



Serviço Público Federal

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

---

## NOTA TÉCNICA

---

**Número: Dimci/Ditel/021/2012**

**Referência: Medições de Campo do Sistema HD Radio na Faixa de FM em Belo Horizonte com a Rádio Itatiaia FM**

---

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2. SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....</b>	<b>9</b>
2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO .....	9
2.2. PARÂMETROS DE TRANSMISSÃO .....	13
<b>3. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
3.1. EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO .....	14
3.2. PARÂMETROS DE MEDIÇÃO .....	19
3.3. METODOLOGIA DE MEDIÇÃO.....	20
3.4. PLANEJAMENTO DAS ROTAS.....	20
<b>4. RESULTADOS DOS TESTES .....</b>	<b>23</b>
4.1. COMPARAÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DO SINAL ANALÓGICO MEDIDA COM A PREVISÃO TEÓRICA.....	23
4.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPTOR PROFISSIONAL.....	25
4.2.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO ESTÁTICA .....	25
4.2.2. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA DO SINAL DIGITAL COM RECEPÇÃO MÓVEL .....	29
4.3. AVALIAÇÃO OBJETIVA DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTORES COMERCIAIS.....	33
4.3.1. AVALIAÇÃO DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTOR COMERCIAL NAS MEDIÇÕES ESTÁTICAS .....	33
4.3.2. AVALIAÇÃO DO ÁUDIO DIGITAL DE RECEPTOR COMERCIAL EM MOBILIDADE.....	35
4.4. RECEPÇÃO DIGITAL <i>INDOOR</i> .....	35
4.5. RESULTADOS DA RECEPÇÃO ANALÓGICA FM.....	36
4.5.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DE COBERTURA EM RECEPÇÃO ESTÁTICA .....	36
4.5.2. RECEPÇÃO FM <i>INDOOR</i> .....	39
4.6. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DA RECEPÇÃO DOS ÁUDIOS ANALÓGICO E DIGITAL .....	39
4.7. IMPACTO DO SINAL DIGITAL HD RADIO SOBRE O ÁUDIO ANALÓGICO .....	42
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>43</b>
<b>I. SISTEMA HD RADIO .....</b>	<b>43</b>
I.1. HISTÓRICO E PADRONIZAÇÃO .....	43
I.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SISTEMA HD RADIO .....	45
I.2.1. MODOS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA HD RADIO NA FAIXA FM .....	45
I.2.2. DIVERSIDADES NO TEMPO E NA FREQUÊNCIA.....	46
I.2.3. MECANISMO <i>BLEND</i> .....	47
I.2.4. LÍMITES DE EMISSÕES ESPECTRAIS FM .....	47
I.2.5. CANAL DE CONTROLE DO SISTEMA .....	49
I.2.6. CANAIS LÓGICOS .....	49
I.2.7. PARTIÇÕES DE FREQUÊNCIA E CONVENÇÕES ESPECTRAIS NOS MODOS DE TRANSMISSÃO.....	50
I.2.8. NÍVEIS DAS BANDAS LATERAIS DIGITAIS.....	56
<b>II. RESULTADOS TABELADOS.....</b>	<b>59</b>
II.1. DETALHES DAS ROTAS UTILIZADAS NAS MEDIÇÕES HD RADIO .....	59
II.2. DETALHES DOS RESULTADOS DAS MEDIÇÕES HD RADIO .....	61
<b>III. PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DA INTENSIDADE DE CAMPO ELÉTRICO DIGITAL .....</b>	<b>63</b>

III.1.	METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY .....	63
III.2.	MELHORIAS NA METODOLOGIA PROPOSTA PELA IBIQUITY.....	69
<b>IV.</b>	<b>ARQUIVO DE MEDIÇÃO DO SISTEMA HD RADIO.....</b>	<b>71</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Características técnicas da emissora Itatiaia e das transmissões analógica e digital .	11
Tabela 2 – Modo de transmissão do IBOC utilizado durante os testes .....	13
Tabela 3 – Características técnicas dos dispositivos e equipamentos de medição .....	16
Tabela 4 – Descrição dos parâmetros de medição do software HD Radio.....	17
Tabela 5 – Parâmetros de Avaliação .....	19
Tabela 6 – Descrição das rotas.....	21
Tabela 7 – Resultados da recepção estática nas rotas radiais e circulares.....	25
Tabela 8 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais da Rádio Itatiaia FM.....	31
Tabela 9 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares da Rádio Itatiaia FM .....	33
Tabela 10 – Medições fixas com receptores comerciais .....	33
Tabela 11 – Ocorrências de <i>blends</i> nos receptores comerciais e profissional em mobilidade ....	35
Tabela 12 – Pontos de medição <i>indoor</i> .....	35
Tabela 13 – Resultados da recepção <i>indoor</i> .....	36
Tabela 14 – Escala de avaliação da qualidade de áudio da Recomendação UIT-R BS 1284 .....	36
Tabela 15 – Classificação das notas subjetivas do áudio adotadas neste trabalho .....	37
Tabela 16 – Resultados do áudio analógico em recepção estática .....	38
Tabela 17 – Resultados da recepção do áudio analógico <i>indoor</i> .....	39
Tabela 18 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática.	40
Tabela 19 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática.....	41
Tabela 20 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital nas medições <i>indoor</i>	42
Tabela 21 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção <i>indoor</i> .....	42
Tabela I.1- Limites de emissão do modo Híbrido HD Radio FM (*) .....	48
Tabela I.2 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM .....	48
Tabela I.3-Taxa de informação aproximada dos canais lógicos primários .....	50
Tabela I.4 - Taxa de informação aproximada dos canais lógicos secundários.....	50

Tabela I.5-Resumo da forma de onda Híbrida, modo de serviço MP1 .....	53
Tabela I.6-Resumo da forma de onda Híbrida Estendida, modos de serviço MP2, MP3, MP11, MP5 e MP6 .....	55
Tabela I.7-Escalonamento de subportadoras OFDM .....	56
Tabela II.1-Detalhes da localização dos pontos de medições HD Radio .....	59
Tabela II.2-Detalhes dos trechos de rotas radiais para medições móveis .....	60
Tabela II.3-Detalhes dos trechos de rotas circulares para medições móveis .....	60
Tabela II.4-Detalhes da localização das medições <i>indoor</i> .....	60
Tabela II.5-Resultados do HD Radio para recepção em pontos fixos.....	61
Tabela II.6-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos .....	62
Tabela II. 7-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos <i>indoor</i> .....	62
Tabela III.1-Exemplo da metodologia proposta pela iBiquity .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do centro de transmissão da Rádio Itatiaia FM .....	9
Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão .....	10
Figura 3 – Visão do transmissor IBOC .....	11
Figura 4 – Detalhe da tela do transmissor .....	11
Figura 5 – Detalhes do transmissor IBOC (esq) e amplificadores (dir) .....	12
Figura 6 – Antena de dois elementos do sistema IBOC .....	12
Figura 7 – Centro de transmissão da Itatiaia: visão global da estação (esq); antena FM (dir)....	13
Figura 8 – (a) Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro e detalhe da antena; (b) equipamentos de medição .....	14
Figura 9 – Diagrama dos equipamentos de medição.....	15
Figura 10 – Antena de recepção modelo Kathrein .....	15
Figura 11 – Tela do programa do receptor HD Radio.....	16
Figura 12 – Espectro registrado no ponto R1P1.....	17
Figura 13 – Receptores analógicos comerciais NKS (esq) e TOSHIBA (dir) .....	18
Figura 14 – Receptores digitais comerciais SONY (esq) e JVC (dir) .....	18
Figura 15 – Receptor digital profissional HD Radio.....	18
Figura 16 – Ponto de transmissão da Rádio Itatiaia FM, com indicação dos pontos cardeais ....	21
Figura 17 – Rotas radiais utilizadas nos testes com a Rádio Itatiaia FM .....	22
Figura 18 – Rotas radiais (em azul) acrescidas das rotas circulares (em vermelho) utilizadas nos testes com a Rádio Itatiaia FM.....	22
Figura 19 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico .....	24
Figura 20 – Vista do ponto de transmissão da Rádio Itatiaia FM na direção norte.....	24
Figura 21 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa .....	25
Figura 22 – (a) Perfil do terreno entre o centro de transmissão e R4P3; (b) obstrução localizada a 1,5 km do ponto de recepção R4P3 .....	26
Figura 23 – Perfil do terreno entre o centro de transmissão e o ponto R4P4.....	27
Figura 24 – Detalhe da recepção digital até 15 km .....	27
Figura 25 – Intensidade de campo digital em função da distância do transmissor .....	28

Figura 26 – Intensidade de campo digital versus SNR .....	29
Figura 27 – Parâmetro Rx_Mode registrado nas medições em mobilidade .....	30
Figura 28 – Registro de medição móvel no trecho R4P2 a R4P3 .....	31
Figura 29 – Detalhe do registro do Rx_Mode na área urbana de Belo Horizonte .....	32
Figura 30 – Áudio SONY das medições fixas .....	34
Figura 31 – Áudio JVC das medições fixas .....	34
Figura 32 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Itatiaia .....	37
Figura 33 – Recepção estática do áudio analógico no mapa; detalhe para o raio de 15 km (dir) 38	
Figura 34 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital .....	40
Figura 35 – Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir) .....	42
Figura I.1-Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM .....	47
Figura I.2 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM .....	48
Figura I.3-Partição de frequência – Ordenação A .....	51
Figura I.4-Partição de frequência – Ordenação B .....	51
Figura I.5 - Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral inferior .....	52
Figura I.6 - Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral superior .....	52
Figura I.7-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, Modo Híbrido, modo de serviço MP1 ..	52
Figura I.8-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, modo híbrido estendido .....	54
Figura I.9 - Espectro do Modo Digital Total, modos de serviço MP5 e MP6, MS1 até MS4 .....	55
Figura I.10 - Modo Híbrido Estendido .....	58
Figura III.1-Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital.	63
Figura III.2-Ponto 1: distância ao transmissor de 1060 m .....	65
Figura III.3-Ponto 2: distância ao transmissor de 1100 m .....	66
Figura III.4-Ponto 3: distância ao transmissor de 996 m .....	67
Figura III.5-Ponto 4: distância ao transmissor de 1134 m .....	68
Figura III.6-Ponto 5: distância ao transmissor de 1150 m .....	69

## **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 através 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.

O presente trabalho relata os testes do sistema HD Radio com a emissora de radiodifusão sonora Itatiaia LTDA no município de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. A transmissão híbrida da Rádio Itatiaia foi realizada por um período de três semanas, de 12 de abril de 2012 a 04 de maio de 2012, no qual foram realizados testes diurnos.

Para a realização dos testes foram instalados um transmissor HD Radio e uma antena na estação da Rádio Itatiaia em Belo Horizonte, que foram utilizados durante a campanha de medidas para a transmissão do sinal digital, constituindo assim um sinal híbrido no ar com o sinal FM analógico, ambos transmitindo a mesma programação.

A realização desses testes foi autorizada pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) por meio do Ato Nº 2037, de 11 de abril 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)  
Engenheiros da Delegacia Regional do Ministério das Comunicações em Minas Gerais (DRMC-MG)

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

Augusto Pereira da Soledade  
Jaci Rodrigues Nascimento Junior  
João Alfredo Cal Braz  
Tiago de Pina Almeida  
Pedro Vladimir Gonzalez Castellanos  
Winicius Rosa Evangelista

### **Equipe de engenheiros e técnicos da Itatiaia**

Severino Dias Carneiro - Gerente Técnico

### **Locais dos testes**

Belo Horizonte – MG

### **Emissora envolvida**

Rádio Itatiaia LTDA – MG

### **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

**Cláudio Garcia Batista**, MSc (UFMG): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de Telecomunicações

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

**Rodrigo Pereira David**, MSc (Inmetro): Mestre em Sistemas de Telecomunicações, doutorando em Sistemas de 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 Rádio Itatiaia LTDA, em Belo Horizonte / MG, no 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 Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) com a colaboração da emissora Rádio Itatiaia LTDA e da empresa *iBiquity Digital Corporation* com o apoio da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), e a supervisão do Ministério das Comunicações (MC).

O sistema de transmissão estava localizado no topo de uma montanha, de aproximadamente 350 metros em relação ao nível médio do terreno da cidade de Belo Horizonte. O sinal digital HD Radio foi transmitido no modo híbrido combinado com o sinal analógico no ar, 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 31,5 kW e, para o sinal digital, de 350 W. Acoplando os sistemas FM e HD Radio nas suas respectivas antenas de transmissão, a Potência Isotrópica Efetivamente Irradiada (EIRP) do sinal analógico foi de 134 kW e a do sinal digital, de 0,54 kW. Assim, a relação de proteção (relação de potência EIRP entre os sinais analógico e digital) foi de 23,94 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 um mesmo ambiente (urbano, industrial, rural, etc.), evitando se afastar do transmissor. As rotas radiais foram planejadas para avaliar a área de cobertura dos sinais analógico e digital, enquanto que as rotas circulares foram utilizadas para avaliar a recepção em diferentes ambientes.

A antena de transmissão da emissora está localizada no alto da cadeia de montanhas próxima à divisa dos municípios de Belo Horizonte e Nova Lima, no Estado de Minas Gerais. As rotas foram planejadas para passar em regiões da cidade de Belo Horizonte localizadas ao norte da cadeia de montanhas, local de maior concentração populacional, e também na região localizada ao sul das montanhas que, devido às suas particularidades, possui menor 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 41 medições em toda região, havendo decodificação do áudio digital em 32 pontos (78%). Dentro do raio de 15 km a partir do transmissor houve 31 medições, das quais 28 (90%) tiveram a decodificação do áudio digital. Nessas medições estáticas não ocorreu alternância entre a recepção digital e a analógica (*blend*) durante o tempo de registro em cada ponto.

Na direção norte da antena de transmissão os resultados estáticos obtidos nas rotas radiais foram muitos bons, pois apenas em um ponto não houve decodificação do áudio digital, local situado a 24,2 km da emissora (R4P3), ao lado da Rodovia MG424. Entretanto no ponto R4P4, situado a 51,2 km de distância da emissora, houve decodificação do áudio digital. Pode-se inferir que os obstáculos do terreno influenciaram na atenuação da intensidade do campo elétrico e que a presença de tráfego intenso contribuiu para a degradação do sinal, dificultando a decodificação do áudio digital no ponto R4P3. Em contrapartida, sobre esta rota de medição (R4), em ponto mais distante situado a 51,2 km do transmissor (R4P4) houve decodificação de áudio digital. Foi verificado que o perfil do terreno entre o transmissor e esse ponto é menos acidentado, permitindo melhor situação para a recepção digital e, conseqüentemente, para a decodificação do áudio. Portanto, na cidade de Belo Horizonte, localizada ao norte da montanha onde se situa o ponto de transmissão, houve decodificação do áudio digital.

Na direção sul da cadeia de montanhas, as características geográficas, bem como a concentração de torres de outras emissoras atrás da torre da Itatiaia (costas da antena), contribuíram para que os níveis de intensidade de campo elétrico nessa direção estivessem mais baixos do que na área norte, fazendo com que os resultados estáticos nas rotas radiais fossem ruins. Essa situação dificultou a cobertura no município de Nova Lima / MG, situado a aproximadamente 9 km na direção sul da antena.

O limiar de intensidade de campo elétrico digital para boa recepção digital em medições estáticas com receptor profissional ficou compreendido na faixa de 35 a 40 dB $\mu$ V/m. Cabe

salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de relação sinal-ruído (SNR) para a decodificação do sinal HD Radio é respeitado. No teste em questão, o menor valor de SNR medido para boa recepção com o sistema HD Radio foi de 7,4 dB. Com o valor de 2,6 dB não foi possível decodificar o sinal digital. Entre esses valores não houve registro de medição de SNR que permitisse definir um limiar mínimo para a recepção estática com o sistema HD Radio.

As medições estáticas com receptor profissional em rotas circulares mostraram a ocorrência de decodificação de áudio digital em todas as rotas na área norte, C1 (ambiente urbano denso), C2 (ambiente urbano), C3 (ambiente urbano em área industrial) e C4 (ambiente residencial). Nessas rotas todos os valores medidos de intensidade de campo elétrico ficaram acima do limiar para recepção estática, situado na faixa de 38 a 43 dB $\mu$ V/m. O menor valor de intensidade de campo elétrico mediano dentro do conjunto de pontos dessas quatro rotas foi 46,65 dB $\mu$ V/m para SNR de 10,51 dB (C1P3). Na direção sul da antena, na rota C5 (urbana leve), situada na área residencial de Nova Lima, houve dois pontos onde não ocorreu decodificação do sinal digital. Estes pontos são C5P1 (12,3 km da emissora, com 34 dB $\mu$ V/m) e C5P5 (8,3 km da emissora, com 29,19 dB $\mu$ V/m). Na rota C5 os valores de intensidade de campo elétrico mediano registrados estiveram abaixo do limiar.

A recepção estática *indoor* do áudio digital com receptor profissional foi considerada boa, pois, dentre as cinco medições realizadas em diversos locais da cidade (dentro do raio de 15 km), em apenas um local não houve decodificação de áudio digital.

Na avaliação do áudio digital com receptores comerciais em medições estáticas foram usados um receptor de mesa da marca SONY e um receptor automotivo JVC, que possuem o mecanismo *blend*. Utilizando-se o critério de ocorrência ou não de *blends* no áudio gravado durante medições estáticas, obteve-se dentro do raio de 15 km a recepção puramente digital com o receptor JVC em 87% dos locais e em 83,9% com o receptor SONY. Em relação ao limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital com os receptores SONY e JVC, os valores variaram de 45 a 50 dB $\mu$ V/m para o primeiro e de 40 a 45 dB $\mu$ V/m para o segundo, respeitando-se o limiar necessário de SNR do sistema HD Radio para recepção. Essa diferença foi constatada na recepção móvel, com maior estabilidade do áudio digital no receptor JVC.

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 do raio de 15 km em relação ao transmissor, obtiveram-se 22 pontos (71%) com “Recepção Boa” e 9 pontos (29%) com “Recepção Pobre”. A partir dessa distância não foi verificada tendência na avaliação, tendo ocorrido os três tipos, ou seja, “Recepção Boa” (26 pontos), “Recepção Pobre” (10 pontos) e “Recepção Ruim” (5 pontos). O limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico obtido para uma boa recepção de áudio foi de aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m. Este valor está próximo do valor de 54 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas rurais e do valor de 66 dB $\mu$ V/m para áreas urbanas.

Comparando as recepções dos sinais analógico e digital, verificou-se por meio dos testes que, dentro do raio de 15 km, o áudio digital atendeu a mais pontos do que o áudio analógico com qualidade de recepção boa, caracterizando bom desempenho do sistema digital nessa região.

