

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDSON MAURO BERGOLD

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

DRM – Digital Radio Mondiale Utilizando Radio Definido por Software

Porto Alegre

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

DRM – Digital Radio Mondiale utilizando Radio Definido por Software

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Giovani Bulla

Porto Alegre

2016

CIP - Catalogação na Publicação

Bergold, Edson Mauro
DRM - Digital Radio Mondiale Utilizando Rádio
Definido por Software / Edson Mauro Bergold. -- 2016.
69 f.

Orientador: Giovani Bulla.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Elétrica, Porto
Alegre, BR-RS, 2016.

1. Engenharia Elétrica. 2. Processamento de
Sinais. 3. Rádio Digital. 4. Telecomunicações. 5.
DRM. I. Bulla, Giovani, orient. II. Título.

EDSON MAURO BERGOLD

DRM – Digital Radio Mondiale utilizando Radio Definido por Software

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de “Projeto de Diplomação”, do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Giovani Bulla - UFRGS

Aprovado em: ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Giovani Bulla (Doutor) -UFRGS_____

Prof. Alvaro Augusto Almeida de Salles (Doutor) -UFRGS_____

Eng. Paulo Ilaga Serafini -UFRGS_____

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa Leticia por não me fazer desistir dessa jornada.

Agradeço também ao cão Guinness, meu fiel companheiro das noites mal dormidas na escrita deste trabalho.

Um homem que tem algo para dizer e não encontra ouvintes está em má situação.

Mas estão em pior situação ainda os ouvintes que não encontram quem tenha algo para lhes dizer.

Brecht, Bertolt.

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo do sistema de rádio digital DRM – *Digital Radio Mondiale*. Primeiramente, suas características técnicas, serviços disponíveis e funcionamento são explicadas. Em um segundo momento, utilizando Radio Definido por Software (SDR – *Software Defined Radio*) são apresentadas simulações de transmissão e recepção de sinais através do sistema DRM. Por fim, conclui-se que o sistema, principalmente com o auxílio de SDR, é de fácil aplicabilidade e de reduzido custo em sua implementação.

Palavras-chaves: Engenharia Elétrica. Processamento de Sinais. Telecomunicações. Rádio Digital. Comunicação Digital. DRM. SDR. RDS.

ABSTRACT

This paper consists in the study of the DRM – *Digital Radio Mondiale* digital radio system. At first, the technical specifications, available services and functioning are explained. On a second moment, using Software Defined Radio (SDR), simulations of transmission and reception of a DRM signal are showed. At last, this work concludes that a DRM system, with the help of SDR, has an easy applicability and a low cost implementation.

Keywords: Electrical Engineering. Signal Processing. Telecommunications. Digital Radio. Digital Communications. DRM. SDR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Padre Roberto Landell de Moura	20
Figura 2. Espectro de comparativo de bandas de rádio.	26
Figura 3. Servidor de Conteúdo	27
Figura 4. Codificação do sinal de áudio	30
Figura 5. Diagrama em blocos da codificação e modulação	33
Figura 6. Diagrama de constelação 16QAM	35
Figura 7. Sinal FDM e OFDM.....	37
Figura 8. Visão da estrutura OFDM.....	37
Figura 9. Intervalo de guarda	38
Figura 10. Representação lógica do sinal transmitido.....	39
Figura 11. Esquema de transmissão híbrida em DRM30	40
Figura 12 Diagrama de bloco básico de um receptor.....	42
Figura 13. Software Dream	46
Figura 14. Janela do <i>Evaluation Dialog</i> do programa Dream.....	46
Figura 15. Programa Spark	47
Figura 16. Janela inicial do programa Sodira	48
Figura 17. Visão da estrutura	49
Figura 18. Configuração do receptor.....	49
Figura 19. Configuração do SoDiRa.....	50
Figura 20. Configuração e apresentação da interface.....	51
Figura 21. Configuração do gerenciador de conteúdo	52
Figura 22. Configuração do conteúdo a ser transmitido.....	52
Figura 23. Aviso de MSC muito grande.....	53
Figura 24. Opção “Pack MUX”	53
Figura 25. Teste com dois serviços.....	54
Figura 26. Janela de saída de transmissão.....	55
Figura 27. Janela do receptor demonstrando o primeiro teste	56
Figura 28. Resultados do primeiro teste.....	56
Figura 29. Resultados do segundo teste.....	57
Figura 30. Resultados do terceiro teste.....	58
Figura 31. Janelas do receptor diferenciando o serviço selecionado	59
Figura 32. Resultados do quarto teste	60

Figura 33. Resultados do quinto teste.....	60
Figura 34. Resultados do sexto teste.....	61
Figura 35. Resultados do sétimo teste.....	61
Figura 36. Visualização da recepção através de um arquivo “.wav”.....	62
Figura 37. Interface do aplicativo SoDiRa sintonizado pelo sinal do arquivo “.wav”..	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modos de transmissão DRM	32
Tabela 2. Taxa de bits do sistema DRM	36
Tabela 3. Passo de seleção de frequência.....	44
Tabela 4. Modos testados	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAC	<i>Advanced Audio Coding</i>
AFS	<i>Alternative Frequency Signalling</i>
AM	<i>Amplitude Modulation</i>
AMSS	<i>Amplitude Modulation Signalling System</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
BER	<i>Bit Error Ratio</i>
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
CTR	<i>Comissão Técnica de Rádio</i>
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting</i>
DCP	<i>Distribution and Communications Protocol</i>
DRM	<i>Digital Radio Mondiale</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
EEP	<i>Equal Error Protection</i>
EPG	<i>Electronic Program Guide</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EFW	<i>Emergency Warning Feature</i>
FAAC	<i>Freeware Advanced Audio Coder</i>
FAC	<i>Fast Access Channel</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
FM	<i>Frequency Modulation</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HE-AAC	<i>High-Efficiency Advanced Audio Coding</i>
HF	<i>High Frequency</i>
IBOC	<i>In-band On-channel</i>
ID	<i>Identificação</i>
IRT	<i>Institut für Rundfunktechnik</i>
ISDB	<i>Integrated Services Digital Broadcasting</i>
ISDB-Tsb	<i>Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial digital sound broadcasting</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
JPG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
LF	<i>Low Frequency</i>

MDI	<i>Multiplex Distribution Interface</i>
MF	<i>Medium Frequency</i>
MLC	<i>Multilevel Coding</i>
MPEG	<i>The Moving Picture Experts Group</i>
MPS	<i>MPEG Surround</i>
MSC	<i>Main Service Channel</i>
MUX	<i>Multiplex</i>
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
OC	<i>Ondas Curtas</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
PS	<i>Parametric Stereo</i>
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
PRBS	<i>Pseudo-Random Binary Sequence</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
RDS	<i>Rádio Definido por Software</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>
SBR	<i>Spectral Band Replication</i>
SBRD	<i>Sistema Brasileiro de Rádio Digital</i>
SDC	<i>Service Description Channel</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i>
TMC	<i>Traffic Message Channel</i>
UEP	<i>Unequal Error Protection</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
UIT	<i>Union Internationale des Télécommunications</i>
VHF	<i>Very-High Frequency</i>
xHE-AAC	<i>Extended -Efficiency Advanced Audio Coding</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO	17
1.2	METODOLOGIA	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	HISTÓRICO	19
3	SISTEMAS DE RÁDIO DIGITAL	23
3.1	DAB	23
3.2	ISDB-TSB	24
3.3	HD RADIO	25
4	DIGITAL RADIO MONDIALE	26
4.1	SERVIDOR DE CONTEÚDO	27
4.1.1	Dados	27
4.1.2	Áudio	29
4.1.3	Gerador Multiplex	31
4.1.4	Configuração de Parâmetros	31
4.1.5	Distribuição	32
4.2	CODIFICAÇÃO E MODULAÇÃO.....	33
4.2.1	Dispersão de Energia	34
4.2.2	<i>Interleaving</i>	34
4.2.3	QAM	34
4.2.4	COFDM	36
4.2.5	Modo híbrido	39
4.2.6	Modulador RF	41
4.4	RECEPTOR.....	42
5	SIMULAÇÃO	45
5.1	SDR	45
5.1.1	Dream	45
5.1.2	Spark	45
5.1.3	SoDiRa	47
5.2	MONTAGEM DA ESTRUTURA E CONFIGURAÇÃO DOS COMPUTADORES.....	48

5.3	CONFIGURAÇÃO E MODOS SIMULADOS.....	50
6	RESULTADOS	55
7	CONCLUSÃO.....	64
	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Na última década, com a popularização da internet móvel surgiram os mais variados serviços de *streaming* de músicas, programas de entretenimento, notícias e vídeos. Neste aspecto, os serviços de rádio tradicional vêm ganhando forte concorrência, devido a facilidade, quantidade de informação oferecida e a qualidade do som. Além disso o aumento da quantidade de sinais e as grandes cidades vem causando maior interferência, principalmente nas estações AM.

Numa tentativa de revitalizar o setor, aproveitando a mudança de tecnologia da transmissão de televisão de analógica para digital, o governo federal através do Decreto nº 8.139 de 7 de dezembro de 2013, incentivou a migração de estações da faixa que transmite em Modulação por Amplitude (AM) para a faixa que transmite em Modulação por Frequência (FM). O objetivo é ocupar a banda vazia deixada pelo desligamento das transmissões de televisão analógica. A justificativa é de melhorar a qualidade do áudio recebido destas estações, uma vez que a transmissão em FM apresenta qualidade superior neste aspecto quando comparada a AM, e assim reerguer as estações de Rádio AM.

Como dito, a transmissão de televisão migrou para tecnologia digital e prepara o desligamento das transmissões analógicas para até o fim de 2018, segundo o Decreto nº8.061 de 29 de julho de 2013. Enquanto isso, a rádio no Brasil se mantém operando na tecnologia analógica, estando no momento esperando por uma decisão de qual modelo adotar para uma possível migração para o sistema digital.

Em 2007 o Ministério das Comunicações deu os primeiros passos para a liberação dos testes de sistemas de rádio digital através de Chamamentos Públicos convidando as tecnologias de rádio digitais existentes no mundo para que apresentassem seus produtos e projetos para sua implementação dentro da realidade brasileira.

Duas tecnologias se apresentaram como solução, a americana HD Radio e o consórcio europeu da Digital Radio Mondiale (DRM). Ambas funcionam com transmissão intrabanda, que é a transmissão digital simultânea com a analógica na mesma frequência utilizada pela emissora. O HD Radio é uma tecnologia fechada, de propriedade da empresa Iqity Digital Corporation, sendo preciso pagar pelos direitos de uso da tecnologia. Já o DRM é mantido pela DRM Consortium, uma

organização sem fins lucrativos, sendo a tecnologia um padrão aberto, apesar de utilizar, em alguns aspectos, tecnologias que contém propriedade de direitos autorais.

A partir de então, testes de transmissão com as duas tecnologias foram realizados em rádios no país, nos anos de 2009 e 2011. Em 2010 por meio da Portaria nº 290 do Ministério das Comunicações, foi criado o Sistema Brasileiro de Rádio Digital (SBRD).

No ano de 2013, foram realizadas várias audiências públicas, com integrantes de rádios, de representantes das tecnologias em testes e representantes do governo, no intuito de se chegar a conclusão sobre qual tecnologia adotar. Entre os representantes de rádios, muitos deles defendem a posição de que todas as frequências devem ser digitalizadas, Ondas curtas (OC), AM e FM, o que, diante dos testes realizados, favorece o sistema DRM para a ser escolhido como padrão, por apresentar ser o único a trabalhar em OC, por causar menos interferência entre emissoras de frequência próxima no AM e também atender o FM.

Ante o exposto, o trabalho aqui desenvolvido visa a explanar o sistema Digital Radio Mondiale, discutindo seus aspectos de qualidade de áudio e seu modo de funcionamento. Também serão realizados testes utilizando Radio Definido por Software, *Software-defined Radio*, (SDR) e o sistema DRM, visando explorar o funcionamento do sistema num ambiente de simulação

1.1 OBJETIVO

Demonstrar, através de um ambiente de simulação, as funcionalidades do sistema Digital Radio Mondiale.

