                    | Garmin GPS-18X   |
| Laptops                                | Laptop com Matlab para analisador de espectro<br>Laptop para receptor HD Radio   |
| Desktop                                | Computador de mesa com software para gravação de áudio   |
| Acessórios                             | Cabos seriais  |

Tabela 3 – Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição

O receptor profissional HD Radio contempla diversos parâmetros oriundos da configuração do modo de operação, seja da transmissão ou da recepção do sinal. A Figura 11 ilustra a tela do software do receptor profissional, onde são apresentados os parâmetros de operação e seus valores instantâneos. Os principais parâmetros são descritos na Tabela 4.

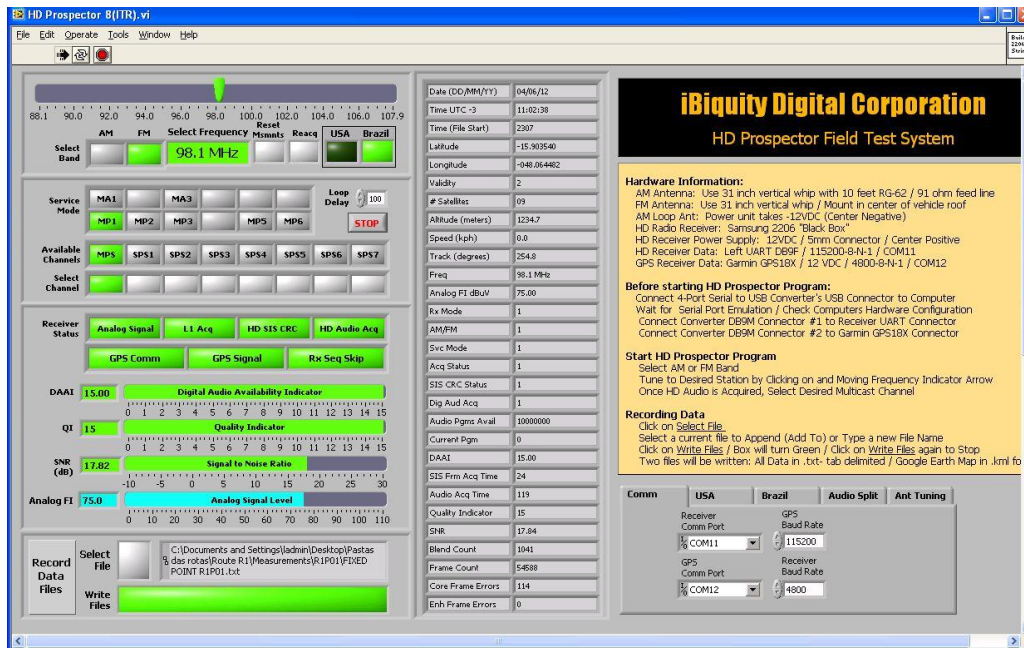


Figura 11 – Tela do programa do receptor HD Radio

| Parâmetro        | Descrição  |
|------------------|--|
| Rx_Mode          | Indica status de recepção:<br>0 = não decodifica áudio digital<br>Para modo de serviço MPS ( <i>Main Program Service</i> ) indica que receptor fez <i>blend</i> para analógico e no modo SPS ( <i>Supplemental Program Service</i> ) o receptor fica mudo<br>1 = decodifica áudio digital em FM  |
| Svc Mode         | 1 indica Modo Híbrido MP1. Apenas a partições de portadoras primárias ( $\pm 129$ a 199 kHz da portadora) são transmitidas. Vazão de dados ( <i>Throughput</i> ) de 98 kbps<br>2 indica Modo Híbrido MP2. Apenas a partições de portadoras primárias mais duas partições estendidas são transmitidas. Vazão de dados ( <i>Throughput</i> ) de 98 kbps + 12 kbps<br>3 indica Modo Híbrido MP3. Apenas a partições de portadoras primárias mais duas partições estendidas são transmitidas. Vazão de dados ( <i>Throughput</i> ) de 98 kbps + 24 kbps<br>5 e 6 indicam Modo Digital Total MP5 e MP6. |
| AM/FM            | 0 indica AM, 1 indica FM   |
| Acq Status       | 0 ou 1 indica que o demodulador está registrando as portadoras de referência, apenas o modo de serviço é apresentado   |
| SIS CRC Status   | Indica recepção confiável do <i>Station Information Service</i> , que transmite dados de identificação da estação  |
| Dig Aud Acq      | 0 ou 1 indica recepção de áudio digital. Similar ao Rx_Mode  |
| Audio Pgms Avail | Indica os programas de áudio disponíveis e sua localização ( <i>Main Program Service</i> MPS e <i>Supplemental Program Service</i> SPS). Por exemplo 1101000 indica MPS, SPS1 e SPS3.  |
| Current Program  | Indicação do programa de áudio selecionado: 0=MPS, 1=SPS1, 2=SPS2, etc...  |
| DAAI             | <i>Digital Audio Acquired Indicator</i> é uma indicação relativa da qualidade de áudio digital que representa o nível de sinal através do “gráfico de barras”. Geralmente segue o QI ( <i>quality indicator</i> ). Varia de 0 a 15.  |
| QI               | <i>Quality Indicator</i> é uma indicação relativa de qualidade de sinal digital. Valores de 11 a 15 indicam recepção digital em FM   |
| SNR              | Relação sinal-ruído calculada de cada portadora OFDM, utilizada para fornecer estado do canal para o decodificador de correção de erro   |
| Blend count      | Número total de <i>blends</i> para o sinal analógico desde o início da gravação de dados.  |
| Analog FI        | Nível de sinal analógico (dBµV)  |

Tabela 4 – Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio

Um GPS externo conectado a um laptop fornece as informações da localização, embora o software também apresente as coordenadas geográficas.

O analisador de espectro registra o espectro do sinal analógico e do sinal digital, conforme Figura 12. No processamento são obtidas as intensidades de campo elétrico do sinal analógico FM e do sinal digital, este sendo calculado a partir da estimativa do valor total de potência das sub-bandas laterais, considerando o ACPR (*Adjacent Channel Power Ratio*) superior e inferior. O procedimento para obtenção da intensidade de campo elétrico digital encontra-se no item III do Apêndice.

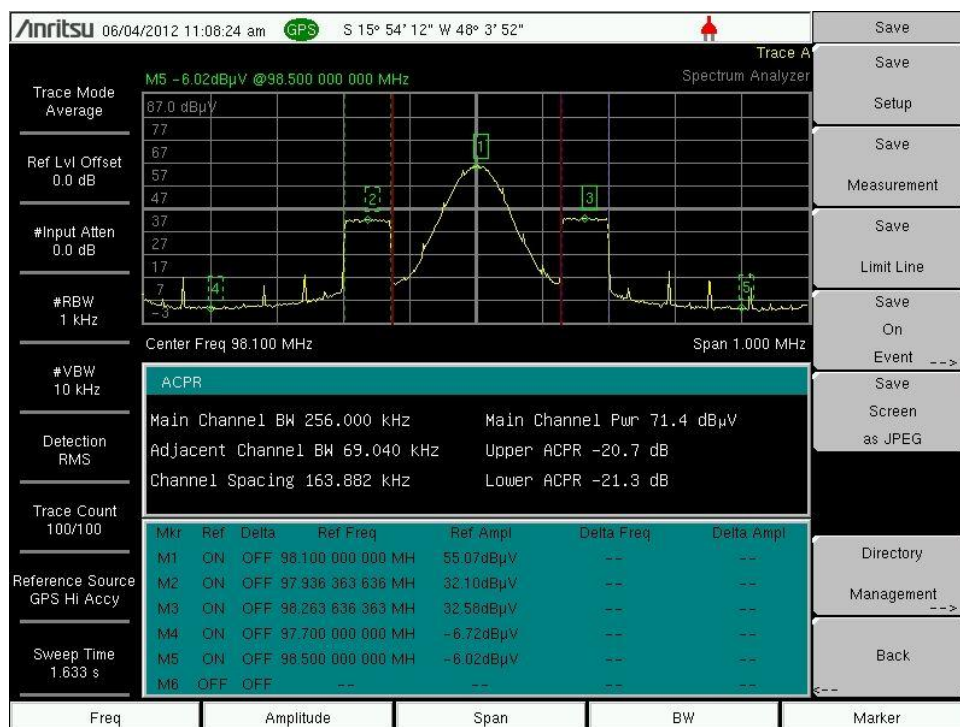


Figura 12 – Espectro registrado no ponto de referência

O segundo bloco de medição, apresentado na Figura 9, é destinado à gravação dos áudios analógico FM e digital HD Radio. O áudio analógico do sinal FM foi gravado por receptores comerciais com o intuito de avaliar a recepção analógica. São eles os modelos de rádio portátil NKS AC122 FM/AM/OC 12 Faixas Digital Bivolt e TOSHIBA TR449SP Bivolt, Figura 13. O áudio digital HD Radio foi gravado com os receptores comerciais JVC KW-NT30HD (receptor automotivo) e SONY XDR-S3HD (receptor de mesa), Figura 14, havendo também a gravação com o receptor digital profissional HD Radio, conforme Figura 15.



Figura 13 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq) e TOSHIBA (dir)

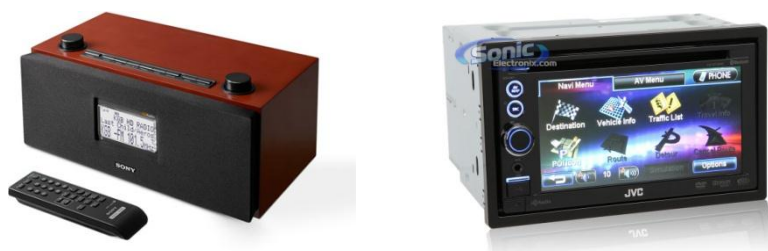


Figura 14 – Receptores digitais comerciais SONY (esq) e JVC (dir)



Figura 15 – Receptor digital profissional HD Radio

### 3.2. Parâmetros de Medição

Os equipamentos e o sistema de medição fornecem uma ampla gama de parâmetros registrados durante os testes. A Tabela 5 mostra os parâmetros obtidos durante os testes e que serão utilizados na avaliação. Eles são divididos em três tipos: parâmetros que fornecem informações de radiofrequência (RF) e propagação do canal, parâmetros de banda básica e parâmetros auxiliares que ajudam na compreensão das causas e efeitos dos diferentes problemas de recepção.

| Parâmetros  | Tipos                    | Equipamentos  | Intervalo de Medição                     |
|---|--------------------------|---|--|
| SNR   | RF e canal de propagação | Receptor profissional HD Radio                                  | 100 ms                                   |
| Intensidade de campo elétrico analógico             | RF e canal de propagação |   | 100 ms                                   |
| Rx_Mode   | Banda Básica             |   | 100 ms                                   |
| QI ( <i>Quality Indicator</i> )                     | Banda Básica             |   | 100 ms                                   |
| Intensidade de campos elétricos digital e analógico | RF e canal de propagação | Analizador de Espectro  | Medição Estática e Dinâmica              |
| Localização   | Auxiliar                 | GPS   | 1 s                                      |
| Tempo   | Auxiliar                 |   | 1 s                                      |
| Velocidade  | Auxiliar                 |   | 1 s                                      |
| Gravação do áudio FM                                | Banda Básica             | Receptores analógicos comerciais FM                             | Medição Estática                         |
| Gravação do áudio HD Radio                          | Banda Básica             | Receptor profissional e receptores digitais comerciais HD Radio | Medição Estática e Dinâmica              |
| Eventos (Registros de ocorrências)                  | Auxiliar                 | Equipe  | Cada evento e Caracterização do ambiente |
| Fotos   | Auxiliar                 | Equipe  | Medição Estática                         |

Tabela 5 – Parâmetros de Avaliação

Dentre todos os parâmetros, os três mais importantes são: as intensidades dos campos elétricos digital e analógico obtidas por meio do analisador de espectro juntamente com o software *HD Prospector Field Test System*, a SNR e o parâmetro Rx\_Mode (que define quando ocorre a decodificação do sinal digital).

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

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

Os áudios FM gravados são utilizados para avaliar subjetivamente a qualidade da recepção do sinal analógico.

Os eventos e as fotos coletados 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 foi realizada com a unidade móvel do Inmetro, realizando medições estáticas e móveis em dois tipos de rotas, radiais e circulares, conforme recomendado pela Anatel [5]. A primeira medição diária era realizada no ponto de referência para determinar se os parâmetros de transmissão estavam corretos mediante comparação com os dados coletados no dia da caracterização da unidade móvel naquele ponto. Também era verificado se o equipamento de recepção estava com funcionamento adequado.

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

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

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

- Captura do espectro do sinal *simulcast*.
- Captura dos dados do sinal digital HD Radio com receptor profissional em toda a rota.
- Gravação do áudio digital com receptor profissional

- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).

### 3.4. Planejamento das Rotas

As rotas radiais planejadas para os testes do sistema HD Radio foram escolhidas em função da orientação azimutal e atingem cerca de 1,6 km em relação ao transmissor da Rádio Comunitária AREMAS. As rotas circulares solicitadas pela Anatel para os testes têm como finalidade a avaliação do desempenho do sistema em diferentes ambientes de recepção [5]. Porém, devido às características de baixa potência da emissora, o que resulta em cobertura reduzida, a análise das rotas circulares nesse teste não é aplicável com esse intuito. Portanto, as rotas circulares serviram para verificar a homogeneidade da área de cobertura, com raios aproximados de 0,25 km, 0,5 km e 1 km, tendo sido realizadas apenas medições em mobilidade nessas rotas.

A Tabela 6 descreve as rotas utilizadas, podendo as mesmas serem visualizadas na Figura 16, (rotas radiais) e na Figura 17 (rotas circulares). As localizações dos pontos fixos de medição ao longo das rotas estão detalhadas no item II do Apêndice deste documento.

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

Tabela 6-Descrição das rotas



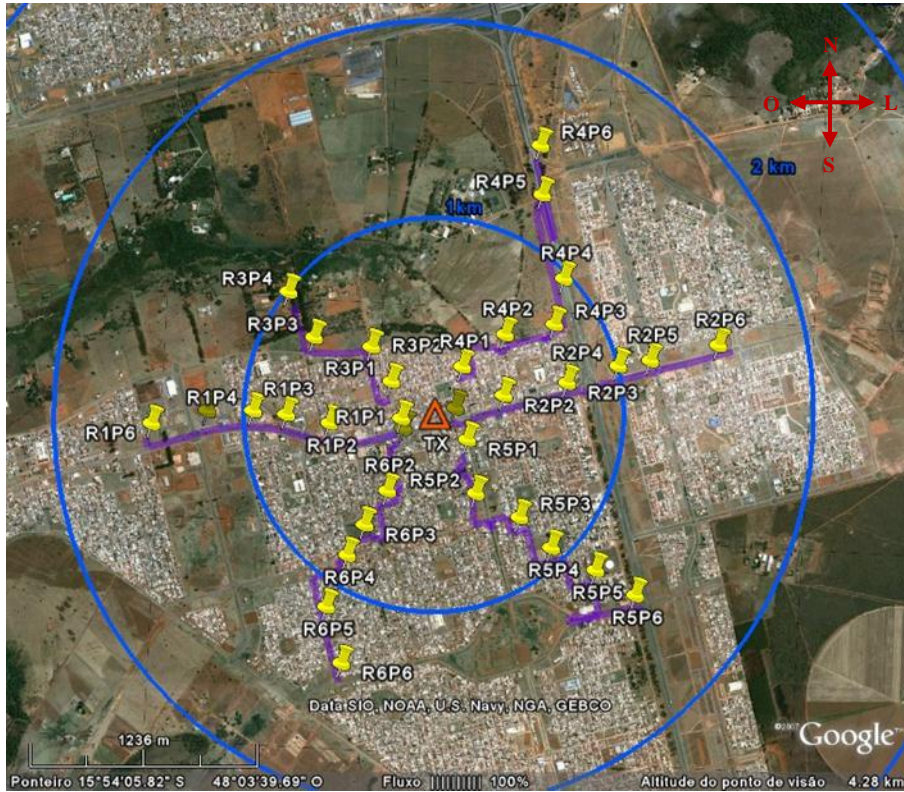


Figura 16 – Rotas radiais (em roxo) utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS

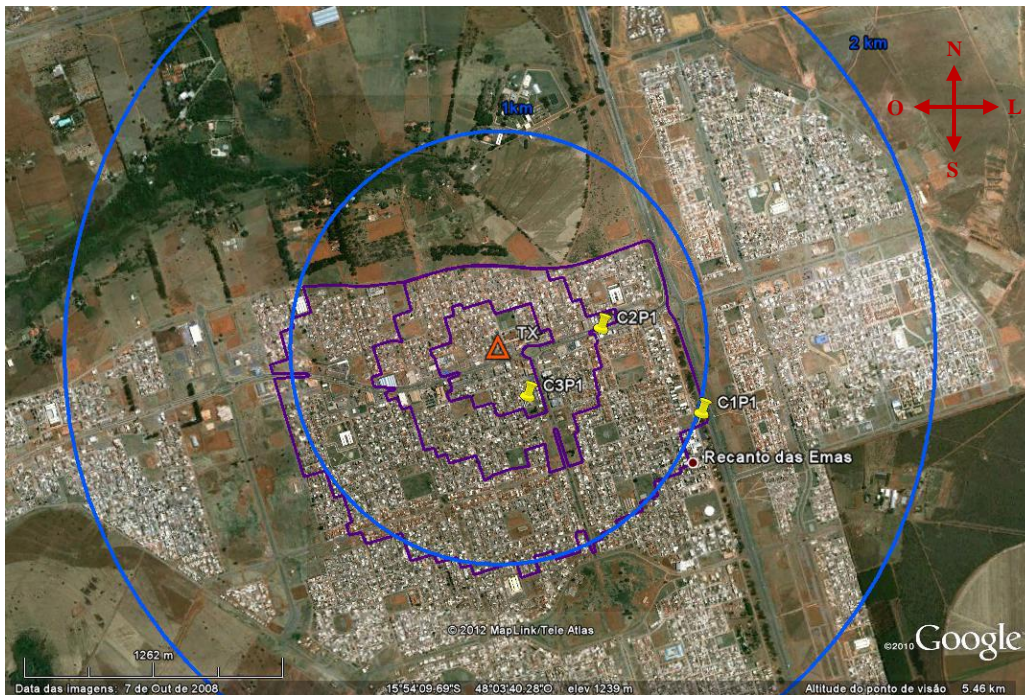


Figura 17 – Rotas circulares utilizadas nos testes com a Rádio Comunitária AREMAS

## 4. Resultados dos Testes

Com base nos dados coletados, foram realizadas as seguintes análises: comparação de medições de intensidade de campo elétrico do sinal analógico com valores teóricos e definição das áreas de cobertura dos sinais analógico e digital para recepções estática e móvel, em função dos limiares de recepção da intensidade de campo elétrico e do valor da SNR.

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

A intensidade de campo elétrico analógico medida é comparada com a previsão teórica para fins de verificação dos valores registrados durante os testes. A intensidade de campo teórica é obtida com o Sistema de Informações da Anatel (SIGAnatel) [6], ferramenta que possui um banco de dados geográficos do Brasil que, entre vários recursos, permite analisar a cobertura do sinal de uma estação de rádio e/ou TV, analisar a propagação em um enlace ponto-a-ponto e gerar o perfil de terreno. O modelo de previsão usa como dado de entrada o perfil do terreno entre o local do transmissor e o ponto de interesse, além da potência transmitida (EIRP), para cálculo da intensidade de campo recebida, empregando a atenuação de espaço livre e a difração causada pelos obstáculos existentes no perfil de terreno.

A Figura 18 apresenta a intensidade de campo elétrico do sinal analógico medida e os valores teóricos calculados, bem como a previsão de espaço livre. A curva da intensidade de campo considerando somente a atenuação de espaço livre é utilizada como referência. A diferença desta curva para os pontos teóricos deve-se ao perfil do terreno que é considerado no modelo de previsão utilizado no SIGAnatel. Os valores medidos estão inferiores aos teóricos porque o modelo de previsão utiliza o perfil do terreno sem incluir a ocupação urbana, por isso o gráfico da Figura 18 mostra que em vários pontos de medição existe alguma discrepância entre valores teóricos e medidos. No entanto, observa-se que os dois conjuntos de pontos possuem decaimento similar com a distância, como esperado.

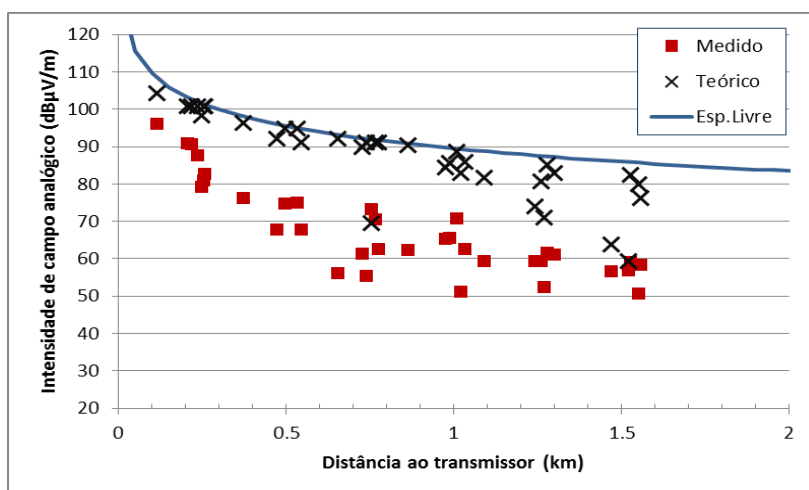


Figura 18 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico

Com a digitalização do serviço de rádio faz-se necessário utilizar um modelo de previsão mais eficiente devido à variabilidade do sinal recebido. Ressalta-se a necessidade da proposição de um novo modelo para ser usado na faixa de frequência FM, uma vez que no sistema digital a



grande diferença entre a previsão e o sinal medido (por exemplo, 20 dB em algumas distâncias no gráfico) pode impactar o planejamento do sistema introduzindo erro no cálculo da cobertura, comprometendo o atendimento do serviço proposto.