Após 15 km e até a distância aproximada de 50 km, houve atendimento similar dos dois sistemas, quando comparada a recepção digital à recepção analógica com qualidade boa, de onde se conclui que a cobertura do HD Radio é similar à cobertura do FM nessa área.

A recepção do áudio analógico em medições estáticas *indoor* foram realizadas nos mesmos locais que as medições *indoor* do áudio digital, resultando em três locais com “Recepção Boa” e dois locais com “Recepção Ruim”. Considerando os resultados *indoor* obtidos para os sinais analógico e digital, observa-se que a recepção do áudio digital foi melhor que a do áudio analógico.

A análise do impacto da presença do sinal digital HD Radio sobre o áudio analógico foi realizada com base na avaliação subjetiva dos áudios analógicos. Esses áudios foram obtidos em medições estáticas por meio de receptores comerciais. Os áudios analógicos registrados nas situações com o transmissor digital ligado e desligado foram avaliados. Os valores mostraram que a presença do sinal digital não causou impacto na qualidade do áudio analógico FM.

As medições em mobilidade com o receptor profissional foram realizadas para verificar a decodificação do sinal digital, as ocorrências de *blends* e a estimativa da área de cobertura digital em cada uma das rotas, as quais são divididas em trechos entre pontos fixos.

Ao longo das três (3) rotas radiais que se estendem na área norte da cadeia de montanhas, R1 (nordeste), R4 (norte) e R5 (oeste), houve decodificação do áudio digital até uma distância aproximada de 25 km a partir do transmissor sobre cada rota (nos trechos P1 a P2 e P2 a P3), com ocorrências de alguns *blends*. Estes se tornaram mais frequentes nos trechos que seguem até aproximadamente 50 km (trechos P3 a P4).

Verificando o resultado por rota, tem-se que na radial R4, rota de maior interesse devido ao seu trajeto através do centro da cidade, nos dois primeiros trechos (P1 a P2 e P2 a P3) houve decodificação digital em quase 100% dos quadros de áudio recebidos. No trecho P3 a P4 (de 24,2 a 51,2 km), a decodificação do áudio digital ocorreu em metade dos quadros de áudio recebidos. Na rota R1 houve decodificação de áudio digital em quase 100% dos quadros de áudio recebidos nos trechos P1 a P2 e P2 a P3, havendo cobertura quase sem *blends* até 26,4 km. No terceiro trecho (P3 a P4), que atinge a distância de 50,6 km do transmissor, houve pouca cobertura digital, com decodificação de somente 12,4% dos quadros de áudio digital recebidos dentro desse trecho. Na rota R5 houve decodificação de áudio digital em todo o trecho P1 a P2, ou seja, até 12,7 km. No segundo trecho (P2 a P3) houve decodificação do áudio digital em 92% dos quadros de áudio recebidos, não ocorrendo *blend* até 20 km. No último trecho (P3 a P4), que seguia de 25,4 a 50,6 km do transmissor, houve maior ocorrência de *blends* do que nos demais trechos.

Então, sobre as três rotas da área norte da montanha, os resultados mostraram que houve cobertura digital com ocorrências de *blends* até as distâncias de 26,4 km sobre R1, até 24,2 km sobre R4 e até 20 km sobre R5 (distâncias em relação à emissora).

Na direção sul a decodificação do áudio digital sobre a rota R2 ocorreu até a distância de 11 km em relação ao transmissor e, sobre a rota R3, até 8 km em relação ao transmissor.

Em relação aos resultados em mobilidade sobre as rotas circulares, situadas em diferentes ambientes em localidades dentro de um raio de 15 km da emissora, verificou-se que as rotas C1

(ambiente urbano denso), C2 (ambiente urbano), C3 (ambiente urbano, área industrial) e C4 (ambiente residencial), situadas na área norte em relação à antena transmissora, tiveram decodificação de áudio digital durante todo o tempo de medição em todos seus trechos. No entanto, na rota circular C5 (ambiente residencial), situada ao sul da montanha, apenas em dois trechos (P2 a P3 e P3 a P4) houve decodificação do áudio digital, com ocorrência de poucos *blends*. Nos outros três trechos dessa rota (P1 a P2; P4 a P5; P5 a P1) a recepção do sinal digital foi ruim, provavelmente devido à presença de elevações do terreno naquela região que constituem obstrução para o sinal.

Para a avaliação da recepção móvel com receptores comerciais, a unidade móvel percorreu duas rotas (R1 e R5) com velocidade até 80 km/h, tendo sido observada a estabilidade do áudio digital na recepção, mesmo com variação de velocidade e aceleração do veículo.

Os resultados da recepção do áudio digital em mobilidade na área de maior concentração populacional da cidade de Belo Horizonte (área urbana), até 15 km do transmissor, foram considerados bons.

Concluindo, os resultados dos testes com o sistema HD Radio em Belo Horizonte em transmissão híbrida mostraram que o sinal 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 15 km a partir do transmissor, estando 23,94 dB abaixo do FM (aproximadamente 0,4% da potência EIRP do sinal analógico).

Rio de Janeiro, 22 de outubro de 2012

**Rodolfo Saboia Lima de Souza**

Chefe de Divisão de Metrologia em Telecomunicações  
Dimci – Ditel  
Inmetro



## 1. Introdução

Este documento apresenta o resultado dos testes realizados em Belo Horizonte / MG 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 Itatiaia FM.

A estrutura do documento é definida da maneira detalhada a seguir. O Capítulo 2 descreve o sistema de transmissão instalado na emissora Itatiaia 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, a avaliação da recepção *indoor*, os resultados da recepção analógica FM, a comparação entre resultados da recepção dos áudios analógico e digital e o impacto do sinal digital HD Radio sobre o áudio analógico. 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 Itatiaia LTDA está localizado em uma região montanhosa ao redor da cidade de Belo Horizonte, em torno de 350 metros mais alto do que a cidade. A Figura 1 ilustra a localização do centro de transmissão.

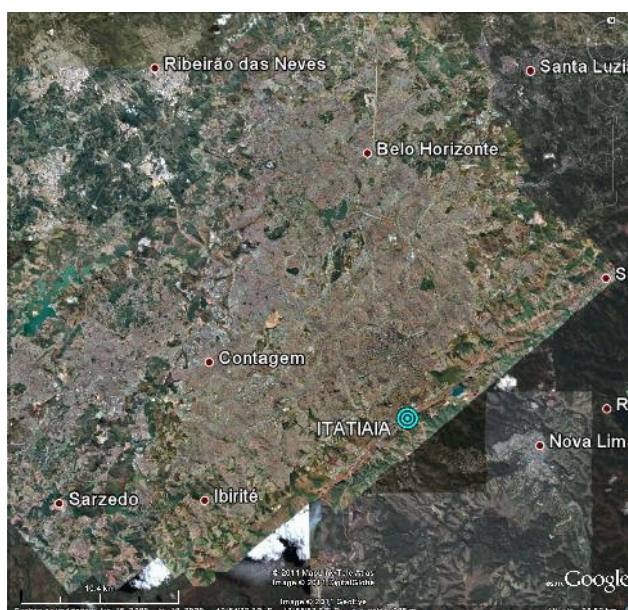


Figura 1 – Localização do centro de transmissão da Rádio Itatiaia FM



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

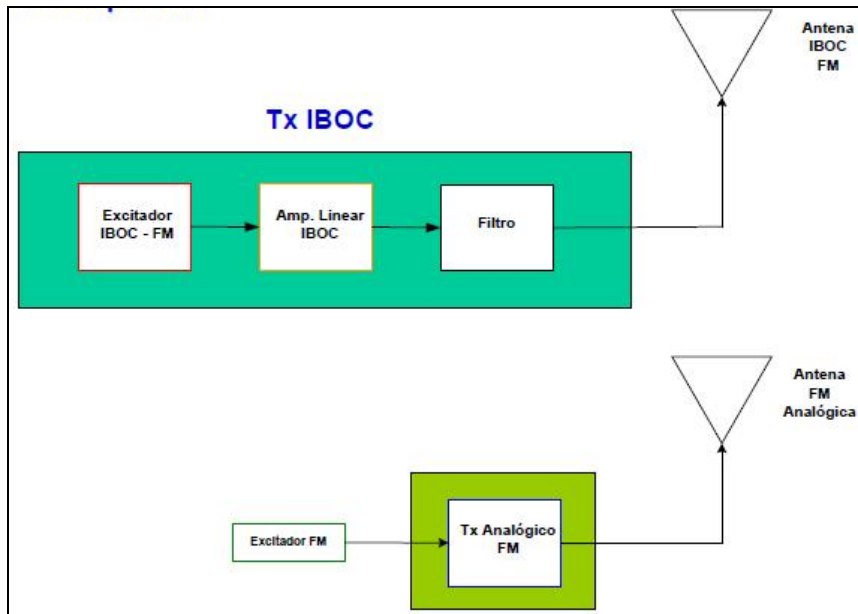


Figura 2 – Diagrama de bloco do sistema de transmissão

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE OPERAÇÃO DA EMISSORA	
ANALÓGICO	DIGITAL
FREQUÊNCIA: 95,7 MHz CLASSE: E3 CANAL: 239	FREQUÊNCIA: 95,7 MHz
LOCALIZAÇÃO DA ESTAÇÃO TRANSMISSORA	
CIDADE / ESTADO: Belo Horizonte / MG COORDENADAS GEOGRÁFICAS: 19° 58' 14" S, 43° 55' 41" W	
TRANSMISSOR	
FABRICANTE: Broadcast Electronics MODELO: FM 35T POTÊNCIA NOMINAL: 35 kW POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE TESTES: 31,5 kW	FABRICANTE: Broadcast Electronics MODELO: FMi 201 POTÊNCIA NOMINAL: 2 kW POTÊNCIA UTILIZADA DURANTE OS TESTES: 350 W
ANTENA	
FABRICANTE: SPX Communication Technology MODELO: DCRS6C (6 elementos) POLARIZAÇÃO: Circular DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 7,13 dBi (4,98 dBd) ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 38,6 m POTÊNCIA MÁXIMA: 100 kW AZIMUTE: 330° NV	FABRICANTE: ERI MODELO: SHP-2AE (2 elementos) POLARIZAÇÃO: Circular DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO: omnidirecional GANHO: 2,1374 dBi (-0,0126 dBd) ALTURA DA ANTENA EM RELAÇÃO AO NÍVEL DO SOLO: 17,60 m POTÊNCIA MÁXIMA: 40 kW AZIMUTE: 330° NV
LINHA DE TRANSMISSÃO	
FABRICANTE: SPX Communication Technology MODELO: DC 675-004 COMPRIMENTO: 34,8 m DIÂMETRO: 6 1/8" IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 0,177 dB/100m AT. DOS ACESSÓRIOS (CONECTORES, FILTROS, ETC): 0,8 dB	FABRICANTE: RFS MODELO: HCA318-50J COMPRIMENTO: 27 m DIÂMETRO: 3 1/8" IMPEDÂNCIA CARACTERÍSTICA: 50 Ohms ATENUAÇÃO DA LINHA: 0,362 dB/100m AT. DOS CONECTORES: 0,2 dB
POTÊNCIA IRRADIADA	
EIRP: 134,004 kW ERP: 81,709488 kW	EIRP: 0,53912 kW ERP: 0,3286195 kW



## RELAÇÃO ENTRE OS SINAIS DIGITAL E ANALÓGICO

RELAÇÃO DE PROTEÇÃO NO AR (FM EIRP / HD Radio EIRP): 23,94 dB

Tabela 1 – Características técnicas da emissora Itatiaia e das transmissões analógica e digital

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.

Se a transmissão do sinal digital estivesse utilizando a antena do sistema analógico, a relação de proteção analógico/digital deveria ser no mínimo de 20 dB. No entanto, foram utilizadas antenas separadas e, a critério do sistema proposto em avaliação, foi adotada uma relação de proteção no ar, EIRP, de 23,9 dB, conforme consta na Tabela 1.

O transmissor utilizado para o teste do sinal digital é fabricado pela *Broadcast Electronics*. Nesse equipamento os áudios são codificados e os parâmetros de transmissão são programados. O equipamento é mostrado na Figura 3 até a Figura 5.



Figura 3 – Visão do transmissor IBOC



Figura 4 – Detalhe da tela do transmissor



Figura 5 – Detalhes do transmissor IBOC (esq) e amplificadores (dir)

Para o sistema HD Radio foi instalada uma antena em outro mastro, situado no teto da casa de transmissão onde está o transmissor digital, conforme Figura 6. A antena possui dois elementos e ganho de 2,14 dBi. O ganho da antena FM é de 7,13 dBi.



Figura 6 – Antena de dois elementos do sistema IBOC

A antena do sistema HD Radio foi instalada a cerca de 18 metros em relação ao nível do solo e apontada na mesma direção da antena FM. A Figura 7 mostra o local antes da instalação da antena (figura da esquerda) e detalhe da antena FM de 6 elementos no mastro (figura da direita). Na figura da esquerda, a torre da emissora Itatiaia é a segunda, iniciando da esquerda.



Figura 7 – Centro de transmissão da Itatiaia: visão global da estação (esq); antena FM (dir)

## 2.2. Parâmetros de transmissão

O sistema HD Radio oferece três configurações para transmissão do sinal digital [19] [20], 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 de Medição e Metodologia

#### 3.1. Equipamentos de Medição

As medições do sistema IBOC foram realizadas com o laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro, um veículo totalmente preparado e configurado para execução de trabalhos em campo, conforme Figura 8. A estrutura disponível para o laboratório móvel conta com o compartilhamento dos equipamentos e recursos do laboratório de comunicações sem fio do Inmetro, ampliando as possibilidades de configurações de medição do veículo. Esse laboratório possui facilidade de adaptação de novos equipamentos e conjuntos de antenas para realizar todos os tipos de experimentos em diferentes sistemas de comunicações e frequências.



(a)



(b)

Figura 8 – (a) Laboratório móvel de telecomunicações do Inmetro e detalhe da antena; (b) equipamentos de medição

A Figura 8 apresenta a disposição dos equipamentos de medição no interior do laboratório móvel. 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.

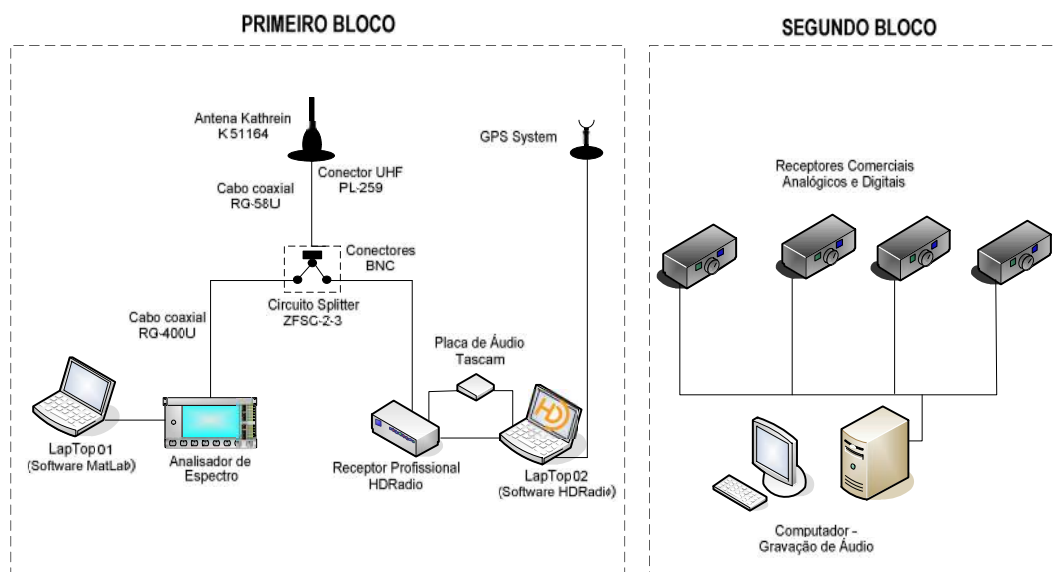


Figura 9 – Diagrama dos equipamentos de medição

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 ambas 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 Tipo monopolo, 58-300 MHz, Ganho 0dB, comprimento 1380mm Fator K=7,708 dBm-1(50 Ω) @95,7MHz
Divisor	Mini Circuits Model ZFSC-2-4+ Perda 3,31 dB@1 MHz & 100 MHz
Cabo da antena para divisor	Tipo RG58U Perda 0.01dB/m@ 1MHz

	Comprimento 4 m
Cabo do divisor para analisador	Tipo RG-400U Perda 0.01dB/m@1MHz Comprimento 1 m
Cabo do divisor para receptor HD Radio	Tipo RG-400U Perda 0.012dB/m@1MHz Comprimento 1.3 m
Analisador de espectro	ANRITSU MS2724B (9 kHz-20GHz)
GPS	Garmin GPS-18X
Laptops	Laptop com Matlab para analisador de espectro 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.

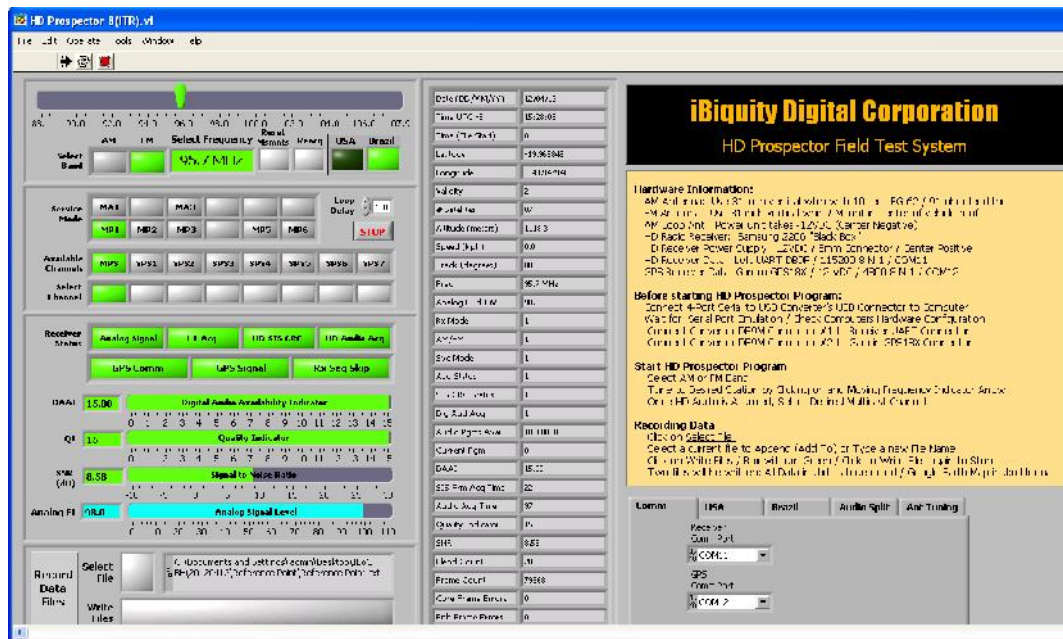


Figura 11 – Tela do programa do receptor HD Radio

Parâmetro	Descrição
Rx_Mode	Indica status de recepção: 0 = não decodifica áudio digital 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 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 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 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 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.