1.2 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta primeiramente uma pesquisa bibliográfica acerca da história do rádio e dos tipos de padrões de rádio digital reconhecidos pela UIT. Para o levantamento destes dados utilizam-se livros, artigos e fontes na internet.

Num segundo momento será apresentado um ambiente simulado de transmissão e recepção de rádio utilizando-se o padrão DRM. Para tanto serão utilizados rádio definido por software. A avaliação será por diferenças de qualidade de áudio do sinal, que será alterado pelos parâmetros de robustez do padrão DRM.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos, iniciando-se por este de introdução. No segundo capítulo, apresentamos um breve histórico da história do rádio. No terceiro capítulo, fazemos um breve apanhado dos tipos de tecnologias de rádios digitais existentes comercialmente. O sistema DRM é então descrito mais detalhadamente no quarto capítulo. O capítulo cinco descreve os procedimentos realizados para a execução da simulação da tecnologia DRM utilizando SDR. Os resultados obtidos na simulação são apresentados no sexto capítulo.

Por fim, o último capítulo traz as conclusões do projeto realizado, além de trazer também alguns andamentos do processo de escolha do padrão por parte do governo federal.

2 HISTÓRICO

Podemos começar falando do rádio fazendo um histórico dos meios de comunicação utilizando eletricidade, iniciando com Samuel Morse que em 1837 aperfeiçoou o telégrafo (SAMPAIO, 1984, p. 20), transmitindo através de seu código criado por pontos, traços e espaços, mensagens em tempo real através de um cabo. Em 1849 o italiano Antonio Santi Giuseppe Meucci demonstrou em Havana um aparelho capaz de transmitir voz por eletricidade, considerado o primeiro telefone (PALMA *et al*, 2011).

No campo dos estudos, em 1864 (PALMA *et al*, 2011), as equações de Maxwell, conjunto de equações da Teoria Eletromagnética da Luz de James Clerk Maxwell, foram o estopim para a previsão da existência de ondas eletromagnéticas.

A hoje denominada União Internacional de Telecomunicações (*Union Internationale des Télécommunications* (UIT) ou *International Telecommunication Union* (ITU), agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), foi criada em 1865 em Paris, inicialmente com o nome de *International Telegraph Union* (União Internacional de Telégrafos - tradução).

Em 1875 (SAMPAIO, 1984, p.36), Alexandre Graham Bell patenteou o telefone, baseando-se no trabalho de Meucci. As ondas eletromagnéticas previstas na teoria de Maxwell foram provadas experimentalmente por Heinrich Rudolf Hertz em 1888 (PALMA *et al*, 2011). Guglielmo Marconi, italiano, em 1895 (PALMA *et al*, 2011) obteve êxito na transmissão por 2,8 km do radiotelegrafo, um transmissor sem fio de sinais em código Morse, conseguindo a patente em 1897.

Outro destaque é o brasileiro Roberto Landell de Moura (Figura 1), o qual tem se o primeiro registro documentado de transmissão de voz sem fio em 1900 (FLOSI, 2012), apesar de alguns citarem experiências deste tipo feitas por ele anteriores ao invento de Marconi. É dele também a Carta Patente do Brasil de março de 1900 de “um aparelho destinado à transmissão fonética a distância, com fio ou sem fio, através da terra, do espaço e da água”, além do registro das patentes nos Estados Unidos da América de 1904 do telegrafo sem fio, do telefone sem fio e do transmissor de ondas sonoras, sendo este último o que podemos chamar de um transmissor de AM pelas suas características.

Figura 1. Padre Roberto Landell de Moura



Fonte: Página da Wikipédia¹

Inicialmente, o rádio foi utilizado principalmente, por meio de radiotelegrafo, em comunicações entre bases terrestres e navios, para informar alertas em geral. Em um segundo momento, foi também utilizado na comunicação terrestre, com grande uso militar na Primeira Guerra Mundial. Em 1912, foi estabelecido nos Estados Unidos o *Radio Act* (Ato do Rádio – tradução), o embrião da *Federal Radio Commission* (Comissão Federal de Rádio – tradução), criada em 1926 e substituída pela *Federal Communications Commission* (FCC) (Comissão Federal de Comunicações) em 1934 pelo *Communications Act* (Ato das Comunicações – tradução), órgão responsável pelas normas de comunicação daquele país.

Após a Primeira Guerra, as primeiras estações comerciais surgem, difundindo-se então finalmente a radiodifusão sonora. Também neste período proliferam-se muitas rádios experimentais, elevando a necessidade de regulamentação das transmissões.

A primeira transmissão oficial de rádio no Brasil ocorreu em 7 de setembro de 1922 no Rio de Janeiro, então capital federal, nas comemorações do Centenário da Independência (SAMPAIO, 1984, p.94).

Assim, em 1927, na Conferência de Radiotelégrafo de Washington, com o objetivo de padronizar o sistema, a UIT estabeleceu e fixou as três faixas de ondas: as longas, de comprimento de 1340 a 1875 metros; as médias, de 200 a 550 metros; e as curtas, abaixo de 50 metros (SAMPAIO, 1984, p.60).

¹Disponível em: < https://pt.wikipedia.org/wiki/Roberto_Landell_de_Moura > Acesso em out. 2016.

Também naquele ano (1927), o americano Philo Taylor Farnsworth demonstrou o primeiro sistema de televisão totalmente eletrônico, que se tornou base do sistema de televisão difundido no mundo (PALMA *et al*, 2011).

No Brasil, a Comissão Técnica de Rádio (CTR) foi criada em 1931, vinculando a radiodifusão, que até então era licenciada pelo Departamento dos Correios e Telégrafos, ao Ministério da Educação e ao Ministério da Viação. Foi o primeiro decreto criando um órgão específico para o rádio (SAMPAIO, 1984, p.147).

Em 1933 o engenheiro eletricista americano Edwin Howard Armstrong desenvolveu o sistema de transmissão aperfeiçoando a modulação por frequência (FM). Este sistema eliminaria os ruídos estáticos presentes na modulação por amplitude (AM) (PALMA *et al*, 2011).

A organização da radiodifusão no Brasil teve um marco também em 1962, quando foi gerado o Código Brasileiro de Telecomunicações. (SAMPAIO, 1984, p.149).

As primeiras demonstrações de rádio digital ocorreram em 1985, utilizando *Digital Audio Broadcasting* (DAB). As primeiras transmissões utilizando esse sistema ocorrem em 1988 na Alemanha.

Em 1988 foi criada a *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), órgão responsável pelas normas e padrões da Europa.

Em uma reunião em 1998 foi dado o pontapé inicial para a criação do padrão *Digital Radio Mondiale* (DRM), inicialmente apenas para a substituição de emissora analógicas da faixa de AM. Em 2005 se iniciou a criação do padrão para ser utilizado na faixa de FM. O padrão original foi renomeado de DRM para DRM30 e o novo foi nomeado DRM+ (DRMPlus). A nomeação DRM ficou então sendo como a soma dos dois padrões.

O ano de 2010 aparece com a criação no Brasil do Sistema Brasileiro de Rádio Digital, que vem a definir os padrões aos quais a rádio digital irá atuar no território nacional. Nesta criação estabeleceu-se as diretrizes que devem ser seguidas na escolha do padrão a ser adotado. O artigo terceiro da Portaria nº 290 de 2010 do Ministério das Comunicações (Costa, 2010) cita esses objetivos:

[...] I - promover a inclusão social, a diversidade cultural do País e a língua pátria por meio do acesso à tecnologia digital, visando à democratização da informação;

- II - propiciar a expansão do setor, possibilitando o desenvolvimento de serviços decorrentes da tecnologia digital como forma de estimular a evolução das atuais exploradoras do serviço;
- III - possibilitar o desenvolvimento de novos modelos de negócio adequados à realidade do País;
- IV - propiciar a transferência de tecnologia para a indústria brasileira de transmissores e receptores, garantida, onde couber, a isenção de royalties;
- V - possibilitar a participação de instituições brasileiras de ensino e pesquisa no ajuste e melhoria do sistema de acordo com a necessidade do País;
- VI - incentivar a indústria regional e local na produção de instrumentos e serviços digitais;
- VII - propiciar a criação de rede de educação à distância;
- VIII - proporcionar a utilização eficiente do espectro de radiofrequências;
- IX - possibilitar a emissão de *simulcasting*, com boa qualidade de áudio e com mínimas interferências em outras estações;
- X - possibilitar a cobertura do sinal digital em áreas igual ou maior do que as atuais, com menor potência de transmissão;
- XI - propiciar vários modos de configuração considerando as particularidades de propagação do sinal em cada região brasileira;
- XII - permitir a transmissão de dados auxiliares;
- XIII - viabilizar soluções para transmissões em baixa potência, com custos reduzidos; e
- XIV - propiciar a arquitetura de sistema de forma a possibilitar, ao mercado brasileiro, as evoluções necessárias.

3 SISTEMAS DE RÁDIO DIGITAL

No desenvolvimento do rádio, ao final da década de 1980, começaram as tratativas de implementação de sistemas digitais de rádio, com objetivos de melhorar a qualidade do áudio, a recepção sem perda e a possibilidade de aumentar o número de estações usando multiplexação, entre outros. A UIT, até 2016, reconhece 4 tipos de sistemas de rádio digital: o europeu *Digital Audio Broadcasting* (DAB); o também europeu DRM; o sistema japonês *Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial digital sound broadcasting* (ISDB-Tsb); o americano HD Radio.

Os sistemas são descritos brevemente a seguir, com exceção do sistema DRM, objeto deste trabalho, que será descrito mais detalhadamente no capítulo 4.

3.1 DAB

O sistema DAB começou a ser fomentado em 1981 no *Institut für Rundfunktechnik* (IRT) da Alemanha. Em 1985 teve suas primeiras demonstrações em Genebra e suas primeiras transmissões ocorreram em 1988 na Alemanha. Foi também projeto de pesquisa do consórcio europeu EUREKA, sob o número 147. Por essa razão o sistema também é conhecido pelo nome de Eureka 147.

Foi no mesmo projeto que foi criado o *MPEG-1 Audio Layer II* (MP2), antecessor do conhecido MP3. Através do MP2, foi possível a compressão dos dados de áudio.

Ele também foi o primeiro padrão baseado na técnica de modulação *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), utilizada posteriormente em outros sistemas de transmissão de rádio e televisão, de conexão de internet do tipo *Digital Subscriber Line* (DSL), redes sem fio, redes de transmissão elétrica e o sistema 4G de celulares.

Em 2007, foi introduzido o sistema DAB+, uma atualização do sistema DAB, adotando o *codec* de áudio *High-Efficiency Advanced Audio Coding* (HE-AAC) versão 2, o qual também é utilizado pelo DRM. Receptores DAB+ conseguem receber estações na versão antiga DAB, porém receptores antigos não decodificam DAB+.

O sistema DAB opera nas faixas de 174MHz a 240Mhz e de 1452MHz a 1492MHz, portanto, em faixa diferente dos rádios AM e FM. A primeira faixa, no Brasil, é onde hoje opera os canais VHF de Televisão do 7 ao 13. O sistema pode operar em faixas a partir de 30MHz, porém não visualiza a possibilidade de operar

simultaneamente com o sinal analógico. Este é o motivo principal de o mesmo não ser escolhido para ser utilizado no Brasil.

O sistema DAB é utilizado em mais de 30 países, o Quadro 1 lista os países que adotam totalmente ou em alguma parte o sistema.

Quadro 1 – Países que adotam o padrão DAB

África do Sul	Gana	Portugal
Alemanha	Grécia	Reino Unido
Austrália	Holanda	República Tcheca
Áustria	Hong Kong	Romênia
Bélgica	Hungria	Rússia
Brunei	Indonésia	Sérvia
Canadá	Irlanda	Singapura
China	Itália	Suécia
Coreia do Sul	Malásia	Suíça
Croácia	Malta	Tailândia
Dinamarca	México	Taiwan
Eslovênia	Mônaco	Turquia
Espanha	Noruega	Vietnã
Estônia	Nova Zelândia	
França	Polônia	

Fonte: Página da Wikipédia² - Adaptado pelo autor.