## 4.2. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com receptor profissional

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

Na medição estática faz-se o registro da recepção digital em cada local de medição. Os resultados são apresentados com o parâmetro Rx\_Mode de cada quadro de áudio recebido, que indica a decodificação do áudio digital (Rx\_Mode=1) ou a não decodificação (Rx\_Mode=0). Nas medições estáticas realizadas com o receptor profissional ocorreu alternância entre a recepção digital e a analógica (*blend*) durante o tempo de registro em alguns pontos.

Uma visão global dos resultados pode ser observada na Figura 19. Os pontos em verde representam uma recepção digital estável, ou seja, Rx\_Mode=1 durante todo o intervalo de medição em cada ponto, sem ocorrência de *blends*, os pontos em vermelho indicam a ausência de recepção digital, ou seja, Rx\_Mode=0 durante todo o intervalo de medição em cada ponto, e os pontos em amarelo representam as ocasiões em que a recepção digital ocorreu com intermitência, indicando que o sinal digital recebido não possuía qualidade suficiente para possibilitar que a recepção pudesse ser feita na integralidade do tempo. Esse fato leva o sistema a efetuar *blends* para evitar a ocorrência de períodos com ausência de áudio tendo assim uma alternância de recepção digital com recepção analógica durante o tempo de registro da medida (valores de Rx\_Mode=0/1).

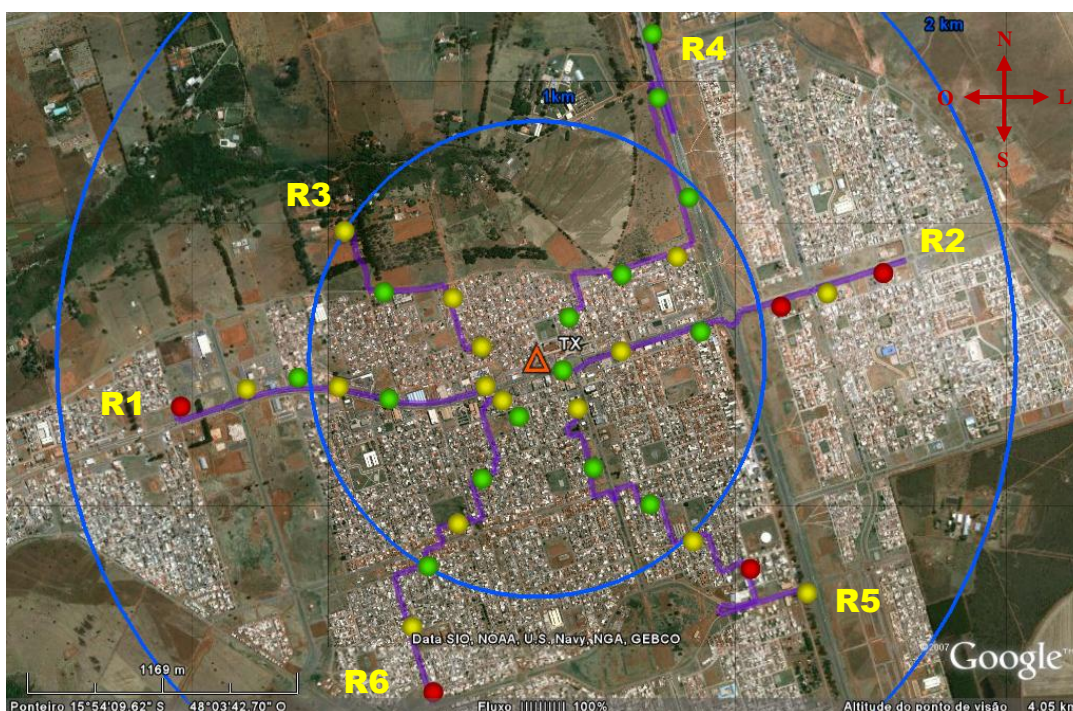


Figura 19 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa

Com base nos resultados da cobertura do sinal digital com recepção estática, foi verificado que ocorreram os três tipos de recepção (Rx\_Mode=1, 0/1 ou 0) em quatro (4) rotas, R1, R2, R5 e

R6, e nas rotas R3 e R4 ocorreram dois tipos (Rx\_Mode=1 ou 0/1). A ocorrência de alternância entre recepção digital e analógica (Rx\_Mode=0/1) se mostrou independente da distância ao transmissor. O ponto de medição mais distante estava localizado a aproximadamente 1,6 km da emissora, e ponto mais distante com decodificação de sinal digital estava a 1,5 km da emissora.

A Tabela 7 apresenta os resultados da recepção digital nos pontos fixos. Em relação aos 35 pontos medidos, foram obtidos 15 pontos (43%) com recepção digital, 15 pontos (43%) com alternância entre recepção digital e analógica e 5 pontos (14%) sem decodificação do sinal digital.

| Recepção do Áudio Digital       | Toda a região de testes |
|---------------------------------|-------------------------|
|                                 | Pontos                  |
| Sim                             | 15 (43%)                |
| Alternância com áudio analógico | 15 (43%)                |
| Não                             | 5 (14%)                 |
| <i>Total de medições</i>        | 35 (100%)               |

Tabela 7 – Resultados da recepção estática.

Os pontos da região de testes onde houve alternância de recepção digital e analógica (Rx\_Mode=1/0) são os pontos marcados em amarelo na Figura 19. A Tabela 8 apresenta para cada um dos pontos onde houve alternância o percentual de quadros de áudio que tiveram Rx\_Mode=1 e a duração desses quadros, que corresponde ao tempo em que ocorreu a decodificação do áudio digital, além da duração total da medição no ponto e sua distância ao transmissor.

| Pontos   | Distância ao transmissor (km) | Intensidade de campo elétrico mediano (dB $\mu$ V/m) | SNR mediana (dB) | Intervalo de medição (min) | Quadros com Rx_Mode=1 |               |
|----------|-------------------------------|--|------------------|----------------------------|-----------------------|---------------|
|          |                               |  |                  |                            | Quantidade (%)        | Duração (min) |
| R1P1     | 0,23                          | 66,88  | 12,87            | 3,39                       | 90,00                 | 3,05          |
| R1P3     | 0,86                          | 41,42  | 13,06            | 3,18                       | 95,91                 | 3,05          |
| R1P5     | 1,26                          | 38,50  | 10,26            | 3,26                       | 98,57                 | 3,21          |
| R2P2     | 0,37                          | 55,37  | 14,74            | 3,26                       | 96,83                 | 3,16          |
| R2P5 (*) | 1,30                          | 37,10  | 3,34             | 1,00                       | 97,77                 | 0,88          |
| R3P1     | 0,25                          | 60,26  | 14,98            | 3,21                       | 96,88                 | 3,11          |
| R3P2     | 0,47                          | 46,30  | 14,04            | 3,33                       | 98,30                 | 3,28          |
| R3P4     | 1,02                          | 29,49  | 6,50             | 3,25                       | 95,69                 | 3,11          |
| R4P3     | 0,77                          | 40,56  | 10,09            | 3,34                       | 98,60                 | 3,29          |
| R5P1     | 0,25                          | 59,76  | 15,08            | 3,37                       | 97,18                 | 3,27          |
| R5P4     | 1,01                          | 49,26  | 15,84            | 3,11                       | 97,42                 | 3,03          |
| R5P6     | 1,52                          | 35,44  | 2,30             | 3,13                       | 15,85                 | 0,50          |
| R6P1     | 0,20                          | 70,94  | 14,97            | 3,10                       | 63,66                 | 1,97          |
| R6P3     | 0,75                          | 52,41  | 12,61            | 3,94                       | 98,90                 | 3,89          |
| R6P5     | 1,24                          | 33,99  | 6,65             | 3,66                       | 96,36                 | 3,53          |

Tabela 8 – Pontos onde Rx\_Mode=0/1

(\*) A duração da medição estática em R2P5 foi de aproximadamente 1 min, no entanto optou-se por manter este resultado pois houve alternância entre recepção digital e analógica.

A Figura 20 apresenta os valores da Tabela 8 de forma gráfica, para fins de visualização.

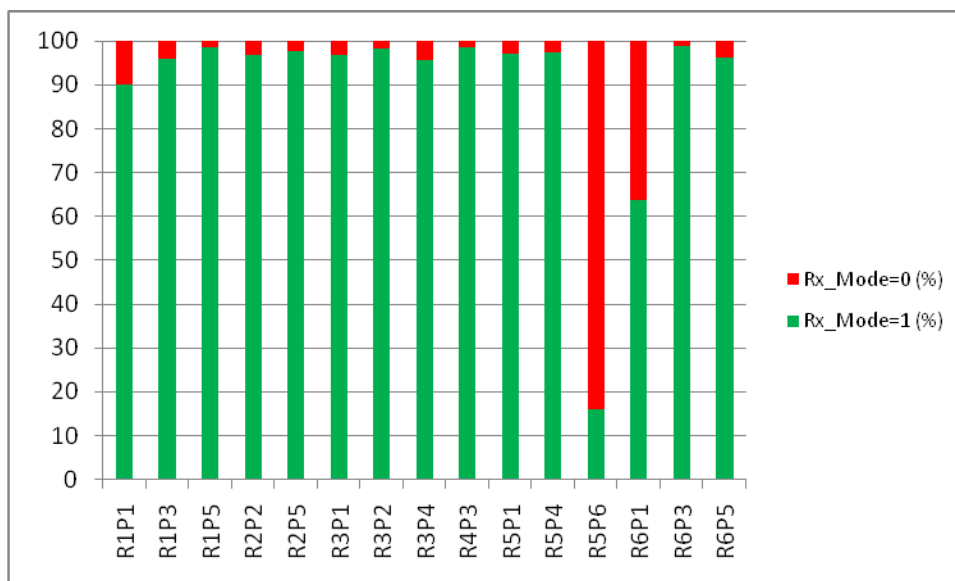


Figura 20 - Percentual de Rx\_Mode nas medições estáticas com alternância

Em 13 (treze) dos 15 (quinze) pontos com alternância os valores percentuais de Rx\_Mode=1 estão bastante altos, acima de 90%, indicando a predominância da decodificação do sinal digital durante essas medições estáticas.

Os 2 (dois) pontos onde houve alternância com percentual de Rx\_Mode=1 menor que 90% foram o R5P6 e R6P1, conforme a Tabela 8 e o gráfico da Figura 20.

O ponto R6P1 estava mais próximo do transmissor, a 200 m deste, e teve decodificação do sinal digital (Rx\_Mode=1) em 63,66% dos quadros de áudio recebidos. Não houve registro de ocorrência que justificasse este baixo percentual. Essa medição durou 3,1 min, sendo que nos primeiros 80 segundos houve decodificação do sinal digital, e em seguida iniciou-se a alternância de Rx\_Mode=0/1.

O ponto R5P6 estava situado a 1,52 km da emissora e obteve decodificação do sinal digital (Rx\_Mode=1) em 15,85% dos quadros de áudio recebidos. O local de medição estava situado em rodovia com tráfego moderado a alto, perto de diversas linhas de transmissão elétrica de baixa, média e alta potência localizadas de 5 a 25 metros da unidade móvel. Durante todo o período dessa medição ocorreu a alternância de recepção digital e analógica, havendo a predominância da não decodificação do sinal digital, ou seja, de Rx\_Mode=0.

Analisando os 5 (cinco) pontos onde não houve decodificação do sinal digital conforme Tabela 7, a saber R1P6, R2P4, R2P6, R5P5 e R6P6, todos situados a mais de 1 km de distância do transmissor, tem-se dos registros de ocorrência que houve interferência de outras estações FM, conforme as gravações dos áudios correspondentes.

O gráfico da Figura 21 apresenta a intensidade do campo elétrico mediano classificado conforme os resultados de recepção do parâmetro Rx\_Mode em função da distância ao transmissor. O ponto mais distante com recepção digital ocorreu a 1,5 km (R4P6), localizado em uma estrada que se estende para o norte, na rota R4, conforme pode ser visto na Figura 19, no qual a intensidade de campo elétrico foi de 38 dBµV/m. A estimativa do limiar de

intensidade de campo elétrico com o receptor profissional não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com Rx\_Mode=1 e Rx\_Mode=0/1 em toda a extensão de medição.

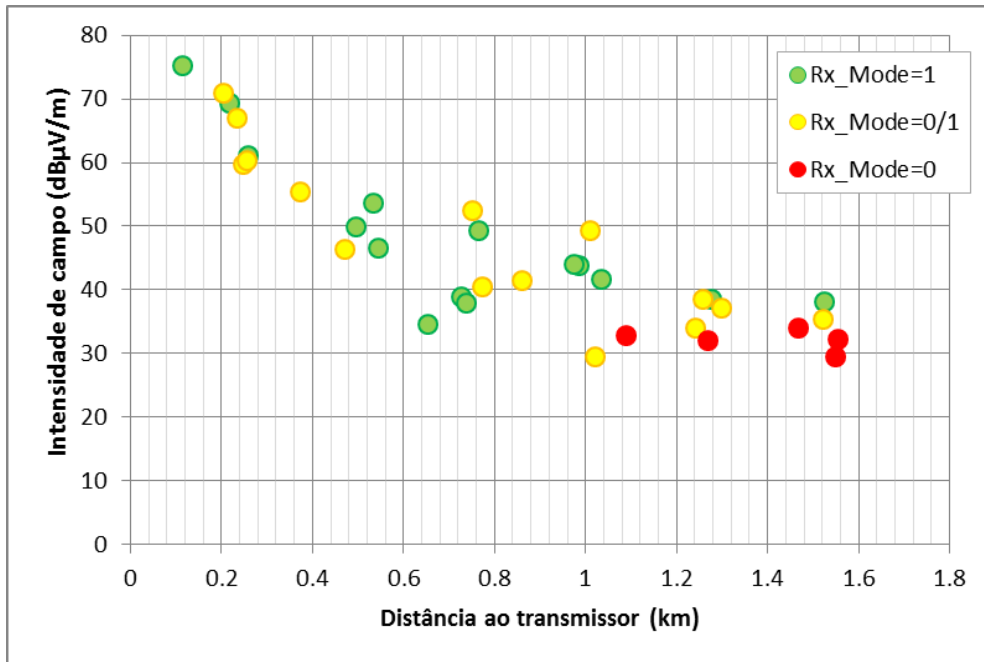


Figura 21 – Intensidade de campo digital em função da distância ao transmissor.

A relação sinal-ruído (SNR) mediana registrada pelo receptor profissional HD Radio nos testes, relacionada com a intensidade de campo elétrico, é apresentada na Figura 22. Nesse gráfico os pontos vermelhos indicam medições em que não houve decodificação do sinal digital, devido à severa degradação do sinal recebido.

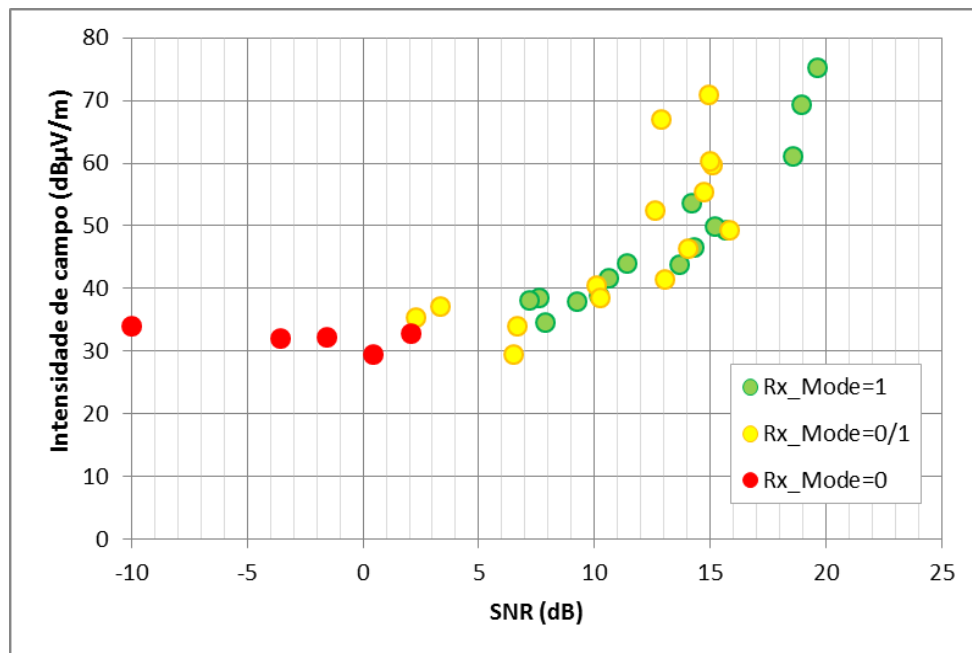


Figura 22 – Intensidade de campo digital versus SNR

A Figura 22 ilustra ainda que não há recepção do sinal digital com valores do parâmetro SNR abaixo de 2,1 dB. Acima de 7,2 dB nota-se o início dos pontos com decodificação do sinal digital, no entanto alternados com pontos onde a recepção digital foi instável. No intervalo de SNR entre 2,1 dB e 7,2 dB, houve recepção digital instável em quatro pontos. Devido à existência de poucos valores nesse intervalo, fica impossível definir um valor ou intervalo aceitável para a SNR no ambiente testado. No entanto, de acordo com a Recomendação ITU-R BS. 1114-7, o valor mínimo de SNR para recepção digital com o sistema HD Radio pode variar de 2,64 dB com taxa de erro de bloco de 0,16 em ambiente puramente gaussiano (melhor caso), até 9,94 dB com taxa de erro de bloco de 0,0202 em ambiente com desvanecimento (pior caso).

#### 4.2.2. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com recepção móvel

Na campanha de medição, a coleta dos dados é realizada a cada 100 ms. Nesse caso, nas medições em mobilidade, a quantidade de amostras coletadas em um determinado trecho depende do comprimento do mesmo, bem como da velocidade da viatura. Em se tratando de rotas de pequena extensão (tipicamente até 2 km), foi possível plotar todas as amostras coletadas diretamente no gráfico. Porém, ainda nesse caso, é preciso ter atenção ao se visualizar o comportamento da recepção no mapa, já que o número de amostras coletadas num pequeno trecho é enorme e pode haver sobreposição de várias amostras. Dessa forma, o gráfico resultante pode não apresentar com fidelidade os resultados obtidos nesse trecho, sendo necessário, para tal, recorrer às tabelas com resultados da recepção móvel.

Na avaliação da mobilidade foi empregada a contagem do parâmetro Rx\_Mode, o qual indica presença ou ausência do sinal digital. Os percentuais que serão apresentados correspondem ao total de ocorrências de Rx\_Mode=1 (presença de sinal digital) dentro de cada trecho avaliado.

O áudio gravado com o receptor profissional durante as medições em mobilidade permitiu observar o funcionamento do mecanismo blend, tanto na transição do sinal digital para o analógico quanto no retorno para o sinal digital. Considerando que o processamento digital insere um atraso no sinal transmitido, o áudio digital naturalmente fica defasado em relação ao analógico, com atraso correspondente ao tempo de processamento, podendo essa diferença ser amenizada atrasando-se o sinal analógico em relação ao digital no transmissor.

Entretanto, como no centro de transmissão não houve nenhum processo de atraso do áudio analógico em relação ao digital, essa diferença pôde ser notada pelo ouvinte, na transição do sinal digital para o analógico e vice-versa, tendo sido observado durante a campanha de medição que os áudios na recepção têm uma diferença de aproximadamente 8 segundos, com o áudio analógico sempre adiantado em relação ao digital, independentemente da existência de blends.

Para o ouvinte, quando o *blend* se inicia, a percepção é de que houve perda de parte da informação, devido ao fato de o áudio analógico estar adiantado em relação ao digital de aproximadamente 8 segundos; no retorno do sinal digital (final do *blend*), o ouvinte percebe a repetição de 8 segundos do áudio escutado anteriormente no formato analógico. Portanto, é necessário o tratamento adequado do tempo de atraso do áudio digital em relação ao analógico no centro de transmissão para que o efeito do *blend* não acarrete desconforto para o ouvinte.



O registro do parâmetro Rx\_Mode em mobilidade nas rotas radiais é apresentado na Figura 23, onde a coloração verde indica onde Rx\_Mode=1 e a vermelha indica onde Rx\_Mode=0.

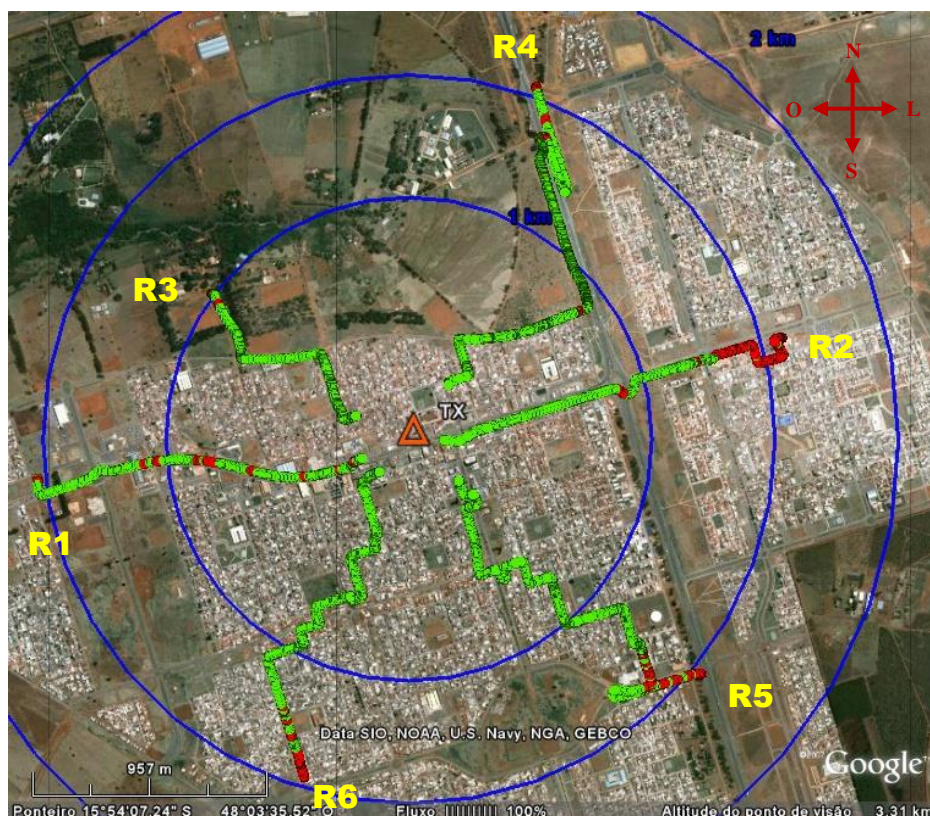


Figura 23 – Parâmetro Rx\_Mode registrado nas medições em mobilidade nas rotas radiais

A Tabela 9 apresenta os resultados gerais da recepção móvel em rotas radiais.

| Rota     | Distância total (km) | Rx_Mode=1 (%) |
|----------|----------------------|---------------|
| Radial 1 | 1,55                 | 81,13         |
| Radial 2 | 1,56                 | 56,22         |
| Radial 3 | 1,02                 | 96,14         |
| Radial 4 | 1,52                 | 94,56         |
| Radial 5 | 1,52                 | 85,88         |
| Radial 6 | 1,47                 | 89,14         |

Tabela 9 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais

Na Figura 23 nota-se que a rota R1 foi a rota que apresentou mais alternância na recepção digital com analógica ao longo do percurso, tendo no entanto apresentado cobertura digital até 1,5 km da emissora. Nas rotas R2, R5 e R6 houve decodificação de sinal digital na maior parte da medição, até a distância aproximada de 1,25 km da emissora. A rota R3 apresentou o maior percentual de decodificação do sinal digital nas rotas radiais em mobilidade, 96,14%, tendo se estendido apenas até 1 km devido à pequena ocupação urbana naquela direção. A rota R4 apresentou cobertura até 1,5 km.