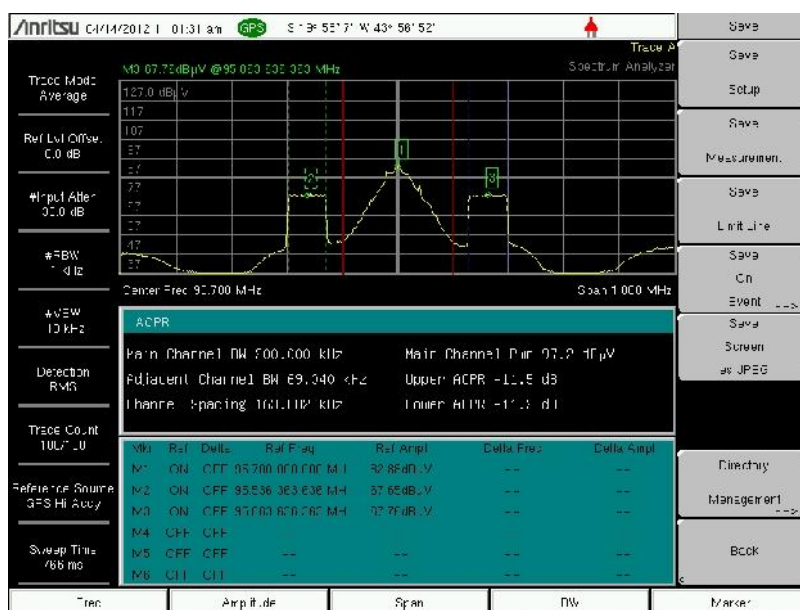


Figura 12 – Espectro registrado no ponto R1P1



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 e SONY XDR-S3HD, 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, os quais 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 com o analisador de espectro (a obtenção da intensidade do campo elétrico analógico é realizada por meio do analisador de espectro juntamente com o software *HD Prospector Field Test System*), o 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 [26]. 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 van 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 de 5 minutos.
- Gravação do áudio digital com receptores comerciais, por um período de 2 minutos.
- Gravação do áudio analógico FM com receptores comerciais, por um período de 2 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 durante toda a rota.
- Gravação do áudio digital com receptor profissional
- Gravação do áudio digital com receptores comerciais
- Gravação dos eventos ocorridos durante a rota, por meio de software (registro de ocorrências).

### 3.4. Planejamento das Rotas

A antena de transmissão está localizada na cadeia de montanhas orientadas na direção nordeste para sudoeste, como ilustra a Figura 16, seguindo a orientação da linha branca pontilhada.

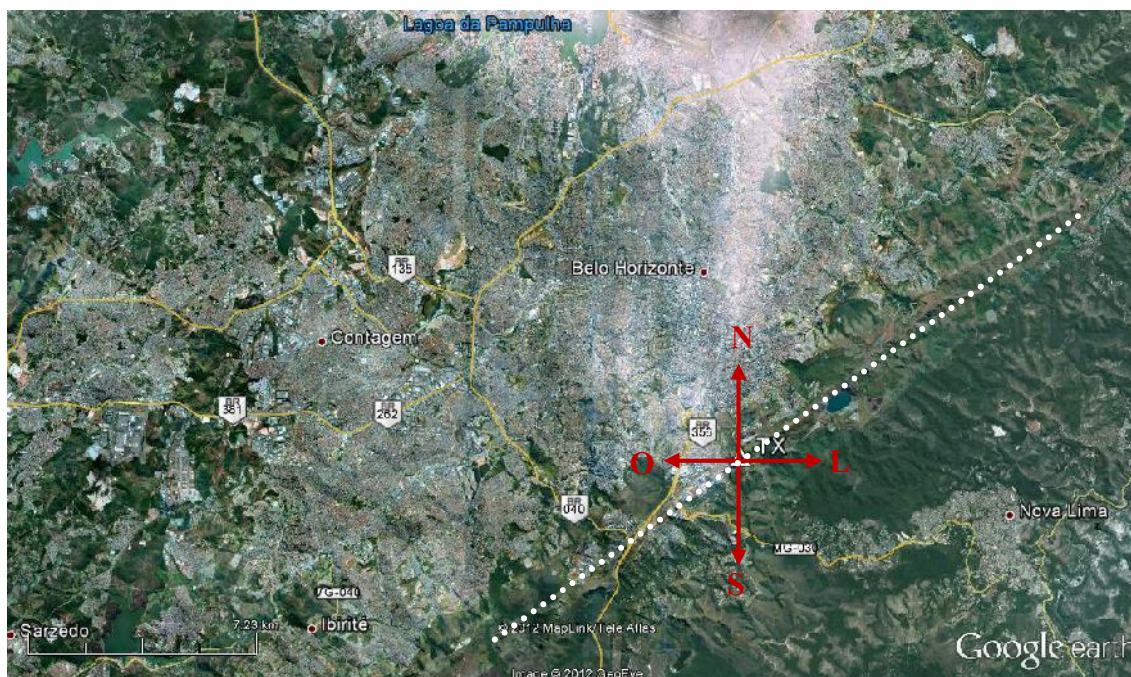


Figura 16 – Ponto de transmissão da Rádio Itatiaia FM, com indicação dos pontos cardeais

As rotas radiais planejadas para os testes do sistema HD Radio foram escolhidas em função da orientação azimutal e atingem cerca de 50 km em relação ao transmissor da Rádio Itatiaia FM. As rotas circulares foram definidas em diferentes ambientes da cidade, os quais são classificados conforme a Recomendação ITU-R 1411 [28], a saber: urbano denso, urbano e residencial. A Tabela 6 descreve as rotas realizadas, podendo as rotas radiais ser visualizadas na Figura 17 e as rotas circulares, na Figura 18. As localizações dos pontos fixos de medição ao longo das rotas estão detalhadas no item II do Apêndice deste documento.

Rota	Descrição / Ambiente
Rota Radial R1	Direção Nordeste
Rota Radial R2	Direção Sul
Rota Radial R3	Direção Sudeste
Rota Radial R4	Direção Norte
Rota Radial R5	Direção Oeste
Rota Circular C1	Rota Urbana Densa (bairro Savassi)
Rota Circular C2	Rota Urbana (UFMG)
Rota Circular C3	Rota Urbana (Industrial)
Rota Circular C4	Rota Residencial
Rota Circular C5	Rota Residencial (Município Nova Lima / MG)

Tabela 6 – Descrição das rotas



## 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, 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, além da verificação da recepção *indoor*.

A recepção analógica FM também foi estudada, da mesma maneira que a do sinal digital HD Radio, exceto para recepção móvel. Assim, três estudos foram realizados: recepção estática, recepção *indoor* e limiares de recepção.

### 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) [25], 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 19 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 da cidade de Belo Horizonte (Figura 20), por isso o gráfico da Figura 19 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.

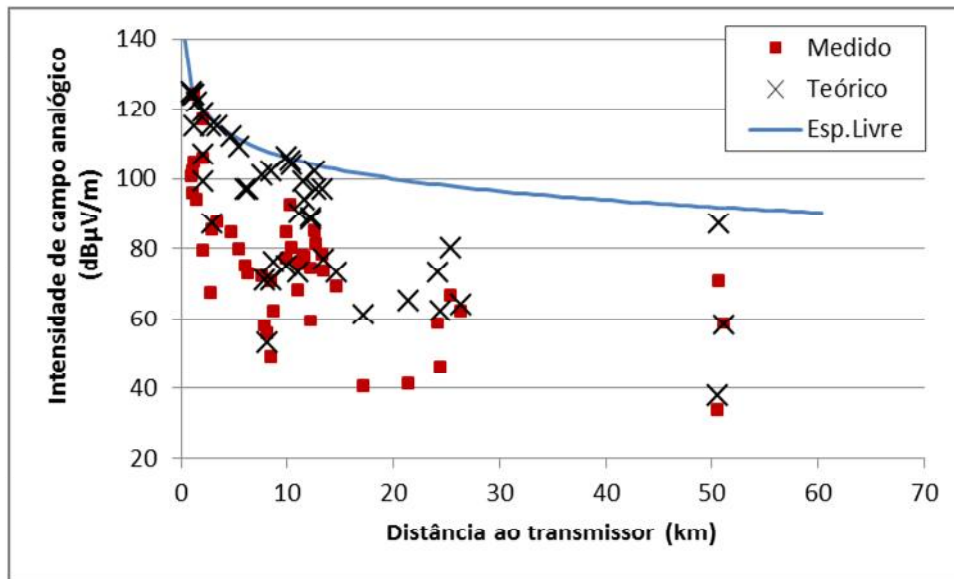


Figura 19 – Previsão teórica vs medições de intensidade de campo elétrico analógico



Figura 20 – Vista do ponto de transmissão da Rádio Itatiaia FM na direção norte

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, não ocorreu alternância entre a recepção digital e a analógica (*blend*) durante o tempo de registro em cada ponto.

Uma visão global dos resultados pode ser observada na Figura 21. 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, e os pontos em vermelho indicam a ausência de recepção digital, ou seja, Rx\_Mode=0 durante todo o intervalo de medição em cada ponto.

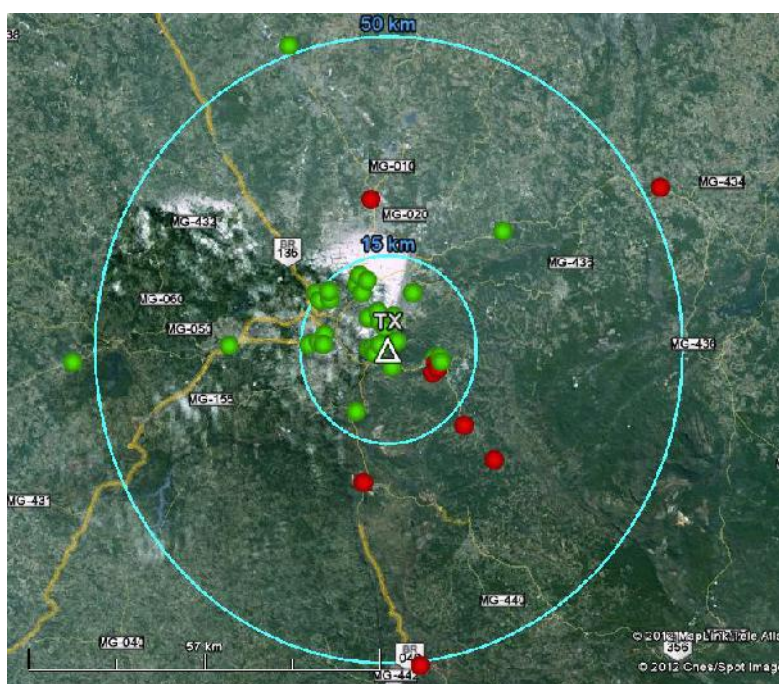


Figura 21 – Resultados da recepção em pontos fixos ilustrados no mapa

A Tabela 7 apresenta o total de pontos fixos onde houve recepção digital. Em relação aos 31 pontos medidos dentro do raio de 15 km, foram obtidos 28 pontos com recepção digital, o que corresponde a 90%. Em relação ao total de pontos medidos (41), houve recepção digital em 32 deles (78%).

Recepção do Áudio Digital	Raio de 15 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Sim	28 (90%)	32 (78%)
Não	3 (10%)	9 (22%)
<i>Total de medições</i>	31 (100%)	41 (100%)

Tabela 7 – Resultados da recepção estática nas rotas radiais e circulares



Os resultados obtidos nos pontos na direção norte da antena de transmissão foram muitos bons, pois quase todos registraram presença de recepção digital, exceto o R4P3 que está a 24,2 km do centro de transmissão.

O valor mediano da intensidade de campo elétrico medida no ponto R4P3 (37,2 dB $\mu$ V/m) estaria dentro do limiar aceitável para uma boa recepção do sinal digital com o sistema HD Radio, caso o limiar necessário de relação sinal-ruído (SNR) do sistema HD Radio para recepção tivesse sido atingido. Entretanto, nesse ponto, o valor de SNR ficou abaixo do limiar aceitável, em 2,4 dB. Para uma distância bem superior, ponto R4P4, que está localizado a 51,2 km de distância do transmissor, houve a recepção do sinal digital, com intensidade de campo elétrico de 43,3 dB $\mu$ V/m e SNR de 7,5 dB.

Ainda em relação aos pontos R4P3 e R4P4, é possível verificar que os perfis dos terrenos em visada direta dos dois pontos, ilustrados na Figura 22 e na Figura 23, são diferentes, o que influencia de maneira distinta os valores de intensidade do campo elétrico verificados na recepção em cada ponto. Os ambientes em que os dois pontos estão localizados podem ser considerados semelhantes, quase rurais, significando estatisticamente que os ruídos presentes nos dois ambientes também são semelhantes. No entanto, as ocorrências registradas durante as medições no ponto R4P3 destacam a presença de tráfego intenso, contribuindo para a degradação do sinal recebido. Portanto, pode-se inferir que os obstáculos do terreno influenciaram na atenuação da intensidade do campo elétrico, e a presença de tráfego intenso contribuiu para a degradação do sinal, dificultando a decodificação do áudio digital no ponto R4P3.



(a)



(b)

Figura 22 – (a) Perfil do terreno entre o centro de transmissão e R4P3; (b) obstrução localizada a 1,5 km do ponto de recepção R4P3



Figura 23 – Perfil do terreno entre o centro de transmissão e o ponto R4P4

Observa-se na Figura 24 que na cidade de Belo Horizonte, localizada ao norte das montanhas, houve recepção digital nos pontos fixos. Na direção sul da cadeia de montanhas, as características do relevo do terreno e a concentração de torres de outras emissoras atrás da torre da Itatiaia (costas da antenna) dificultaram a cobertura na direção sul da antenna, fazendo com que os resultados nessa região fossem ruins.

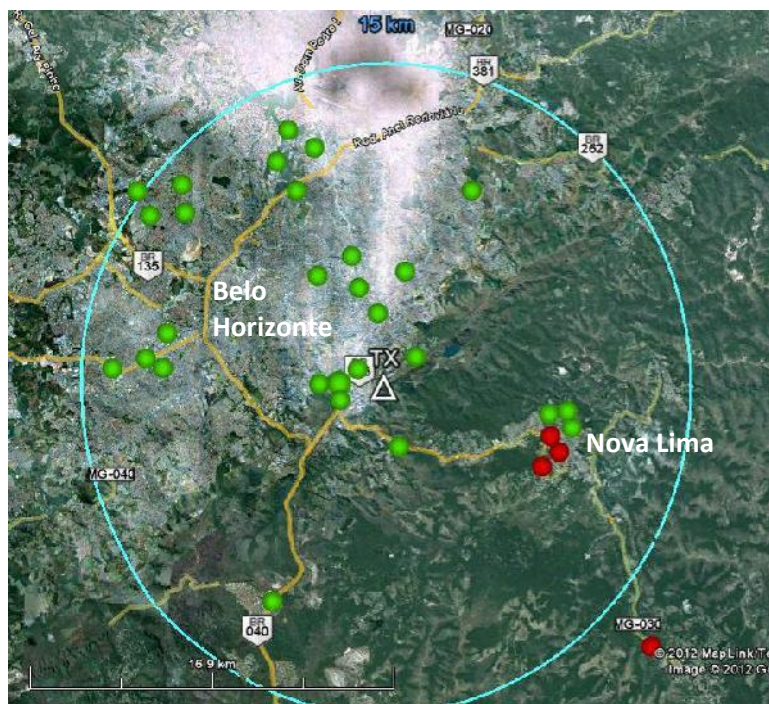


Figura 24 – Detalhe da recepção digital até 15 km

O gráfico da Figura 25 apresenta a intensidade do campo elétrico mediano classificado conforme os resultados de recepção do parâmetro Rx\_Mode em função da distância ao transmissor. Conforme observado no gráfico, o limiar de intensidade de campo elétrico para recepção digital ficou compreendido na faixa de 38 a 43 dB $\mu$ V/m. Cabe salientar que esse limiar apenas é válido quando o limiar de SNR para a decodificação do sinal HD Radio é respeitado.

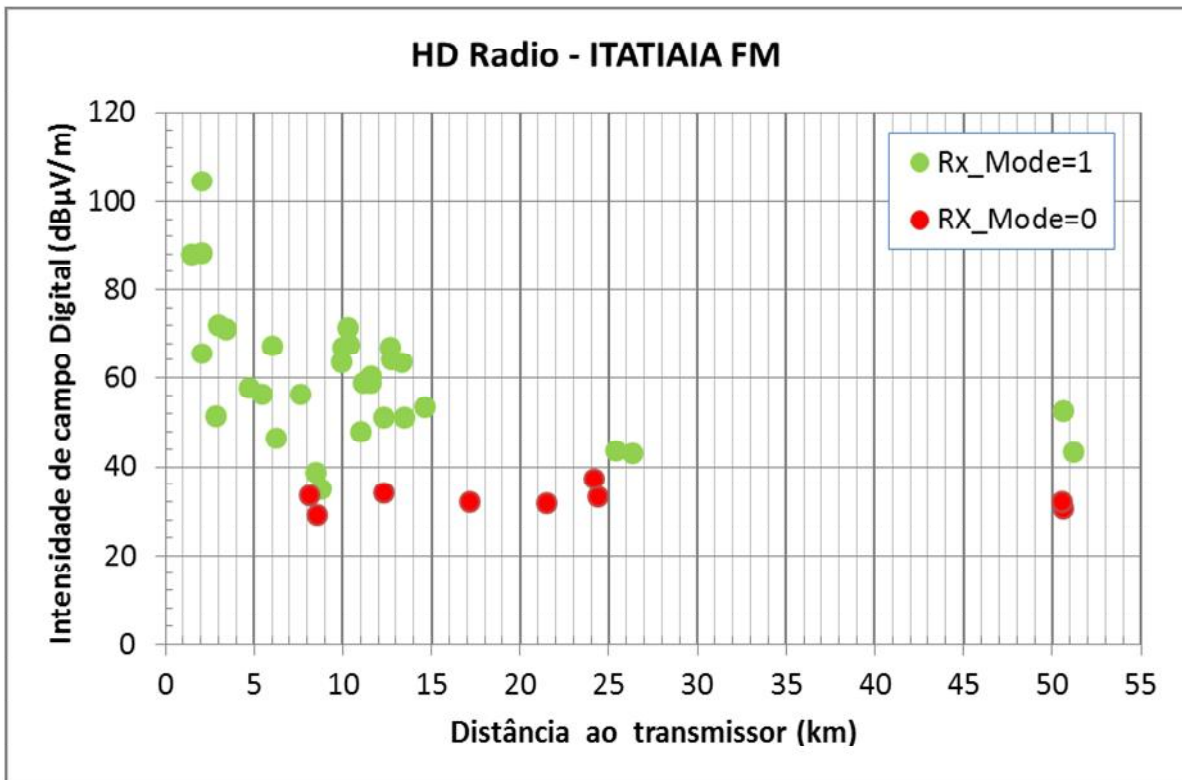


Figura 25 – Intensidade de campo digital em função da distância do transmissor

Os valores de intensidade de campo elétrico nos pontos situados na direção norte da antena de transmissão (rotas radiais R1, R4 e R5), com exceção do R4P3 (a 24,2 km da emissora, com 37,2 dBµV/m), foram maiores que nos pontos que estão localizados na direção sul do ponto de transmissão, nas costas da antena (rotas radiais R2 e R3). Isso demonstra que os resultados ruins nessa área de cobertura são devidos à baixa intensidade do campo elétrico.