3.2 ISDB-TSB

O sistema japonês ISDB-Tsb é integrante do sistema ISDB, utilizado no padrão de televisão digital do nosso país. O padrão ISDB é mantido pela *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB), que por sua vez criou o sistema na década de 1990. Em dezembro de 2003, as primeiras transmissões comerciais iniciaram no Japão.

Por se tratar de uma especificidade do sistema de televisão digital, o histórico dos dois é o mesmo. O sistema ISDB-T de televisão tem por característica a divisão do sinal em 13 segmentos, ocupando a banda do canal correspondente. No caso do sistema ISDB-Tsb, o número de segmentos se limita a 3, ocupando menos faixa por canal. No Japão foi utilizada uma faixa específica de 4MHz do canal 7 VHF para este fim, utilizando-se 8 canais.

Assim como o DAB, por se tratar de um sistema que necessita uma alocação extra de faixa do espectro para ser adotada, apesar de o sistema já ter sido

² Disponível em < https://en.wikipedia.org/wiki/Countries_using_DAB/DMB > Acesso em set. 2016.

familiarizado pelo uso e aprendido com a televisão digital, ele não é tido como solução para a adoção como padrão no país.

3.3 HD RADIO

O sistema americano *In-band On-channel* (IBOC) da empresa iBiquity Digital Corporation tem como nome a marca registrada HD Radio. Ele é o método selecionado pela *U.S. Federal Communications Commission* (FCC) para a transmissão digital de rádio nas faixas de AM e FM nos Estados Unidos.

O sistema IBOC tem como origem os primeiros processos naquele país de digitalização de rádio para transmissões via satélite, em 1990. No decorrer da década, desenvolvimento e testes foram executados e o sistema atingiu sua maturidade por volta do ano 2000. Em agosto daquele ano, houve a fusão de duas empresas proponentes do sistema, a USA Digital Radio e a Lucent Digital Radio, formando então a empresa iBiquity Digital Corporation. Em 2002, o sistema foi oficializado para o uso pela FCC.

O sistema usa também a técnica de modulação OFDM, e pode operar simultaneamente com o sinal analógico nas faixas AM e FM, sistema chamado de híbrido ou *simulcast*.

Para isso, o sinal digital é transmitido na faixa superior e/ou inferior do centro da banda, onde permanece o sinal analógico. Porém no AM, o HD Radio ocupa 20kHz de banda, o que no sistema brasileiro, sobrepõe o sinal de uma emissora com outra, pois prevê a largura ocupada de 10kHz. Neste quesito, o DRM leva vantagem, por ocupar somente 10kHz. No FM, os sistemas se equiparam, tendo o HD Radio a vantagem de possuir uma gama mais variada e barata de receptores para esta faixa. Ainda assim, por ser um sistema fechado, o sistema tem a desvantagem da obrigação de pagamento de direitos de uso ao fabricante.

4 DIGITAL RADIO MONDIALE

O DRM (*Digital Radio Mondiale*), objeto de estudo deste trabalho, começou a nascer em 1998 Guangzhou, na China, onde foi pensado como um padrão global de rádio digital.

O sistema é reconhecido tanto pela UIT quanto pela ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

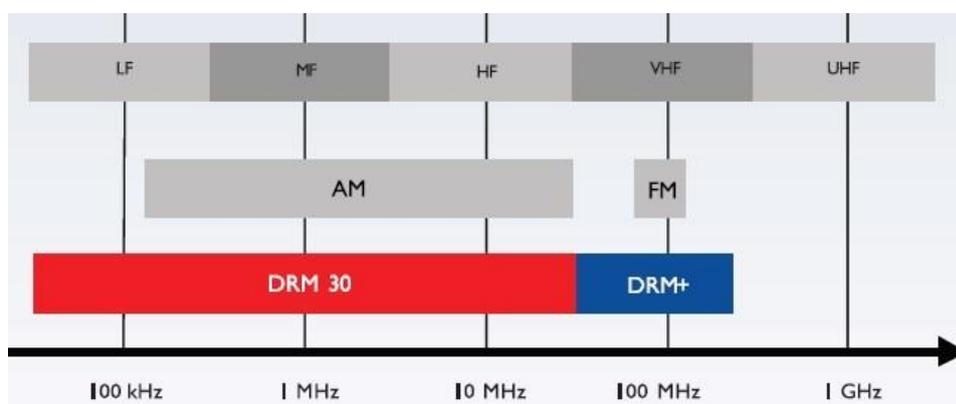
O sistema é mantido por um consórcio cujos membros são: empresas fabricantes de equipamentos e de tecnologia de *broadcasting*; radiodifusores; universidades; centros de pesquisa e outras organizações.

As especificações do DRM são descritas na norma ETSI ES 201 980 V4.1.1 (Jan/2014).

O DRM foi projetado para substituir a atual radiodifusão analógica, nas bandas AM e FM/VHF, podendo utilizar os mesmos canais e alocações do espectro já implementadas hoje em dia. Além disso, ele também pode operar em *simulcast*, isto é, tanto o sinal analógico quanto o digital podem concorrer na banda, sem prejuízo para os receptores de cada tipo.

O padrão DRM permite funcionar em diferentes modos de operação, que podem ser classificados em dois grupos: O DRM30, que utiliza banda abaixo dos 30 MHz (AM); e o DRM+, que inicia na banda acima dos 30MHz. A figura 2 mostra uma visão das bandas de frequência, situando os modos DRM30 e DRM+ no espectro.

Figura 2. Espectro de comparativo de bandas de rádio.



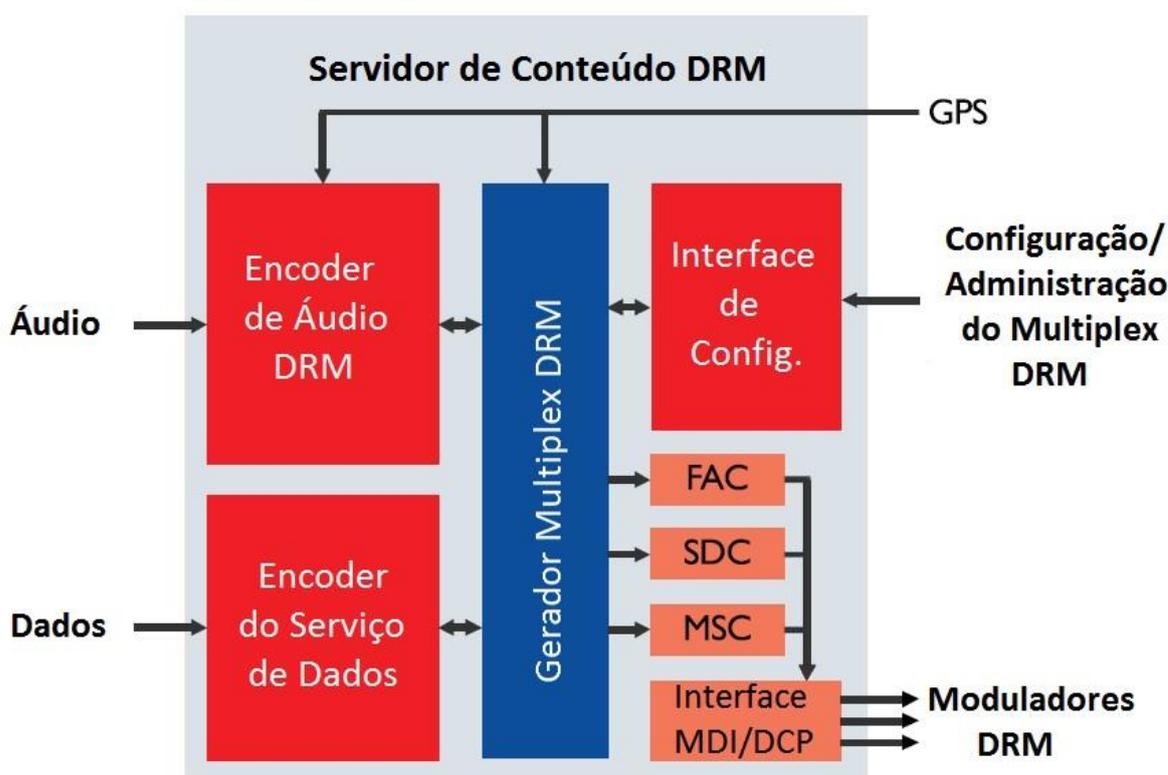
Fonte: DRM Consortium

4.1 SERVIDOR DE CONTEÚDO

Na geração de conteúdo para o rádio, o sistema permite entrar com áudio e dados, com até 4 serviços por canal, sendo que cada serviço pode ser uma mistura de áudio e dados, só áudio ou somente dados, isto é, para cada estação, dependendo do modo de operação, podem ser transmitidos até quatro programas diferentes.

A figura 3 mostra o diagrama de blocos da geração de conteúdo. Temos os blocos de entrada de áudio e dados, que são tratados pelos respectivos *encoders*.

Figura 3. Servidor de Conteúdo



Fonte: DRM Consortium (tradução)

4.1.1 Dados

Para dados, o DRM estabelece como obrigatório conter:

- *Service ID* (Identificação do Serviço - tradução): este é o identificador único destinado a cada programa. Normalmente é atribuído ao radiodifusor pela entidade regulamentadora do país. Ele também permite o mecanismo de *Alternative Frequency Signalling* (AFS) (Sinalização de Frequência Alternativa - tradução), que é o sistema que informa aos receptores outros

canais onde possa ser sintonizado o mesmo programa, permitindo aos receptores dinamicamente alterar a frequência de recepção para aquela em que se está recebendo o melhor sinal;

- *Service Labelling* (Nome do Serviço – tradução): Este informa ao ouvinte, através de uma mensagem de texto de até 16 caracteres, o nome da estação, a frequência principal ou do programa que está ouvindo, conforme critério da emissora.

O sistema também permite outros tipos de dados, listados a seguir:

- Tipo de programa, onde é informado ao ouvinte se a programação é educacional, de negócios, tipo de música, etc. O sistema dispõe de 29 tipos de descrição de programas;
- Idioma do Serviço, onde é informado o idioma da programação. O ouvinte pode filtrar a recepção de programas de acordo com esse parâmetro;
- País de Origem, onde é informado a origem do conteúdo disponibilizado. O ouvinte pode filtrar a recepção de programas de acordo com o país de origem;
- Mensagens de texto. O DRM permite o envio de mensagem de texto curtas, de até 128 caracteres. Isso pode ser usado, por exemplo, para identificar ao ouvinte a música que está sendo tocado naquele instante, ou alguma manchete de notícia importante;
- *Electronic Program Guide* (EPG) (Guia Eletrônico de Programação – tradução). Como o próprio nome diz, a tabela de programação da rádio pode ser visualizada na tela do receptor, caso esse dado seja disponibilizado pelo emissor;
- Apresentação de *Slides*. Imagens também podem ser enviadas no sinal DRM. O sistema permite uso de formatos JPG e PNG, numa resolução mínima de 320 x 240 pixels. Além disso, podem ser enviados também APNG (*Animated PNG*), que são arquivos PNG animados. O uso de imagens pode variar de acordo com a programação. Pode ser mostrado o resultado atual de uma partida de futebol, por exemplo, ou ainda a capa do álbum da música que está sendo reproduzida;
- *Traffic Message Channel* (TMC) (Canal de Mensagem de Tráfego – tradução). Esse dado repassa as informações em tempo real de acidentes ou outras ocorrências de trânsito para a tela do rádio. Também é compatível

com alguns navegadores GPS de carros para uma atualização dinâmica da rota de navegação;

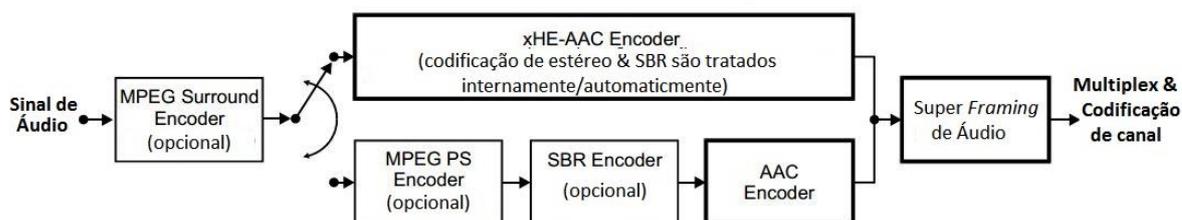
- *Emergency Warning Feature* (EWF) (Aviso de Emergência – tradução). O sistema DRM permite, através dessa característica, enviar um sinal, normalmente autorizado por um órgão, de alguma catástrofe que possa vir a ocorrer ou que tenha ocorrido, como terremotos, tsunamis, incêndios florestais, etc. Quando acionado, ele se sobrepõe a qualquer informação (seja áudio ou dados) que esteja sendo acessado pelo ouvinte. Essa informação pode ser tanto em texto quanto em áudio.
- Serviço de informação por texto Journaline. Este serviço de dados funciona como uma página *web* de informações que pode ser acessado diretamente na tela do rádio. Permite mais de 65000 páginas, cada uma com até 4kBytes de conteúdo textual. O serviço Journaline possui direitos autorais do Fraunhofer Institute, logo há um custo no seu uso por parte do transmissor e do fabricante do receptor. No Brasil, o grupo que está fomentando a adoção do DRM como padrão, sugere a substituição desse serviço pelo padrão brasileiro de código aberto GINGA, utilizado na televisão digital³.