Na Figura 24 é apresentado o registro do parâmetro Rx\_Mode nas rotas circulares.

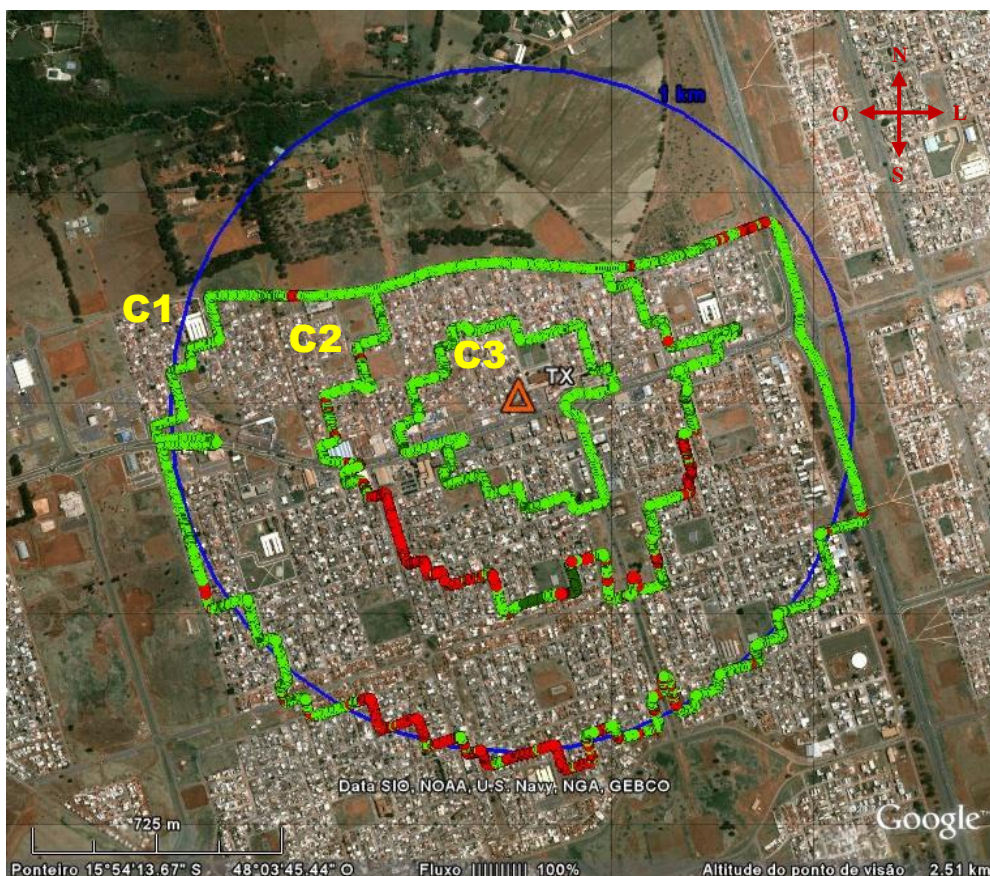


Figura 24 – Detalhe do registro Rx\_Mode nas rotas circulares

A Tabela 10 apresenta os resultados gerais da recepção móvel nas rotas circulares.

| Rota                         | Tipo/Local  | Maior distância do transmissor à rota (km) | Duração da medição (min) | Rx_Mode=1 (%) |
|------------------------------|-------------|--|--------------------------|---------------|
| Circular 1 (raio de 1 km)    | Residencial | 0,97                                       | 31,04                    | 76,45         |
| Circular 2 (raio de 0,5 km)  | Residencial | 0,53                                       | 24,32                    | 69,97         |
| Circular 3 (raio de 0,25 km) | Residencial | 0,25                                       | 12,20                    | 99,99         |

Tabela 10 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares

Conforme apresentado na Figura 24 e Figura 19, as rotas circulares foram percorridas em torno da emissora em raios de 0,25 km (C3), 0,5 km (C2) e 1 km (C1). A rota C3, mais próxima ao transmissor, teve decodificação do sinal digital em praticamente todo o percurso. A rota C2 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sudeste da emissora e em pontos esparsos. A rota C1 teve ausência de decodificação do sinal digital em um trecho na direção sudoeste, em outro trecho na direção sul da emissora e em pontos esparsos ao longo da rota.

Diante do exposto, com relação à recepção em mobilidade nas rotas radiais e circulares, os resultados dentro da área de 1 km não foram homogêneos, podendo-se considerar ainda que houve cobertura digital até as distâncias de 1,25 km (R2, R5 e R6) e 1,5 km (R1 e R4) da emissora.



### 4.3. Avaliação objetiva do áudio digital de receptores comerciais

#### 4.3.1. Avaliação do áudio digital de receptor comercial nas medições estáticas

A avaliação do áudio HD Radio com receptores comerciais é feita para verificação do áudio recebido pelo grande público. O mecanismo *blend* desses receptores evita o silenciamento do áudio quando não ocorre decodificação do sinal digital, comutando-o para recepção analógica. Sendo assim, essa avaliação é feita objetivamente por meio da verificação da ocorrência de *blends* no áudio gravado durante o intervalo de medição em cada ponto fixo, sendo a recepção do sinal classificada como “Recepção Digital” quando houve decodificação do sinal digital em todo o período de gravação, “Recepção Mista” quando houve ocorrências de *blends* e “Recepção Analógica” quando não houve decodificação do sinal digital.

Na avaliação dos 35 pontos fixos foram utilizados dois modelos de receptores comerciais, Sony (receptor de mesa) e JVC (automotivo). A Tabela 11 apresenta o percentual de medições fixas onde houve recepção digital, mista e analógica nesses receptores comerciais em toda a região da campanha de testes.

| Recepção                                | Toda região de testes |          |
|---|-----------------------|----------|
|   | SONY                  | JVC      |
| Digital                                 | 4 (12%)               | 19 (54%) |
| Mista (Alternância com áudio analógico) | 19 (54%)              | 13 (37%) |
| Analógica                               | 12 (34%)              | 3 (9%)   |
| <i>Total de medições fixas</i>          | 35 (100%)             |          |

Tabela 11 – Medições fixas com receptores comerciais

Os resultados mostram que os dois modelos de receptores comerciais tiveram desempenhos diferentes. Pequenas diferenças na montagem do setup de medição de cada receptor, tais como tipo e local da instalação da antena de recepção, influenciam no nível de potência recebida internamente em cada receptor, impactando no desempenho de cada aparelho. Além disso, na medição em baixa potência, a intensidade de campo decai rapidamente em curta distância em relação ao transmissor, podendo atingir valores superiores a 40 dB de diferença desde a emissora até a distância de 1 km, conforme pode ser visto nos gráficos das Figura 25 e Figura 26. Essas figuras apresentam estes resultados considerando a localização dos pontos de medição e a intensidade de campo elétrico digital mediano.



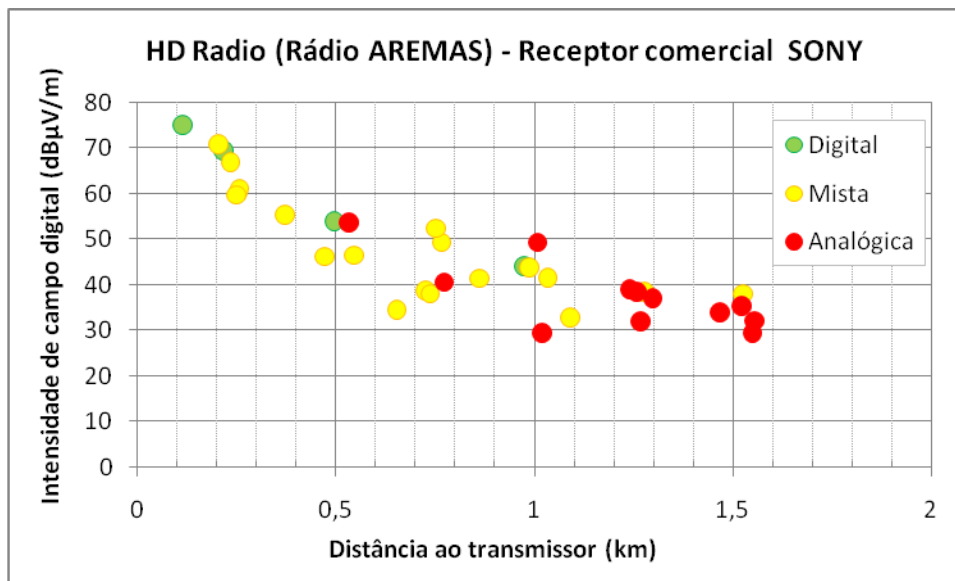


Figura 25 – Áudio SONY das medições fixas.

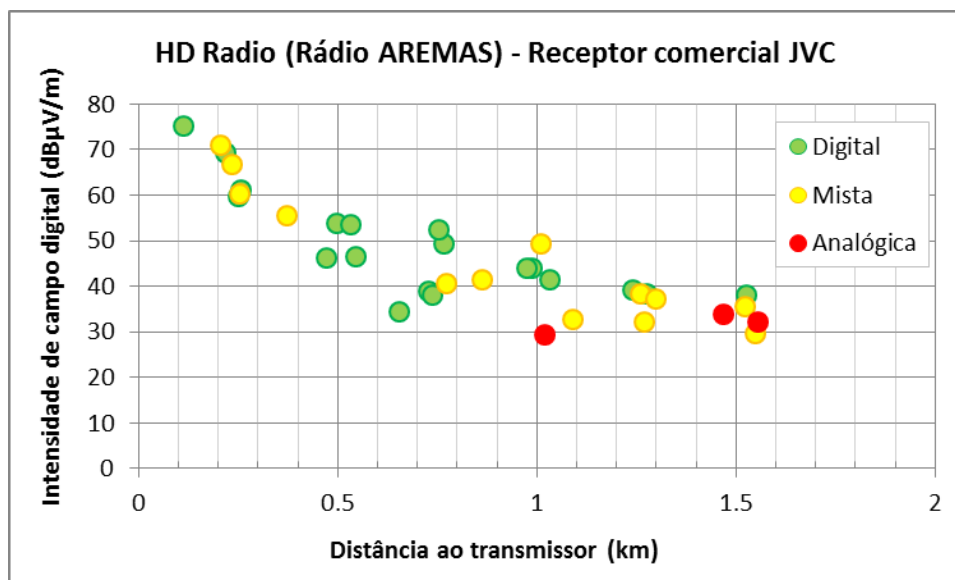


Figura 26 – Áudio JVC das medições fixas.

Houve registro de recepção “Digital” e “Mista” nos dois receptores tanto em pontos próximos da emissora quanto no ponto de medição mais distante desta. A recepção do tipo “Analógica” (pontos vermelhos no gráfico) foi registrada pelo receptor SONY já a partir de 0,5 km. No receptor JVC, foi registrada primeiro em 1 km, e depois em pontos localizados a aproximadamente 1,5 km da emissora.

Na Figura 26 referente ao receptor JVC, ressalta-se que os quatro pontos com recepção mista (amarelo) localizados até 0,5 km (R6P1, R1P1, R3P1 e R2P2, nas respectivas distâncias de 0,2 km, 0,23 km, 0,25 km e 0,37 km da emissora) também tiveram como resultado do receptor profissional a situação de alternância de recepção digital com analógica.

A estimativa do limiar de intensidade de campo elétrico com receptores digitais comerciais não pôde ser realizada devido à ocorrência de muitos pontos com recepção “Digital” e “Mista” em toda a extensão de medição.

#### 4.4. Resultados da Recepção Analógica FM

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

A cobertura do sinal analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS foi estimada para permitir a comparação com a cobertura do sinal digital. Essa estimativa é feita com base na qualidade do áudio analógico, o qual é avaliado subjetivamente seguindo as orientações da Recomendação UIT-R BS 1284 [7]. Foram utilizadas as gravações de áudio analógico feitas em pontos fixos de medições, de dois receptores comerciais, NKS e TOSHIBA. Esses áudios foram avaliados por um grupo de pessoas, que atribuíram notas variando de 1 a 5, conforme a classificação da Recomendação UIT-R BS 1284 (Tabela 12). A partir das notas atribuídas para cada áudio referente a cada receptor, obteve-se a média aritmética da qualidade do áudio tanto para o NKS como para o TOSHIBA. Para determinar um valor único para a qualidade do áudio analógico em cada ponto, foi realizada a média aritmética dos valores de cada receptor. Em seguida, os valores de qualidade calculados foram utilizados na análise da área de cobertura analógica. A Tabela II.4 do item II do Apêndice apresenta as médias das notas atribuídas aos áudios referentes aos receptores comerciais. É importante ressaltar que não foram realizadas medições móveis do áudio analógico FM.

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

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

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

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

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

A classificação da qualidade do áudio analógico FM diurno obtido em cada ponto fixo a partir de medições da Rádio Comunitária AREMAS é apresentada na Figura 27, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, e na Figura 28 os mesmos pontos são apresentados no mapa. A qualidade do áudio em cada ponto fixo é representada da seguinte

forma: os pontos em verde representam “Recepção Boa”, em amarelo, “Recepção Pobre” e em vermelho, “Recepção Ruim”.

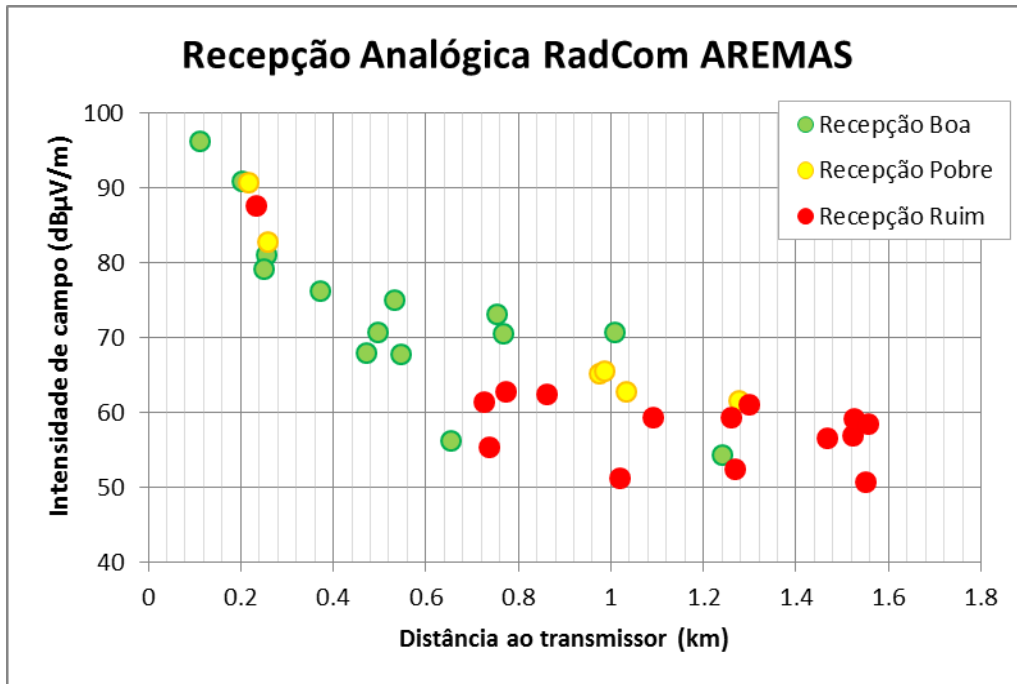


Figura 27 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Comunitária AREMAS

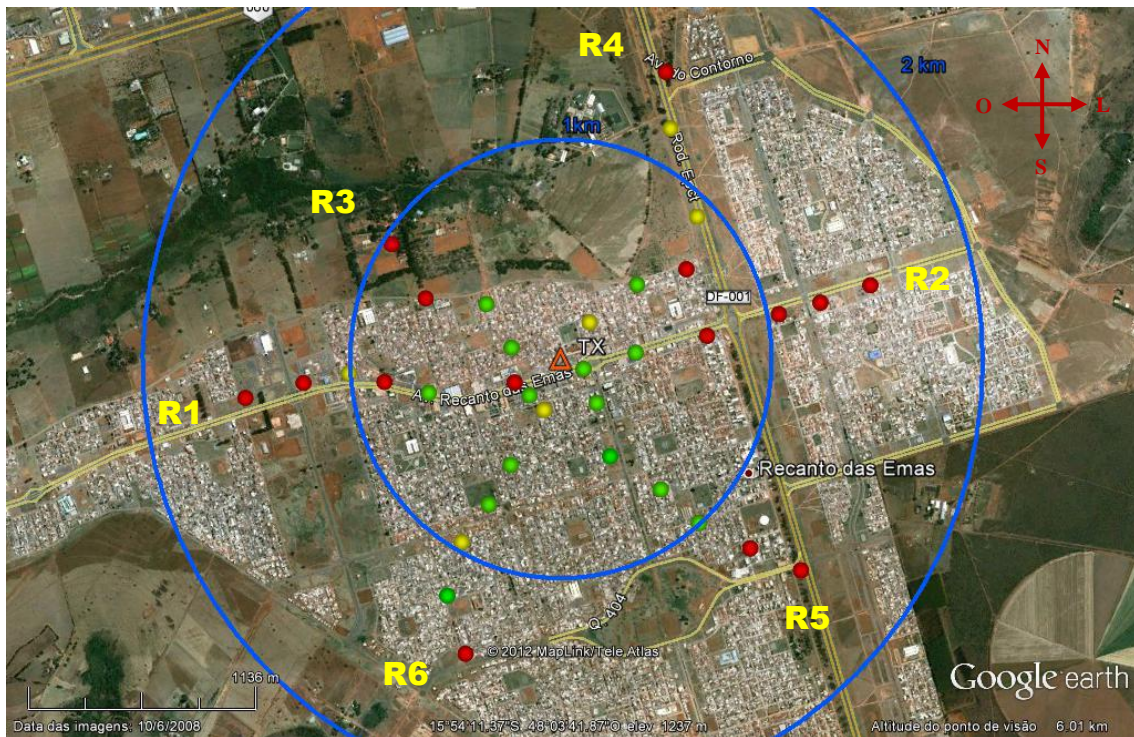


Figura 28 – Recepção estática do áudio analógico no mapa



Por meio do gráfico da Figura 27 e do mapa da Figura 28, é possível verificar que, até a distância de 1 km em relação ao transmissor, a recepção analógica foi avaliada na maioria dos pontos como “Recepção Boa”, e nos outros como “Recepção Pobre” e “Recepção Ruim”. Na rota R6 (sudoeste) o ponto R6P5, localizado a 1,24 km da emissora, teve “Recepção Boa”, porém antes dele o ponto R6P4 (0,98 km da emissora) teve “Recepção Pobre”. Na rota R5 (sudeste) houve cobertura analógica até o R5P4, a 1 km da emissora. Para distâncias superiores a 1 km, ocorreu predominantemente a “Recepção Ruim”. Assim, a distância da cobertura analógica pode ser estimada como atingindo 1 km da emissora.

Observa-se no gráfico da Figura 27 que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico está aproximadamente em 65 dB $\mu$ V/m. Este valor está próximo do valor de 66 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro e UIT para as áreas urbanas [8] [9].

O áudio analógico foi registrado em 35 locais e a distribuição das notas está na Tabela 14.

| Recepção Analógica             | Toda região de testes |
|--------------------------------|-----------------------|
|                                | Pontos                |
| Boa                            | 14 (40%)              |
| Pobre                          | 6 (17%)               |
| Ruim                           | 15 (43%)              |
| <i>Total de medições fixas</i> | 35 (100%)             |

Tabela 14 – Resultados do FM analógico em recepção estática

Dentre os 15 (quinze) pontos que receberam nota da recepção analógica como “Recepção Ruim”, em 12 (doze) deles foi verificada a interferência de outras estações FM na gravação dos áudios analógicos, conforme registro de ocorrências. Os 12 (doze) pontos de medição são indicados na Figura 29.