Em relação às rotas circulares, a rota C5 situada na área residencial de Nova Lima, direção sul da antena, teve dois pontos onde não houve decodificação do sinal digital. Estes pontos são C5P1 (12,3 km da emissora, com 34 dBµV/m) e C5P5 (8,3 km da emissora, com 29,19 dBµV/m). Os valores de intensidade de campo elétrico mediano registrados nesses pontos estiveram abaixo do limiar, pois estavam situados em locais com elevações de terreno no entorno, que constituem obstáculos que causam atenuação na intensidade de campo elétrico. Nas demais quatro rotas, C1 (ambiente urbano denso), C2 (ambiente urbano), C3 (ambiente urbano em área industrial) e C4 (ambiente residencial), houve decodificação do áudio digital em todos os seus pontos. Para fins de comparação com o limiar, o menor valor de intensidade de campo elétrico mediano dentro do conjunto de pontos destas rotas foi 46,65 dBµV/m com SNR igual a 10,51 dB no ponto C1P3, ficando acima do limiar de 38 a 43 dBµV/m para haver recepção digital.

A Figura 26 ilustra que não há recepção do sinal digital com valores do parâmetro SNR abaixo de 2,6 dB. Acima de 7,4 dB, a recepção digital é perfeita. Não houve registro de dados no intervalo entre 2,6 e 7,4 dB. Devido à existência de um intervalo tão grande fica impossível definir um valor ou intervalo aceitável para a SNR para boa recepção estática com o sistema HD

Radio nos ambientes testados. 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). Ressalte-se que os resultados ilustrados na Figura 25 são referentes aos diversos ambientes classificados como urbano denso, urbano, urbano em área industrial e residencial.

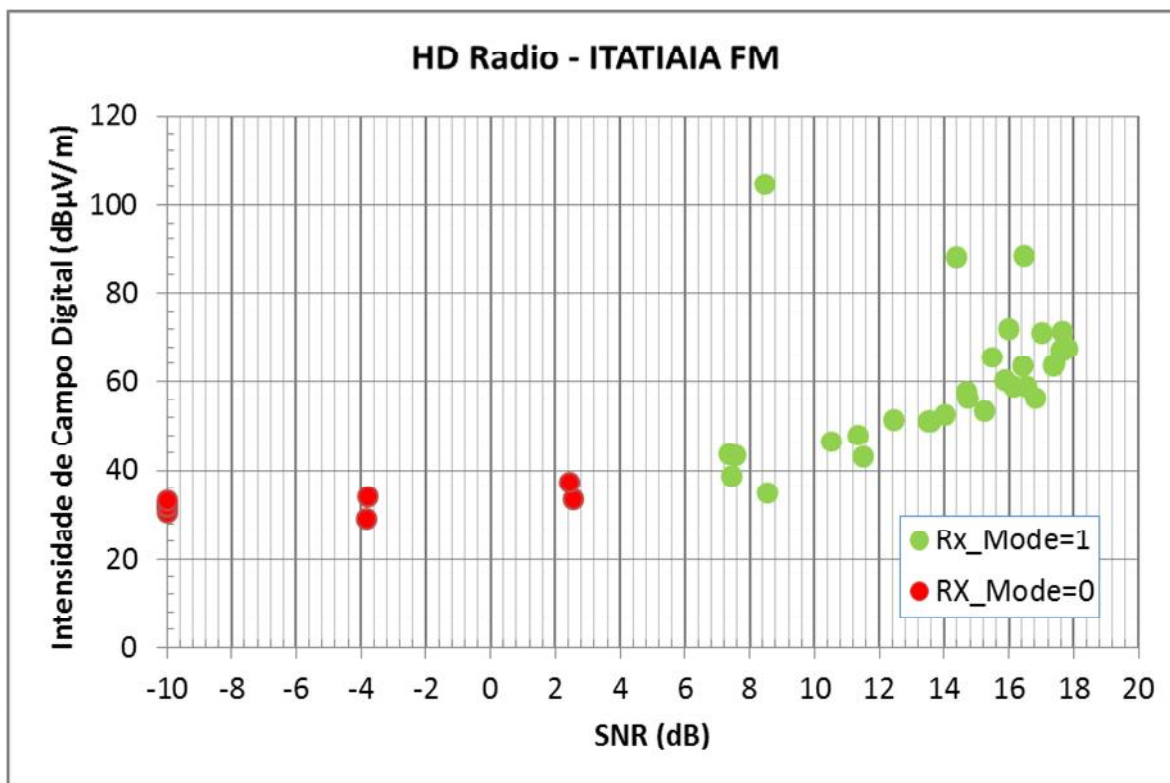


Figura 26 – Intensidade de campo digital versus SNR

#### 4.2.2. Avaliação da área de cobertura do sinal digital com 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 apresentados correspondem ao total de ocorrências de Rx\_Mode=1 (presença de sinal digital) dentro de cada trecho avaliado.

Quando há falha na recepção do sinal digital, o receptor HD Radio comuta automaticamente para o sinal analógico, por meio de um mecanismo denominado *blend*. Considerando que o processamento digital insere um atraso no sinal transmitido, o áudio digital naturalmente ficará 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.

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. No centro de transmissão, não houve nenhum

processo de atraso do áudio analógico em relação ao digital. Portanto, 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, 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.

A Figura 27 apresenta o parâmetro Rx\_Mode registrado ao longo das rotas, sendo indicados em verde onde Rx\_Mode=1 e em vermelho onde Rx\_Mode=0.

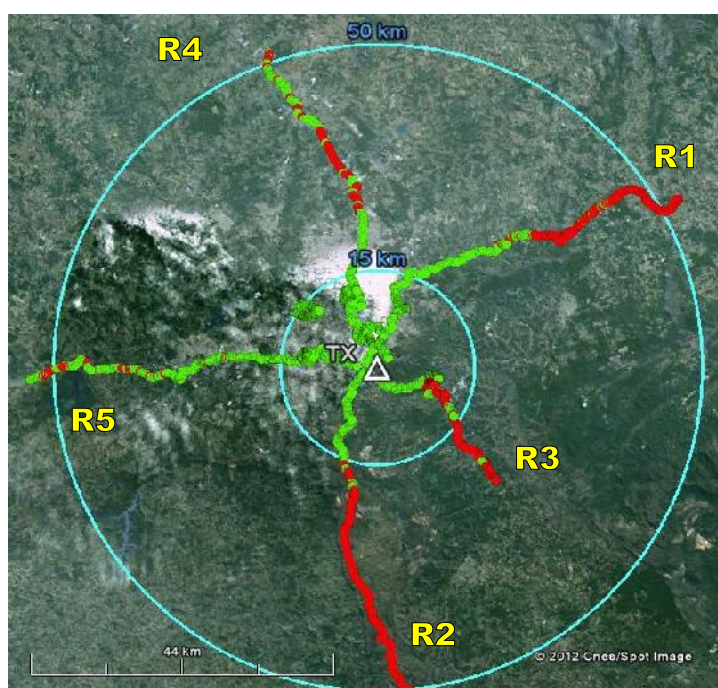


Figura 27 – Parâmetro Rx\_Mode registrado nas medições em mobilidade

A Tabela 8 apresenta os resultados gerais da recepção móvel em rotas radiais.

Rota	Trecho	Distância ao último ponto do trecho (km)	Rx_Mode=1 (%)
Radial R1	P1 a P2	9,9	100 %
	P2 a P3	26,4	96,4 %
	P3 a P4	50,6	12,4 %
Radial R2	P1 a P2	11,0	100 %
	P2 a P3	21,5	60,2%
	P3 a P4	50,6	2,7 %
Radial R3	P1 a P2	8,1	75,2 %
	P2 a P3	17,2	23,5 %
	P3 a P4	24,4	4,1%
Radial R4	P1 a P2	10,0	100 %
	P2 a P3	24,2	98,7 %

	P3 a P4	51,2	56 %
Radial R5	P1 a P2	12,7	99,9 %
	P2 a P3	25,4	92,1 %
	P3 a P4	50,6	71,6 %

Tabela 8 – Resultados da recepção móvel nas rotas radiais da Rádio Itatiaia FM

Ao longo das rotas R1, R4 e R5, houve presença de sinal digital nos trechos P1 a P2 e P2 a P3, que atingem cerca de 25 km, sendo notados poucos blends. Eles se tornam mais frequentes no último trecho (P3 a P4) dessas rotas.

Na análise da rota R4, rota de maior interesse devido ao seu trajeto ser pelo centro da cidade, no trecho P1 a P2 houve decodificação de áudio em 100% dos quadros recebidos. No trecho P2 a P3 houve decodificação do áudio em 98,7% dos quadros recebidos, e o primeiro *blend* ocorreu a 10 km do transmissor. No gráfico que apresenta o Rx\_Mode em função do tempo, na Figura 28, é possível visualizar o referido *blend* no tempo próximo a 400 segundos após o início da medição nesse trecho, tendo durado cerca de 5 segundos. No mesmo gráfico, pode-se observar a ocorrência de outros *blends*, destacando-se os que ocorreram nos tempos próximos a 1300 segundos, 1400 segundos e após 1800 segundos, que duraram entre 4 e 8 segundos aproximadamente. No trecho P3 a P4 (de 24,2 a 51,2 km), a decodificação do áudio digital ocorreu em metade dos quadros de áudio recebidos, havendo períodos de *blends* de vários minutos.

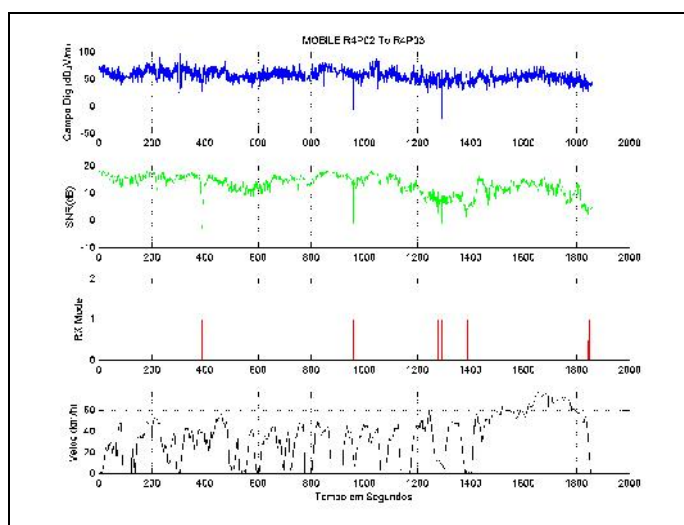


Figura 28 – Registro de medição móvel no trecho R4P2 a R4P3

Na rota R1 (nordeste), houve decodificação do áudio digital no trajeto até 26,4 km (trecho P2 a P3). A partir desta distância até 50,6 km do transmissor (trecho P3 a P4) houve pouca cobertura digital, com decodificação de somente 12,4% dos quadros de áudio digital recebidos dentro desse trecho.

Na rota R5, houve decodificação do áudio digital no trajeto até 12,7 km (trecho P1 a P2). No trecho seguinte (P2 a P3) o primeiro *blend* ocorreu a 20 km do transmissor. No último trecho (P3 a P4), de 25,4 a 50,6 km do transmissor, houve cobertura digital com ocorrência de vários *blends*.

Na direção sul, a rota R2 apresentou decodificação do áudio digital em todo o trecho P1 a P2, que se estende até 11 km de distância em relação ao transmissor. Na rota R3, no trecho P1 a P2, a ocorrência de *blends* iniciou em aproximadamente 8 km em relação ao transmissor.

A Figura 29 apresenta o parâmetro Rx\_Mode registrado ao longo das rotas circulares, sendo indicados em verde onde Rx\_Mode=1 e em vermelho onde Rx\_Mode=0.



Figura 29 – Detalhe do registro do Rx\_Mode na área urbana de Belo Horizonte

A Tabela 9 apresenta os resultados gerais da recepção móvel nas rotas circulares.

Rota	Tipo/Local	Trecho	Maior distância do transmissor à rota (km)	Duração (min)	RX Mode=1 (%)
Circular C1	Urbano Denso (bairro Savassi)	P1 a P2	6,3	12,3	100
		P2 a P3		24,2	99,9
		P3 a P4		20,8	100
		P4 a P5		14,7	99,9
		P5 a P1		12,1	100
Circular C2	Urbano (UFMG)	P1 a P2	12,7	13,9	100
		P2 a P3		4,8	100
		P3 a P1		7,6	100
Circular C3	Urbano (área industrial)	P1 a P2	11,1	8,9	100
		P2 a P3		4,8	100
		P3 a P1		9,4	100
Circular C4	Residencial	P1 a P2	14,6	6,4	100
		P2 a P3		12,2	100
		P3 a P4		8,2	100
		P4 a P1		9,1	100
Circular C5	Residencial	P1 a P2	8,8	11,8	74,1
		P2 a P3		10,8	94,8

	(Município de Nova Lima, MG)	P3 a P4	5,8	98,6
		P4 a P5	5,5	46,4
		P5 a P1	8,7	6,8

Tabela 9 – Resultados da recepção móvel nas rotas circulares da Rádio Itatiaia FM

Conforme apresentado anteriormente na Figura 18, as rotas circulares C1 a C4 estão situadas na área norte em relação à antena transmissora. Essas rotas tiveram decodificação do áudio digital durante todo o tempo de medição. No entanto, na rota circular C5, situada ao sul da montanha, apenas em dois trechos, P2 a P3 e P3 a P4, houve decodificação do áudio digital, com ocorrência de poucos *blends*. Nos outros três trechos dessa rota (P1 a P2; P4 a P5; P5 a P1) a recepção do sinal digital foi ruim, devido à presença de elevações do terreno naquela região que constituem obstrução para o sinal.

Diante do exposto, com relação à recepção em mobilidade, os resultados na área de maior concentração populacional da cidade de Belo Horizonte (área urbana), a 15 km do transmissor, foram considerados bons.

### 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 foram utilizados dois modelos de receptores comerciais, Sony (receptor de mesa) e JVC (automotivo), nas medições em 41 pontos fixos. A Tabela 10 apresenta os resultados dentro do raio de 15 km e em toda a região onde houve a campanha de testes.

Recepção	Raio de 15 km		Toda a região de testes	
	SONY	JVC	SONY	JVC
Digital	26 (83,9%)	27 (87%)	27 (66%)	33 (80%)
Mista	2 (6,4%)	2 (6,5%)	5 (12%)	2 (5%)
Analógica	3 (9,7%)	2 (6,5%)	9 (22%)	6 (15%)
<i>Total de medições fixas</i>	31 (100%)		41 (100%)	

Tabela 10 – Medições fixas com receptores comerciais

A Figura 30 e a Figura 31 apresentam esses resultados considerando a localização dos pontos de medição e a intensidade de campo elétrico digital mediano registrada pelo receptor profissional. O ponto verde localizado aproximadamente a 21,5 km é o R2P3, no qual houve recepção digital com os dois receptores mesmo com baixa intensidade de campo, embora não tenha havido decodificação do sinal digital com o receptor profissional HD Radio.





#### 4.3.2. Avaliação do áudio digital de receptor comercial em mobilidade

Para analisar a recepção móvel do áudio digital em condições mais realistas no tocante ao usuário, os áudios dos receptores comerciais JVC (automotivo) e SONY (receptor de mesa) foram avaliados ao longo das rotas radiais R1 e R5. Nestes testes a unidade móvel percorreu as rotas com velocidade até 80 km/h, com variação de velocidade e aceleração do veículo.

A Tabela 11 apresenta um resumo das ocorrências de *blends*, com estimativa de quantidade e do maior intervalo de duração dos *blends* em cada trecho percorrido. Nessa tabela também é apresentado o comportamento do receptor profissional para fins de comparação.

Devido à distância em relação ao transmissor e à orientação da rota (nordeste), no trecho P4 a P3 da rota R1, no receptor SONY houve apenas recepção de sinal analógico durante todo o percurso, enquanto que no JVC houve recepção do sinal analógico na maior parte do percurso, tendo sido observados vários *blends*.

Rota	Trecho	Duração (min)	SONY		JVC		HD Radio Profissional	
			Blends	Maior duração	Blends	Maior duração	Blends	Maior duração
Rota Radial 1	P1 a P2	24,7	4	30s	---	---	---	---
	P2 a P3	37,3	18	2min	2	15s	1	1min
	P4 a P3 (*)	33,2	Somente áudio analógico	--	Vários	Maior parte do tempo com analógico	Vários	Maior parte do tempo com analógico
Rota Radial 5	P1 a P2 (**)	26,8	1	---	---	---	---	---
	P2 a P3	12,7	4	1min45s	---	---	1	30s
	P3 a P4	28,3	10	5min	---	---	2	1min

Tabela 11 – Ocorrências de *blends* nos receptores comerciais e profissional em mobilidade

(\*) Trecho de rota realizado no sentido do ponto P4 para o P3.

(\*\*) Não houve gravação do áudio; informações obtidas a partir do registro de ocorrências.

#### 4.4. Recepção Digital Indoor

Para os testes *indoor* foram selecionados cinco locais com diferentes distâncias em relação ao transmissor em ambiente urbano e urbano denso, totalizando cinco (5) pontos de medição utilizando o receptor profissional. As características dos locais estão na Tabela 12.