4.1.2 Áudio

O DRM adota por padrão a codificação de áudio (*encoder*) do MPEG (*The Moving Picture Experts Group*) (Grupo de Especialistas em Imagens com Movimento - tradução). Desde 2013, vem incentivando o uso do *codec* xHE-AAC (*Extended High-Efficiency Advanced Audio Coding*) (Codificação de Áudio de Alta Eficiência Estendida - tradução) para a compressão de áudio. Originalmente, o sistema utiliza o *codec* AAC, normalmente em combinação com SBR (*Spectral Band Replication*) (replicação da banda de espectro - tradução) e PS (*Parametric Stereo*). A figura 4 mostra o diagrama de blocos do mecanismo de codificação do sinal de áudio. Pode-se notar que existe também um bloco opcional de MPS (*MPEG Surround*), que é utilizado para habilitar codificação de múltiplos canais.

³ Conforme carta publicada pelo grupo DRM-Brasil publicado em <http://www.drm-brasil.org/pt-br/content/o-r%C3%A1dio-brasileiro-completa-90-anos-e-o-drm-brasil-apresenta-o-drmb-o-drm-brasileiro>, acessado em nov. 2016.

Figura 4. Codificação do sinal de áudio



Fonte: DRM Consortium (tradução)

A codificação SBR se baseia na percepção do ouvido humano no espectro de frequência audível. A sensibilidade na percepção geralmente é mais baixa para altas frequências da voz humana. O SBR contém os dados para a recriação do áudio dessas frequências mais altas, utilizando a replicação das harmônicas das frequências mais baixas para popular a faixa mais alta de frequência e, portanto, utilizando menos bits para realizar isto.

A codificação PS segue a ideia de que um som estéreo, em grande parte do tempo, tem o mesmo sinal em ambos canais. Resumidamente, a codificação transforma o som estéreo em mono e coloca dados informando as diferenças para que o sinal possa ser reconstruído em estéreo. A vantagem é de que para receptores mono, a parte de informação das diferenças é ignorada, podendo ser utilizado o sinal já somado dos dois canais. Caso a transmissão seja monofônica, não há a necessidade de utilizar a codificação PS.

As codificações SBR e PS são utilizadas em conjunto com o *codec* AAC. O *codec* xHE-AAC já implementa internamente essas funções.

As taxas de transmissão do AAC para uma qualidade de som próxima ao do FM são de 14kbps para mono e 18kbps para estéreo. No caso do xHE-AAC a promessa é de 6kbps para mono e 12kbps para estéreo.

O último bloco da figura 4 é o gerador do super frame de áudio. Como a compressão e codificação do áudio, sejam por xHE-AAC ou AAC gera frames de tamanhos diferentes, é necessária a criação deste super frame, de tamanho fixo, fazendo com que a codificação do canal possa ter um bit *rate* constante, independente dos parâmetros escolhidos.

Cabe ressaltar que, apesar da tecnologia DRM ser aberta, sem custo de direitos autorais, os *codecs* MPEG tem custo a ser pago pelo fabricante do transmissor e receptor para implementar em seu *hardware*. Uma alternativa seria a utilização de um

codec também aberto. Testes já foram realizados e com sucesso utilizando o *codec* OPUS. Essa opção também pode ser estudada caso o sistema DRM venha a ser adotado no Brasil, utilizando os mesmos moldes de criação que o padrão de televisão digital fez utilizando como base o padrão japonês ISDB e desenvolvendo um padrão nacional de rádio digital, utilizando, neste caso, o DRM como base.

4.1.3 Gerador Multiplex

O Multiplexador; Gerador Multiplex ou Gerador Mux processa a configuração de parâmetros recebida para ser aplicada aos *codecs* de áudio e dados e recebe essa informação pronta para alocar em três diferentes canais de informação, MSC, FAC e SDC; que serão explicados a seguir. Além disso recebe informações de GPS (*Global Positioning System*) (Sistema de Posicionamento Global – tradução) ou de um servidor NTP (*Network Time Protocol*) (Protocolo de Tempo para Redes – tradução) para usar como sincronismo de horário nos pacotes ou *frames* que irão ser gerados posteriormente.

O *Main Service Channel* (MSC) (Canal de Serviço Principal - tradução) contém o sinal de áudio e dados codificados e multiplexados, e, portanto, recebe este nome por conter a principal razão da transmissão, que é a própria informação.

O *Fast Access Channel* (FAC) (Canal de Acesso Rápido – tradução) contém um conjunto de principais parâmetros requeridos para que ocorra uma rápida verificação dos serviços disponíveis no sinal e permitir a demodulação do mesmo.

O *Service Description Channel* (SDC) (Canal de Serviço Descritivo – tradução) carrega, as informações dos parâmetros de codificação de áudio e dados, os nomes dos serviços, a data e hora atuais, tabelas de AFS, idioma da programação e país de origem, entre outras.

4.1.4 Configuração de Parâmetros

O bloco de configuração de parâmetros informa ao multiplexador as características de como o sinal deve ser processado.

Através dele se escolhe o tipo de sinal de áudio, o codec e a configuração de taxas de amostragem do mesmo, os tipos de sinal de dados e quantos serviços serão disponibilizados.

Também é informado o tipo de modulação que será feita no sinal a ser transmitido. O DRM possui 5 modos de transmissão, nominados de “A”, “B”, “C”, “D” e “E”. Os tipos de “A” até “D” são utilizados para frequências até 30MHz (DRM30) ou seja, na distribuição do espectro, são utilizados pelas transmissões AM. Já o tipo “E” é utilizado para transmissões em frequências acima dos 30MHz (DRM+) e, portanto, utilizado pela faixa de transmissões FM.

A classificação dos modos são chamadas de modos de robustez. O sistema considera mais robusto o modo de transmissão no qual o sinal transmitido tem mais meios de proteção contra perda de pacotes e, portanto, possui uma maior possibilidade de recepção sem interferências. Nesse sentido, no DRM30, o modo “A” é menos robusto que o modo “B”, que por sua vez é menos robusto que o “C”. Assim, o modo “D” é o mais robusto. O aumento de robustez na transmissão, portanto, faz com que mais bits de proteção sejam adicionados ao sinal transmitido, e assim diminui a quantidade de bits de informação (áudio e dados) que podem ser transmitidos, o que muitas vezes faz com que só se possa disponibilizar um serviço ao invés de 4 possíveis no mesmo canal, para que se obtenha um áudio de qualidade no receptor.

A Tabela 1 cita os modos e relaciona com seu uso típico, além de informar as opções de largura de banda para cada um deles e suas opções de modulação de constelação QAM (ver seção 4.2.3) no MSC.

Tabela 1. Modos de transmissão DRM

Modo	Opções de QAM do MSC	Opções de largura de banda (kHz)	Uso típico	
A	16, 64	4,5; 5; 9; 10; 18; 20	Ondas terrestres de LF e MF, banda de 26MHz com visada	Modos DRM30
B	16, 64	4,5; 5; 9; 10; 18; 20	Transmissão em ondas ionosféricas de MF e HF	
C	16, 64	10; 20	Canais em HF com ondas ionosféricas com efeito Doppler considerável	
D	16, 64	10; 20	Ondas ionosféricas NVIS (Doppler e atraso elevados)	
E	4, 16	100	Transmissões VHF em bandas acima dos 30 MHz	DRM+

Fonte: DRM Consortium, adaptado e traduzido pelo autor

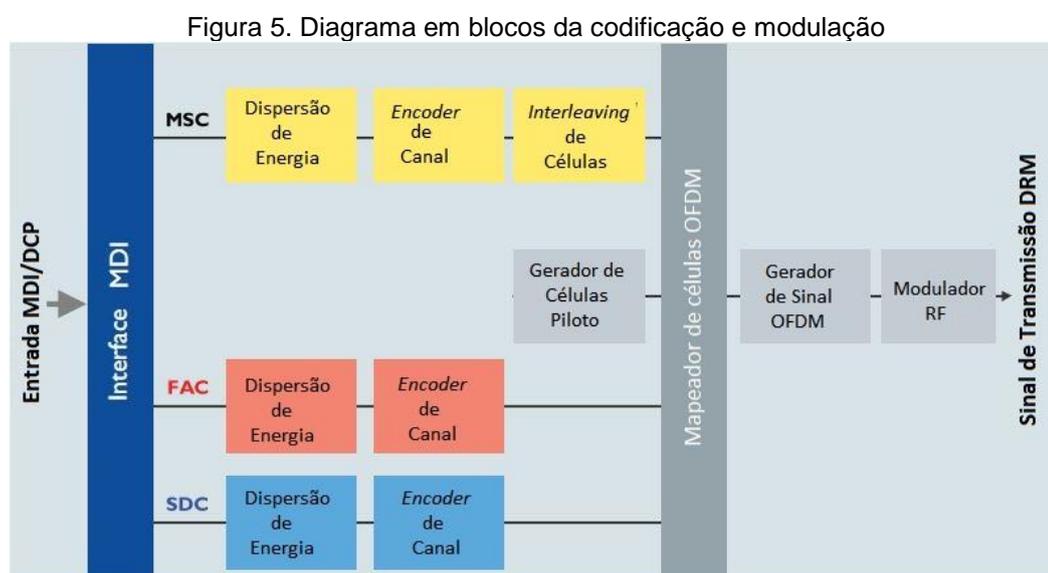
4.1.5 Distribuição

A ideia do Servidor de conteúdo é de que toda a gravação de estúdio seja feita num local, preparado o sinal multiplexado e então distribuído para outro local para a transmissão deste sinal via rádio. Para que a distribuição deste conteúdo ocorra sem

erros, foi desenvolvido o *Distribution and Communications Protocol* (DCP) (Protocolo de Comunicação e Distribuição – tradução) e o *Multiplex Distribution Interface* (MDI) (Interface de Distribuição de Multiplex – tradução). O protocolo se encarrega da transmissão dos dados enquanto que a interface gerencia a conexão da origem e do destino.

4.2 CODIFICAÇÃO E MODULAÇÃO

Após ser distribuído, o sinal será tratado para a codificação e modulação e posterior transmissão. Os canais MSC, FAC e SDC são codificados separadamente. A figura 5 esboça o diagrama de blocos da codificação e modulação. Este esquema de codificação é chamado de multi-nível (*Multilevel Coding* – MLC), e faz uso disto para alcançar um sinal no decodificador com um *Bit Error Ratio* - BER (Taxa de bits errados – tradução) menor que 10^{-4} . Este valor é o que o sistema considera para que o decodificador consiga remontar um áudio quase sem distorção.



Fonte: DRM Consortium (tradução)

Para os canais FAC e SDC, é utilizada a proteção de bits EEP (*Equal Error Protection*) (proteção igualitária de erro – tradução), que é o uso de código de proteção igual para todos os bits do canal.

Já o canal MSC pode usar tanto EEP quanto UEP (*Unequal Error Protection*) (proteção desigual de erro – tradução). No modo UEP, os bits do canal são separados em dois níveis, com um deles de proteção mais alta e outro mais baixa.