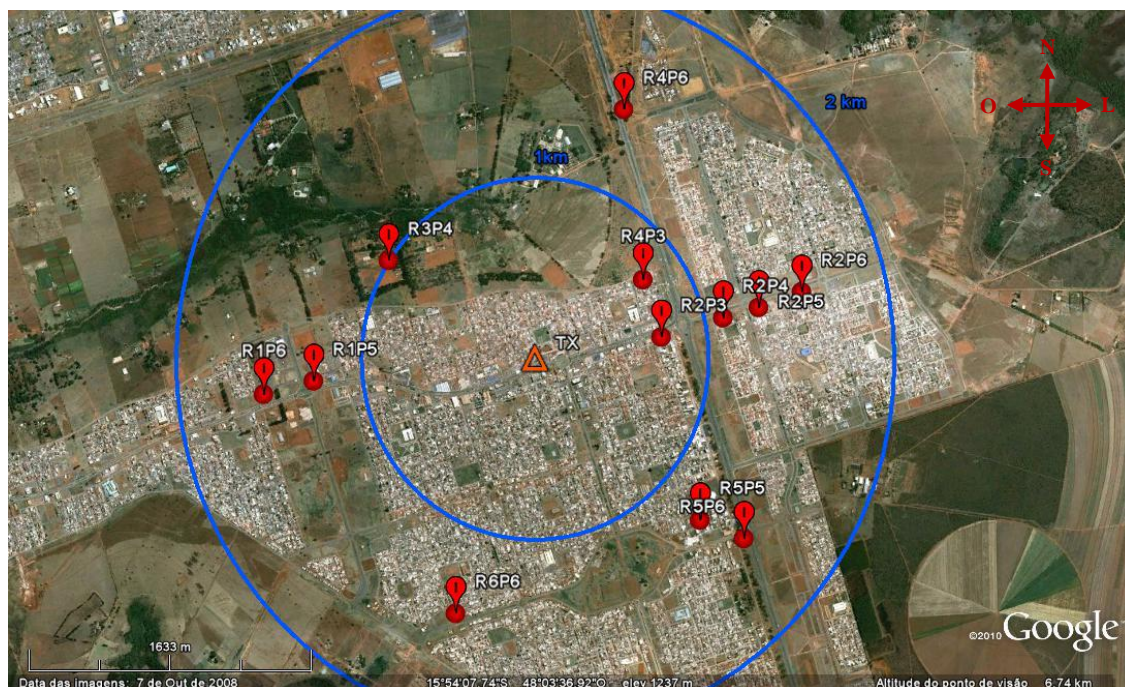


Figura 29-Pontos de medição com registro de interferência de outras estações FM

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

Os resultados referentes à qualidade do áudio analógico (sistema FM) e à recepção digital profissional (sistema HD Radio) podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A Tabela 15 apresenta os resultados em cada ponto fixo.

| Pontos              | Distância ao transmissor (km) | RX Mode | Qualidade de áudio FM |
|---------------------|-------------------------------|---------|-----------------------|
| Ponto de referência | 0,22                          | 1       | 2,9                   |
| R1P1                | 0,23                          | 0/1     | 1,6                   |
| R1P2                | 0,65                          | 1       | 3                     |
| R1P3                | 0,86                          | 0/1     | 1,5                   |
| R1P4                | 1,03                          | 1       | 2,4                   |
| R1P5                | 1,26                          | 0/1     | 1,8                   |
| R1P6                | 1,55                          | 0       | 1,1                   |
| R2P1                | 0,11                          | 1       | 3,9                   |
| R2P2                | 0,37                          | 0/1     | 3,7                   |
| R2P3                | 0,73                          | 1       | 1,5                   |
| R2P4                | 1,09                          | 0       | 1,1                   |
| R2P5                | 1,30                          | 0/1     | 1                     |
| R2P6                | 1,56                          | 0       | 1                     |
| R3P1                | 0,25                          | 0/1     | 4,2                   |
| R3P2                | 0,47                          | 0/1     | 3,1                   |
| R3P3                | 0,74                          | 1       | 1,3                   |
| R3P4                | 1,02                          | 0/1     | 1,2                   |
| R4P1                | 0,26                          | 1       | 2,6                   |
| R4P2                | 0,55                          | 1       | 3,3                   |
| R4P3                | 0,77                          | 0/1     | 2                     |
| R4P4                | 0,99                          | 1       | 2,3                   |
| R4P5                | 1,28                          | 1       | 2,7                   |
| R4P6                | 1,53                          | 1       | 1,1                   |
| R5P1                | 0,25                          | 0/1     | 3                     |
| R5P2                | 0,50                          | 1       | 3,3                   |
| R5P3                | 0,77                          | 1       | 4                     |
| R5P4                | 1,01                          | 0/1     | 3,4                   |
| R5P5                | 1,27                          | 0       | 1,1                   |
| R5P6                | 1,52                          | 0/1     | 1,3                   |
| R6P1                | 0,20                          | 0/1     | 4                     |
| R6P2                | 0,53                          | 1       | 3,8                   |
| R6P3                | 0,75                          | 0/1     | 3,9                   |
| R6P4                | 0,98                          | 1       | 2,7                   |
| R6P5                | 1,24                          | 0/1     | 3,9                   |
| R6P6                | 1,47                          | 0       | 1                     |

Tabela 15 – Resultados comparativos entre FM e HD Radio na recepção estática.

Os resultados mostram que dentro do total de pontos fixos medidos (35 pontos fixos) foram contabilizados 15 pontos com decodificação do sinal digital e 14 pontos com áudio analógico com qualidade boa (não sendo necessariamente os mesmos pontos). Ao se considerar a região interna do círculo de raio 1 km (21 pontos fixos), verifica-se atendimento similar dos serviços digital e analógico, pois nessa região foi obtido um total de 12 pontos com decodificação do sinal digital e 12 pontos com áudio analógico com qualidade de ‘Recepção Boa’ (não sendo necessariamente os mesmos pontos).

O parâmetro Rx\_Mode do sinal digital e o tipo de recepção do sinal analógico podem ser comparados para fins de verificação de atendimento nos pontos fixos e extensão de cobertura. A

Tabela 14 apresenta os resultados em cada ponto fixo e a Tabela 15 mostra o resumo dos resultados, na qual, para fins de comparação com o digital, as classificações do áudio analógico FM como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim” são agrupadas.

Os valores da Tabela 15 são apresentados na Figura 30. Conforme a classificação definida na Tabela 13, o limiar para “Recepção Boa” do áudio analógico corresponde à nota 3. Nessa avaliação, quando o Rx\_Mode foi igual a 1, atribuiu-se a nota máxima para a qualidade do áudio digital, devido às características intrínsecas do sistema digital HD Radio com a configuração utilizada. Apenas para fins de visualização dos pontos onde Rx\_Mode foi 0/1, esses estão indicados como uma nota “média” igual a 2,5 no áudio digital.

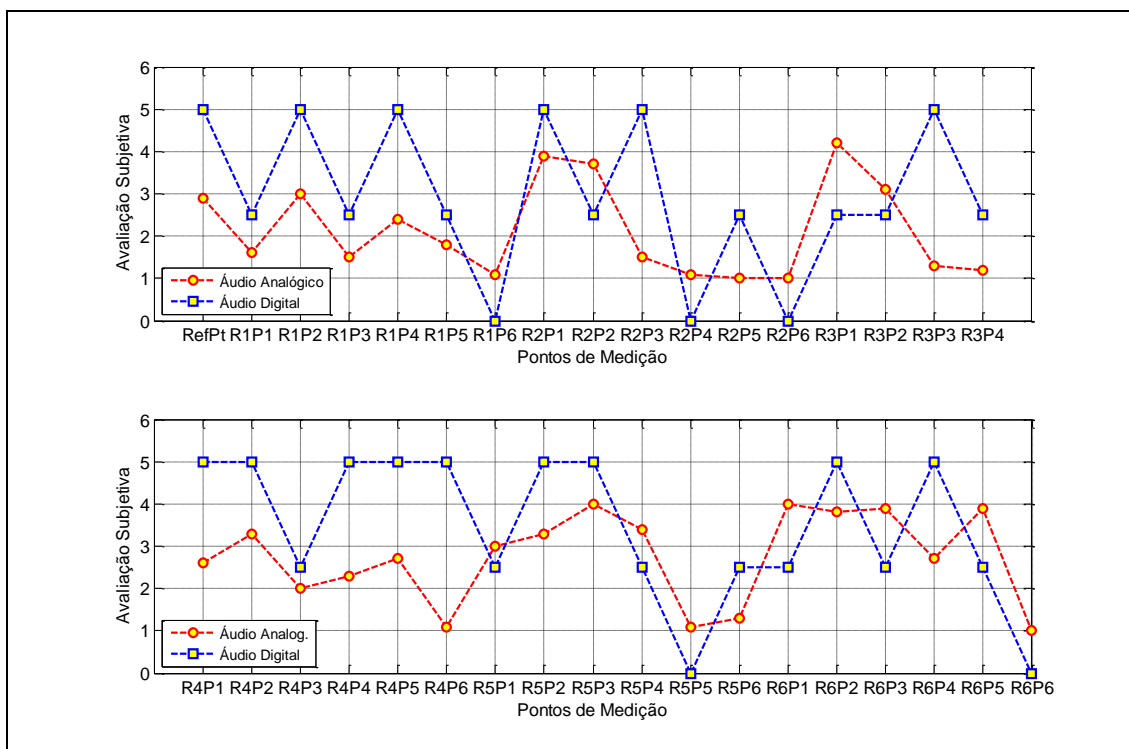


Figura 30 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital

A Tabela 16 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 15, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à decodificação do áudio digital e à qualidade de recepção do áudio analógico correspondente:

- pontos onde houve áudio digital e o analógico estava bom;
- pontos onde houve áudio digital, porém o áudio analógico estava pobre e ruim;
- pontos onde não houve áudio digital e onde Rx\_Mode=0/1, porém o áudio analógico estava bom;
- pontos onde não houve áudio digital e onde Rx\_Mode=0/1, e o áudio analógico estava pobre e ruim.

|                           |                               | Recepção do Áudio Analógico |              |           |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|
|                           |                               | Boa                         | Pobre e Ruim | Totais    |
| Recepção do Áudio Digital | Sim (Rx_Mode=1)               | 6 (17%)                     | 9 (26%)      | 15 (43%)  |
|                           | Não (Rx_Mode=0) e Rx_Mode=0/1 | 8 (23%)                     | 12 (34%)     | 20 (57%)  |
|                           | Totais                        | 14 (40%)                    | 21 (60%)     | 35 (100%) |

Tabela 16 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática

Da Tabela 16 verifica-se que em 6 locais (17%) houve decodificação do sinal digital e recepção analógica com qualidade classificada como “Recepção Boa” simultaneamente. Em outros 9 locais (26%) houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Recepção Pobre” ou “Recepção Ruim”.

# APÊNDICE

## I. Sistema HD Radio

### I.1. Histórico e padronização

O sistema HD Radio, marca comercial pertencente à empresa norte-americana *iBiquity Digital Corporation*, teve seu desenvolvimento iniciado na década de 1990 e até a data atual é a única tecnologia licenciada pela *Federal Communications Commission* (FCC) para realizar a radiodifusão sonora digital nas faixas de MF e VHF nos EUA.

À época de seu desenvolvimento, a tecnologia empregada no HD Radio se configurava como a principal alternativa às tecnologias correntes para a implantação da radiodifusão sonora digital no país que oferecesse qualidade superior de áudio sem a necessidade de alocação de uma faixa separada de espectro de frequências para sua alocação. Esta realização se dá pelo HD Radio ter sido o pioneiro na geração de um sistema híbrido<sup>1</sup> que implementa o chamado *in-band on-channel* (IBOC) e permite a transmissão dos sinais analógico e digital a receptores fixos, portáteis e móveis dentro da mesma canalização destinada à emissora radiodifusora. A transmissão deste sinal digital agregado ocorre pela adição de subportadoras nas bandas laterais ao sinal analógico que devem obedecer a máscaras de transmissão estabelecidas pelo FCC que limitam a potência digital transmitida relativa ao sinal analógico e aos sinais em canais adjacentes [2] [10].

O *National Radio Systems Committee* (NRSC) é a organização responsável pelo desenvolvimento de padrões técnicos para a indústria de radiodifusão sonora nos EUA. A norma atual, emitida em 2005 e com sua mais recente revisão de setembro de 2011 [1], prevê a implantação do sistema de radiodifusão sonora digital em: canais de radiodifusão MW (540 a 1700 kHz) utilizando largura de banda de aproximadamente 10 kHz e 20 kHz para o sinal digital, de acordo com a configuração escolhida. Com essas configurações é possível utilizar larguras de banda de áudio analógico de 5, 8 e 9,4 kHz [11]; canais em VHF (88,1 a 107,9 MHz) utilizando largura de banda de aproximadamente 200 kHz e 400 kHz para o sinal digital, de acordo com a configuração escolhida. O sinal digital transmitido em MW no modo híbrido apresenta-se dividido em duas bandas laterais (superior e inferior em relação ao sinal analógico). A configuração denominada “padrão” utiliza aproximadamente 10 kHz de largura de banda em cada lateral, totalizando aproximadamente 20 kHz para a transmissão do sinal digital. Além dessa configuração, o sistema permite reduzir as bandas laterais para aproximadamente 5 kHz, totalizando aproximadamente 10 kHz para a transmissão do sinal digital. A taxa de dados alcançada no canal lógico destinado ao áudio e dados atinge 36,4 kbit/s, distribuídos em 3 (três) canais lógicos [4].

O sinal digital transmitido em VHF no modo híbrido apresenta-se dividido em duas bandas laterais (superior e inferior em relação ao sinal analógico), possibilitando duas configurações: híbrida e híbrida estendida (com uma, duas ou quatro partições). Neste caso, a taxa de dados nos canais lógicos destinada ao áudio e dados depende da configuração escolhida, variando de aproximadamente 99,4 kbit/s até 148 kbit/s.

---

<sup>1</sup> Alternativamente à versão híbrida, existe o sistema *all-digital*, que não contém componente analógica modulada.



Fontes de áudio digitais devem ser inseridas nos chamados serviços de programação para então serem encapsuladas e multiplexadas, fases que antecedem a codificação e a transmissão do sinal digital. A norma vigente não especifica mecanismos de codificação e de compressão das fontes de áudio, mas a *iBiquity* desenvolveu o algoritmo *HD Radio Audio Compression* (HDC) [12], baseado no codificador MPEG-4 HE-AAC, para ser utilizado nos sistemas MW e VHF de HD Radio [13].

A disseminação do padrão pelo mundo está se dando em diferentes estágios em vários países. Em abril de 2012 foi anunciado o lançamento da primeira emissora HD Radio no México, na capital federal, como a primeira de uma série de outras emissoras programadas para adoção no país [14]. Além desse, diversos outros países operam de forma limitada, como República Dominicana, Suíça, Ucrânia e Indonésia. Países como Canadá, Argentina e China estão realizando testes de campo com o padrão [15].

Um grande número de testes de campo com o sistema HD Radio, a fim de avaliar o desempenho do sistema em variadas condições, foi realizado nos EUA. O NRSC criou um fórum para todos os interessados em radiodifusão digital terrestre avaliarem o sistema e proverem informações ao FCC. Em 1999 e 2000, o NRSC desenvolveu seu primeiro conjunto de guias de teste, que foram desenvolvidos para validação do sistema HD Radio, incluindo ensaios de laboratório e de campo. Em 2001, a *iBiquity* completou um extensivo programa de testes da tecnologia nas faixas de AM e FM, seguindo os procedimentos de testes definidos pelo NRSC. Em 2002, o NRSC completou a avaliação do sistema e recomendou à FCC autorizar a tecnologia para operação.

Entre os testes realizados pela *iBiquity* estão incluídos a avaliação da transmissão na faixa de AM no período noturno [16] e o estudo da compatibilidade com o serviço analógico [17]. Nesses documentos é relatado que o sinal digital não foi capaz de cobrir todas as áreas correntemente servidas pelo serviço analógico, mas atendeu às áreas primárias das estações avaliadas. Quanto à compatibilidade, foram detectados impactos mínimos em estações transmissoras regionais e nenhum impacto foi detectado em estações locais. Em sequência a estes, a *iBiquity* realizou estudos na transmissão *all-digital* nas faixas de AM [18] e FM [19]. Ambos os relatórios atestaram o desempenho aprimorado do sistema nessas condições. Foram realizadas pela *iBiquity*, em [20] [21], medições para estudo de desempenho do sistema na faixa de FM, no modo híbrido, realizados nas cidades de São Francisco e Las Vegas, nos Estados Unidos. Os resultados apresentados demonstraram qualidade de recepção do sinal digital superior à experimentada pelo serviço analógico e, além disso, nas localidades onde ocorreu ausência de sinal digital, a comutação automática (*blend*) para recepção do sinal analógico ocorreu de forma satisfatória. No mesmo período, testes de campo foram realizados pela *National Public Radio* (NPR) [22], com o objetivo de avaliar o desempenho da recepção móvel do padrão, na faixa de FM. Os testes foram conduzidos em quatro cidades americanas e os resultados são exibidos graficamente, ilustrando a recepção do sinal e o campo elétrico recebido ao longo das rotas. A partir desses resultados foram traçados contornos da área de recepção do sinal acima de 95% do tempo. Inferiu-se então que sua área de serviço recai normalmente sobre a área de serviço de 60 a 70 dB $\mu$ V/m de uma estação FM típica. Um estudo da cobertura do serviço digital na faixa de FM foi conduzido nos Estados Unidos [23], onde foi realizada a avaliação do campo elétrico recebido em função da qualidade da recepção do sinal digital, também com a finalidade de definir áreas de cobertura para taxas de 90 e 97% de serviço.

## I.2. Características técnicas do Sistema HD Radio

O IBOC (*In-Band On-Channel*) é uma tecnologia de rádio digital conhecida internacionalmente como Sistema Digital C [24]. Esta tecnologia, desenvolvida pela *iBiquity Digital Corporation*, é apropriada para a introdução da Radiodifusão Sonora Digital (DSB-Digital Sound Broadcasting) porque permite que estações FM existentes transmitam o mesmo conteúdo de programação nos sinais analógico e digital sem a necessidade de novas alocações de espectro para o sinal digital. O sinal digital é posicionado dentro da máscara espectral analógica FM.

O sinal digital IBOC ocupa as bandas laterais inferior e superior da máscara de emissão de radiofrequência (RF) da transmissão analógica convencional em FM. O conteúdo transmitido na banda superior é o mesmo transmitido na banda inferior de modo que a perda de informação em uma das bandas laterais, causadas por exemplo por interferência de canal adjacente, não afete a performance de recepção do sinal IBOC, caracterizando uma diversidade de frequência. Além da diversidade de frequência o sistema apresenta também diversidade de atraso. Assim o receptor escolhe qual palavra código recebida da banda lateral inferior e superior possui a menor probabilidade de conter erros.

Esta tecnologia híbrida transmite simultaneamente o sinal analógico e sinal digital, com o mesmo conteúdo de áudio. Devido aos atrasos de processamento do sinal digital do sistema HD Radio, recomenda-se atrasar o áudio analógico para haver sincronização (alinhamento no tempo) com o áudio digital. Esse alinhamento no tempo é necessário para atender às transições (*blends*) do receptor HD Radio. Os níveis de áudio entre os dois *streams* de áudio também devem ser ajustados para que ocorra uma transição suave durante o *blend* do receptor. Quando o atraso e o ajuste do nível do áudio são feitos adequadamente, o *blend* entre os *streams* digital e analógico é imperceptível.

Como exemplos de aplicações, o IBOC pode transmitir serviços de áudio e serviços de dados, permitindo desde informações básicas relativas à programação (título da música, nome do artista), informações da estação, até a visualização de texto e o oferecimento de serviços adicionais que são previstos para apresentar informações de trânsito, previsão do tempo, resultados esportivos, bolsa de valores e comerciais.

### I.2.1. Modos de operação do sistema HD Radio na faixa FM

O sistema IBOC oferece três modos de operação: Modo Híbrido (*Hybrid Mode*), Modo Híbrido Estendido (*Extended Hybrid Mode*) e Modo Todo Digital (*All Digital Mode*). Os dois primeiros modos são adequados para o período de transição no qual o sistema analógico permanece em operação, pois contêm o sinal analógico FM, enquanto que no terceiro modo somente existe o sinal digital. Os três modos estão de acordo com a máscara de emissão espectral do serviço em FM da FCC. Em cada modo o espectro é dividido em diversas bandas laterais que representam os vários grupos de subportadoras.

O sinal digital é transmitido nas bandas laterais principais primárias (PM-*Primary Main*) nos dois lados do sinal analógico no Modo Híbrido. O nível de potência em cada banda lateral é inferior à potência total do sinal analógico FM. Este pode ser monofônico ou estéreo e pode incluir canais auxiliares de comunicação (*Subsidiary Communications Authorization, SCA*).

No Modo Híbrido Estendido a largura de faixa das bandas laterais híbridas pode ser estendida na direção do sinal analógico FM para aumentar a capacidade de transmissão (kbps) do sinal

digital. Este espectro adicional, alocado no limite interno das bandas primárias principais, é denominado banda lateral primária estendida (*PX-Primary Extended*).

O Modo Todo Digital oferece a característica mais diferenciada do sistema, na qual o sinal analógico é removido e a largura de faixa das bandas laterais digitais primárias é totalmente estendida, conforme o modo Híbrido Estendido. Além disso, a forma de onda permite bandas laterais secundárias de baixa potência que são transmitidas no espectro liberado pelo sinal analógico FM.

### **I.2.2. Diversidades no tempo e na frequência**

O sistema HD Radio apresenta diversidade de frequência e diversidade temporal a fim tornar o sistema mais robusto em relação à ação deletéria do canal de propagação RF.

A diversidade de frequência é feita transmitindo-se a mesma informação nas bandas laterais superior e inferior. A diversidade de frequência é utilizada a fim de se mitigar os efeitos do canal de desvanecimento plano. O princípio da diversidade de frequência para combater os efeitos deletérios do canal de desvanecimento plano considera que os sinais recebidos separados em frequência com uma distância maior que a banda de coerência do canal são decorrelatados. Assim a probabilidade de que ambos os sinais recebidos estejam fortemente atenuados no mesmo instante de tempo é menor que a probabilidade de que apenas um sinal de uma determinada banda de frequência esteja fortemente atenuado.

Já a diversidade temporal é utilizada para mitigar os efeitos da variação temporal do canal. Aqui dois sinais idênticos são transmitidos em diferentes instantes de tempo. Quando o receptor está em movimento (por exemplo, um veículo), os sinais recebidos nos dois instantes de tempo estarão decorrelatados quando a diferença de tempo corresponder a no mínimo metade do comprimento de onda de RF. A distância requerida depende da velocidade do receptor de modo que a diversidade temporal não é efetiva no combate a canal de desvanecimento plano quando o receptor está parado.