Ponto	Descrição	Área	Coordenadas	Distância ao transmissor (km)
1	Transmissor (Serra do Curral) – Prédio da emissora Itatiaia	--	19°58'15,81"S 43°55'47,72"W	0
2	Anatel – Av. do Contorno 5919, Auditório no 7º andar	Urbana densa	19°56'21,58"S 43°55'56,60"W	3,51
3	Estúdio da Rádio Itatiaia – Rua Itatiaia, 117, sala de manutenção	Urbana densa	19°54'40,37"S 43°56'48,14"W	6,86
4	Campus da UFMG – Faculdade de Educação (FACEDU), 1º andar	Urbana	19°52'13,42"S 43°57'33,27"W	11,75
5	Campus da UFMG – Laboratório INCT-CSF (FACIEC), 2º andar	Urbana	19°52'3,14"S 43°57'47,32"W	11,75

Tabela 12 – Pontos de medição *indoor*

Dos cinco pontos de medição, quatro apresentaram recepção digital, e apenas no ponto do prédio da Faculdade de Educação (FACEDU) não houve decodificação do áudio, conforme a Tabela 13.

Ponto	Recepção Digital Indoor	SNR Mediano (dB)	Intensidade de Campo Elétrico Digital Mediano
1	Sim	17,7	95,5 dB $\mu$ V/m
2	Sim	14,8	(*)
3	Sim	7,8	53,3 dB $\mu$ V/m
4	Não	2,5	40,4 dB $\mu$ V/m
5	Sim	15,1	41,1 dB $\mu$ V/m

Tabela 13 – Resultados da recepção *indoor*

(\*) Não houve registro do valor de campo elétrico.

## 4.5. Resultados da Recepção Analógica FM

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

A cobertura do sinal analógico FM da Rádio Itatiaia 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 [22]. 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 14). 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.6 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>
5 <i>Excellent</i>	5 <i>Imperceptible</i>
4 <i>Good</i>	4 <i>Perceptible, but not annoying</i>
3 <i>Fair</i>	3 <i>Slightly annoying</i>
2 <i>Poor</i>	2 <i>Annoying</i>
1 <i>Bad</i>	1 <i>Very annoying</i>

Tabela 14 – 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 15 apresenta a definição da classificação das notas empregadas neste trabalho.

Notas	Classificação	Definição
$3 \leq \text{Nota} \leq 5$	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 15 – 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 Itatiaia FM é apresentada na Figura 32, com a intensidade de campo analógico em função da distância ao transmissor, e na Figura 33 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”.

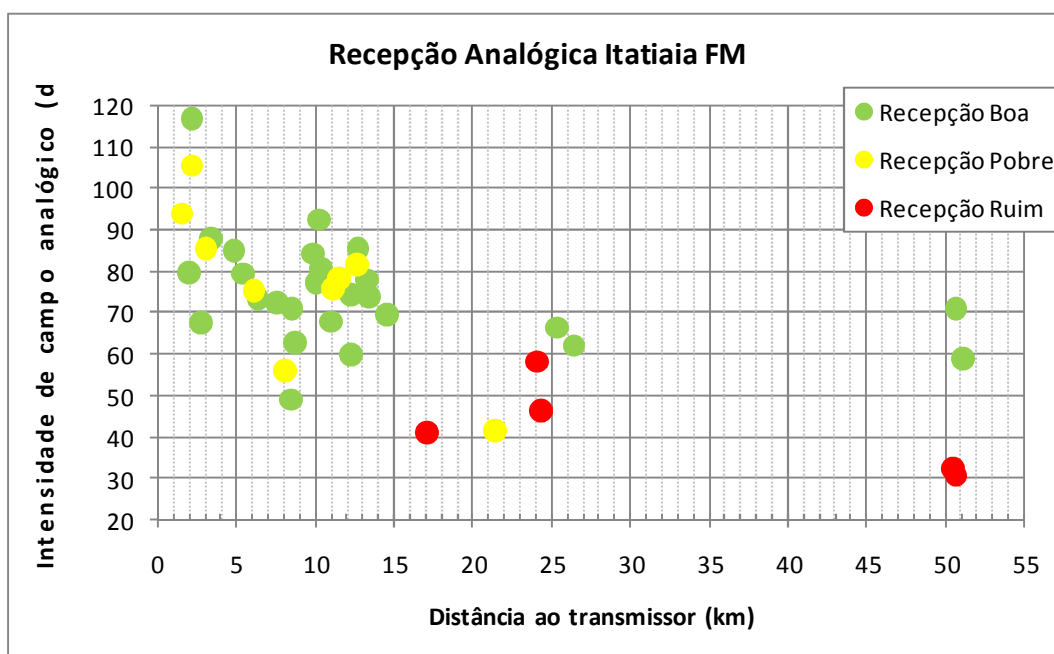


Figura 32 – Avaliação subjetiva do áudio analógico FM da Rádio Itatiaia

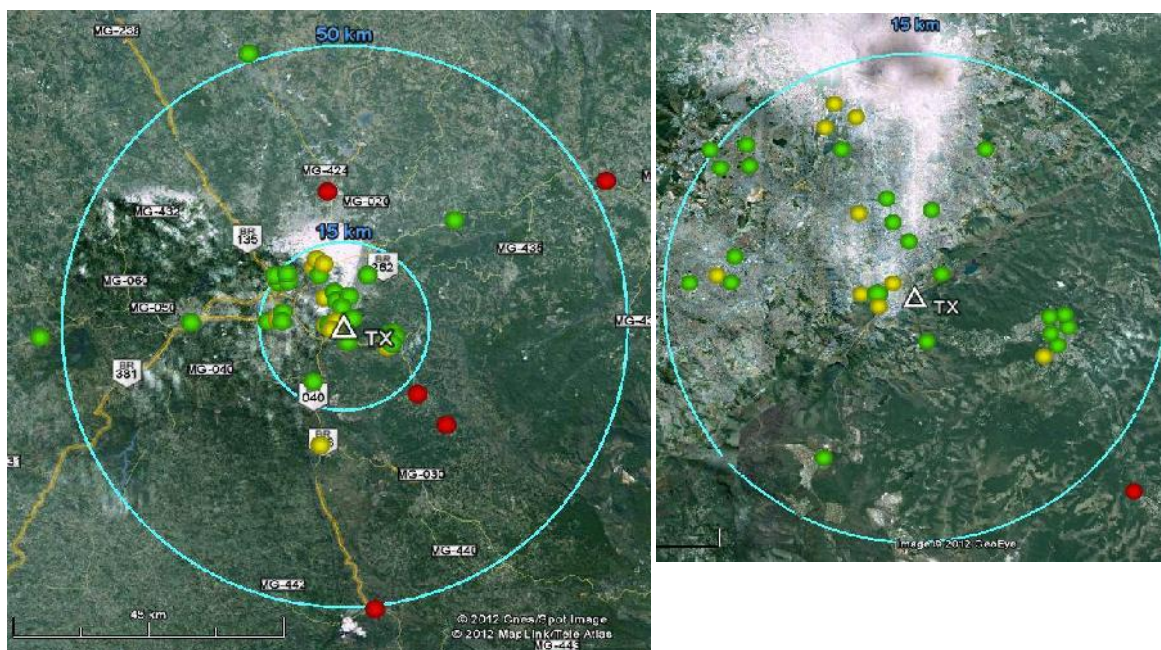


Figura 33 – Recepção estática do áudio analógico no mapa; detalhe para o raio de 15 km (dir)

Na Figura 32 e na Figura 33, é possível verificar que a recepção analógica foi avaliada como “Recepção Boa” e “Recepção Pobre” até a distância de 15 km em relação ao transmissor, com alguma intermitência. Para distâncias superiores a 15 km, não foi verificada tendência na avaliação, tendo ocorrido os três tipos de recepção. Os valores de intensidade de campo elétrico próximos a 40 dB $\mu$ V/m estão nas rotas radiais R2 e R3 (pontos R2P3, R3P3 e R3P4) que seguem para as direções sul e sudeste, região com menor atendimento da estação FM. Na radial R4 (orientação norte) houve recepção ruim apenas no ponto R4P3, ilustrado na Figura 32, com intensidade de campo elétrico de 58,3 dB $\mu$ V/m, à distância de 24,2 km. Essa falha é atribuída principalmente à obstrução no perfil do terreno entre transmissor e receptor, conforme explicado na Seção 4.2.1, Figura 22. Os dois pontos em verde situados após 50 km fazem parte das rotas R4 (R4P4) e R5 (R5P4) que seguem nas direções norte e oeste, respectivamente.

Observa-se no gráfico que o limiar de intensidade de campo elétrico do sistema analógico FM para uma “Recepção Boa” foi aproximadamente 60 dB $\mu$ V/m. Este valor está próximo do valor de 54 dB $\mu$ V/m definido no regulamento técnico brasileiro para áreas rurais e de 66 dB $\mu$ V/m definido para áreas urbanas [23] [24].

O áudio analógico foi registrado em 41 locais e a classificação da recepção encontra-se na Tabela 16. Dentro de um raio de 15 km em relação ao transmissor, houve 22 pontos (71%) com “Recepção Boa” analógica e os demais foram considerados como “Recepção Pobre”.

Recepção Analógica	Raio de 15 km	Toda a região de testes
	Pontos	Pontos
Boa	22 (71%)	26 (63,4%)
Pobre	9 (29%)	10 (24,4%)
Ruim	0	5 (12,2%)
<i>Total de medições</i>	31 (100%)	41 (100%)

Tabela 16 – Resultados do áudio analógico em recepção estática

#### 4.5.2. Recepção FM Indoor

Durante as medições *indoor* nos pontos indicados na Tabela 12 também foram realizados testes de recepção do sinal analógico FM. Assim, como na análise em pontos fixos, foram utilizadas as gravações de áudio analógico de dois receptores comerciais, NKS e TOSHIBA, para avaliação subjetiva. A Tabela II.7 do item II do Apêndice apresenta as médias das notas atribuídas aos áudios referentes aos receptores comerciais. O procedimento para a avaliação dos áudios e a obtenção da qualidade dos mesmos foi semelhante ao descrito na Seção 4.5.1. Portanto, na Tabela 17, são apresentados os resultados da análise de recepção FM *indoor*.

Ponto	Local	Distância ao Transmissor (km)	Qualidade do áudio FM	
			Nota	Recepção analógica
1	Transmissor	0	4,5	Boa
2	Anatel	3,51	4,7	Boa
3	Estúdio da Rádio Itatiaia	6,86	3,3	Boa
4	Campus da UFMG/FACEDU, 1º andar	11,75	1,8	Ruim
5	Campos da UFMG/FACIEC, 2º andar	11,75	1,0	Ruim

Tabela 17 – Resultados da recepção do áudio analógico *indoor*

Nas medições *indoor* houve três (3) pontos onde a recepção do sinal analógico foi classificada como “Recepção Boa” e dois (2) como “Recepção Ruim”.

#### 4.6. 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 18 apresenta os resultados em cada ponto fixo.

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Qualidade de Áudio Analógico	RX_Mode (Indicador de Recepção do Áudio Digital)
Ponto de referência	2,09	3,8	1
C1P1	3,44	3,7	1
C1P2	5,43	4,1	1
C1P3	6,28	3,3	1
C1P4	6,03	2,9	1
C1P5	4,76	3,8	1
C2P1	11,57	2,8	1
C2P2	11,59	2,0	1
C2P3	12,74	2,8	1
C3P1	10,4	3,4	1
C3P2	10,32	4,3	1
C3P3	11,15	1,9	1
C4P1	13,5	3,9	1
C4P2	14,64	3,6	1
C4P3	13,31	4,2	1
C4P4	12,3	4,4	1
C5P1	12,3	4,1	0
C5P2	7,65	3,8	1

C5P3	8,47	3,8	1
C5P4	8,8	4,1	1
C5P5	8,56	3,7	0
R1P1	2,05	4,1	1
R1P2	9,94	4,3	1
R1P3	26,37	3,0	1
R1P4	50,62	1,0	0
R2P1	2,09	2,6	1
R2P2	11,04	4,6	1
R2P3	21,49	2,6	0
R2P4	50,58	1,0	0
R3P1	2,82	4,2	1
R3P2	8,11	2,4	0
R3P3	17,17	1,4	0
R3P4	24,41	1,4	0
R4P1	1,48	2,1	1
R4P2	9,99	4,3	1
R4P3	24,18	1,4	0
R4P4	51,21	3,3	1
R5P1	3	2,7	1
R5P2	12,66	4,1	1
R5P3	25,43	3,6	1
R5P4	50,62	3,5	1

Tabela 18 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática

Os resultados mostram que, dos 41 pontos fixos, houve mais pontos com decodificação de áudio digital registrados com o receptor profissional (32 pontos), do que com áudio analógico com qualidade boa (26 pontos). Isso também ocorreu considerando o raio de 15 km a partir do transmissor, onde houve 28 pontos com decodificação de áudio digital e 22 com áudio analógico com qualidade boa.

Os valores da Tabela 18 são apresentados na Figura 34. Conforme a classificação definida na Tabela 15, 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.

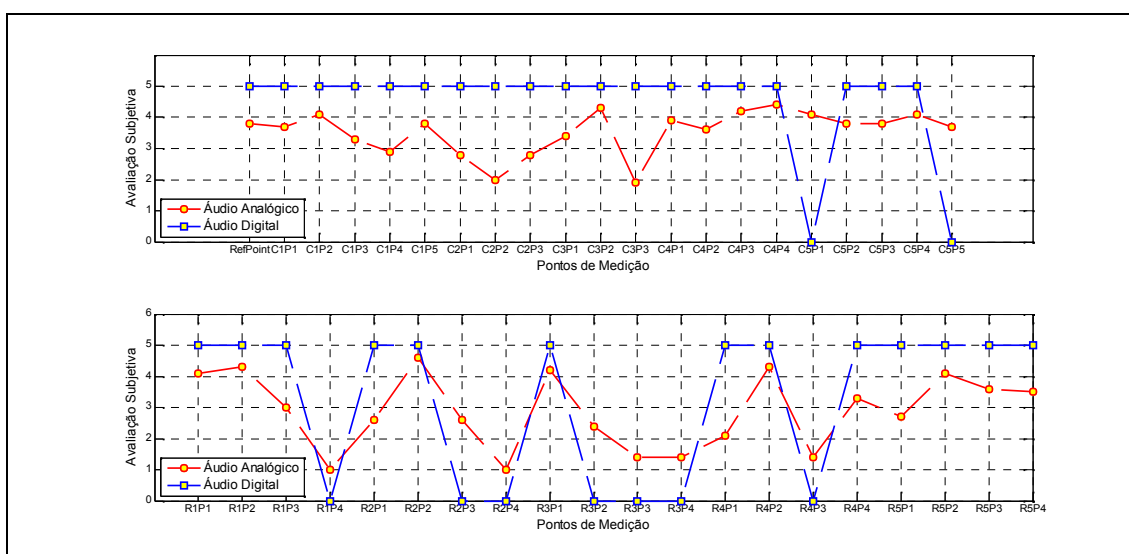


Figura 34 – Gráfico de notas da avaliação dos áudios analógico e digital

A Tabela 19 mostra a consolidação dos resultados da Tabela 18, indicando a quantidade de pontos em cada situação de recepção em relação à decodificação do áudio digital e a 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, porém o áudio analógico estava bom;
- pontos onde não houve áudio digital 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)	24 (58,5%)	8 (19,5%)	32 (78%)
	Não (Rx_Mode=0)	2 (4,9%)	7 (17,1%)	9 (22%)
Totais		26 (63,4%)	15 (36,6%)	41 (100%)

Tabela 19 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção estática

Em 24 locais (58,5%) houve recepção digital e analógica boa simultaneamente. Em 8 locais (19,5%) houve recepção digital enquanto que a analógica estava classificada como “Pobre”, todos localizados dentro do raio de 15 km, conforme Figura 33. Os 2 locais (4,9%) onde não houve decodificação do áudio digital, porém houve recepção analógica com qualidade “Boa”, estão na rota C5, que se situa na área ao sul do ponto de transmissão.

Verificou-se por meio dos testes que o áudio digital atendeu a mais pontos do que o áudio analógico com qualidade de recepção “Boa” dentro do raio de 15 km, caracterizando bom desempenho do sistema digital nessa região. Após 15 km e até a distância aproximada de 50 km, houve atendimento similar dos dois sistemas, quando comparada à recepção digital à recepção analógica com qualidade boa, de onde se conclui que a cobertura do HD Radio é similar à cobertura do FM nessa área.

Portanto, pode ser concluído que, de uma forma geral, no ambiente testado, o sinal digital tem área de cobertura similar à do sistema analógico, possuindo um desempenho melhor que o sistema FM no raio de 15 km a partir do transmissor, estando 23,94 dB abaixo do FM (aproximadamente 1% da potência EIRP do sinal analógico).

Os resultados da recepção *indoor* do FM e do HD Radio são apresentados na Tabela 20 e na Tabela 21. Dos cinco (5) pontos medidos, três (3) tiveram decodificação de áudio digital e áudio analógico com qualidade boa simultaneamente, e no ponto da FACIEC houve decodificação do áudio digital, porém o áudio analógico estava com qualidade ruim. O desempenho do sinal digital em recepção *indoor* foi melhor que o sinal analógico.



Ponto	Local	Distância ao transmissor (km)	Rx_Mode (Recepção do Áudio Digital)	Qualidade de Áudio Analógico
1	TX	0	1	4,5
2	Anatel	3,5	1	4,7
3	Estúdio Rádio Itatiaia	6,86	1	3,3
4	Campus da UFMG/FACEDU, 1º andar	11,75	0	1,8
5	Campos da UFMG/FACIEC, 2º andar	11,75	1	1,0

Tabela 20 – Resultados comparativos entre os áudios analógico e digital nas medições *indoor*

Recepção Digital	Recepção FM	Pontos
Sim	Boa	3
Sim	Pobre e Ruim	1
Não	Boa	0
Não	Pobre e Ruim	1
<i>Total</i>		5

Tabela 21 – Resumo dos resultados comparativos entre os áudios analógico e digital na recepção *indoor*

#### 4.7. Impacto do sinal digital HD Radio sobre o áudio analógico

A avaliação do impacto da presença do sinal digital HD Radio sobre o áudio analógico é realizada por meio da avaliação subjetiva de áudios analógicos de receptores comerciais, que foram gravados durante medições com o transmissor digital ligado e desligado. Para este fim, foram feitas três medições, em cada situação do transmissor, no ponto de referência situado a cerca de 2 km da estação transmissora da Itatiaia FM. Os áudios gravados de dois receptores analógicos comerciais (modelos NKS e TOSHIBA) foram analisados subjetivamente conforme orientações da Recomendação UIT-R BS 1284. Foi verificado que a presença do sinal digital HD Radio não causou impacto na qualidade do áudio analógico FM.

A Figura 35 ilustra os registros obtidos do analisador de espectro no ponto de referência, nas situações de sinal digital desligado e ligado.