4.2.1 Dispersão de Energia

Para evitar a transmissão de padrões de sinal que possam resultar em regularidades indesejadas no sinal transmitido, como uma longa série de bits de mesmo valor (que pode causar em não conseguir identificar a quantidade de bits que está sendo transmitida), é utilizada a técnica de dispersão de energia. Dessa forma, é inserido uma Sequência Binária Pseudo-Aleatória (PRBS – *Pseudo-Random Binary Sequence*) no sinal, antes da codificação do canal pelo *Encoder*.

4.2.2 *Interleaving*

O método de *Interleaving* ou intercalação consiste em reordenar os dados de forma a diminuir a probabilidade de erro de recebimento do sinal. O sistema DRM usa o mesmo algoritmo de *interleaving* de bits para os três canais isoladamente, após codificação, utilizando *interleaving* por bloco.

No canal MSC, após o mapeamento, é feito também o *interleaving* de células, podendo este ser curto ou longo.

O *interleaving* curto utiliza a técnica por bloco e é indicado para canais não muito seletivos no tempo e frequência de onde média ou longa, portanto somente para modos do DRM30. O tempo de processamento do sinal considerando a fonte de áudio até a execução do mesmo no receptor é de aproximadamente 0,8 segundos.

O *interleaving* longo utiliza a técnica convolucional, e é indicado para canais muito seletivos no tempo e frequência de onda curta. Para os modos de “A” a “D” de robustez, o *delay* de processamento é de aproximadamente 2,4 segundos e para o modo “E” este valor é de aproximadamente 0,8 segundos.

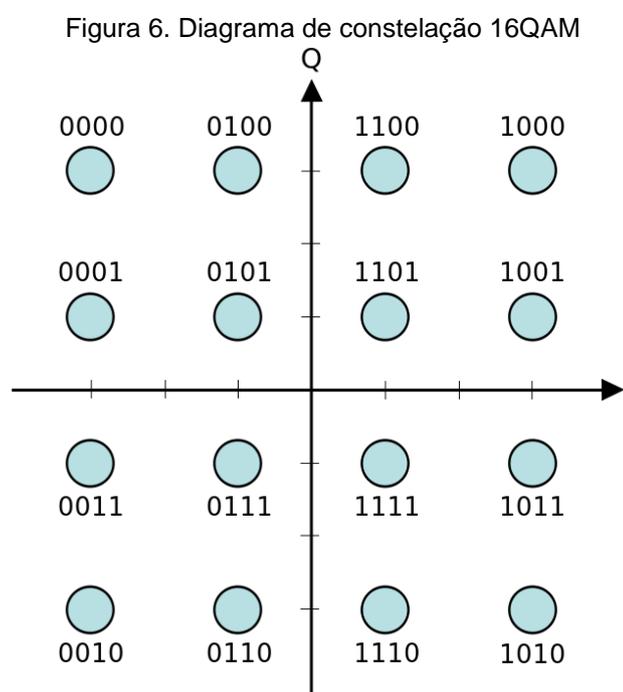
4.2.3 QAM

Quadrature Amplitude Modulation (QAM – Modulação de Amplitude em Quadratura) é usada principalmente nas transmissões de sinais digitais, onde é necessária alta taxa de transferência de informação.

A técnica consiste em modular o sinal de duas portadoras defasadas em 90 graus (por isso quadratura) resultando numa saída com variações de amplitude e fase. Alterando a fase temos diferentes pontos para o qual pode-se transmitir um sinal. O

desenho desta variação de pontos é chamado de constelação. Assim, aumenta a taxa de transmissão utilizando a mesma largura de banda. A figura 6 exemplifica um sinal 16QAM. Neste caso, cada ponto representa o conjunto de 4 bits sendo transmitidos. No caso de 64QAM, cada ponto representa um conjunto de 6bits. A quantidade de bits é dada pelo logaritmo de 2 do número de pontos. Portanto quanto maior o número de pontos, maior a taxa de transmissão. Porém, com o aumento de pontos, o sinal fica mais suscetível a erros, pois a alocação dos pontos tem uma diferença reduzida e assim um ruído tem mais chance de alterar a localização do ponto fazendo este ser interpretado fora da sua posição de origem. O uso de uma constelação retangular facilita a modulação usando PAM (*Pulse Amplitude Modulation* - Modulação por Amplitude de Pulso) e conseqüentemente a sua demodulação.

Vale ressaltar que a escolha do parâmetro de QAM tanto do MSC quanto do SDC está relacionada com a relação sinal-ruído da área onde o sinal será transmitido. Caso esse valor seja muito baixo, é necessária a escolha de parâmetros 16QAM, pois pode ser que um parâmetro 64QAM não possa ser diferenciado de ruídos neste caso.



Fonte: Página da Wikipédia⁴

As escolhas dos parâmetros dos modos de robustez influenciam na quantidade de fluxo de dados de informação possíveis de serem transmitidos. Na tabela 2 são

⁴ Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation>. Acesso em 10.10.2016.

citados os valores aproximados de taxa de fluxo para cada modo, tipo de modulação QAM, nível de robustez e largura de banda.

Tabela 2. Taxa de bits do sistema DRM

			Largura de banda nominal do sinal (kHz)						
Modo	Modulação MSC (nQAM)	Nível de Robustez	4,5	5	9	10	18	20	100
			Taxa aproximada em kbps para EEP e mapeamento padrão						
A	64	Min.	14,7	16,7	30,9	34,8	64,3	72	
		Max.	9,4	10,6	19,7	22,1	40,9	45,8	
	16	Min.	7,8	8,8	16,4	18,4	34,1	38,2	
		Max.	6,3	7,1	13,1	14,8	27,3	30,5	
B	64	Min.	11,3	13	24,1	27,4	49,9	56,1	
		Max.	7,2	8,3	15,3	17,5	31,8	35,8	
	16	Min.	6	6,9	12,8	14,6	26,5	29,8	
		Max.	4,8	5,5	10,2	11,6	21,2	23,8	
C	64	Min.			21,6		45,5		
		Max.			13,8		28,9		
	16	Min.			11,5		24,1		
		Max.			9,2		19,3		
D	64	Min.			14,4		30,6		
		Max.			9,1		19,5		
	16	Min.			7,6		16,2		
		Max.			6,1		13		
E	16	Min.							186,3
		Max.							99,4
	4	Min.							74,5
		Max.							37,2

Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

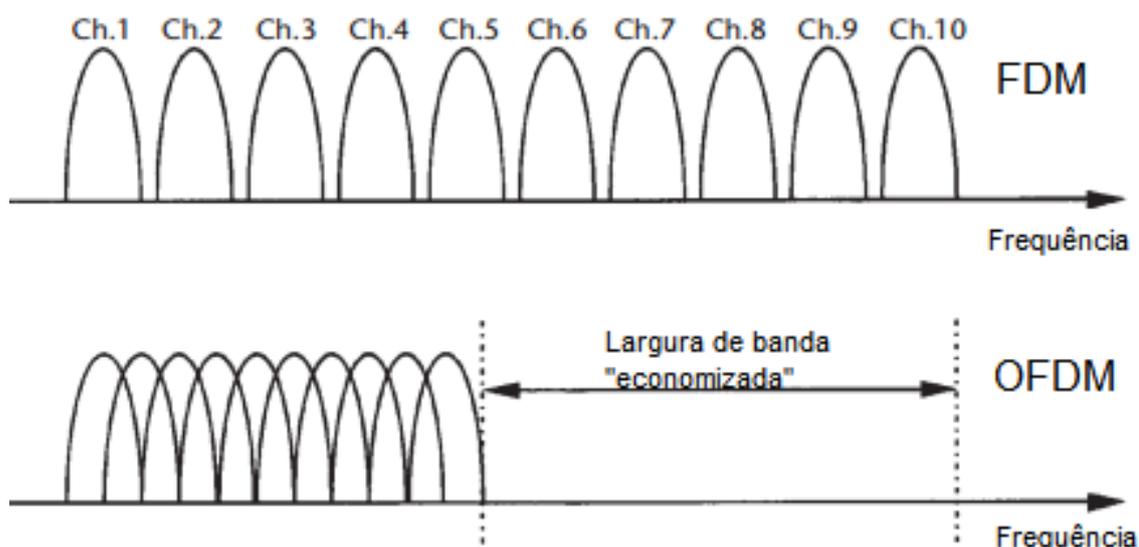
4.2.4 COFDM

A *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM – Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal Codificada – tradução) é um tipo de multiplexação onde uma série de sinais (ou dados) codificados são divididos em várias subportadoras de frequências ortogonais entre si.

Podemos dizer que OFDM é uma melhoria do FDM por implementar o uso de frequências ortogonais, o que faz com que quando o sinal de uma das frequências está no máximo os outros estão no mínimo, e, portanto, o uso da banda de frequência pode ser reduzido. A figura 7 ilustra a diferença entre eles e destaca a economia de banda com a utilização do OFDM em relação ao FDM. Já o COFDM é uma melhoria

do OFDM, pois introduz ao sinal códigos de proteção contra erros, melhorando o alcance do sinal transmitido e a recuperação do sinal pelo receptor.

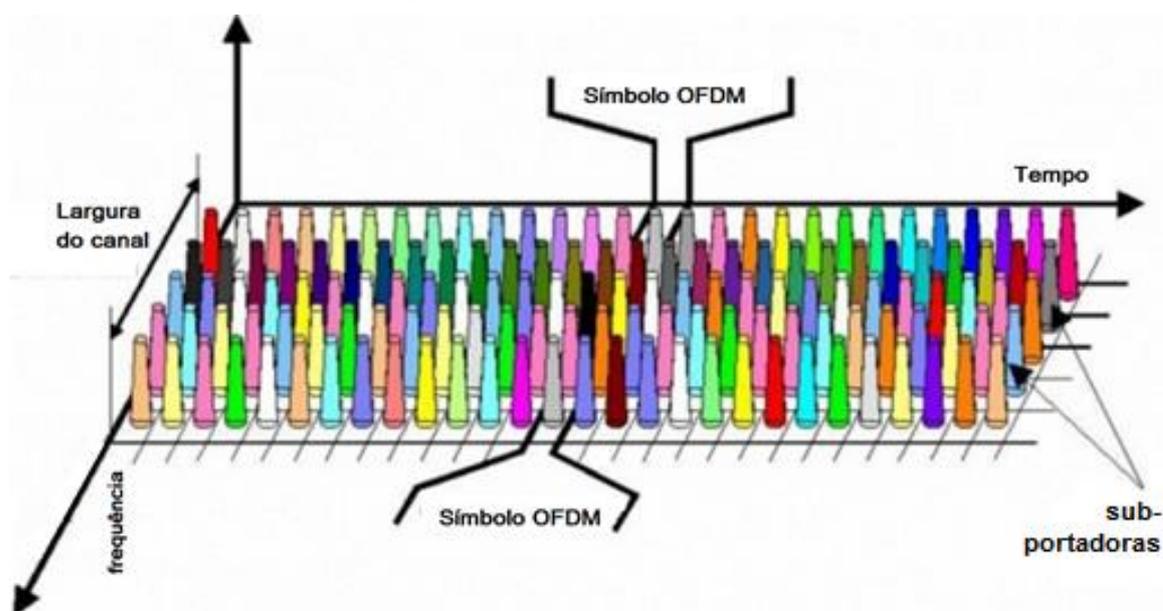
Figura 7. Sinal FDM e OFDM.



Fonte: Prasad, 2004. Adaptado pelo autor.

A figura 8 demonstra um gráfico de como é transmitido um sinal deste tipo. Cada subportadora contém um ponto do sinal modulado em QAM.