No sistema transmissor, antes da modulação dos dados das subportadoras pelos bits das palavras códigos, uma réplica de cada palavra código a ser transmitida redundantemente é gerada e atrasada por uma certa quantidade de tempo que depende da velocidade esperada do receptor, porém um atraso entre 10ms a 500ms deve ser adequado em muitas circunstâncias. A réplica atrasada das palavras códigos é utilizada para modular as subportadoras localizadas na banda lateral superior (inferior) enquanto que as palavras códigos originais são utilizada para modular as subportadoras localizadas na banda lateral inferior (superior). Como resultado o sinal composto pelas bandas laterais redundantes superior e inferior que correspondem ao sinal de uma palavra código específica possui diversidade temporal e em frequência.

No sistema receptor, o sinal recebido nas bandas laterais superior e inferior distorcido pelo canal e somado a ruído e interferência é demodulado para gerar a estimativa da palavra código transmitida. A demodulação da banda lateral superior é independente da demodulação da banda lateral inferior (exceto pelos intervalos entre os sinais que são conhecidos), sendo geradas duas estimativas da palavra código. Quando o transmissor utiliza uma réplica atrasada da palavra código para modular a banda lateral superior ou inferior, ou seja, utiliza diversidade temporal, a implementação do sistema de recepção inclui um atraso da mesma quantidade de tempo depois da demodulação da banda lateral superior ou inferior. Assim as duas estimativas da palavra

código correspondente à mesma palavra código transmitida (e conseqüentemente às mesmas fontes de bits de informação) devem ser comparadas no mesmo instante de tempo. O sistema receptor então: 1-combina as duas estimativas de palavras códigos para formar uma única estimativa que é então decodificada, ou 2-seleciona a estimativa de palavra código com menor probabilidade de possuir erros e a utiliza na decodificação.

A determinação do par “palavra código recebido-palavra código decodificada” é feita com base em uma palavra código por vez e não requer conhecimento prévio de qual palavra código (correspondente ao sinal na banda lateral superior ou inferior) que possui maior probabilidade de ser perturbado por ruído, interferência ou distorção do canal de propagação RF.

### **I.2.3. Mecanismo *Blend***

Nos sistemas de transmissão Híbrido e Híbrido Estendido, além das diversidades em frequência e temporal aplicadas no sinal digital HD Radio, o sistema também utilizam um método chamado de *blending* para mitigar os efeitos de interrupções intermitentes na recepção do sinal digital. Como no sistema HD Radio o sinal analógico e o digital transmitem a mesma informação, esse método utiliza-se da informação transmitida no sinal analógico quando há uma interrupção na recepção do sinal digital, realizando comutação entre os dois sinais.

A métrica utilizada pelo sistema para determinar se um sinal digital está interrompido e chavear para o modo analógico é a MER (*Modulation Error Ratio*) das subportadoras de referência. Um valor típico de MER de 11 dB na subportadora de dados e de referência é considerado para que o sistema entre no modo de *blend* [25].

### **I.2.4. Limites de emissões espectrais FM**

Os requisitos para os limites de emissões espectrais nas transmissões Híbridas e na transmissão Digital Total são apresentados neste item [3].

Considera-se que zero (0) dBc é definido como a potência total da portadora analógica FM. Nas transmissões Híbridas o requisito é que o ruído e os sinais espúrios originados de todas as fontes, incluindo ruído de fase e produtos de intermodulação, devem atender aos limites de densidade espectral de potência apresentados na Figura I.1 e na Tabela I.1. Esses limites são aplicáveis para todos os níveis de potência permissíveis das bandas laterais superior e inferior.

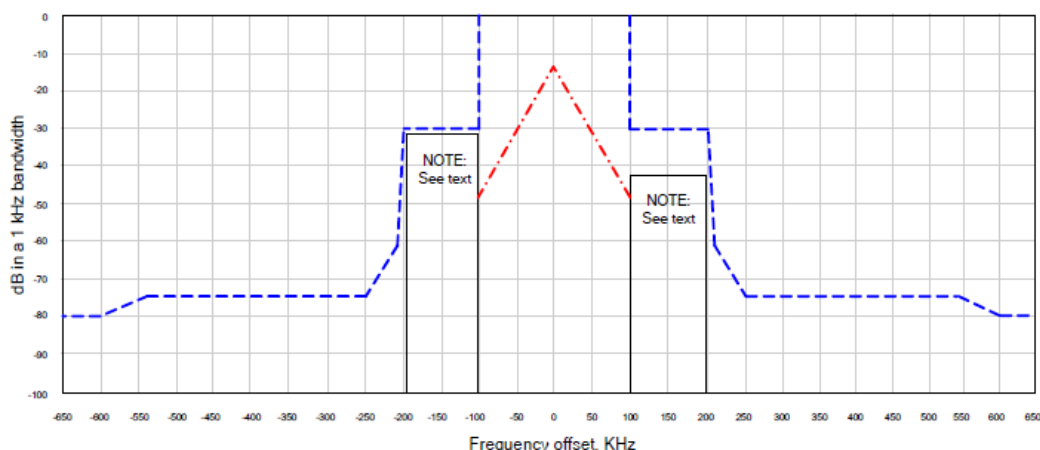


Figura I.1-Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM

| Frequency Offset Relative to Carrier | Level, dBc/kHz  |
|--------------------------------------|---|
| 100 – 200 kHz offset                 | -30.0   |
| 200 – 207.5 kHz offset               | $[-30.0 - ( \text{frequency in kHz}  - 200 \text{ kHz}) \cdot 4.187]$   |
| 207.5 – 250 kHz offset               | $[-61.4 - ( \text{frequency in kHz}  - 207.5 \text{ kHz}) \cdot 0.306]$ |
| 250 – 540 kHz offset                 | -74.4   |
| 540 – 600 kHz offset                 | $[-74.4 - ( \text{frequency in kHz}  - 540 \text{ kHz}) \cdot 0.093]$   |
| >600 kHz offset                      | -80.0   |

Tabela I.1-Limites de emissão do modo Híbrido HD Radio FM (\*)

(\*) Os requisitos de limites e emissão de ruído e espúrios refletem critérios aceitáveis de desempenho. Em certas circunstâncias, medidas adicionais (filtragem, supressão de emissão ativa) podem ser necessárias para reduzir as emissões espectrais dentro dos limites com o objetivo de reduzir interferências entre estações radiodifusoras.

As bandas laterais superiores e inferiores podem diferir em até 10 dB (bandas assimétricas). Normalmente os níveis de potência das bandas laterais são iguais, porém em determinados cenários as bandas assimétricas podem ser úteis para mitigação de interferência de canal adjacente. A Figura I.1 apresenta a diferença de 10 dB apenas como ilustração. Mesmo que elas tenham níveis diferentes de potência, o limite das emissões espectrais para as duas bandas é o mesmo.

Na transmissão do modo Todo Digital os requisitos também envolvem o ruído e os sinais espúrios. Os limites de densidade espectral de potência devem estar conforme a Figura I.2 e a Tabela I.2.

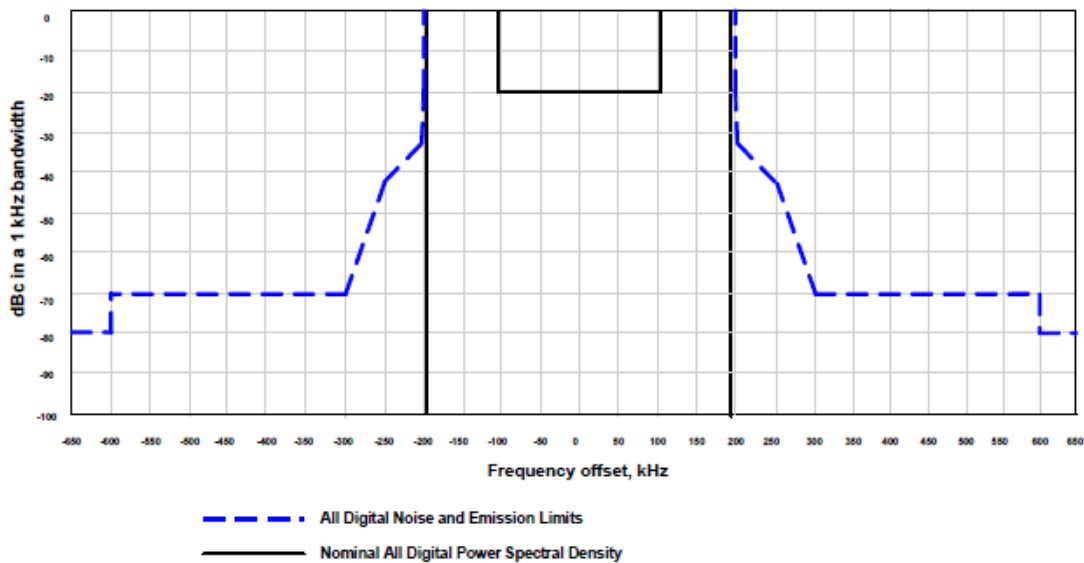


Figura I.2-Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM

| Frequency Offset Relative to Carrier | Level, dBc/kHz   |
|--------------------------------------|--|
| 200 – 207.5 kHz offset               | $[-20 - ( \text{frequency in kHz} - 200 \text{ kHz}  \cdot 1.733)]$    |
| 207.5 – 250 kHz offset               | $[-33 - ( \text{frequency in kHz} - 207.5 \text{ kHz}  \cdot 0.2118)]$ |
| 250 – 300 kHz offset                 | $[-42 - ( \text{frequency in kHz} - 250 \text{ kHz}  \cdot 0.56)]$     |
| 300 – 600 kHz offset                 | -70  |
| >600 kHz offset                      | -80  |

Tabela I.2-Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM

No Modo Todo Digital a região dentro de 100 kHz a partir do centro do canal deve ser reservada para subportadoras secundárias de baixo nível.

### I.2.5. Canal de Controle do Sistema

O Canal de Controle do Sistema (SCCH) transporta informações de status e controle [4]. O controle do modo de serviços primário e secundários e o fator de escala de amplitude são enviados da Administração de Configuração para a Camada 1, enquanto que informação de sincronização é enviada da Camada 1 para Camada 2. Além disso, vários bits da sequência de dados de controle do sistema designados “reservados” são controlados nas camadas acima de L1 através da interface de controle de dados reservada primário e secundário.

Informações e controle são transportados em quadros discretos de transferência através de múltiplos canais lógicos. Esses quadros de transferência são também denominados como Unidades de Protocolo de Dados de Camada 2 (Layer 2 Protocol Data Units, L2 PDUs).

Os L2 PDUs variam em tamanho e formato dependendo do modo de serviço. O modo de serviço, o principal componente do controle do sistema, determina as características de transmissão de cada canal lógico. Após a avaliação dos requisitos das aplicações candidatas, camadas de protocolo mais altas selecionam modos de serviço que configuram os canais lógicos mais adequadamente. A variedade de canais lógicos reflete a flexibilidade intrínseca do sistema, o qual suporta entrega simultânea de várias combinações de dados e áudio digital.



Os modos de serviço determinam todas as configurações possíveis dos canais lógicos. Os modos de serviço primários ativos são MP1, MP2, MP3, MP11, MP5 e MP6, que configuram os canais lógicos primários. Os modos de serviço secundários ativos são MS1, MS2, MS3 e MS4, que configuram os canais lógicos secundários.

## I.2.6. Canais Lógicos

Um canal lógico conduz L2 PDUs em quadros de transferência dentro da Camada 1 com um grau de serviço específico determinado pelo modo de serviço. A Camada 1 da interface aérea FM oferece onze (11) canais lógicos para protocolos de camadas mais altas. Nem todos os canais lógicos são usados em cada modo de serviço.

### I.2.6.1. Canais Lógicos Primários

Existem cinco (5) canais lógicos primários que podem ser usados com as formas de onda Híbrida, Híbrida Estendida e Digital Total. Eles são denominados como P1, P2, P3, P4 e PIDS. O canal PIDS transmite informação de serviço da estação (*Station Information Service, SIS*). A Tabela I.3 apresenta a taxa de informação aproximada suportada por cada canal lógico primário como função do modo de serviço primário.

| Service Mode | Approximate Information Rate (kbit/s) |     |     |     |      | Waveform                     |
|--------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|------|------------------------------|
|              | P1                                    | P2  | P3  | P4  | PIDS |                              |
| MP1          | 98                                    | N/A | N/A | N/A | 1    | Hybrid                       |
| MP2          | 98                                    | N/A | 12  | N/A | 1    | Extended Hybrid              |
| MP3          | 98                                    | N/A | 25  | N/A | 1    | Extended Hybrid              |
| MP11         | 98                                    | N/A | 25  | 25  | 1    | Extended Hybrid              |
| MP5          | 25                                    | 74  | 25  | N/A | 1    | Extended Hybrid, All Digital |
| MP6          | 50                                    | 49  | N/A | N/A | 1    | Extended Hybrid, All Digital |

Tabela I.3-Taxa de informação aproximada dos canais lógicos primários

### I.2.6.2. Canais Lógicos Secundários

Existem seis (6) canais lógicos secundários que são utilizados somente na forma de onda Digital Total. Eles são denominados S1, S2, S3, S4, S5 e SIDS. A Tabela I.4 apresenta a taxa de informação aproximada suportada por cada canal lógico secundário como função do modo de serviço secundário.

| Service Mode | Approximate Information Rate (kbit/s) |    |    |    |    |      | Waveform    |
|--------------|---------------------------------------|----|----|----|----|------|-------------|
|              | S1                                    | S2 | S3 | S4 | S5 | SIDS |             |
| MS1          | 0                                     | 0  | 0  | 98 | 6  | 1    | All Digital |
| MS2          | 25                                    | 74 | 25 | 0  | 6  | 1    | All Digital |
| MS3          | 50                                    | 49 | 0  | 0  | 6  | 1    | All Digital |
| MS4          | 25                                    | 98 | 25 | 0  | 6  | 1    | All Digital |

Tabela I.4-Taxa de informação aproximada dos canais lógicos secundários.

### I.2.6.3. Funcionalidade de Canais Lógicos

Os canais lógicos P1 a P4 e S1 a S5 são designados para transmitir áudio e dados, enquanto que os canais Serviço de Dados Primário do IBOC (PIDS) e Serviço de Dados Secundário do IBOC

(SIDS) são designados para transmitir dados do Serviço de Informação da Estação (*Station Information Service, SIS*).

O desempenho de cada canal lógico é completamente descrito através de três parâmetros de caracterização: transferência, latência e robustez. A codificação de canal, o mapeamento espectral, a profundidade de entrelaçamento e o atraso de diversidade digital são os componentes destes parâmetros de caracterização. O modo de serviço configura exclusivamente estes componentes dentro da Camada 1 para cada canal lógico ativo, assim determinando a caracterização apropriada de parâmetros.

Além disso, o modo de serviço especifica o enquadramento e a sincronização dos quadros de transferência por meio de cada canal lógico ativo. No documento “HD Radio Air Interface. Design Description Layer 1 FM” [4], capítulo 7, há a descrição detalhada dos canais lógicos e suas configurações.

### I.2.7. Partições de frequência e convenções espectrais nos modos de transmissão

O sinal digital é modulado utilizando OFDM (multiplexação por divisão ortogonal de frequência). O OFDM é um esquema de modulação paralela no qual o fluxo de dados modula um grande número de subportadoras ortogonais, que são transmitidas simultaneamente. O OFDM é flexível e permite mapeamento de canais lógicos de diferentes grupos de subportadoras.

As subportadoras OFDM são estruturadas em partições de frequências. Cada partição consiste de dezoito subportadoras de dados e uma subportadora de referência conforme apresentado na Figura I.3 (Ordenação A) e Figura I.4 (Ordenação B). A posição de cada subportadora de referência (Ordenação A ou B) varia com o local da partição de frequência dentro do espectro.

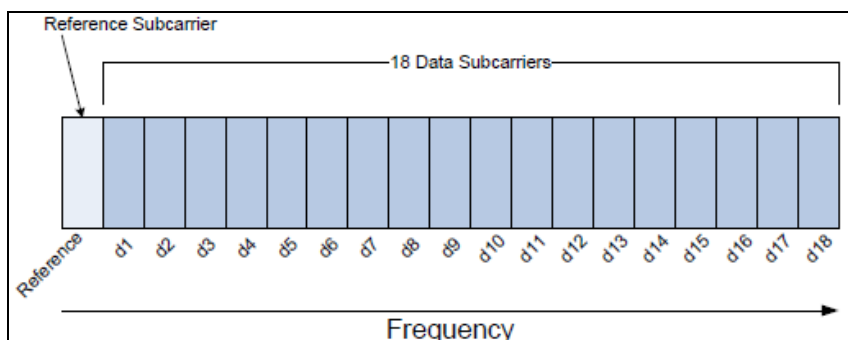


Figura I.3-Partição de frequência – Ordenação A

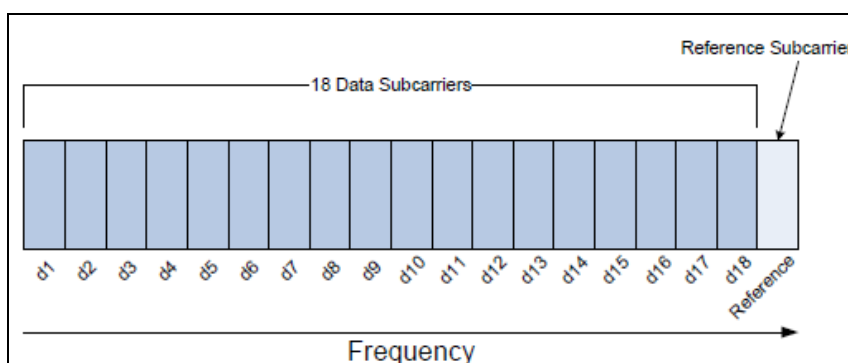


Figura I.4-Partição de frequência – Ordenação B

Para cada partição de frequência, as subportadoras de dados d1 até d18 transportam dados ou áudio codificado da Camada 2, enquanto que as subportadoras de referência transportam informações de controle do sistema da Camada 1. As subportadoras são numeradas de -546 até 0, que é a frequência central, e até 546 na parte superior final da alocação de frequências do canal.

Além das subportadoras de referência fixas dentro de cada partição de frequência, dependendo do modo de serviço, até cinco (5) subportadoras de referência adicionais podem ser inseridas no espectro nos seguintes números de subportadoras: -546, -279, 0, +279 e +546. O efeito geral é uma distribuição regular de subportadoras de referência pelo espectro. Para conveniência de notação, cada subportadora de referência possui identificação única entre 0 e 60. Todas as subportadoras de referência da banda lateral inferior são apresentadas na Figura I.5 e todas as superiores estão na Figura I.6. As figuras indicam a relação entre números de subportadoras de referência e número de subportadoras OFDM.

Cada espectro a ser descrito apresenta um número de subportadoras e uma frequência central de um certo conjunto de portadoras OFDM. A frequência central de uma subportadora é calculada multiplicando-se o número da subportadora pelo espaçamento de subportadora OFDM  $\Delta f$ . O centro da subportadora 0 é localizado em 0 Hz. Neste contexto, a frequência central é relativa ao canal alocado de radiofrequência (RF).

Como exemplo, a banda lateral superior primária principal (*Primary Main*) está localizada entre as subportadoras 356 e 546 cujas frequências centrais são localizadas em 129,361 Hz e 198,402 Hz respectivamente. A largura de frequência da banda lateral superior primária principal é 69,041 Hz (198,402 Hz a 129,361 Hz).

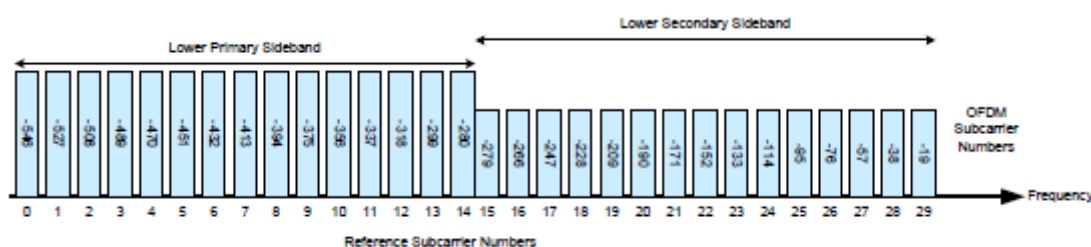


Figura I.5-Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral inferior

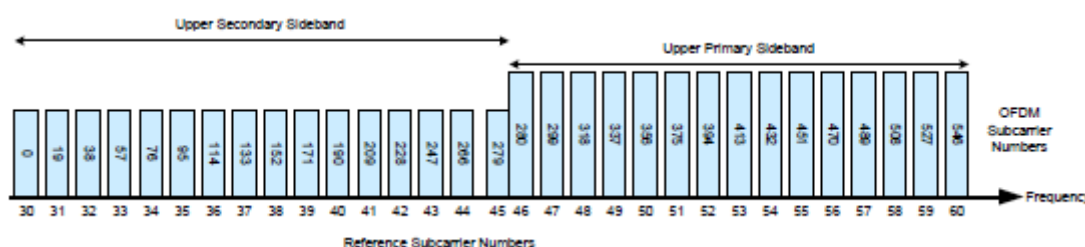


Figura I.6-Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral superior

### I.2.7.1. Modo Híbrido

Neste modo o sinal digital é inserido em largura de faixa de 69.041 Hz, localizada a 129.361 Hz em cada lado do sinal analógico FM, tendo como referência a frequência da portadora [4]. A Figura I.7 apresenta a inserção do sinal digital.