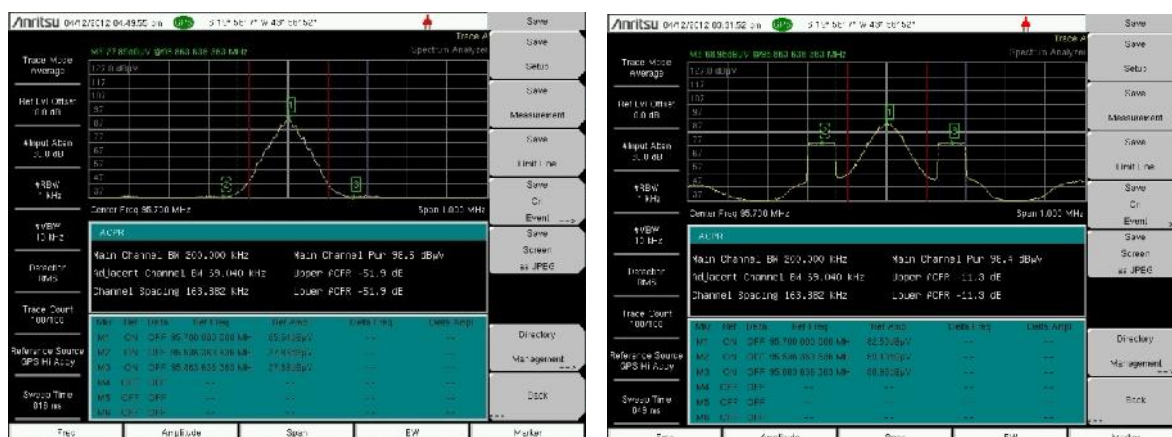


Figura 35 – Registro do espectro com sinal digital desligado (esq) e ligado (dir)

# 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] [3].

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 [27]; 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 [20].

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) [4], baseado no codificador MPEG-4 HE-AAC, para ser utilizado nos sistemas MW e VHF de HD Radio [5].

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 [8]. 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 [9].

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 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 [10] e o estudo da compatibilidade com o serviço analógico [11]. 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 [12] e FM [13]. Ambos os relatórios atestaram o desempenho aprimorado do sistema nessas condições. Foram realizadas pela *iBiquity*, em [14] [15], 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) [16], 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 [17], 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.

## 1.2. Características técnicas do Sistema HD Radio

O IBOC (*In-Band On-Channel*) é uma tecnologia de rádio digital conhecida internacionalmente como Sistema Digital C [18]. 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.

### 1.2.1. 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.

### **1.2.2. 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 descorrelatados. 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 descorrelatados 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 consequentemente 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* [21].

### 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 [19].

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.

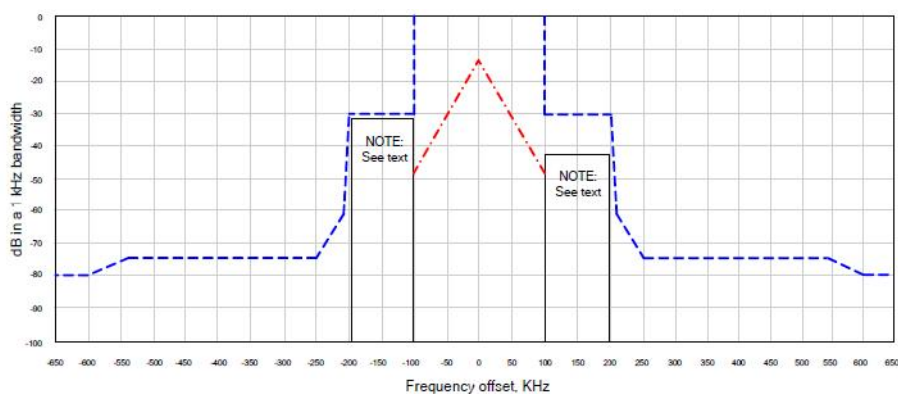


Figura I.1-Limites de emissão do Modo Híbrido e Híbrido Estendido HD Radio FM

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.

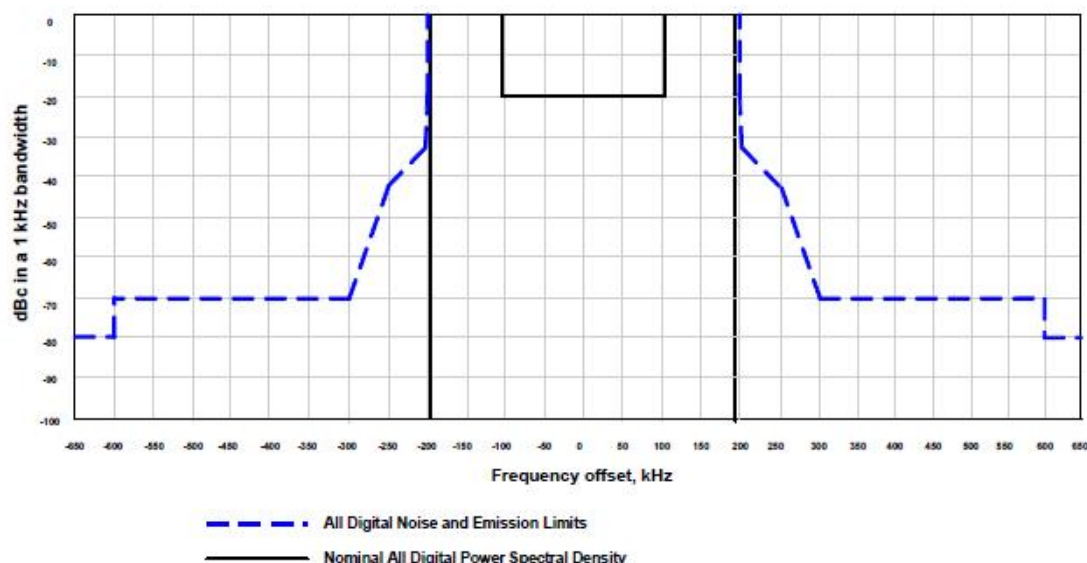


Figura I.2 - Limites de emissão do Modo Todo Digital HD Radio FM

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 [20]. 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” [20], 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.

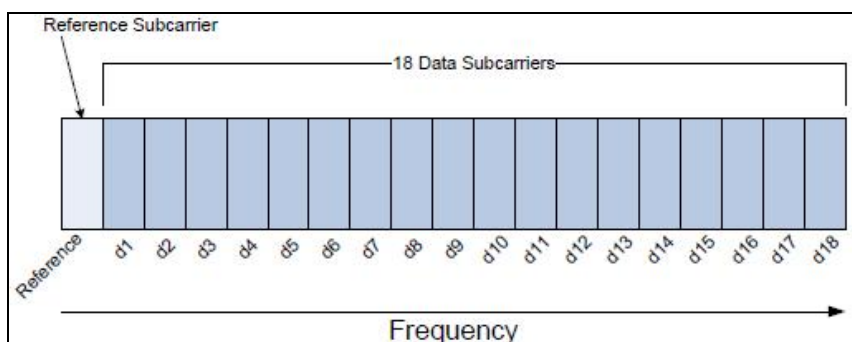


Figura I.3-Partição de frequência – Ordenação A

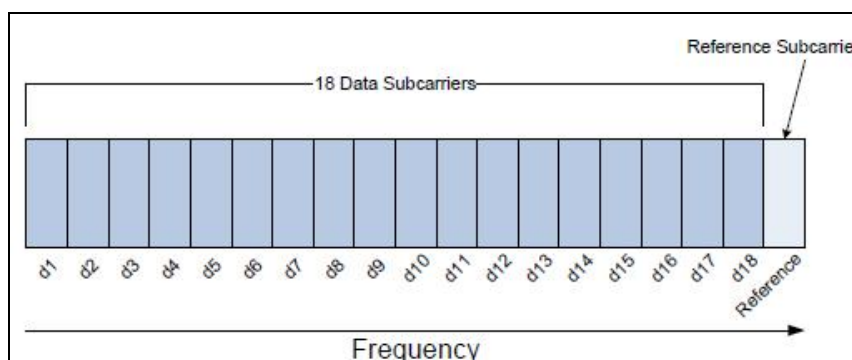


Figura I.4-Partição de frequência – Ordenação B

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).

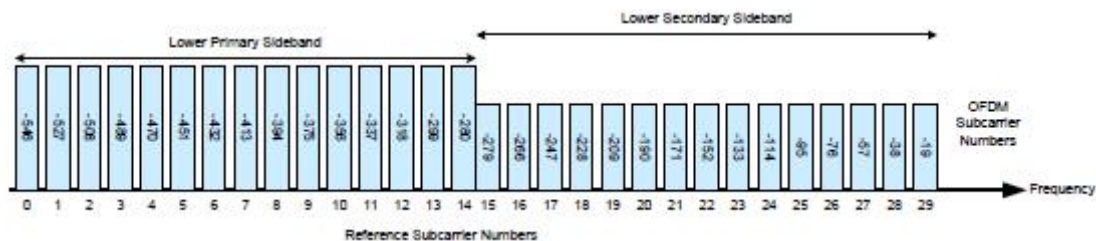


Figura I.5 - Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral inferior

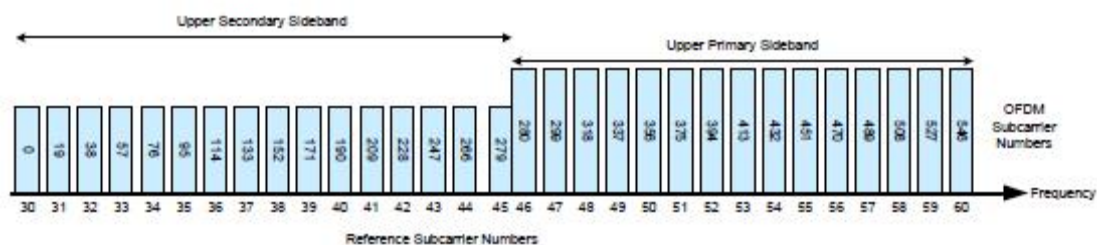


Figura I.6 - Mapeamento espectral de subportadoras de referência da banda lateral superior

### 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 [20]. A Figura I.7 apresenta a inserção do sinal digital.

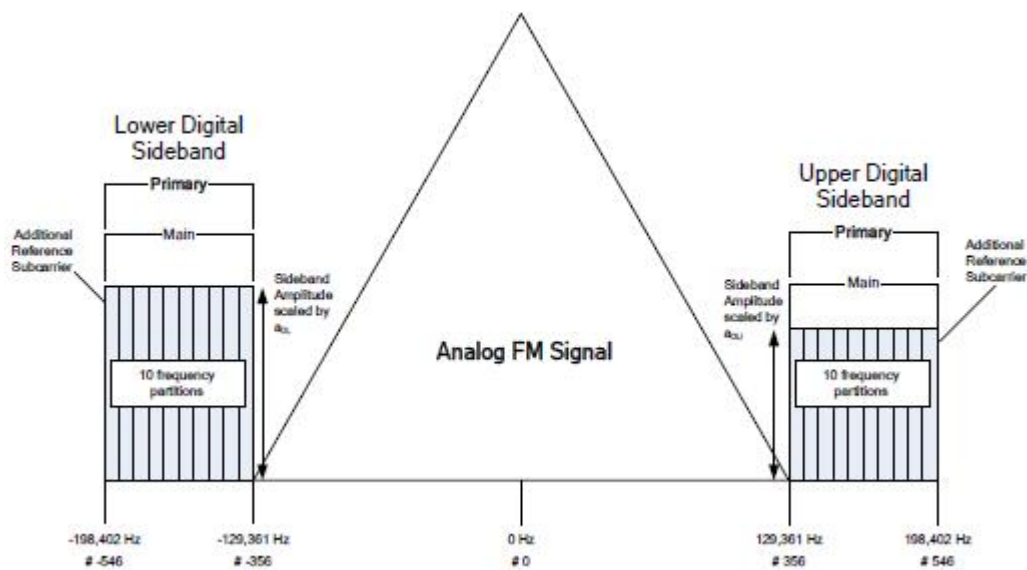


Figura I.7-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, Modo Híbrido, modo de serviço MP1

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 [19] 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” [19] apresenta mais detalhes.

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

### 1.2.7.2. 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.

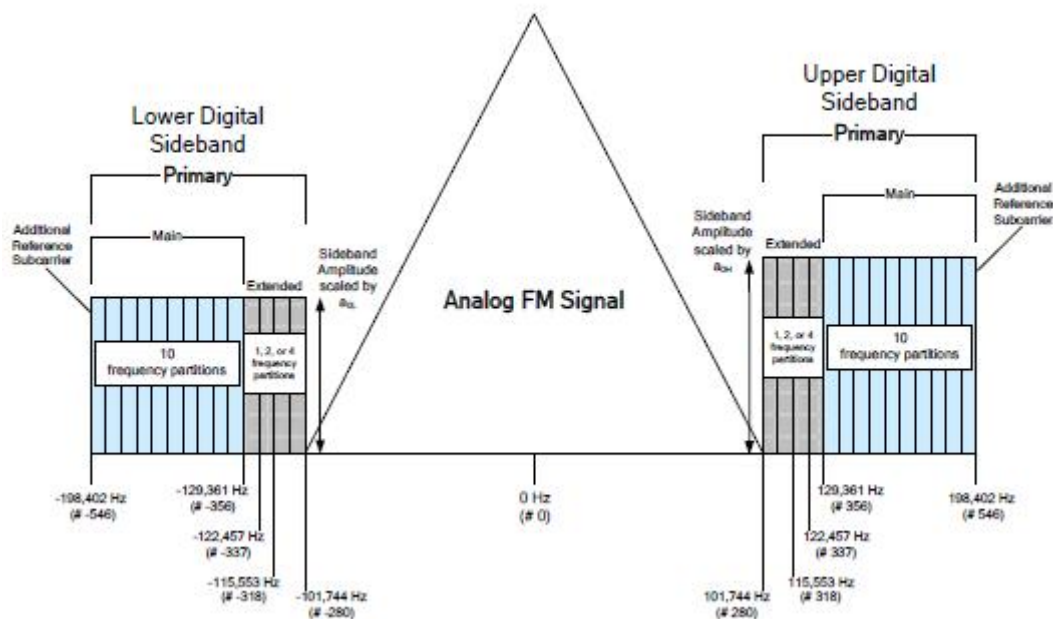


Figura I.8-Inserção do sinal digital junto ao sinal FM, modo híbrido estendido

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 [19].

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	$a_{0U}$	Inclui subport. ref. adicional 546
Primária Principal Inferior	10	B	-356 a -546	-129,361 a -198,402	69,041	$a_{0L}$	Inclui subport. ref. adicional -546
Primária Estend. Superior	1	A	337 a 355	122,457 a 128,997	6,540	$a_{0U}$	----

(1 partição freq)							
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.

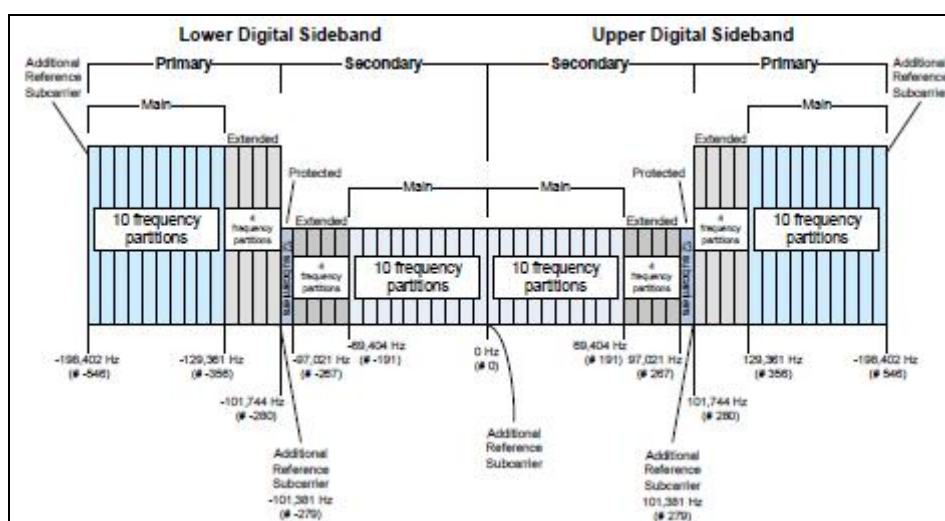


Figura I.9 - Espectro do Modo Digital Total, modos de serviço MP5 e MP6, MS1 até MS4

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 [20]. Os fatores de escala de amplitude das bandas laterais secundárias,  $a_2$  até  $a_5$ , 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	
		Secondary	$a_2$	-32.3		-27.9	
	MS1 – MS4	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.



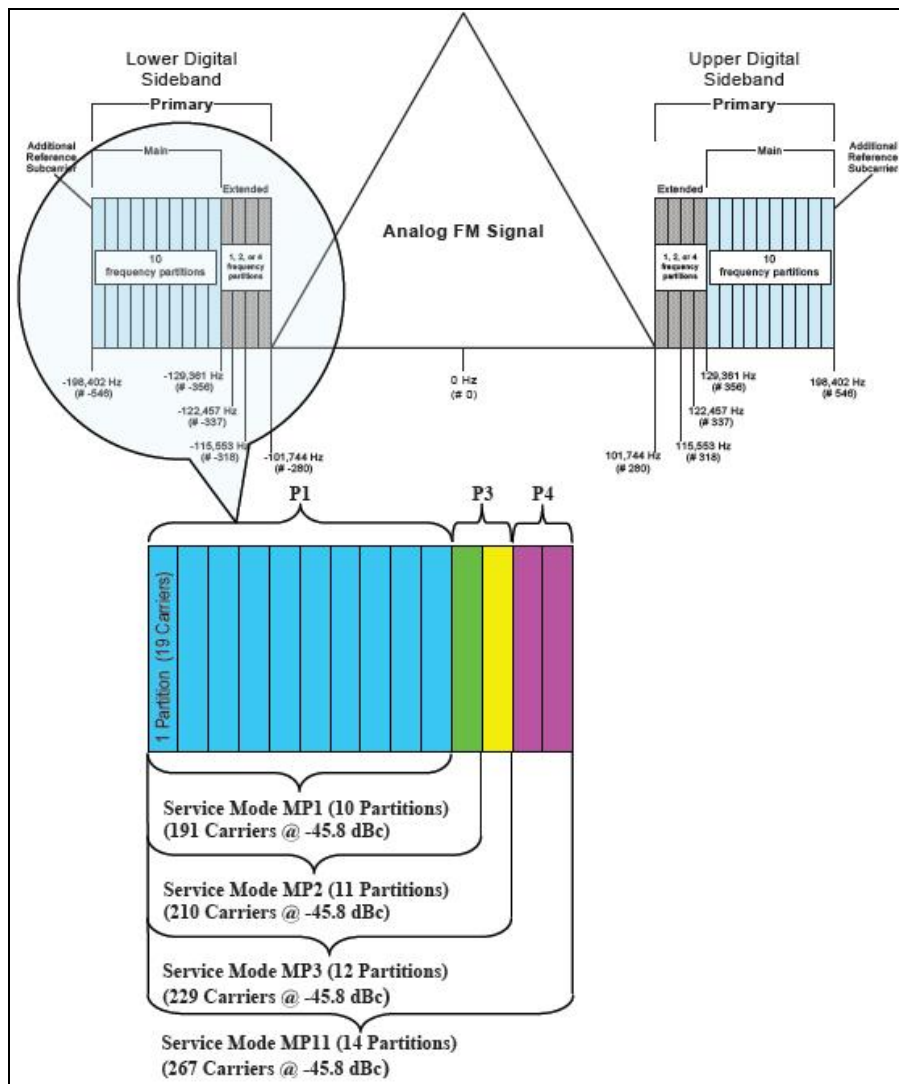


Figura I.10 - Modo Híbrido Estendido

## II. Resultados tabelados

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

Neste apêndice são descritos os detalhes sobre a localização e as medições das rotas.