Figura 8. Visão da estrutura OFDM

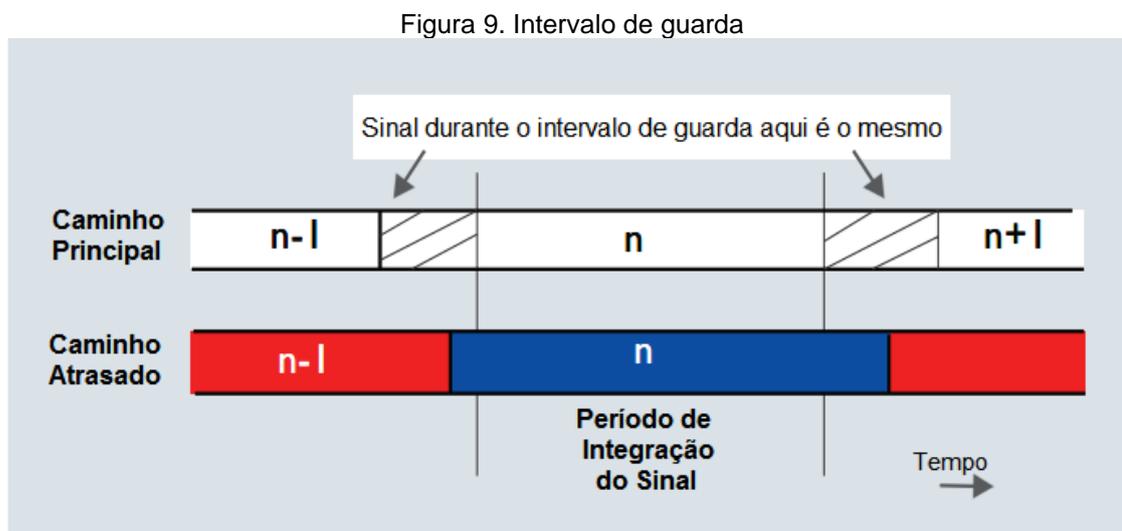


Fonte: Página da Wikitel⁵

⁵ Disponível em: < http://wikitel.info/images/thumb/e/ee/Distribucion_OFDM.JPG/600px-Distribucion_OFDM.JPG>. Acesso em 10.10.2016

O “C” do COFDM são todos os códigos inseridos no sinal quando se é selecionado o nível de robustez. A inserção de intervalo de guarda e marcadores de sincronismo, entre outras são características dessa multiplexação. O intervalo de guarda permite que se reduza o efeito de caminhos múltiplos do sinal. Esse efeito faz com que o mesmo sinal chegue até o receptor em tempos diferentes, refletidos em vários meios, podendo ser destrutivos ou construtivos e também podendo causar atraso de um código em relação ao próximo, “invadindo” o tempo da próxima célula a ser recebida. O intervalo de guarda faz com que se garanta, em boa parte, com que o sinal atrasado se mantenha dentro do período de integração do sinal. A figura 9 ilustra o caminho principal com o intervalo de guarda e sua relação com o sinal atrasado

No mapeamento de células são inseridas também células piloto. Estas células contêm fase e amplitude fixas, que, assim como sua posição, foram escolhidas para otimizar a performance, principalmente na duração e confiabilidade do sincronismo inicial.



Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

São 3 os tipos de células piloto:

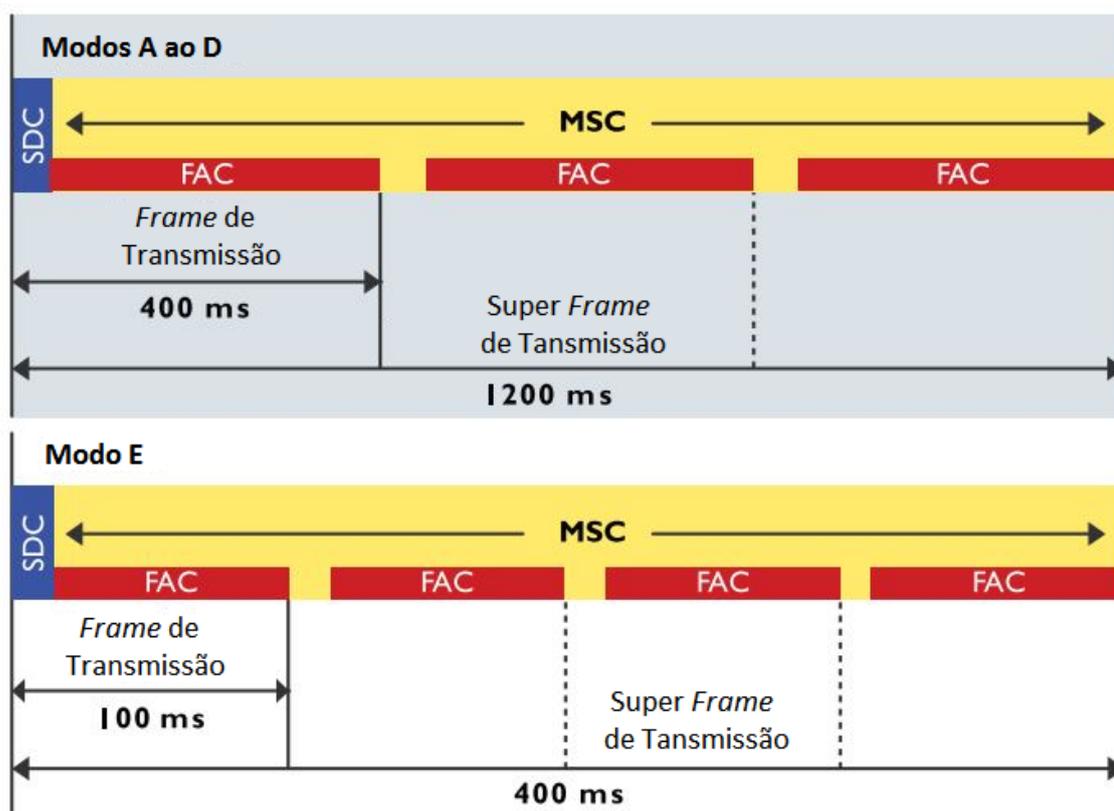
- Referência de frequência. Essas células são utilizadas pelo receptor para detectar a presença do sinal recebido e estimar sua frequência de *offset*. Também podem ser usadas para estimativa de canal e vários processos de rastreamento. Estão localizadas em frequências comuns a todos os modos de transmissão. O modo “E” não possui esta célula.
- Referência de tempo. Essas células são utilizadas para determinar o primeiro símbolo de cada *frame* de transmissão, portanto estão localizadas

no início de cada um deles. Podem ser utilizadas também para estimar o *offset* de frequência.

- Referência de ganho. São principalmente usadas para estimar a resposta do canal pelo receptor, possibilitando a demodulação coerente. Estão posicionadas por todo o sinal no tempo e frequência. Sua periodicidade é de 5 símbolos para o modo “A”, 3 símbolos para os modos “B” e “D”, 2 símbolos para o modo “C” e 4 símbolos para o modo “E”.

A representação do sinal transmitido após a multiplexação, mapeamento das células e geração do sinal OFDM pode ser visualizada na figura 10.

Figura 10. Representação lógica do sinal transmitido



Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

4.2.5 Modo híbrido

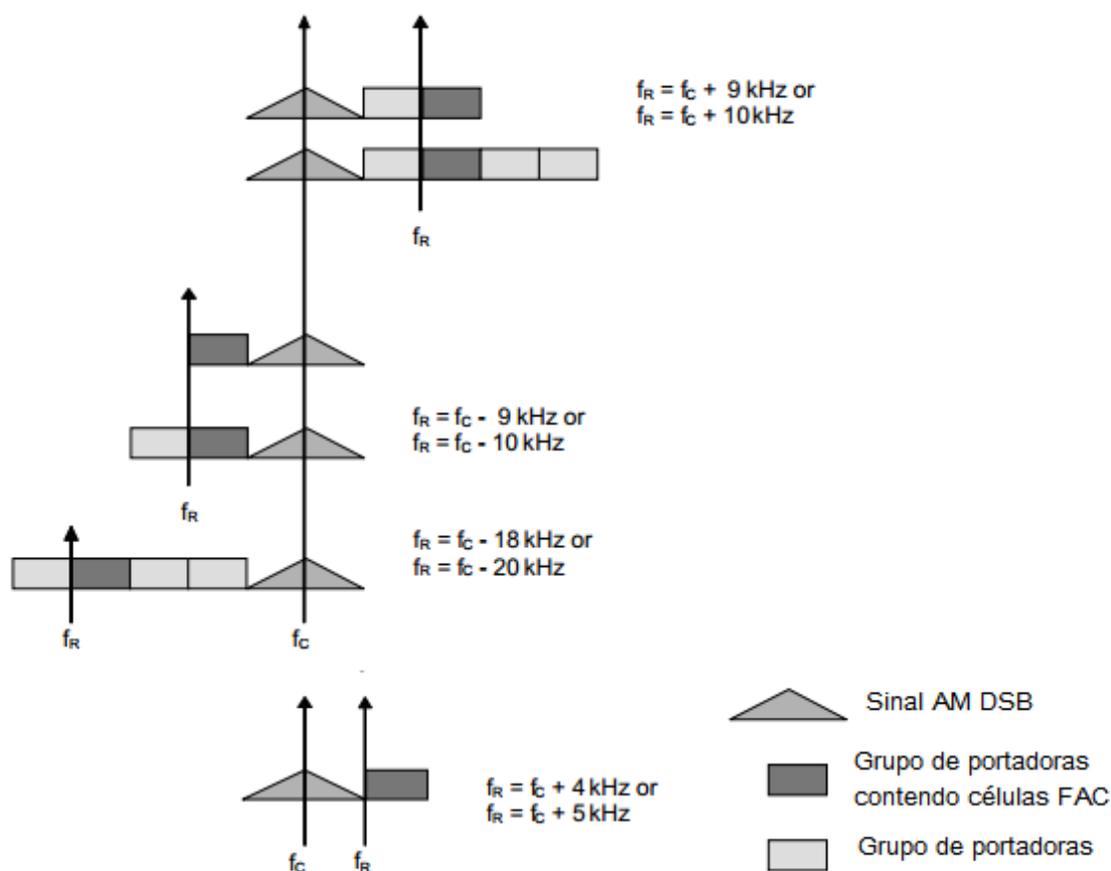
O sistema DRM permite o modo híbrido de transmissão, também chamado de *simulcast*. Isso significa que os sinais analógicos hoje existentes podem permanecer no espectro das ondas de rádio, e a transmissão do sinal digital não interfere com os

mesmos. Inclusive, uma mesma estação pode transmitir o seu sinal nos dois modos, analógico e digital.

Este modo é utilizado normalmente na implantação do sistema, visto que todos os ouvintes precisariam descartar seus receptores caso o sinal fosse totalmente substituído por digital. Dessa forma, a migração para o rádio digital pode ser feita gradualmente ou nem ser realizada, uma vez que os sinais podem ficar no espectro desta forma.

Testes em laboratório e no campo para definir o nível ótimo do sinal para um sinal de boa qualidade DRM sem impactar no sinal analógico foram realizados e chegaram a conclusão de que o sinal digital deve estar 14dB a 16dB abaixo do sinal analógico adjacente.

Figura 11. Esquema de transmissão híbrida em DRM30



Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

O DRM30 pode utilizar tanto a banda lateral baixa quanto a alta para ser transmitido. Caso o sinal digital de uma estação seja transmitido na banda lateral baixa

do sinal analógico da mesma, esse sinal tem uma frequência relativa alterada para menos em 4kHz a 20kHz (depende da largura de banda a ser utilizada no sinal digital: 4,5kHz, 5kHz, 9kHz, 10kHz, 18kHz e 20kHz) e se for na banda lateral alta é deslocado esse valor para mais. A figura 11 mostra alguns exemplos disso.

No caso do DRM+ o sinal é deslocado em 100kHz.

4.2.6 Modulador RF

O sinal é então modulado para a transmissão por radiofrequência. Neste ponto se faz a escolha de transmissão por modo híbrido ou não, além da potência de transmissão.

Em transmissões DRM30, pode ser utilizado um transmissor AM tradicional de alta potência. Primeiramente, o sinal DRM é convertido em formato de amplitude e fase e então estes sinais são injetados na entrada de áudio do modulador e no circuito da frequência de portadora respectivamente. Para garantir o sincronismo ao recombinar os sinais no modulador, é importante que todos os equipamentos estejam com seus relógios sincronizados. Ao serem separados, os sinais devem possuir o mesmo horário e este horário é utilizado com base para serem recombinados efetivamente no receptor.