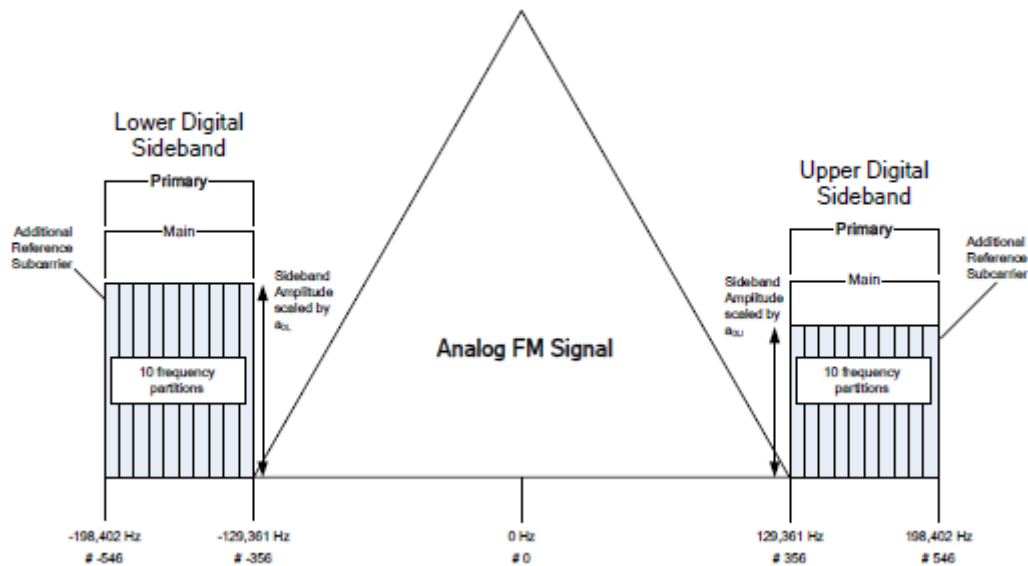


Figura I.7-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, Modo Híbrido, modo de serviço MP1

O sinal digital no Modo Híbrido IBOC é transmitido nas bandas laterais ao sinal analógico FM e cada banda está aproximadamente 23 dB abaixo da potência total do sinal FM. Estas bandas híbridas são denominadas de bandas laterais Primárias Principais (PM – *Primary Main*). Cada banda lateral PM consiste de 10 partições de frequência que são alocadas entre subportadoras 356 até 545, ou -356 a -545. As subportadoras 546 e -546, também incluídas nas bandas laterais PM, são adicionais. A amplitude de cada subportadora é escalonada por um fator de escala de amplitude, como indicado na Tabela I.5, que apresenta as características das bandas laterais primárias principais (PM) superior e inferior para o modo Híbrido.

| Banda Lateral               | Número de partições de frequência | Ordenação da partição de frequência | Faixa de subportadoras | Frequência de subportadoras (Hz em relação ao centro do canal) | Largura de banda (Hz) | Fator de escala de amplitude (*) | Observação                           |
|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Primária Principal Superior | 10                                | A                                   | 356 a 546              | 129,361 a 198,402  | 69,041                | a0U                              | Inclui subport. ref. adicional 546   |
| Primária Principal Inferior | 10                                | B                                   | -356 a -546            | -129,361 a -- 198,402  | 69,041                | a0L                              | Inclui subport. ref. adicional - 546 |

Tabela I.5-Resumo da forma de onda Híbrida, modo de serviço MP1

(\*) A Referência [3] apresenta detalhes sobre os fatores de escala de amplitude.

Todas as subportadoras dentro da banda lateral inferior utilizam um fator de escala comum a0L, assim essas subportadoras têm a mesma amplitude relativa entre si. O mesmo ocorre na parte superior, com fator de escala a0U. Entretanto, a0L e a0U podem ser diferentes; as bandas laterais superior e inferior podem diferir no nível médio de potência em até 10 dB (bandas laterais assimétricas). Normalmente os níveis de potência das bandas laterais são iguais, mas em certos cenários, bandas assimétricas podem ser úteis para mitigação da interferência de canal adjacente. O documento “HD Radio FM Transmission System Specifications” [3] apresenta mais detalhes.

O sinal analógico hospedeiro pode ser tipo monofônico ou estéreo, podendo incluir canais de comunicação auxiliares (SCA).

### I.2.7.2. Modo Híbrido Estendido

As bandas laterais digitais desse modo são estendidas em direção ao sinal analógico FM para aumento da capacidade digital. A forma de onda desse modo é criada pela adição de bandas laterais primárias estendidas (*PX - Primary Extended*) às bandas laterais primárias principais do Modo Híbrido. A Figura I.8 apresenta o espectro dessa forma de onda. Dependendo do modo de serviço, uma, duas ou quatro partições de frequência podem ser adicionadas no limite das bandas laterais primárias principais, próximas ao sinal analógico.

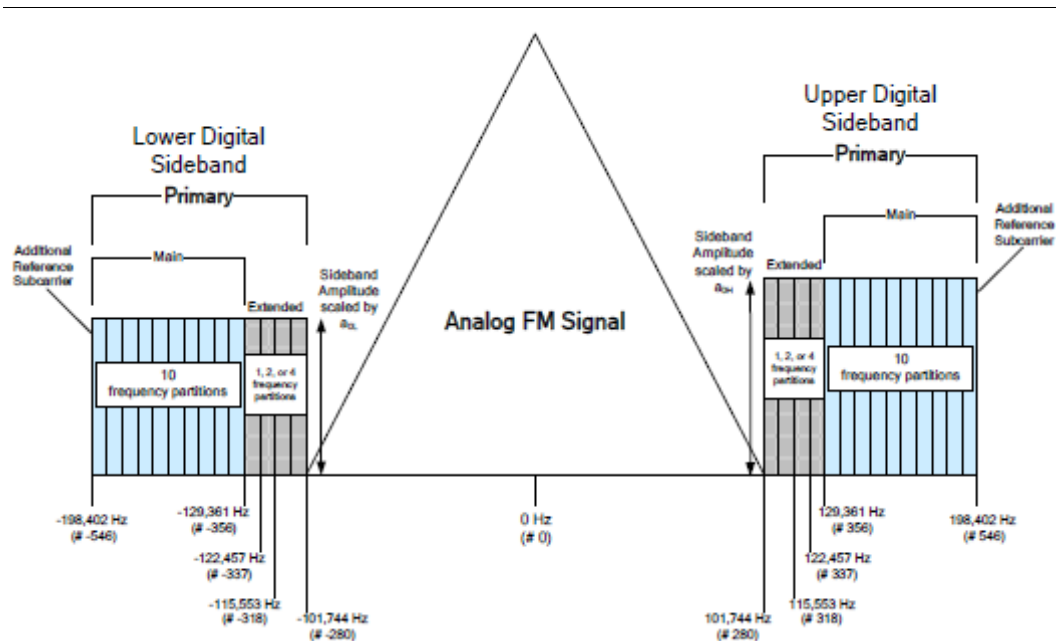


Figura I.8-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, modo híbrido estendido

Cada banda lateral primária consiste de 10 partições de frequência e uma subportadora de referência adicional abrangendo subportadoras 356 a 546, ou -356 a -546. As bandas laterais PX superiores incluem subportadoras 337 a 355 (uma partição de frequência), 318 a 355 (duas partições de frequência), ou 280 a 355 (quatro partições de frequência). As bandas laterais PX inferiores incluem subportadoras -337 a -355 (uma partição de frequência), -318 a -355 (duas partições de frequência), ou -280 a -355 (quatro partições de frequência).

A amplitude de cada subportadora é escalonada por um fator de escala em amplitude conforme indicado na Tabela I.6. Todas as subportadoras dentro da banda lateral inferior utilizam um fator de escala comum  $a_{0L}$ , então elas tem mesma amplitude relativa em relação às outras. O mesmo acontece na banda lateral superior, em que as subportadoras utilizam o mesmo fator de escala  $a_{0U}$ . Entretanto esses dois fatores podem ser diferentes, e as bandas laterais superiores e inferiores podem diferir em potência em 10 dB (bandas assimétricas). Tal como empregado na configuração híbrida, tem-se normalmente os níveis iguais de potência, mas em certos cenários, as bandas laterais assimétricas podem ser úteis para mitigação de interferência de canal adjacente [3].

A Tabela I.6 apresenta as características das bandas laterais primárias principais (PM) superior e inferior para o modo Híbrido Estendido.



| Banda Lateral                                | Número de partições de frequência | Ordenação da partição de frequência | Faixa de subportadoras | Frequência de subport. (Hz em relação ao centro do canal) | Faixa de frequências (Hz) | Fator de escala de amplitude (*) | Observação                           |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Primária Principal Superior                  | 10                                | A                                   | 356 a 546              | 129,361 a 198,402   | 69,041                    | a0U                              | Inclui subport. ref. adicional 546   |
| Primária Principal Inferior                  | 10                                | B                                   | -356 a -546            | -129,361 a -198,402                                       | 69,041                    | a0L                              | Inclui subport. ref. adicional - 546 |
| Primária Estend. Superior (1 partição freq)  | 1                                 | A                                   | 337 a 355              | 122,457 a 128,997   | 6,540                     | a0U                              | ----                                 |
| Primária Estend. Inferior (1 partição freq)  | 1                                 | B                                   | -337 a -355            | -122,457 a -128,997                                       | 6,540                     | a0L                              | ----                                 |
| Primária Estend. Superior (2 partições freq) | 2                                 | A                                   | 318 a 355              | 155,553 a 128,997   | 13,444                    | a0U                              | ----                                 |
| Primária Estend. Inferior (2 partições freq) | 2                                 | B                                   | -318 a -355            | -155,553 a -128,997                                       | 13,444                    | a0L                              | ----                                 |
| Primária Estend. Superior (4 partições freq) | 4                                 | A                                   | 280 a 355              | 101,744 a 128,997   | 27,253                    | a0U                              | ----                                 |
| Primária Estend. Inferior (4 partições freq) | 4                                 | B                                   | -280 a -355            | -101,744 a -128,997                                       | 27,253                    | a0L                              | ----                                 |

Tabela I.6-Resumo da forma de onda Híbrida Estendida, modos de serviço MP2, MP3, MP11, MP5 e MP6

### I.2.7.3. Modo Todo Digital

Esse modo substitui o sinal analógico com sinais digitais adicionais e também inclui os sinais digitais dos Modos Híbrido e Híbrido Estendido. As bandas laterais digitais são estendidas da mesma forma que ocorre no Modo Híbrido Estendido e o sinal analógico é removido e substituído por bandas laterais secundárias de baixa potência, promovendo o aumento da capacidade digital. O espectro dessa forma de onda é apresentado na Figura I.9.

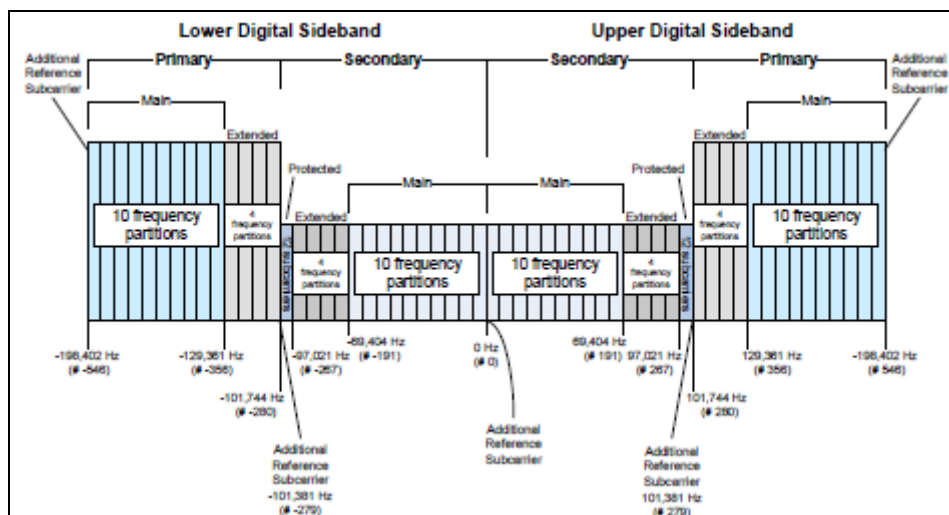


Figura I.9-Espectro do Modo Digital Total, modos de serviço MP5 e MP6, MS1 até MS4

Além das 10 (dez) principais partições de frequência, todas as 4 (quatro) partições de frequência estendidas estão presentes em cada banda lateral primária de toda a forma de onda Todo Digital. Cada banda secundária também possui 10 (dez) partições de frequência principais secundárias principais (*Secondary Main, SM*) e 4 (quatro) secundárias estendidas (*Secondary Extended, SX*). Diferentemente das bandas laterais primárias, entretanto, as partições de frequência secundárias principais são mapeadas próximas ao centro do canal, com as partições secundárias estendidas mais distantes do centro.

Cada banda lateral secundária também suporta uma pequena região denominada Protegida Secundária (SP) que consiste em 12 (doze) subportadoras OFDM e as subportadoras de referência #279 e #-279. Essas subportadoras são referidas como “protegidas” porque estão localizadas na área do espectro menos provável de ser afetada por interferência digital ou analógica. Uma subportadora de referência adicional é colocada no centro do canal (#0). A ordenação da partição de frequência da região SP não se aplica, uma vez que a região SP não contém partições como definidas nas Figura I.1 e Figura I.2.

A faixa espectral total do modo Digital Total é 396,803 Hz. A amplitude de cada subportadora é escalonada por um fator de escala de amplitude conforme detalhado na Referência [4]. Os fatores de escala de amplitude das bandas laterais secundárias, a2 até a5, são selecionadas pelo usuário.

### I.2.8. Níveis das bandas laterais digitais

O escalonamento de amplitude de cada subportadora OFDM dentro de cada banda lateral é dado na Tabela I.7 para os 3 (três) modos de operação. Os valores dos Modos Híbrido e Híbrido Estendido são especificados em relação à potência analógica FM. O valor 1 (um) produziria potência de subportadora igual à potência total da portadora FM analógica não modulada. Os valores para o Modo Todo Digital são relativos à potência digital autorizada alocada para este modo.

| Waveform        | Service Mode             | Sidebands | Amplitude Scale Factor Notation | Power Spectral Density, dBc per Subcarrier |       | Power Spectral Density in a 1 kHz Bandwidth, dBc |       |
|-----------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|--|-------|--|-------|
|                 |                          |           |                                 | Min  | Max   | Min  | Max   |
| Hybrid          | MP1                      | Primary   | $a_{0L}$                        | -45.8                                      | -35.8 | -41.4  | -31.4 |
|                 |                          |           | $a_{0U}$                        | -45.8                                      | -35.8 | -41.4  | -31.4 |
| Extended Hybrid | MP2, MP3, MP11, MP5, MP6 | Primary   | $a_{0L}$                        | -45.8                                      | -35.8 | -41.4  | -31.4 |
|                 |                          |           | $a_{0U}$                        | -45.8                                      | -35.8 | -41.4  | -31.4 |
| All Digital     | MP5, MP6                 | Primary   | $a_1$                           | -27.3                                      |       | -22.9  |       |
|                 | MS1 – MS4                | Secondary | $a_2$                           | -32.3                                      |       | -27.9  |       |
|                 |                          | Secondary | $a_3$                           | -37.3                                      |       | -32.9  |       |
|                 |                          | Secondary | $a_4$                           | -42.3                                      |       | -37.9  |       |
|                 |                          | Secondary | $a_5$                           | -47.3                                      |       | -42.9  |       |

Tabela I.7-Escalonamento de subportadoras OFDM

Para os Modos Híbrido e Híbrido Estendido os valores mínimos de  $a_{0U}$  e  $a_{0L}$  foram escolhidos para que a potência média total na banda lateral primária principal (superior ou inferior) seja 23 dB abaixo da potência da portadora FM analógica não modulada. A potência de cada banda lateral primária pode ser individualmente aumentada de acordo com os valores máximos mostrados na Tabela I.7. Entretanto a potência média total em cada banda lateral primária principal (superior ou inferior) está sujeita ao limite superior de 13 dB abaixo da potência da portadora FM analógica não modulada.

Para o Modo Todo Digital, o valor de  $a_1$  foi escolhido de tal forma que a potência média de todas as subportadoras digitais primárias combinadas é igual a 1 (um). Os valores de  $a_2$  a  $a_5$  foram escolhidos de tal forma que a potência média total nas subportadoras digitais secundárias (superior e inferior) estejam na faixa de 5 a 20 dB abaixo da potência total nas subportadoras digitais primárias. A escolha de um valor de  $a_2$  até  $a_5$  é determinada pela seleção do fator de escala de amplitude (ASF) recebida de L2.

### I.2.8.1. Potência da portadora digital FM Híbrida e Híbrida Estendida

As transmissões Híbridas utilizam dois conjuntos de subportadoras OFDM localizadas até 198 kHz acima e abaixo da frequência central da portadora analógica. O Modo de serviço Híbrido básico (MP1) utiliza 191 subportadoras por banda lateral na frequência aproximadamente  $\pm 129$  kHz da frequência central. Os modos de serviço híbrido estendido MP2, MP3, e MP11 adicionam subportadoras adicionais próximas à portadora analógica, com subportadoras MP11 iniciando em aproximadamente  $\pm 101$  kHz.

Como apresentado na Figura I.10, cada partição de frequência consiste de 19 subportadoras (exceto por 2 subportadoras de referência extras no limite das partições primárias principais). Na banda lateral digital inferior, a Figura I.10 também detalha cada grupo de bandas laterais para cada modo de serviço híbrido. A potência de cada subportadora é colocada em -45.8 dBc

(dB abaixo da portadora analógica de referência) para razão de potência total integrada digital para analógica de -20 dBc no modo de serviço MP1.

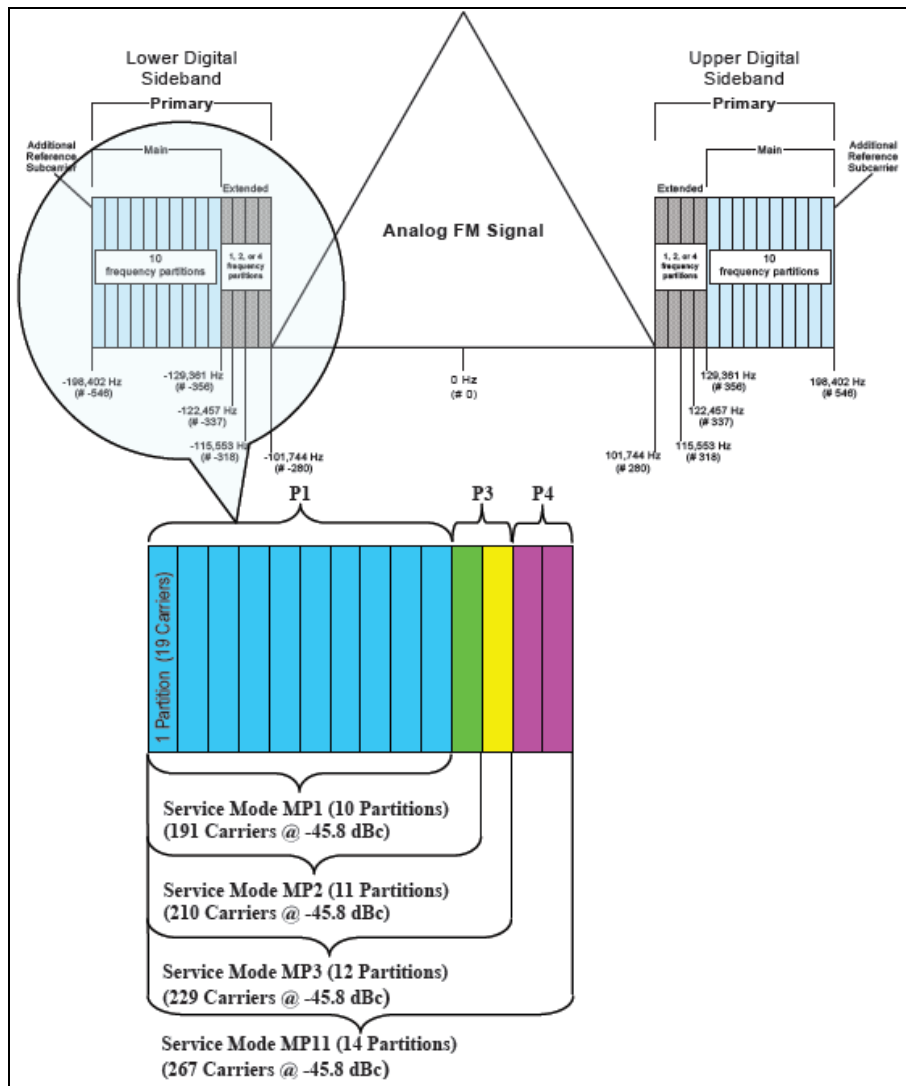


Figura I.10-Modo Híbrido Estendido

## II. Resultados tabelados

### II.1. Detalhes das rotas utilizadas nas medições HD Radio

Neste apêndice são descritos os detalhes sobre a localização das rotas e pontos fixos.