Pontos	Distância ao transmissor (km)	Latitude	Longitude
Ponto de referência	2,09	-19°58 7,89	-43°56 52,61
R1P1	2,05	-19°57 28,16	-43°54 49,71
R1P2	9,94	-19°53 18,92	-43°53 24,62
R1P3	26,37	-19°48 0,42	-43°45 9,76
R1P4	50,62	-19°44 13,48	-43°30 45,07
R2P1	2,09	-19°58 32,71	-43°56 50,35
R2P2	11,04	-20°3 31,8	-43°58 34,71
R2P3	21,49	-20°9 38,55	-43°57 53,26
R2P4	50,58	-20°25 22,95	-43°52 41,58
R3P1	2,82	-19°59 42,69	-43°55 17,95
R3P2	8,11	-20°0 12,88	-43°51 31,96
R3P3	17,17	-20°4 42,64	-43°48 37,76
R3P4	24,41	-20°7 40,02	-43°45 53,72
R4P1	1,48	-19°57 46,87	-43°56 23,17
R4P2	9,99	-19°53 19,51	-43°58 2,91
R4P3	24,18	-19°45 16,3	-43°57 15,32
R4P4	51,21	-19°31 58,14	-44°4 48,78
R5P1	3,00	-19°58 8,92	-43°57 24,25
R5P2	12,66	-19°57 45,94	-44°2 56,05
R5P3	25,43	-19°57 50,77	-44°10 16,57
R5P4	50,62	-19°59 15,38	-44°24 43,49
C1P1	3,44	-19°56 23,16	-43°55 52,47
C1P2	5,43	-19°55 20,65	-43°55 9,25
C1P3	6,28	-19°54 57,37	-43°56 35,44
C1P4	6,03	-19°55 27,13	-43°57 29,08
C1P5	4,76	-19°55 45,11	-43°56 23,66
C2P1	11,57	-19°52 15,06	-43°57 34,67
C2P2	11,59	-19°52 36,12	-43°58 34,43
C2P3	12,74	-19°51 48,41	-43°58 16,66
C3P1	10,40	-19°56 53,08	-44°1 28,66
C3P2	10,32	-19°57 45,13	-44°1 35,31
C3P3	11,15	-19°57 30,79	-44°2 2,31
C4P1	13,50	-19°53 56,64	-44°1 56,59
C4P2	14,64	-19°53 20,08	-44°2 16,65
C4P3	13,31	-19°53 10,24	-44°1 5,9
C4P4	12,30	-19°53 52,62	-44°1 0,51
C5P1	12,30	-19°53 52,68	-44°1 0,54
C5P2	7,65	-19°58 54,05	-43°51 20,87
C5P3	8,47	-19°58 49,83	-43°50 51,61
C5P4	8,80	-19°59 14,6	-43°50 44,87
C5P5	8,56	-19°59 51,3	-43°51 5,0

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

Percurso	Rota	Comprimento (km)
R1P1 to R1P2	Radial 1	9,9
R1P2 to R1P3	Radial 1	26,4
R1P3 to R1P4	Radial 1	50,6
R2P1 to R2P2	Radial 2	11,0
R2P2 to R2P3	Radial 2	21,5
R2P3 to R2P4	Radial 2	50,6
R3P1 to R3P2	Radial 3	8,1
R3P2 to R3P3	Radial 3	17,2
R3P3 to R3P4	Radial 3	24,4
R4P1 to R4P2	Radial 4	10,0
R4P2 to R4P3	Radial 4	24,2
R4P3 to R4P4	Radial 4	51,2
R5P1 to R5P2	Radial 5	12,7
R5P2 to R5P3	Radial 5	25,4
R5P3 to R5P4	Radial 5	50,6

Tabela II.2-Detalhes dos trechos de rotas radiais para medições móveis

Percurso	Rota	Duração (min)
C1P1 to C1P2	Circular 1	12,3
C1P2 to C1P3	Circular 1	24,2
C1P3 to C1P4	Circular 1	20,8
C1P4 to C1P5	Circular 1	14,7
C1P5 to C1P1	Circular 1	12,1
C2P1 to C2P2	Circular 2	13,9
C2P2 to C2P3	Circular 2	4,8
C2P3 to C2P1	Circular 2	9,4
C3P1 to C3P2	Circular 3	8,9
C3P2 to C3P3	Circular 3	4,8
C3P3 to C3P1	Circular 3	9,4
C4P1 to C4P2	Circular 4	6,4
C4P2 to C4P3	Circular 4	12,2
C4P3 to C4P4	Circular 4	8,2
C4P4 to C4P1	Circular 4	9,1
C5P1 to C5P2	Circular 5	11,8
C5P2 to C5P3	Circular 5	10,8
C5P3 to C5P4	Circular 5	5,8
C5P4 to C5P1	Circular 5	5,5
C5P4 to C5P1	Circular 5	8,7

Tabela II.3-Detalhes dos trechos de rotas circulares para medições móveis

Ponto	Descrição	Latitude	Longitude	Distância em relação ao transmissor (km)
1	Transmissor	19°58'15,81"S	43°55'47,72"W	0
2	Anatel – Auditório	19°56'21,58"S	43°55'56,60"W	3,51
3	Estúdios da Itatiaia	19°54'40,37"S	43°56'48,14"W	6,86
4	Campus da UFMG, Piso FACEDU	19°52'13,42"S	43°57'33,27"W	11,75
5	Campus da UFMG, FACIEC	19°52'3,14"S	43°57'47,32"W	11,75

Tabela II.4-Detalhes da localização das medições *indoor*

## II.2. 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	2,09	1	104,65	8,48	116,6
R1P1	2,05	1	65,5	15,5	79,2
R1P2	9,94	1	63,6	16,43	84,42
R1P3	26,37	1	43,12	11,5	62,09
R1P4	50,62	0	30,67	-10	32,34
R2P1	2,09	1	88,48	16,46	105,67
R2P2	11,04	1	48,02	11,33	67,85
R2P3	21,49	0	31,82	-10	41,1
R2P4	50,58	0	32,09	-10	33,95
R3P1	2,82	1	51,34	12,44	67,33
R3P2	8,11	0	33,58	2,57	55,6
R3P3	17,17	0	32,1	-10	40,51
R3P4	24,41	0	33,3	-10	45,9
R4P1	1,48	1	88,16	14,39	94,05
R4P2	9,99	1	66,89	17,61	77,01
R4P3	24,18	0	37,16	2,44	58,33
R4P4	51,21	1	43,33	7,57	58,56
R5P1	3,00	1	71,88	15,99	85,17
R5P2	12,66	1	67,15	17,7	85,04
R5P3	25,43	1	43,7	7,35	66,56
R5P4	50,62	1	52,54	14,04	70,7
C1P1	3,44	1	71,0	17,04	87,62
C1P2	5,43	1	56,31	14,72	79,57
C1P3	6,28	1	46,65	10,51	72,87
C1P4	6,03	1	67,37	17,6	75
C1P5	4,76	1	57,73	14,7	84,49
C2P1	11,57	1	59,01	16,54	77,94
C2P2	11,59	1	60,23	15,87	77,68
C2P3	12,74	1	64,05	17,43	81,34
C3P1	10,40	1	67,49	17,81	80,29
C3P2	10,32	1	71,48	17,67	92,56
C3P3	11,15	1	58,8	16,14	75,26
C4P1	13,50	1	51,06	13,53	73,52
C4P2	14,64	1	53,56	15,25	69,22
C4P3	13,31	1	63,65	17,38	78,14
C4P4	12,30	1	51,01	13,61	74,07
C5P1	12,30	0	34,03	-3,81	59,4
C5P2	7,65	1	56,37	16,84	72,03
C5P3	8,47	1	38,74	7,44	70,62
C5P4	8,80	1	34,84	8,54	62,31
C5P5	8,56	0	29,19	-3,84	49,08

Tabela II.5-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	Intensidade do Campo Elétrico Analógico Mediano (dBµV/m)
Ponto de referência	2,09	3,8	3,8	3,8	116,6
R1P1	2,05	3,8	4,5	4,1	79,2
R1P2	9,94	4,4	4,2	4,3	84,42
R1P3	26,37	4,1	1,9	3,0	62,09
R2P1	2,09	1,1	4,0	2,6	105,67
R2P2	11,04	4,4	4,6	4,5	67,85
R2P3	21,49	1,0	4,3	2,6	41,1
R3P1	2,82	4,0	4,4	4,2	67,33
R3P2	8,11	1,4	3,5	2,4	55,6
R3P3	17,17	1,4	1,4	1,4	40,51
R3P4	24,41	1,3	1,6	1,4	45,9
R4P1	1,48	1,0	3,3	2,1	94,05
R4P2	9,99	4,1	4,5	4,3	77,01
R4P3	24,18	1,7	1,1	1,4	58,33
R4P4	51,21	4,3	2,3	3,3	58,56
R5P1	3,00	1,0	4,5	2,7	85,17
R5P2	12,66	4,0	4,1	4,1	85,04
R5P3	25,43	4,3	2,9	3,6	66,56
R5P4	50,62	3,2	3,8	3,5	70,7
C1P1	3,44	4,0	3,5	3,7	87,62
C1P2	5,43	4,0	4,1	4,1	79,57
C1P3	6,28	3,2	3,5	3,3	72,87
C1P4	6,03	2,3	3,5	2,9	75,00
C1P5	4,76	3,2	4,5	3,8	84,49
C2P1	11,57	2,6	3,1	2,8	77,94
C2P2	11,59	1,8	2,2	2,0	77,68
C2P3	12,74	4,0	1,7	2,8	81,34
C3P1	10,4	2,6	4,3	3,4	80,29
C3P2	10,32	4,2	4,4	4,3	92,56
C3P3	11,15	2,9	1,0	1,9	75,26
C4P1	13,5	4,0	3,8	3,9	73,52
C4P2	14,64	3,5	4,5	4,0	69,22
C4P3	13,31	4,0	4,5	4,2	78,14
C4P4	12,3	4,6	4,1	4,4	74,07
C5P1	12,3	3,6	4,7	4,1	59,4
C5P2	7,65	3,4	4,3	3,8	72,03
C5P3	8,47	3,2	4,4	3,8	70,62
C5P4	8,8	4,0	4,3	4,1	62,31
C5P5	8,56	3,0	4,4	3,7	49,08

Tabela II.6-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos

Local	Distância em relação ao transmissor (km)	Endereço	Média Aritmética das Notas do receptor NKS	Média Aritmética das Notas do receptor TOSHIBA	Qualidade do Áudio FM
Transmissor	0	Serra do Curral	--	4,5	4,5
Estúdio	6,9	Sala de manutenção da Rádio Itatiaia, situada na Rua Itatiaia 117	2,0	4,5	3,3
UFMG-IEC	11,75	2º andar , Laboratório INCTCSF da UFMG, sala 2516	1,0	1,0	1,0
UFMG-EDU	11,75	1º andar prédio da Faculdade de Educação da UFMG	1,6	2,0	1,8
Anatel	3,45	7º andar prédio da Anatel-Av do Contorno 5919	4,6	4,7	4,7

Tabela II. 7-Resultados do áudio FM para recepção em pontos fixos *indoor*



### 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 permanece quando ambos os sinais são irradiados, variando de acordo com o ambiente, faz-se necessário o registro de medição do sinal digital em cada ponto de medida. Portanto, 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.

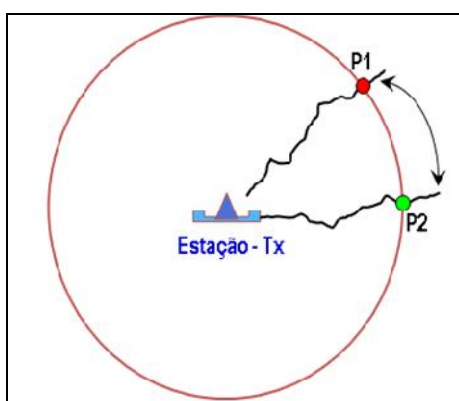


Figura III.1-Raio para determinação da relação de potência entre os sinais analógico e digital

- b) Escolher na direção de cada radial do planejamento da campanha de medição um ponto com visada direta, e em cada ponto escolhido capturar (*print screen*) 6 (seis) telas 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, ou seja, banda lateral superior e inferior do sinal digital, 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. 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 Figura III.6 correspondem aos cinco pontos, que estão na direção das radiais planejadas para realização dos testes.