No DRM+, ao se utilizar somente sinal DRM, a transmissão é relativamente simples, bastando inserir um amplificador de potência. Já para o modo híbrido, existem pelo menos 4 tipos de configurações possíveis de serem aplicadas. Na primeira delas, é utilizado um acoplador híbrido na saída do amplificador de potência de cada um dos sinais. Nesta configuração, há perda de potência devido ao uso de somente uma antena e a necessidade de conectar uma carga ao acoplador. Na segunda, a ideia é de duas transmissões, utilizando duas antenas (o acoplamento então se daria no espaço livre). Esta configuração não garante que não exista interferência de um sinal no outro no espectro. A terceira configuração é semelhante a primeira, porém as saídas do acoplador são ligadas a uma antena que pode ser de qualquer um dos três seguintes tipos: mista; *slant* (antenas polarizadas em "x"); ou de polarização circular. Assim como o segundo método, esta configuração também permite ocorrer a interferência entre os sinais. A quarta combinação ocorre a nível de sinal, colocando um acoplador híbrido antes do amplificador de potência. Isto faz com que a perda através da carga morta seja reduzida, por se tratar de um sinal ainda não

amplificado. Os cuidados neste caso estão na escolha do amplificador, que deve ser projetado especificamente para acomodar os dois tipos de sinal sem gerar excessiva distorção causada por intermodulação.

4.4 RECEPTOR

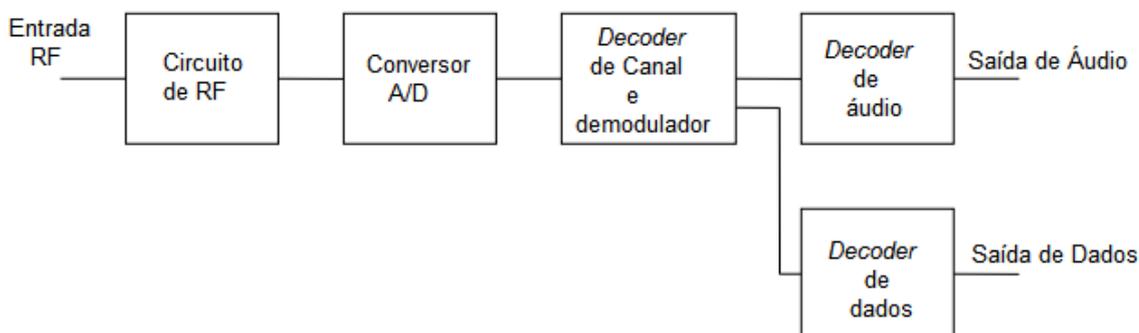
O receptor DRM deve em princípio ser capaz de fazer todos os processos da transmissão em forma contrária, fornecendo áudio e dados como produto final. Os receptores DRM são classificados em dois perfis:

- Receptor de rádio padrão (*Standard*). Este receptor deve possuir pelo menos um painel alfanumérico básico;
- Receptor de rádio com mídia (*Rich Media*). Deve possuir um painel colorido com uma resolução mínima de 320 x 240 pixels.

Em fevereiro de 2015, O DRM Consortium lançou a segunda versão do documento que regula os requisitos mínimos de um receptor DRM para frequências abaixo de 30MHz. Para o DRM+, até o presente momento (novembro de 2016), ainda não há documentação específica no assunto.

A figura 12 mostra um diagrama em blocos básico de um receptor. Os requisitos mínimos de um receptor DRM30 serão listados a seguir.

Figura 12 Diagrama de bloco básico de um receptor



Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

Para o *decoder* de áudio, os requisitos mínimos estabelecidos para o DRM30 são:

- deve ser capaz de reconstruir todos os codecs de áudio xHE-AAC e AAC, o SBR para o AAC, todas as taxas de amostragem previstas para o SDC;

- ter suporte de áudio mono, estéreo e PS e se o receptor for mono conseguir fornecer áudio mesmo se o sinal for estéreo;
- ter suporte de taxa de dados de até 34760 bps para 10kHz e até 71960 bps para 20kHz;
- cancelar o áudio durante a falta de recepção ou impossibilidade de decodificar o sinal.

Já no *decoder* de canal e demodulador, temos os seguintes requisitos mínimos que o receptor deve ter suporte:

- os 4 modos de robustez;
- todas as constelações QAM previstas;
- todos os níveis de proteção;
- EEP e UEP;
- *interleaving* curto e longo;
- taxa de transmissão de dados de até 44385 bps para 10kHz e 92770 bps para 20kHz.

No aspecto de seleção de serviço, o receptor deve fornecer em seu painel as informações dos serviços disponíveis, permitindo que o usuário escolha entre um serviço de áudio ou dados individualmente. Se o serviço de áudio conter informações de dados associado ao que está sendo transmitido, o mesmo deve ser mostrado. Caso o serviço utilize acesso restrito que o usuário não tenha permissão de acesso, o mesmo deve informar na tela a impossibilidade.

Uma reconfiguração no transmissor pode ser de dois tipos, de canal ou de serviço. O receptor deve reconfigurar automaticamente, e caso não for possível manter o áudio devido à natureza da reconfiguração sendo aplicada, esta interrupção deve ser de no máximo 4 segundos.

O receptor deve ser capaz de funcionar independentemente de funções opcionais selecionadas na transmissão e a retrocompatibilidade do sistema deve ter suporte no receptor.

Deve trocar automaticamente entre frequências transmitindo o mesmo conteúdo de acordo com a intensidade do sinal. A informação das frequências disponíveis para seleção é feita através de AFS.

A recepção em AM analógico deve ser suportada, assim como o *Amplitude Modulation Signalling System* (AMSS – sistema de sinalização para modulação por

amplitude), que é o serviço de sinalização para o AM (informa nome da estação e mensagens pequenas), desenvolvido pelo DRM Consortium.

A indicação de possibilidade de recepção da frequência escolhida é também obrigatória.

Para receptores com antenas externas, o display deve indicar a porcentagem da integridade do sinal.

O receptor deve sincronizar pelo menos uma das bandas de frequência, sendo a recomendação a recepção de todas as frequências, de 148,5 kHz a 27 MHz. A tabela 3 demonstra as bandas de frequência por categoria, além de informar o tamanho do passo que a sintonização deve ter para aquela faixa, outra exigência do sistema. O *offset* do sinal de recepção deve variar 600 Hz para mais ou para menos em relação a frequência nominal.

Tabela 3. Passo de seleção de frequência.

Categoria do receptor	Range da Frequência	Passo de sintonização
LF	148,5 kHz a 283,5 kHz	3kHz
MF	525 kHz a 1710 kHz	1 kHz
HF 1	2,3 MHz a 6,2 MHz	5 kHz
HF 2	6,2 MHz a 27 MHz	5 kHz

Fonte: DRM Consortium. Adaptado pelo autor.

No geral, o painel do rádio deve ter duas linhas de 16 caracteres cada. É aceito somente uma linha caso se tratar de um receptor de automóvel. Receptores especiais devem possuir o painel apropriado que permita a entrada de dados pelo usuário. O nome do serviço (*Service Label*) e as mensagens de texto devem ser corretamente decodificadas e deve ocorrer o *scrolling* do texto automaticamente nos casos de mensagens com mais de 16 caracteres.

Para interfaces de recepção, o DRM apenas exige um conector de antena reconhecido internacionalmente.

5 SIMULAÇÃO

No intuito de verificar o funcionamento do sistema DRM na prática, foi elaborado o projeto de simulação do mesmo. Para isso, adotou-se o uso de Rádio Definido por Software (SDR) por se tratar de uma ferramenta de relativo baixo custo considerando o uso de computadores já disponíveis.

5.1 SDR

O *Software Defined Radio* (SDR) é definido como um rádio em que algumas ou todas funções das camadas físicas são controladas por software (SDRforum, 2007). Portanto, se em alguma etapa ou bloco de um rádio houver processamento de sinal digital para a execução da tarefa, este rádio é um SDR. A sigla RDS para o português Radio Definido por Software também é utilizada em documentações em nosso idioma.

Para o projeto, foram utilizados 3 softwares de SDR diferentes: Dream, Spark e Sodira. Os próximos itens dão um breve resumo de cada um.

5.1.1 Dream

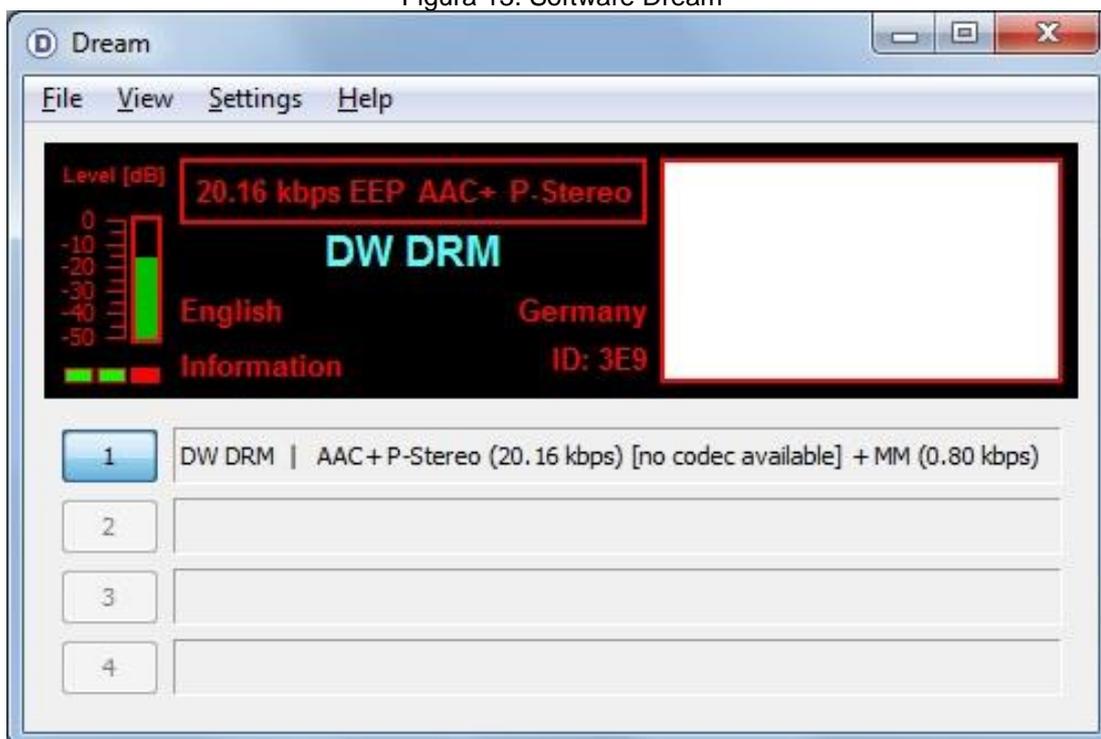
O software Dream é uma implementação de um receptor DRM em código aberto. Ele é mantido por um grupo de desenvolvedores, e teve seu início de desenvolvimento em junho de 2001. O objetivo principal do projeto é implementar e testar novas descobertas de pesquisa em um sistema já existente, onde há um interesse especial na sincronização e estimativa do canal.

A figura 13 apresenta a interface padrão, enquanto que a figura 14 mostra a janela *Evaluation Dialog* (Demonstrativo Avaliativo – tradução livre), uma ferramenta bastante completa na avaliação do sinal recebido pelo receptor.