#### II.1.1. R1- Rota Oeste (Recanto das Emas)

Comprimento: 1,5 km

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





## II.1.2. R2- Rota Leste (Riacho fundo II)

Comprimento: 1,5 km

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





### II.1.3. R3- Rota Noroeste (Samambaia)

Comprimento: 1 km

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



## II.1.4. R4- Rota Norte (Samambaia)

Comprimento: 1,5 km

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





## II.1.5. R5- Rota Sul (DF 001 EPCT)

Comprimento: 1,5 km

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





## II.1.6. R6- Rota Sudoeste ( Recanto das Emas)

Comprimento: 1,5 km

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

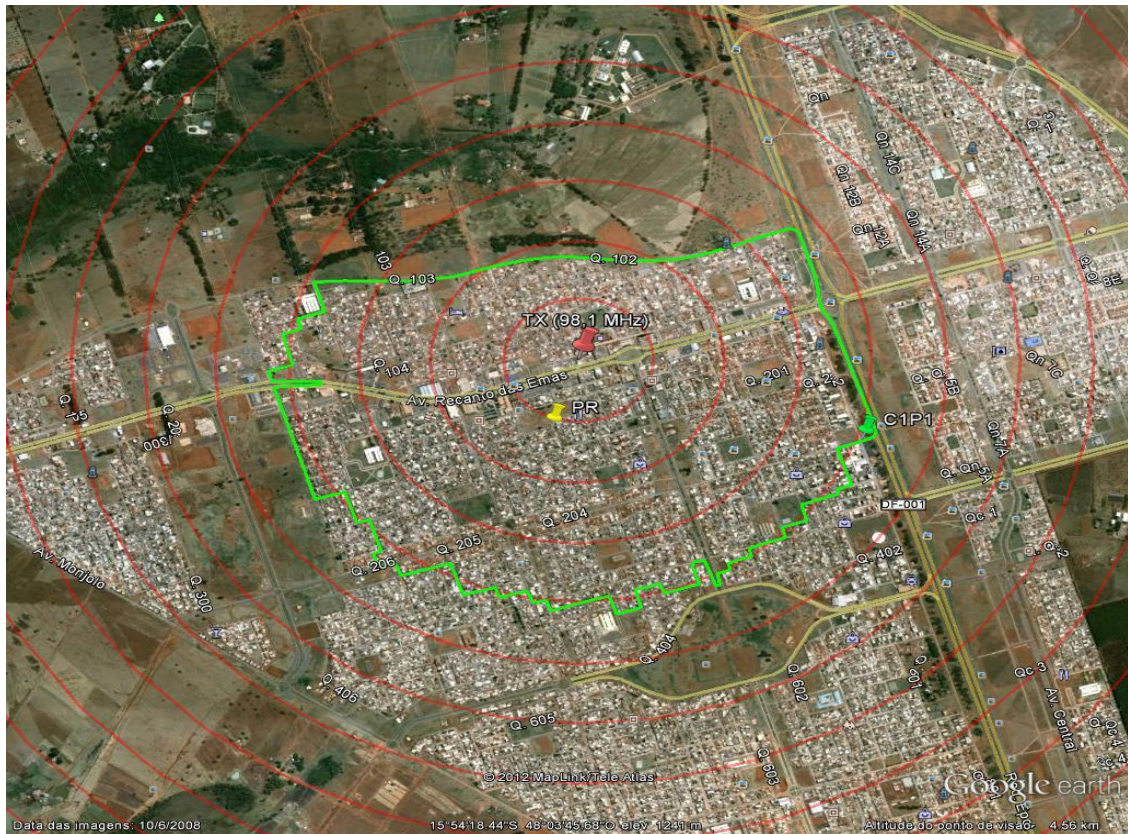




## II.1.7. C1- Rota Circular Urbana – 1 km do transmissor

Comprimento: 7,3 km

| Pontos Fixos | Coordenadas |               | Localização         | Distância ao Tx (km) |
|--------------|-------------|---------------|---------------------|----------------------|
| C1P1         | Latitude    | 15°54'20.90"S | Frente a quadra 202 | 0,4 a 1,4            |



## II.1.8. C2- Rota Circular Urbana – 0,5 km do transmissor

Comprimento: 4,97 km

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





## II.1.9. C3- Rota Circular Urbana – 0,25 km do transmissor

Comprimento: 2,47 km

| Pontos Fixos | Coordenadas   |               | Localização      | Distância ao Tx (km) |
|--------------|---------------|---------------|------------------|----------------------|
|              | Latitude      | Longitude     |                  |                      |
| C3P1         | 15°54'18.33"S | 48° 3'39.94"O | Q 203 conjunto 3 | 0,130 a 0,364        |



## II.2. Detalhes das rotas e pontos fixos utilizadas nas medições HD Radio

Neste item é apresentada a localização de cada ponto fixo de medição

| Pontos              | Distância ao transmissor (km) | Latitude        | Longitude      |
|---------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|
| Ponto de referência | 0,22                          | -15°54'17.01"   | -48°3'46.5588" |
| R1P1                | 0,23                          | -15°54'12.744"  | -48°3'52.1352" |
| R1P2                | 0,65                          | -15°54'14.5188" | -48°4'6.222"   |
| R1P3                | 0,86                          | -15°54'12.8772" | -48°4'13.566"  |
| R1P4                | 1,03                          | -15°54'11.5632" | -48°4'19.4628" |
| R1P5                | 1,26                          | -15°54'13.1688" | -48°4'26.9688" |
| R1P6                | 1,55                          | -15°54'15.6132" | -48°4'36.552"  |
| R2P1                | 0,11                          | -15°54'10.512"  | -48°3'40.8888" |
| R2P2                | 0,37                          | -15°54'7.884"   | -48°3'32.4"    |
| R2P3                | 0,73                          | -15°54'5.1408"  | -48°3'20.7828" |
| R2P4                | 1,09                          | -15°54'1.638"   | -48°3'9.072"   |
| R2P5                | 1,30                          | -15°53'59.7588" | -48°3'2.322"   |
| R2P6                | 1,56                          | -15°53'56.9508" | -48°2'54.1608" |
| R3P1                | 0,25                          | -15°54'7.2648"  | -48°3'52.7112" |
| R3P2                | 0,47                          | -15°54'0.4392"  | -48°3'56.9268" |
| R3P3                | 0,74                          | -15°53'59.6112" | -48°4'6.9492"  |
| R3P4                | 1,02                          | -15°53'51.072"  | -48°4'12.6948" |
| R4P1                | 0,26                          | -15°54'3.1608"  | -48°3'39.978"  |
| R4P2                | 0,55                          | -15°53'57.1848" | -48°3'32.2632" |
| R4P3                | 0,77                          | -15°53'54.69"   | -48°3'24.2208" |
| R4P4                | 0,99                          | -15°53'46.3848" | -48°3'22.5288" |
| R4P5                | 1,28                          | -15°53'32.4852" | -48°3'27.0072" |
| R4P6                | 1,53                          | -15°53'23.5392" | -48°3'27.8208" |
| R5P1                | 0,25                          | -15°54'15.8472" | -48°3'38.718"  |
| R5P2                | 0,50                          | -15°54'24.1488" | -48°3'36.4212" |
| R5P3                | 0,77                          | -15°54'29.232"  | -48°3'28.1448" |
| R5P4                | 1,01                          | -15°54'34.416"  | -48°3'21.8988" |
| R5P5                | 1,27                          | -15°54'38.268"  | -48°3'13.5252" |
| R5P6                | 1,52                          | -15°54'41.634"  | -48°3'5.2452"  |
| R6P1                | 0,20                          | -15°54'14.742"  | -48°3'49.6728" |
| R6P2                | 0,53                          | -15°54'25.668"  | -48°3'52.6428" |
| R6P3                | 0,75                          | -15°54'31.9248" | -48°3'56.1528" |
| R6P4                | 0,98                          | -15°54'37.8792" | -48°4'0.5232"  |
| R6P5                | 1,24                          | -15°54'46.3608" | -48°4'2.8272"  |
| R6P6                | 1,47                          | -15°54'55.4868" | -48°3'59.7528" |

Tabela II.1-Detalhes da localização dos pontos de medições HD Radio

| Percurso    | Rota       | Comprimento (km) |
|-------------|------------|------------------|
| R1P1 a R1P6 | Radial 1   | 1,48             |
| R2P1 a R2P6 | Radial 2   | 1,72             |
| R3P1 a R3P4 | Radial 3   | 1,02             |
| R4P1 a R4P6 | Radial 4   | 2,40             |
| R5P1 a R5P6 | Radial 5   | 2,39             |
| R6P1 a R6P6 | Radial 6   | 1,80             |
| C1P1 a C1P1 | Circular 1 | 7,67             |
| C2P1 a C2P1 | Circular 2 | 5,07             |
| C3P1 a C3P1 | Circular 3 | 2,74             |

Tabela II.2-Detalhes dos trechos para medições móveis

### II.3. Detalhes dos Resultados das Medições HD Radio

Nas tabelas a seguir são apresentados os detalhes dos resultados.

| Pontos              | Distância ao transmissor (km) | Rx_Mode | Campo Digital Mediano (dBµV/m) | SNR Mediano (dB) | Campo Analógico Mediano (dBµV/m) |
|---------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------|------------------|----------------------------------|
| Ponto de referência | 0,22                          | 1       | 69,41                          | 18,94            | 90,72                            |
| R1P1                | 0,23                          | 0/1     | 66,88                          | 12,87            | 87,58                            |
| R1P2                | 0,65                          | 1       | 34,51                          | 7,89             | 56,19                            |
| R1P3                | 0,86                          | 0/1     | 41,42                          | 13,06            | 62,47                            |
| R1P4                | 1,03                          | 1       | 41,58                          | 10,60            | 62,71                            |
| R1P5                | 1,26                          | 0/1     | 38,50                          | 10,26            | 59,38                            |
| R1P6                | 1,55                          | 0       | 29,58                          | 0,44             | 50,72                            |
| R2P1                | 0,11                          | 1       | 75,15                          | 19,64            | 96,19                            |
| R2P2                | 0,37                          | 0/1     | 55,37                          | 14,74            | 76,22                            |
| R2P3                | 0,73                          | 1       | 38,84                          | 10,22            | 61,46                            |
| R2P4                | 1,09                          | 0       | 32,80                          | 2,10             | 59,40                            |
| R2P5                | 1,30                          | 0/1     | 37,10                          | 3,34             | 61,05                            |
| R2P6                | 1,56                          | 0       | 32,15                          | -1,54            | 58,51                            |
| R3P1                | 0,25                          | 0/1     | 60,26                          | 14,98            | 81,00                            |
| R3P2                | 0,47                          | 0/1     | 46,30                          | 14,04            | 67,90                            |
| R3P3                | 0,74                          | 1       | 38,02                          | 9,24             | 55,38                            |
| R3P4                | 1,02                          | 0/1     | 29,49                          | 6,50             | 51,31                            |
| R4P1                | 0,26                          | 1       | 61,13                          | 18,57            | 82,75                            |
| R4P2                | 0,55                          | 1       | 46,53                          | 14,32            | 67,80                            |
| R4P3                | 0,77                          | 0/1     | 40,56                          | 10,09            | 62,70                            |
| R4P4                | 0,99                          | 1       | 43,88                          | 13,70            | 65,52                            |
| R4P5                | 1,28                          | 1       | 38,43                          | 7,62             | 61,64                            |
| R4P6                | 1,53                          | 1       | 38,11                          | 7,21             | 59,22                            |
| R5P1                | 0,25                          | 0/1     | 59,76                          | 15,08            | 79,21                            |
| R5P2                | 0,50                          | 1       | 49,88                          | 15,19            | 70,69                            |
| R5P3                | 0,77                          | 1       | 49,30                          | 15,69            | 70,50                            |
| R5P4                | 1,01                          | 0/1     | 49,26                          | 15,84            | 70,70                            |
| R5P5                | 1,27                          | 0       | 32,09                          | -3,59            | 52,51                            |
| R5P6                | 1,52                          | 0/1     | 35,44                          | 2,30             | 56,95                            |
| R6P1                | 0,20                          | 0/1     | 70,94                          | 14,97            | 90,84                            |
| R6P2                | 0,53                          | 1       | 53,64                          | 14,20            | 74,94                            |
| R6P3                | 0,75                          | 0/1     | 52,41                          | 12,61            | 73,20                            |
| R6P4                | 0,98                          | 1       | 44,10                          | 11,40            | 65,27                            |
| R6P5                | 1,24                          | 0/1     | 34,00                          | 6,65             | 54,33                            |
| R6P6                | 1,47                          | 0       | 33,97                          | -10,00           | 56,53                            |

Tabela II.3-Resultados do HD Radio para recepção em pontos fixos

| Ponto               | Distância em relação ao transmissor (km) | Média Aritmética das Notas do receptor NKS | Média Aritmética das Notas do receptor TOSHIBA | Qualidade do Áudio FM |
|---------------------|--|--|--|-----------------------|
| Ponto de referência | 0,22                                     | 3,7  | 2,1  | 2,9                   |
| R1P1                | 0,23                                     | 1,4  | 1,8  | 1,6                   |
| R1P2                | 0,65                                     | 4,0  | 2,0  | 3,0                   |
| R1P3                | 0,86                                     | 2,1  | 1,0  | 1,5                   |
| R1P4                | 1,03                                     | 3,8  | 1,0  | 2,4                   |
| R1P5                | 1,26                                     | 1,9  | 1,7  | 1,8                   |
| R1P6                | 1,55                                     | 1,2  | 1,0  | 1,1                   |
| R2P1                | 0,11                                     | 3,8  | 4,0  | 3,9                   |
| R2P2                | 0,37                                     | 3,6  | 3,9  | 3,7                   |
| R2P3                | 0,73                                     | 1,4  | 1,6  | 1,5                   |
| R2P4                | 1,09                                     | 1,1  | 1,1  | 1,1                   |
| R2P5                | 1,30                                     | 1,0  | 1,0  | 1,0                   |
| R2P6                | 1,56                                     | 1,0  | 1,1  | 1,0                   |
| R3P1                | 0,25                                     | 4,3  | 4,0  | 4,2                   |
| R3P2                | 0,47                                     | 2,9  | 3,3  | 3,1                   |
| R3P3                | 0,74                                     | 1,4  | 1,2  | 1,3                   |
| R3P4                | 1,02                                     | 1,5  | 1,0  | 1,2                   |
| R4P1                | 0,26                                     | 4,2  | 1,1  | 2,6                   |
| R4P2                | 0,55                                     | 2,8  | 3,8  | 3,3                   |
| R4P3                | 0,77                                     | 1,8  | 2,2  | 2,0                   |
| R4P4                | 0,99                                     | 1,1  | 3,5  | 2,3                   |
| R4P5                | 1,28                                     | 1,9  | 3,5  | 2,7                   |
| R4P6                | 1,53                                     | 1,0  | 1,2  | 1,1                   |
| R5P1                | 0,25                                     | 3,0  | 3,0  | 3,0                   |
| R5P2                | 0,50                                     | 3,8  | 2,8  | 3,3                   |
| R5P3                | 0,77                                     | 3,9  | 4,2  | 4,0                   |
| R5P4                | 1,01                                     | 3,2  | 3,7  | 3,4                   |
| R5P5                | 1,27                                     | 1,1  | 1,1  | 1,1                   |
| R5P6                | 1,52                                     | 1,5  | 1,1  | 1,3                   |
| R6P1                | 0,20                                     | 4,0  | 4,0  | 4,0                   |
| R6P2                | 0,53                                     | 4,0  | 3,7  | 3,8                   |
| R6P3                | 0,75                                     | 3,8  | 4,0  | 3,9                   |
| R6P4                | 0,98                                     | 3,4  | 2,0  | 2,7                   |
| R6P5                | 1,24                                     | 3,7  | 4,0  | 3,9                   |
| R6P6                | 1,47                                     | 1,1  | 1,0  | 1,0                   |

Tabela II.4-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos

| Percurso    | Rota       | Rx_Mode=1 (%) | SNR Mediano (dB) |
|-------------|------------|---------------|------------------|
| R1P1 a R1P6 | Radial 1   | 81,13         | 10,03            |
| R2P1 a R2P6 | Radial 2   | 56,22         | 6,67             |
| R3P1 a R3P4 | Radial 3   | 96,14         | 12,52            |
| R5P1 a R5P6 | Radial 5   | 85,88         | 11,71            |
| R6P1 a R6P6 | Radial 6   | 89,14         | 12,90            |
| R4P1 a R4P6 | Radial 4   | 94,56         | 10,79            |
| C1P1 a C1P1 | Circular 1 | 76,45         | 9,58             |
| C2P1 a C2P1 | Circular 2 | 69,97         | 7,76             |
| C3P1 a C3P1 | Circular 3 | 99,99         | 17,47            |

Tabela II.5-Resultados para recepção móvel.

### III. Procedimento para obtenção da Intensidade de Campo Elétrico Digital

O receptor profissional HD Radio registra a intensidade do campo elétrico da portadora do sinal analógico. No entanto não disponibiliza a intensidade de campo elétrico do sinal digital. Como a relação de proteção entre o sinal analógico e digital, definido para a transmissão simulcast com antenas separadas, não se mantém à medida que os sinais se propagam, variando de acordo com o ambiente, faz-se necessário o registro de medição do sinal digital em cada ponto de medida, para que a intensidade de campo elétrico possa ser calculada nesses pontos.

Este item descreve o procedimento utilizado para cálculo da intensidade de campo elétrico referente ao sinal digital. Antes do início dos testes oficiais, o engenheiro da empresa iBiquity sugeriu uma metodologia para a obtenção desse parâmetro, a qual se encontra descrita logo abaixo. No entanto, após análise da metodologia pela equipe técnica de medição, melhorias foram propostas, sendo essa metodologia modificada utilizada durante toda a campanha de medição. A seguir será detalhada a metodologia proposta pela iBiquity bem como as melhorias implementadas pela equipe técnica de medição.

#### III.1. Metodologia proposta pela iBiquity

A metodologia proposta pela iBiquity consiste nos seguintes passos:

- a) Escolher um raio entre 1 a 2 km do transmissor e traçar um círculo, conforme Figura III.1.

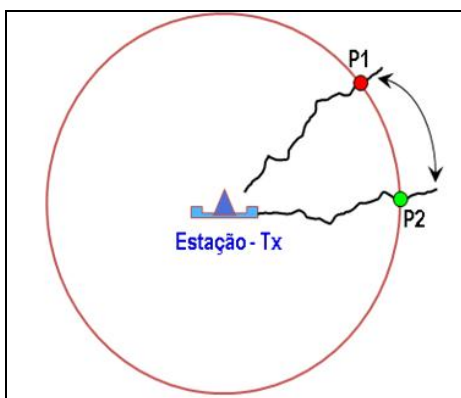


Figura III.1-Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital

- b) Escolher na direção de cada radial do planejamento da campanha de medição um ponto com visada direta, e em cada ponto escolhido capturar 6 (seis) telas (*print screen*) do analisador de espectro no modo ACPR (*Adjacent Channel Power Ratio*), sendo 5 (cinco) delas com detecção instantânea e uma no modo *average*.
- c) Por meio das cinco telas do analisador de espectro com detecção instantânea, calcular o valor do ACPR médio para cada banda lateral do sinal digital, ou seja, para suas bandas laterais superior e inferior, por meio da seguinte equação:

$$ACPR_{Avg} = 10 * \log_{10}(Z),$$

onde



$$Z = \frac{10^{\frac{ACPR_1}{10}} + 10^{\frac{ACPR_2}{10}} + 10^{\frac{ACPR_3}{10}} + 10^{\frac{ACPR_4}{10}} + 10^{\frac{ACPR_5}{10}}}{5},$$

sendo  $ACPR_n$  o valor da medida de potência existente nos canais adjacentes, referente a cada *print screen* coletado com o analisador de espectro com detecção instantânea.

- d) Determinar a potência total do sinal digital por meio dos valores dos  $ACPR_{Avg}$  calculado para cada banda lateral, conforme equação abaixo:

$$Pot_{Total} = 10 * \log_{10} \left( 10^{\frac{ACPR_{Avg}(Banda Superior)}{10}} + 10^{\frac{ACPR_{Avg}(Banda Inferior)}{10}} \right)$$

- e) De posse da última tela (*print screen*), obtida com o analisador de espectro no modo *average*, calcula-se a potência média total, da seguinte maneira:

$$Pot_{MédiaTotal} = 10 * \log_{10} \left( 10^{\frac{ACPR_a}{10}} + 10^{\frac{ACPR_b}{10}} \right)$$

sendo:

$ACPR_a$  o valor ACPR da banda superior do sinal digital obtida com o analisador de espectro no modo *average*;e

$ACPR_b$  o valor ACPR da banda inferior do sinal digital obtida com o analisador de espectro no modo *average*.

- f) Por fim, calcula-se a diferença entre a potência média total e a potência total, que corresponde à diferença das potências recebidas entre o sinal analógico e digital, conforme equação abaixo:

$$Dif = Pot_{MédiaTotal} - Pot_{Total}$$

- g) O valor de Dif pode, então, ser aplicado à intensidade de campo elétrico analógico para se obter o valor da intensidade de campo elétrico do sinal digital.

Pelo método proposto, o valor de Dif seria aplicado para toda a radial. No entanto, a relação de proteção dos sinais analógico e digital se altera de um ponto para outro, o que poderia prejudicar a análise final da campanha.

A seguir, um exemplo de cálculo proposto pela metodologia da iBiquity para obtenção da intensidade do campo elétrico digital é mostrado. Ressalta-se que os valores apresentados abaixo, apesar de obtidos durante testes realizados com o sistema HD Radio, não correspondem à emissora ora analisada.