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

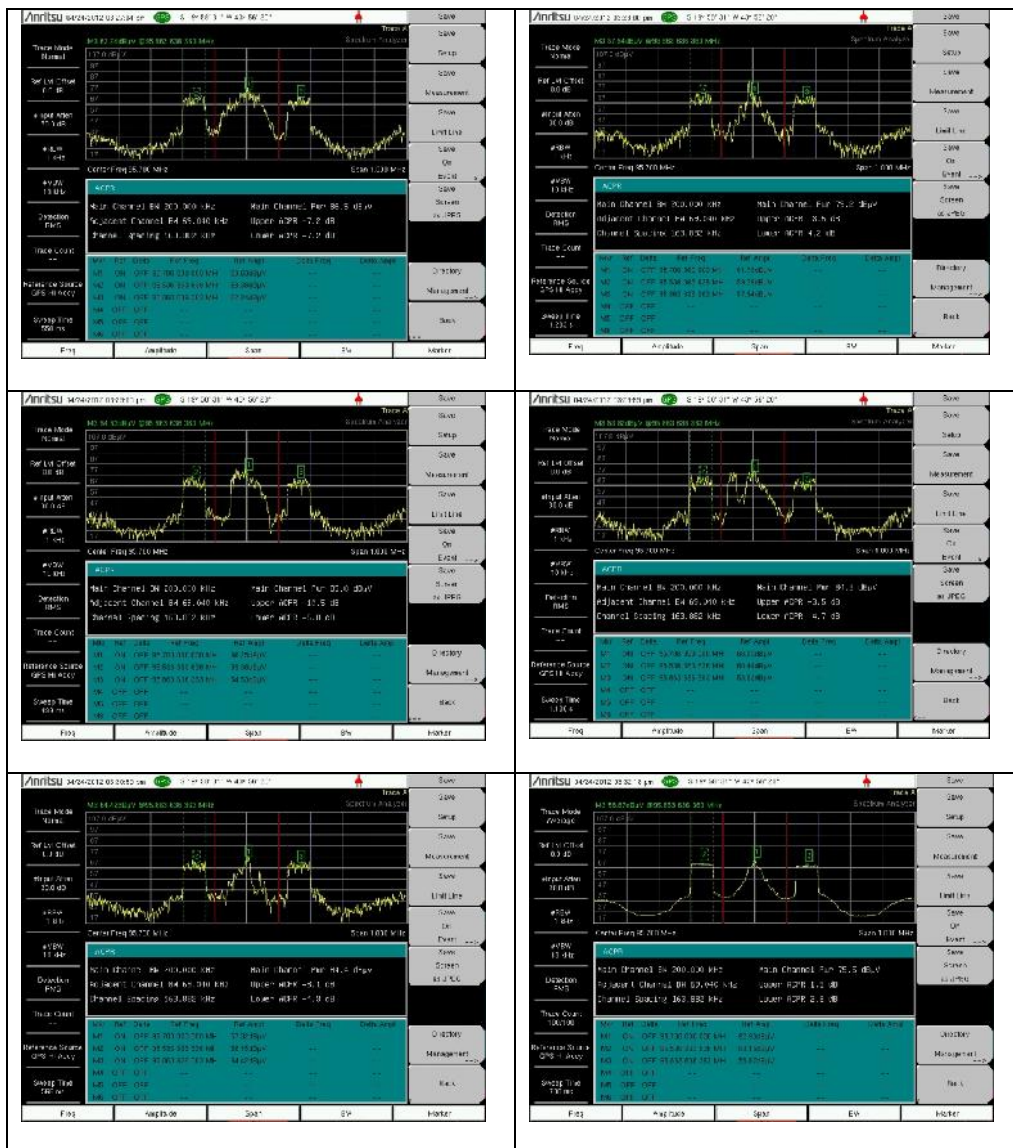


Figura III.2-Ponto 1: distância ao transmissor de 1060 m



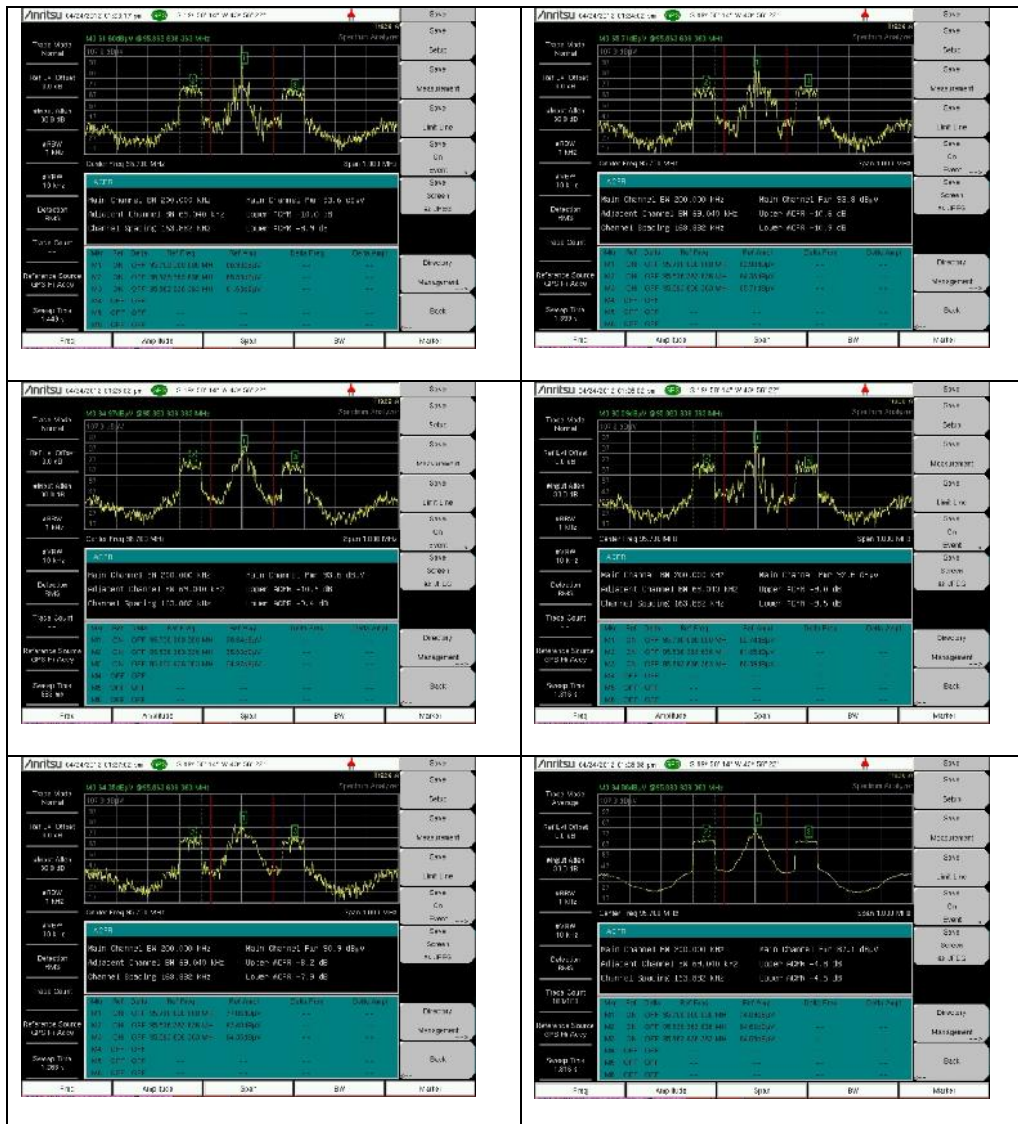


Figura III.3-Ponto 2: distância ao transmissor de 1100 m

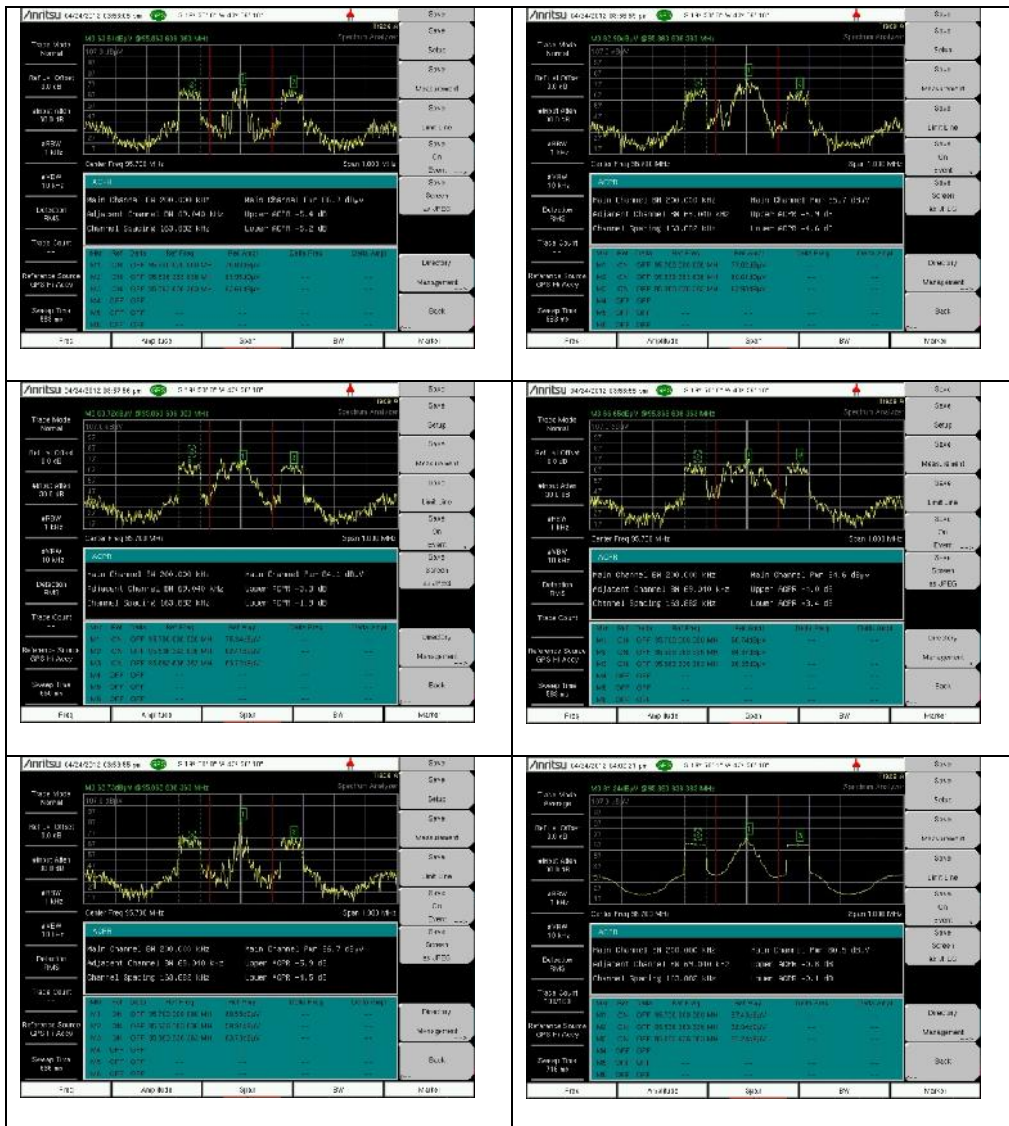


Figura III.4-Ponto 3: distância ao transmissor de 996 m

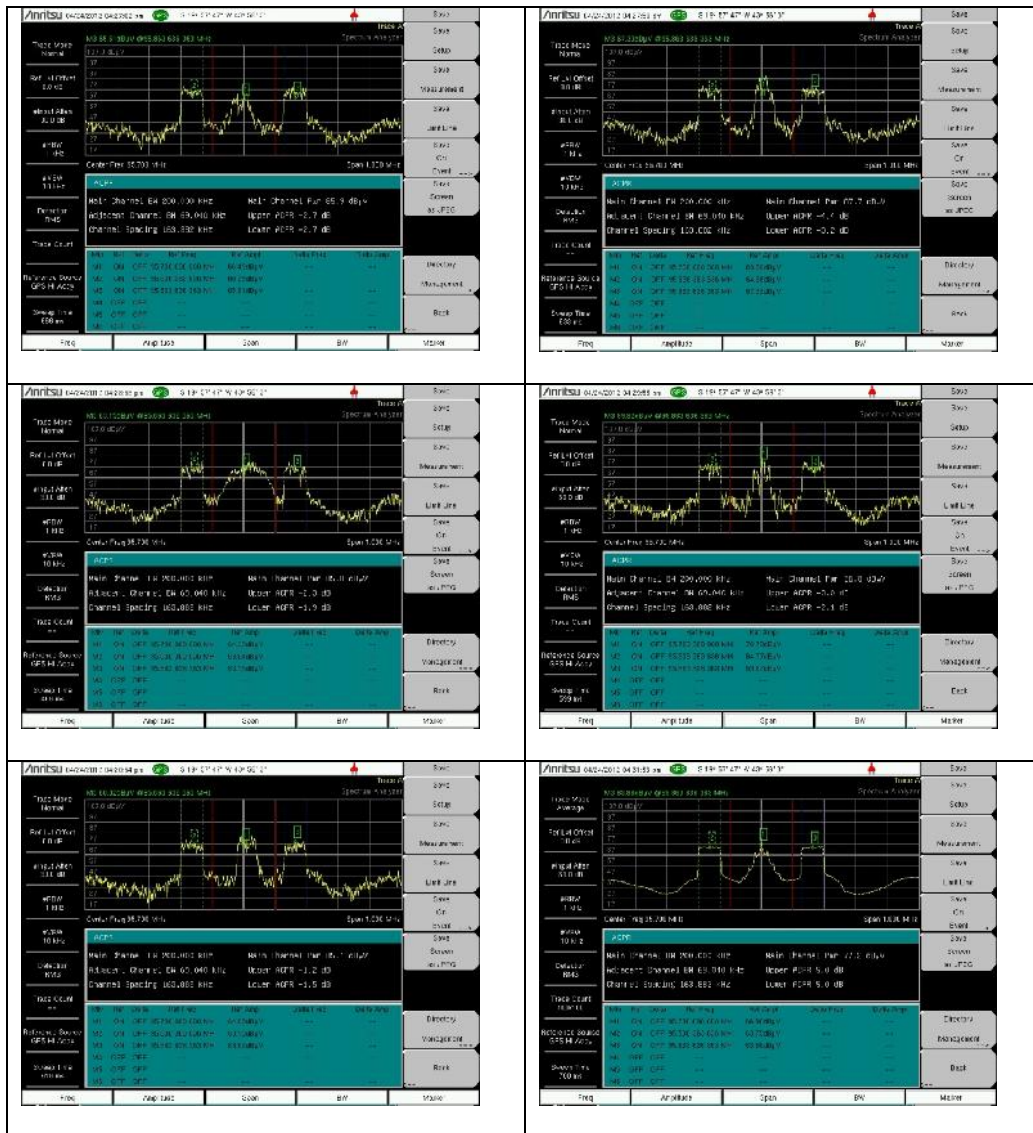


Figura III.5-Ponto 4: distância ao transmissor de 1134 m

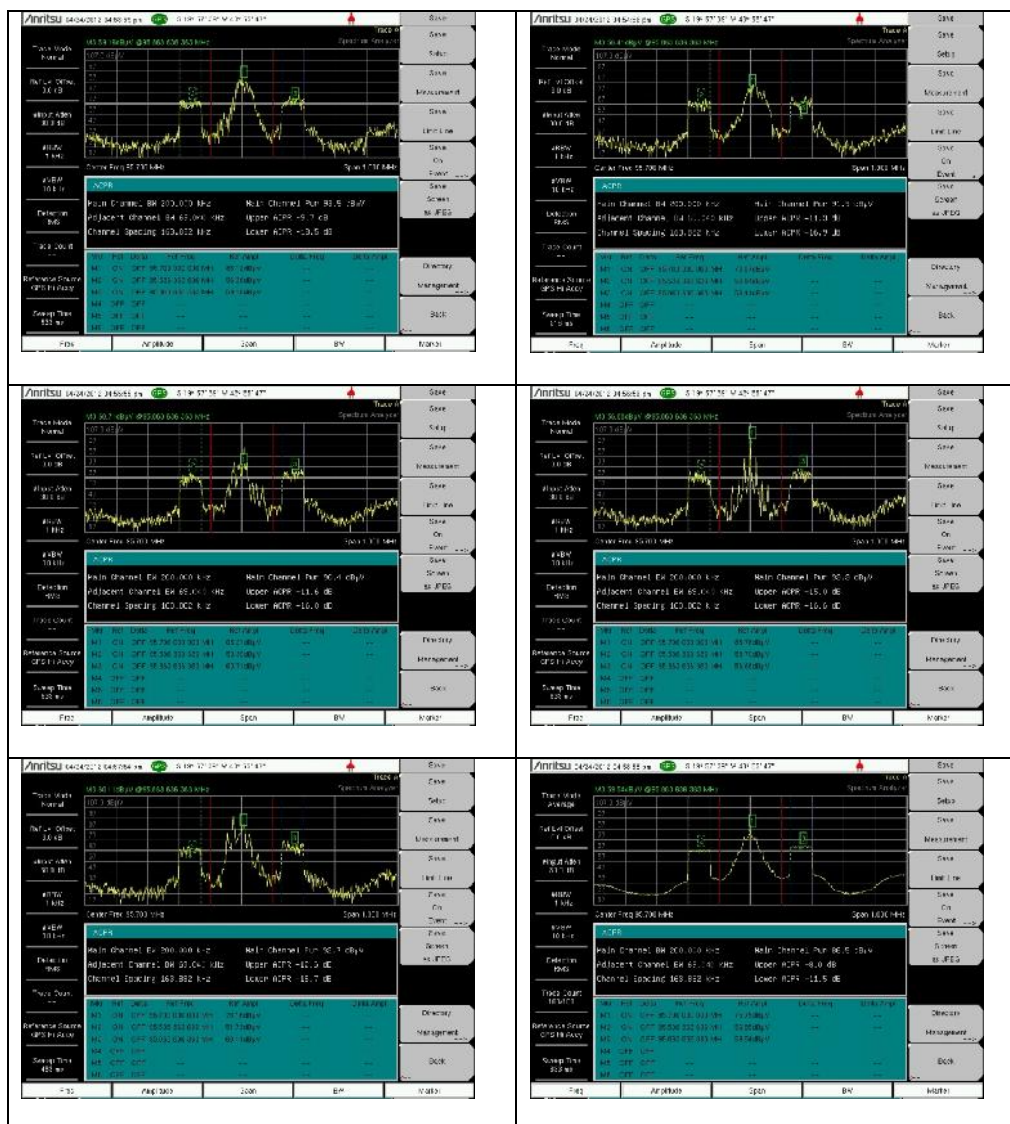


Figura III.6-Ponto 5: distância ao transmissor de 1150 m

### 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. 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 com a ferramenta MatLab. 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 Profissional fornece os dados a cada 100 milissegundos, assim, na campanha móvel não foi possível sincronizar diretamente as amostras do software HD

profissional com o analisador de espectro. Nesse caso, o valor mediano de cada 12 amostras do software HD 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, 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	# Satellites	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	Audio Acq Time	Quality Indicator	SNR	Blend Count	Frame Count	Core Frame Errors	Enh Frame Errors
14/04/2012	11:11:51	600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74589	0	0
14/04/2012	11:11:51	600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74589	0	0
14/04/2012	11:11:51	600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74594	0	0
14/04/2012	11:11:52	800	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	68	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74594	0	0
14/04/2012	11:11:52	900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	68	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74598	0	0
14/04/2012	11:11:52	900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74598	0	0
14/04/2012	11:11:52	1000	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74602	0	0
14/04/2012	11:11:52	1202	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	68	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74602	0	0
14/04/2012	11:11:52	1400	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	68	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74607	0	0
14/04/2012	11:11:52	1500	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74607	0	0
14/04/2012	11:11:52	1600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74611	0	0
14/04/2012	11:11:52	1600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74611	0	0
14/04/2012	11:11:52	1703	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74615	0	0
14/04/2012	11:11:53	1800	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,49	28	74615	0	0
14/04/2012	11:11:53	1900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74619	0	0
14/04/2012	11:11:53	1900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74619	0	0
14/04/2012	11:11:53	2000	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74624	0	0
14/04/2012	11:11:53	2203	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74624	0	0
14/04/2012	11:11:53	2400	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74628	0	0
14/04/2012	11:11:53	2500	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74628	0	0
14/04/2012	11:11:53	2600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74632	0	0
14/04/2012	11:11:53	2600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74632	0	0
14/04/2012	11:11:53	2600	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,5	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74637	0	0
14/04/2012	11:11:54	2800	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74637	0	0
14/04/2012	11:11:54	2900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74641	0	0
14/04/2012	11:11:54	2900	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74641	0	0
14/04/2012	11:11:54	3000	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	67	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74645	0	0
14/04/2012	11:11:54	3202	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	66	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,43	28	74645	0	0
14/04/2012	11:11:54	3400	2,05438571	-19,957825	-43,91381	2	7	1127,6	0	26,2	95,7	66	1	1	1	1	1	1	10000000	0	15	23	110	15	15,56	28	74650	0	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] Doc. No. SY\_SSS-1082s rev. F. HD Radio AM Transmission System Specifications, iBiquity Digital Corporation, 8/24/11.
- [4] 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.
- [5] Shuldiner, Albert, [Memorando] 13 abr, 2005, Columbia [para] IBOC Standards Development Working Group e DAB Subcommittee, 6f, iBiquity patent disclosure.
- [6] FCC MM Docket No, 99-325. First report and order: Digital Audio Broadcasting Systems and their impact on the terrestrial radio broadcast service, 11 out. 2002.
- [7]Ibiqity Digital Corporation, 2010 Station Guide. Disponível em: [http://www.ibiquity.com/i/pdfs/HDRadio\\_Station\\_%20Guide\\_lores\\_Dec2009.pdf](http://www.ibiquity.com/i/pdfs/HDRadio_Station_%20Guide_lores_Dec2009.pdf), Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [8] 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.
- [9] Ibiqity Digital Corporation. HD Radio Broadcasting Around the World. Disponível em: <http://www.ibiquity.com/international>, Data de acesso: 27 de abril de 2012.
- [10] Ibiqity Digital Corporation, Field report – AM IBOC nighttime performance, 20 out. 2003.
- [11] Ibiqity Digital Corporation, AM nighttime compatibility study report, 23 maio 2003.
- [12] Ibiqity Digital Corporation, AM All-digital IBOC field test report, 12 abril 2002.
- [13] Ibiqity Digital Corporation, FM All-digital IBOC field test report, 1 fev. 2002.
- [14] Ibiqity Digital Corporation, FM Hybrid IBOC field test results, dez. 2000.
- [15] Ibiqity Digital Corporation, Experimental test report on IBOC DAB field tests using KWNR-FM, Las Vegas, Nevada, 2000.
- [16] 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.
- [17] Kean, J. HD Radio coverage measurement and prediction, Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies, pp.123-130, fev. 2007.
- [18] 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.

- [19] Ibiqity Digital Corporation, HD Radio FM Transmission System Specifications, SY\_SSS\_1026s Revisão F, August 24, 2011
- [20] Ibiqity Digital Corporation, HD Radio Air Interface, Design Description Layer 1 FM, SY\_IDD\_1011s Revision G, August 23, 2011
- [21] Ibiqity Digital, Transmission Signal Quality Metrics for FM IBOC Signals, SY\_TN\_2646s Revision 02, August 24, 2011
- [22] Recommendation ITU-R BS.1284-1: General methods for the subjective assessment of sound quality, 2003
- [23] 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).
- [24] Rec. ITU-R BS. 412-9: Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF, 1998.
- [25] Anatel (2008), “SIGAnatel - Sistema de Informações Geográficas”. Disponível em <http://sistemas.anatel.gov.br/siganatel>
- [26] Guia para Avaliação do Sistema de Rádio Digital FM IBOC, Junho 2007. Disponível em <http://www.anatel.gov.br/Portal/>
- [27] Ibiqity Digital, HD Radio Air Interface Design Description Layer 1 AM. SY\_IDD\_1012s Revision F, August 23, 2011
- [28] Rec. ITU-R P.1411-3 Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor communications systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz, 2005