Por meio da Tabela III.1 é possível verificar passo a passo a aplicação de todas as equações acima, obtendo assim a diferença entre as intensidades de campo elétrico dos sinais analógico e



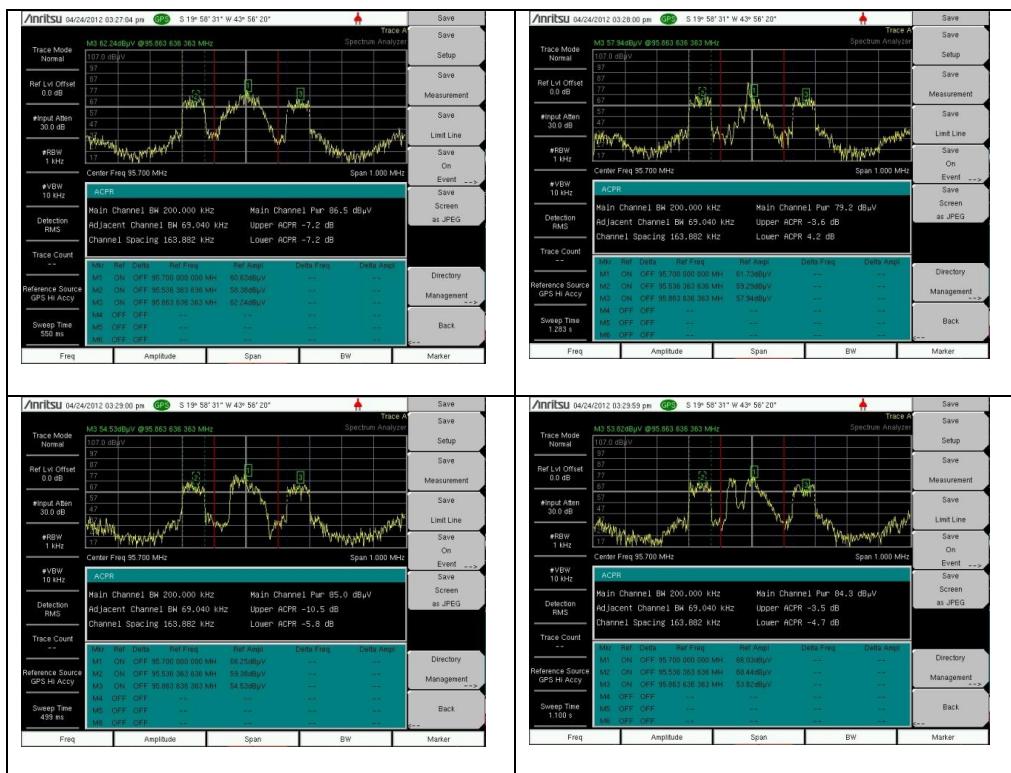
digital. A Figura III.2 até a Figura III.6 correspondem a cinco pontos escolhidos na direção de uma radial.

| Ponto   | Banda | ACPR #1 | ACPR #2 | ACPR #3 | ACPR #4 | ACPR #5 | ACPR Avg     | Potência Total | Potência Média | Potência Média Total | Diff    |
|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|----------------|----------------|----------------------|---------|
| Ponto 1 | *USB  | -7.2    | -3.6    | -10.5   | -3.5    | -8.1    | -5.791362373 | 0.106703546    | 1.5            | 5.20876              | 5.10205 |
|         | **LSB | -7.2    | 4.2     | -5.6    | -4.7    | -4.3    | -1.184308992 |                | 2.8            |                      |         |
| Ponto 2 | USB   | -10     | -10.6   | -10.6   | -9      | -8.2    | -9.574706489 | -6.379899235   | -4.8           | -1.63711             | 4.74278 |
|         | LSB   | -8.9    | -10.9   | -9.4    | -9.5    | -7.9    | -9.213212162 |                | -4.5           |                      |         |
| Ponto 3 | USB   | -5.4    | -5.9    | -3.3    | -4      | -5.9    | -4.766894458 | -1.220976364   | 0              | 2.96058              | 4.18156 |
|         | LSB   | -5.2    | -4.6    | -1.9    | -3.4    | -4.5    | -3.754522858 |                | -0.1           |                      |         |
| Ponto 4 | USB   | -2.7    | -4.4    | -3.3    | -2.3    | -3      | -3.084100564 | 0.319285974    | 5              | 8.01029              | 7.69101 |
|         | LSB   | -2.7    | -3.2    | -1.9    | -1.9    | -2.1    | -2.330571985 |                | 5              |                      |         |
| Ponto 5 | USB   | -11.6   | -15     | -9.7    | -11.3   | -12.6   | -11.71284801 | -10.50124734   | -8             | -6.39626             | 4.10498 |
|         | LSB   | -16     | -16.6   | -18.5   | -16.9   | -15.7   | -16.63722094 |                | -11.5          |                      |         |

Tabela III.1-Exemplo da metodologia proposta pela iBiquity

\*Banda Lateral Superior

\*\* Banda Lateral Inferior



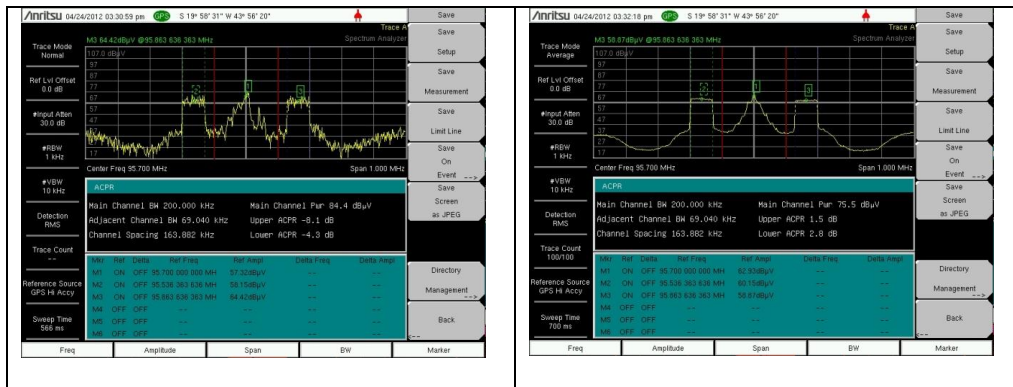


Figura III.2-Ponto 1: distância ao transmissor de 1060 m

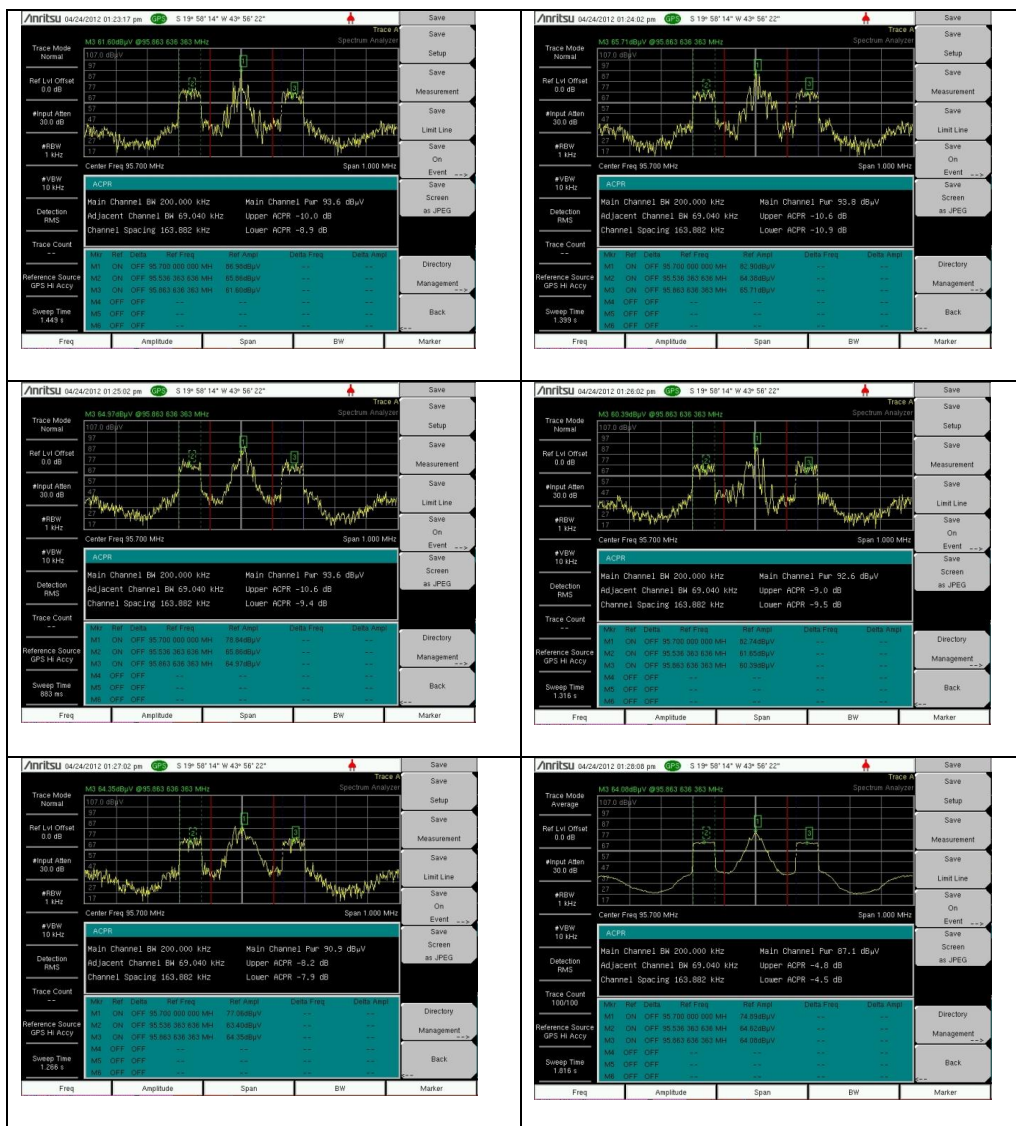


Figura III.3-Ponto 2: distância ao transmissor de 1100 m

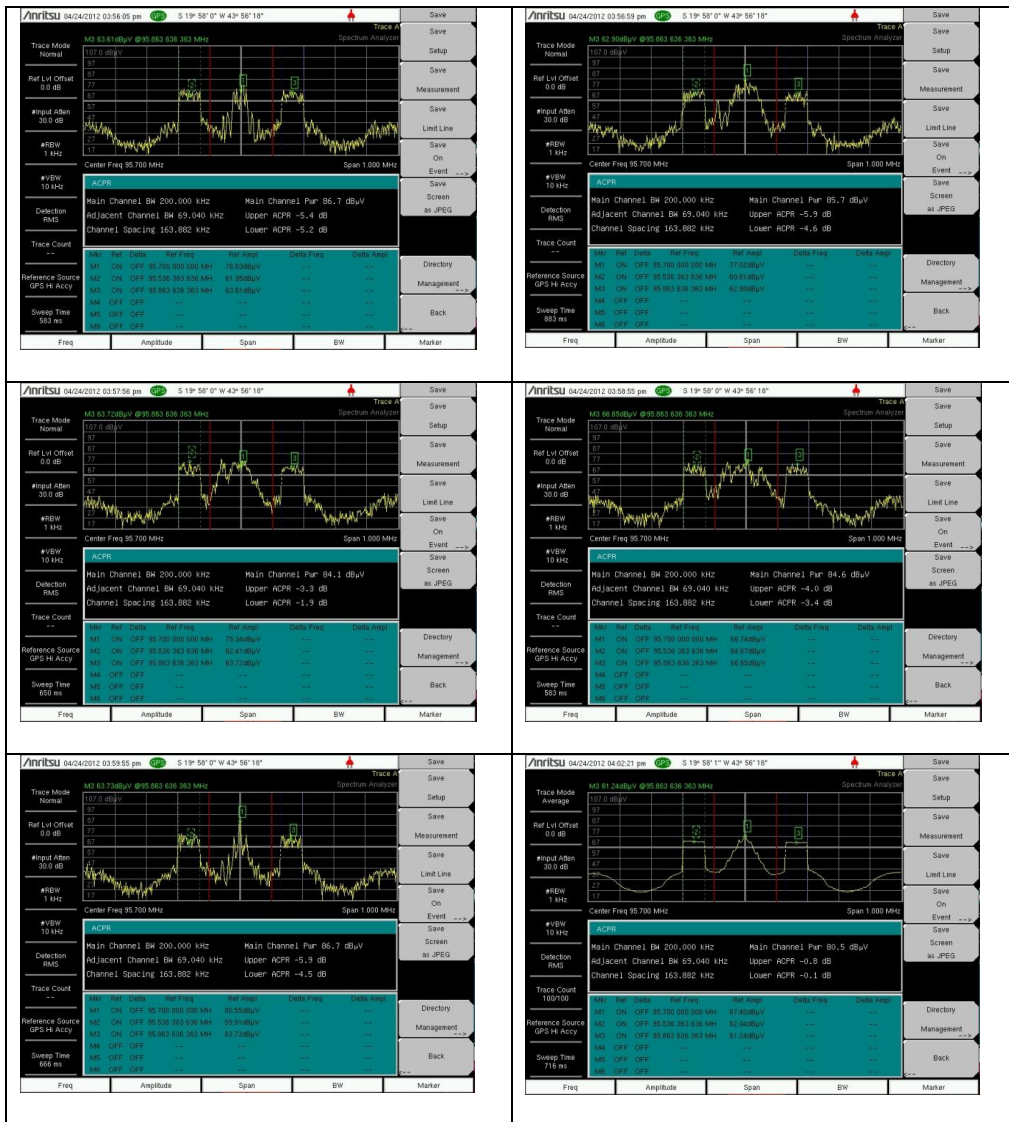


Figura III.4-Ponto 3: distância ao transmissor de 996 m



Figura III.5-Ponto 4: distância ao transmissor de 1134 m



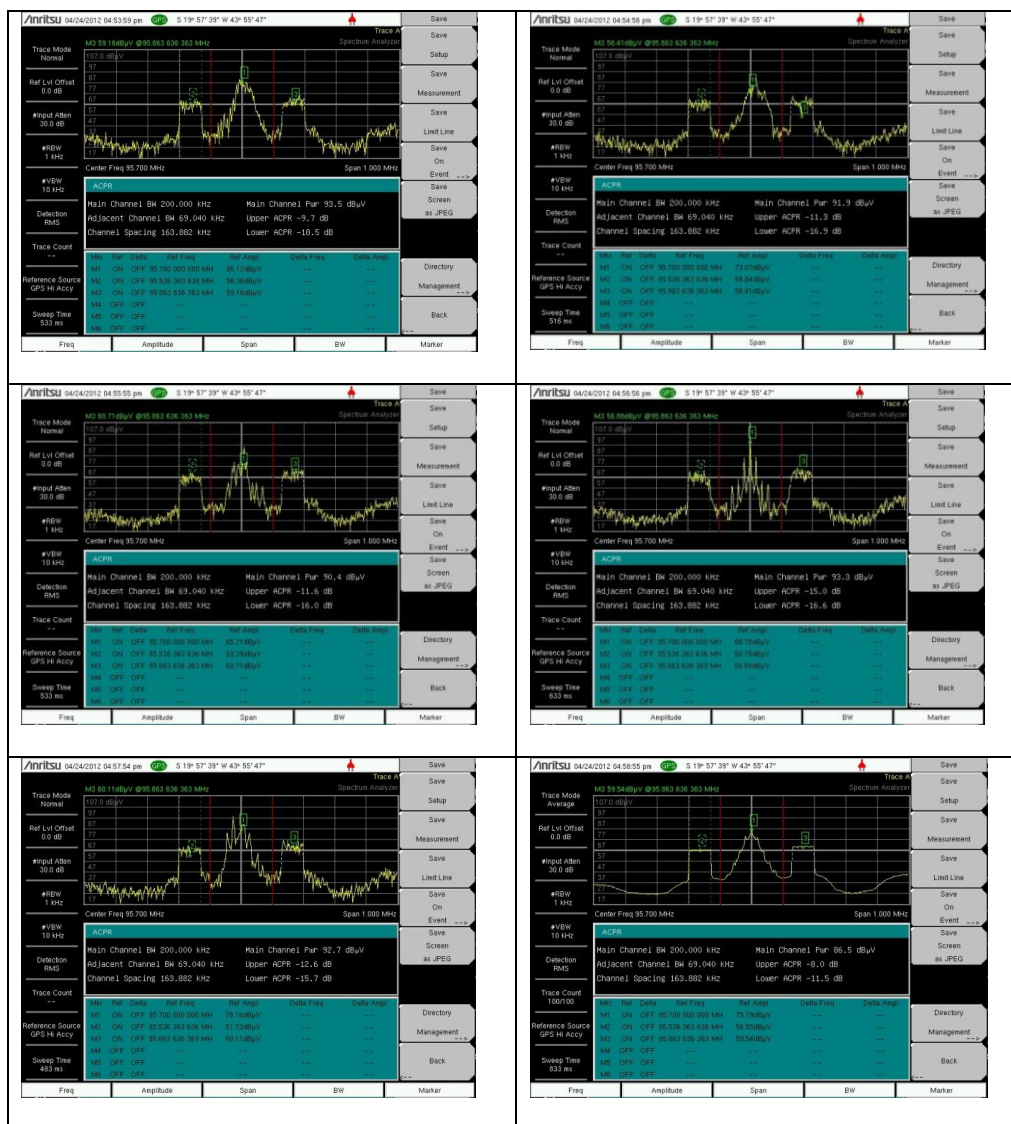


Figura III.6-Ponto 5: distância ao transmissor de 1150 m

### III.2. Melhorias na Metodologia proposta pela iBiquity

Com o intuito de melhorar a metodologia proposta pela iBiquity foram realizadas as seguintes alterações:

- Um software de captura de traços do analisador de espectro foi desenvolvido pela equipe do Inmetro com a ferramenta MatLab. Assim, a cada 1,2 segundos, todas as informações da tela do analisador eram armazenadas em arquivo Excel para posterior processamento com o software desenvolvido. Assim, ao invés de ter cinco telas *print screen* com detecção instantânea em cada ponto, tem-se o equivalente a 150 telas num período de 3 minutos de medição com o analisador de espectro com detecção instantânea e mais 3 minutos de medição com o analisador no modo *average*, melhorando consideravelmente a precisão do valor Dif.
- O software HD Radio Profissional fornece os dados a cada 100 milissegundos. Assim na campanha móvel não foi possível sincronizar diretamente as amostras do software

HD Radio Profissional com o analisador de espectro. Nesse caso, o valor mediano de cada 12 amostras do software HD Radio Profissional foi sincronizado com um traço do analisador de espectro.

- c) Para validar o item “b”, as intensidades de campo elétrico do sinal analógico oriundas do software HD Radio e do analisador de espectro foram comparadas e o erro ocorreu na décima casa decimal, sendo, portanto, considerado aceitável.

Com a automatização, foi possível determinar o valor da intensidade de campo elétrico digital em cada ponto fixo e em movimento, sendo, portanto, um método mais preciso do que o proposto pela iBiquity, que iria atribuir o valor Dif para toda a radial.



## IV. Arquivo de Medição do Sistema HD Radio

Este apêndice apresenta uma parte do arquivo de medições (30 amostras) do ponto R1P1 com todos os campos coletados pelo software *HD Prospector Field Test System* do receptor profissional HD Radio. Em cada ponto fixo a medição coleta aproximadamente 3000 amostras. Na medição em mobilidade a quantidade de amostras depende da distância entre dois pontos fixos.

| Date (DD/MM/YY) | Time UTC -3 | Time (File Start) | Distance to TX | Latitude  | Longitude  | Validity | # Sat | Altitude (meters) | Speed (kph) | Track (degrees) | Freq     | Analog FI dBuV | Rx Mode | AM/FM | Svc Mode | Acq Status | SIS CRC Status | Dig Aud Acq | Audio Pgms Avail | Current Pgm | DAAI | SIS Frm Acq Time | Audio Acq Time | Quality Indicator | SNR   | Blend Count | Frame Count | Core Frame Errors | Enh Frame Errors |
|-----------------|-------------|-------------------|----------------|-----------|------------|----------|-------|-------------------|-------------|-----------------|----------|----------------|---------|-------|----------|------------|----------------|-------------|------------------|-------------|------|------------------|----------------|-------------------|-------|-------------|-------------|-------------------|------------------|
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 498               | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.14 | 1041        | 54553       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 803               | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.14 | 1041        | 54553       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 803               | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54558       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 803               | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54558       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1000              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54562       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1200              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54562       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1305              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54566       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1305              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54566       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1401              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54571       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:37    | 1401              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54571       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 1499              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54575       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 1802              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54575       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 1802              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54579       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 1802              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54579       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 1999              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54583       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 2200              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54583       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 2307              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54588       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 2307              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.84 | 1041        | 54588       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 2401              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54592       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:38    | 2401              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54592       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 2500              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54596       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 2699              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54596       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 2803              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54601       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 2803              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54601       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 3099              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54605       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 3200              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54605       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 3306              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54609       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 3306              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54609       | 114               | 0                |
| 04/06/2012      | 11:02:39    | 3401              | 0.234809846    | -15.90354 | -48.064482 | 2        | 9     | 1234.7            | 0           | 254.8           | 98.1 MHz | 75             | 1       | 1     | 1        | 1          | 1              | 1           | 10000000         | 0           | 15   | 24               | 119            | 15                | 17.82 | 1041        | 54614       | 114               | 0                |

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Doc. NRSC-5-C. In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard. Set. 2011.
- [2] Doc. No. SY\_SSS-1026s rev. F, HD Radio FM Transmission System Specifications, iBiquity Digital Corporation, 8/25/11.
- [3] Ibiqity Digital Corporation, HD Radio FM Transmission System Specifications, SY\_SSS\_1026s Revisão F, August 24, 2011.
- [4] Ibiqity Digital Corporation, HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 FM, SY\_IDD\_1011s Revision G, August 23, 2011
- [5] Guia para Avaliação do Sistema de Rádio Digital FM IBOC, Junho 2007, Disponível em <http://www.anatel.gov.br/Portal/>
- [6] Anatel (2008), “SIGAnatel - Sistema de Informações Geográficas”, Disponível em <http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel>
- [7] Recommendation ITU-R BS.1284-1: General methods for the subjective assessment of sound quality, 2003.
- [8] 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).
- [9] Rec. ITU-R BS.412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, 1998.
- [10] Doc. No. SY\_SSS-1082s rev. F, HD Radio AM Transmission System Specifications, iBiquity Digital Corporation, 8/24/11.
- [11] Ibiqity Digital, HD Radio Air Interface Design Description Layer 1 AM, SY\_IDD\_1012s Revision F, August 23, 2011
- [12] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio: How it Works, Disponível em: [http://www.ibiquity.com/hd\\_radio/hdradio\\_how\\_does\\_it\\_work](http://www.ibiquity.com/hd_radio/hdradio_how_does_it_work), Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [13] Shuldiner, Albert, [Memorando] 13 abr. 2005, Columbia [para] IBOC Standards Development Working Group e DAB Subcommittee, 6f, iBiquity patent disclosure.
- [14] HD Radio Alliance. New HD Radio technology launches in Mexico. Disponível em: <http://www.hdradio.com/news-buzz/new-hd-radio-technology-launches-in-mexico>, Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [15] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio Broadcasting Around the World. Disponível em: <http://www.ibiquity.com/international>. Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [16] Ibiqity Digital Corporation, Field report – AM IBOC nighttime performance. 20 out. 2003.
- [17] Ibiqity Digital Corporation. AM nighttime compatibility study report. 23 maio 2003

- [18] Ibiquity Digital Corporation. AM All-digital IBOC field test report. 12 abril 2002.
- [19] Ibiquity Digital Corporation. FM All-digital IBOC field test report. 1 fev. 2002.
- [20] Ibiquity Digital Corporation. FM Hybrid IBOC field test results. Dez. 2000.
- [21] Ibiquity Digital Corporation. Experimental test report on IBOC DAB field tests using KWNR-FM, Las Vegas, Nevada, 2000.
- [22] National Public Radio. Tomorrow Radio field testing in the Washington, D.C., New York City, San Francisco, and Los Angeles (Long Beach) Radio Markets, 6 fev., 2004.
- [23] Kean, J. HD Radio coverage measurement and prediction. Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies, pp,123-130, fev., 2007.
- [24] Recommendation ITU-R BS.1114-7 Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3000 MHz, 2011.
- [25] Ibiquity Digital, Transmission Signal Quality Metrics for FM IBOC Signals, SY\_TN\_2646s Revision 02, August 24, 2011.