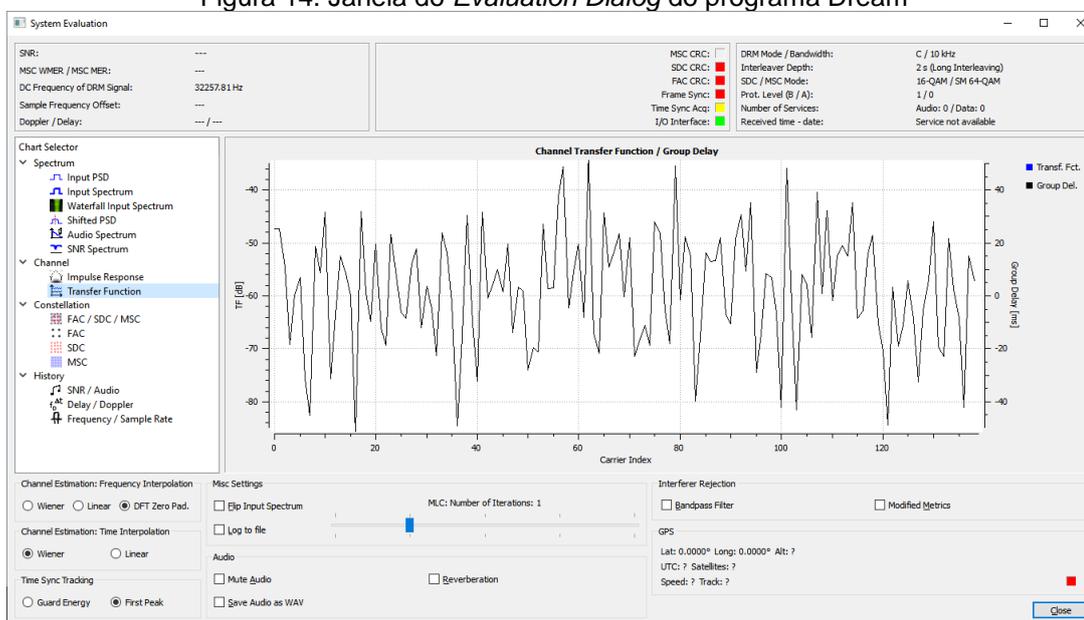
5.1.2 Spark

Surgido a partir de um projeto de pesquisa envolvendo transmissão OFDM VHF em 2005 na Universidade de Ciências Aplicadas de Kaiserlautern, na Alemanha, o software Spark, desenvolvido por Michael Fellen, é uma ferramenta bastante completa como interface de servidor de conteúdo e configuração e aplicação de parâmetros de transmissão DRM. Ele também faz a codificação e mapeamentos dos canais MSC, FAC e SDC, além da modulação do sinal, só restando uma interface de transmissor a ser conectada ao computador. A figura 15 mostra a interface do programa em sua versão 5.5.

Figura 13. Software Dream



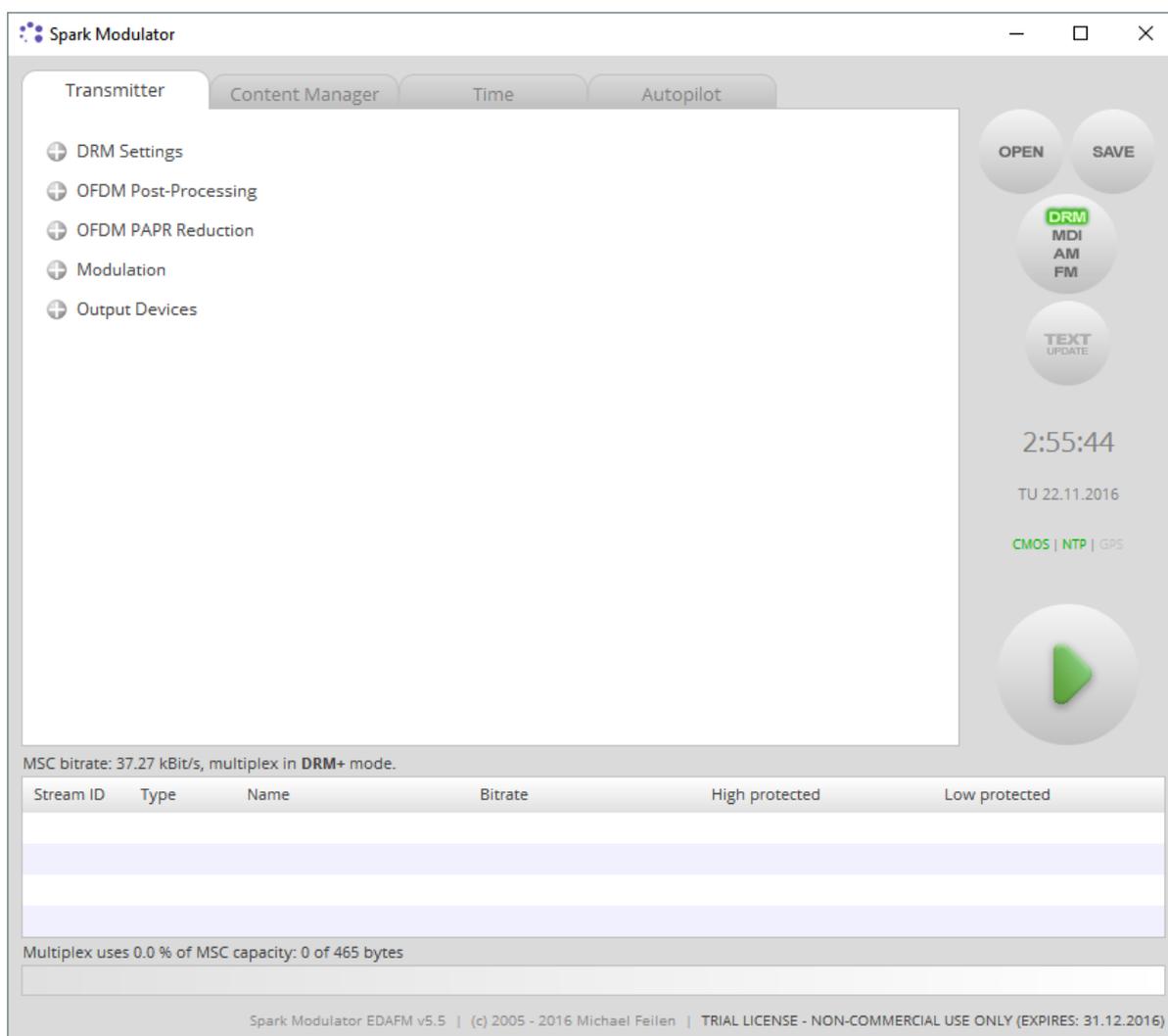
Fonte: Página do programa Dream⁶

Figura 14. Janela do *Evaluation Dialog* do programa Dream

Fonte: Print screen da janela do programa. Elaborada pelo autor.

⁶ Disponível em: < http://drm.sourceforge.net/wiki/index.php/Main_Page >. Acesso em out. 2016.

Figura 15. Programa Spark



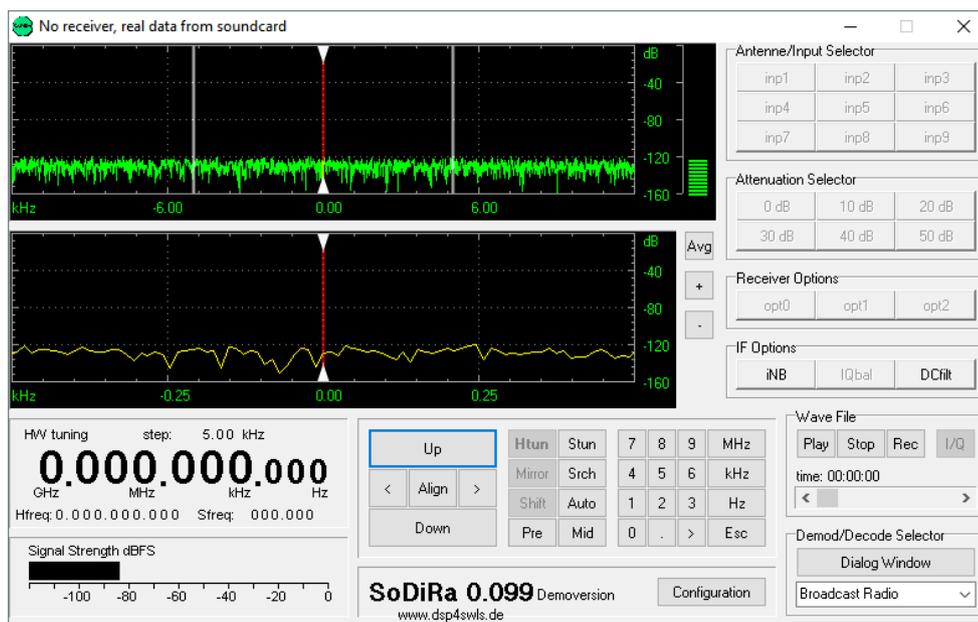
Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

5.1.3 SoDiRa

SoDiRa é um SDR para modulações analógicas e digitais. Criado e mantido por Bernd Reiser, é um receptor bem completo, que permite, entre outras, receber modulações do tipo AM, FM, DRM30 e DRM+.

A figura 16 apresenta a tela inicial do programa. Pelo fato do software Dream não oferecer suporte para a recepção de sinais DRM+, a tentativa de simulação de um receptor para esse sinal foi realizada através deste software, porém mesmo assim não foi possível receber o sinal.

Figura 16. Janela inicial do programa Sodira



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

5.2 MONTAGEM DA ESTRUTURA E CONFIGURAÇÃO DOS COMPUTADORES

O projeto consiste em dois computadores, ligados através de um cabo de áudio, servindo como meio físico de transmissão, esquematizados na figura 17. O primeiro computador tem o software Spark instalado, servindo de servidor de conteúdo e transmissor do sinal DRM. O segundo possui instalado os softwares Dream e Sodira, para a recepção dos sinais.

Foi preciso configurar no sistema operacional as saídas e entradas de áudio dos computadores para que funcionassem de acordo no projeto.

No computador transmissor, foi configurado o microfone para mudo e a taxa de amostragem da placa de som para 16bits e 192kHz. Além disso, foram desativados quaisquer serviços de aprimoramento de som e equalização.

No receptor, foi configurada a amostragem também para 16bits e 192kHz na placa de som. A entrada foi configurada para ler somente o canal direito do som estéreo e foi configurado para que não houvesse ganho de microfone ao sinal, para evitar distorções ou saturação do mesmo.

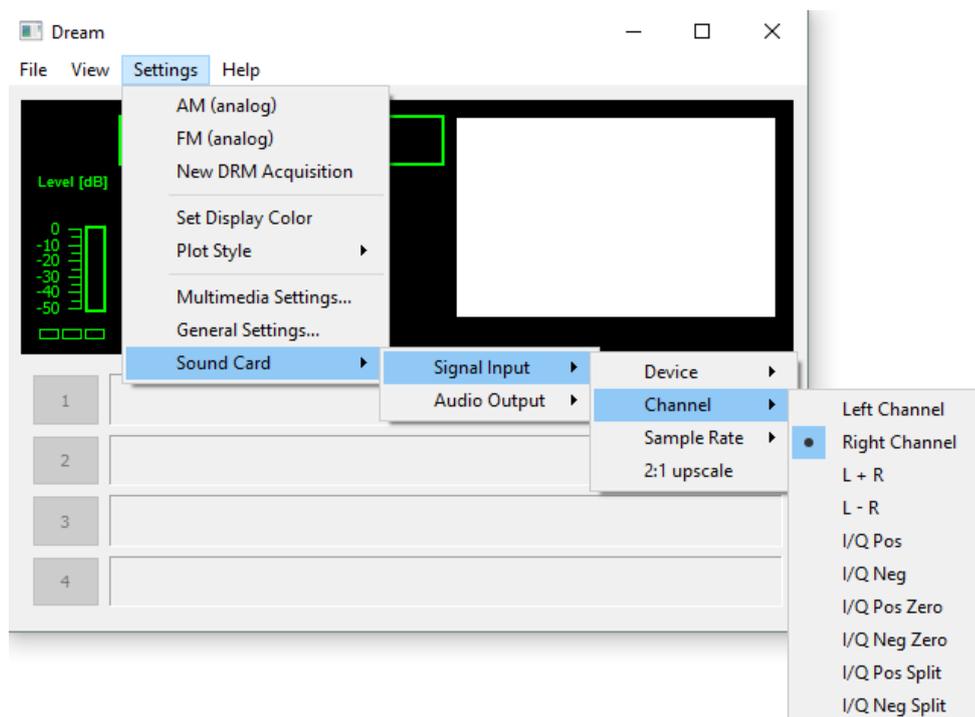
Figura 17. Visão da estrutura



Fonte: Elaborado pelo autor

Ainda no receptor, foi necessário o ajuste dos softwares de recepção para se adequar a configuração da placa de som. No software Dream, foram configurados o dispositivo padrão de entrada pelo caminho “Settings - SoundCard - SignalInput - Device – Microfone”; o canal de entrada do sinal “Settings - SoundCard - SignalInput - Channel - RightChannel” (figura 18); e a taxa de amostragem “Settings - SoundCard - SignalInput - SampleRate - 192000Hz”.

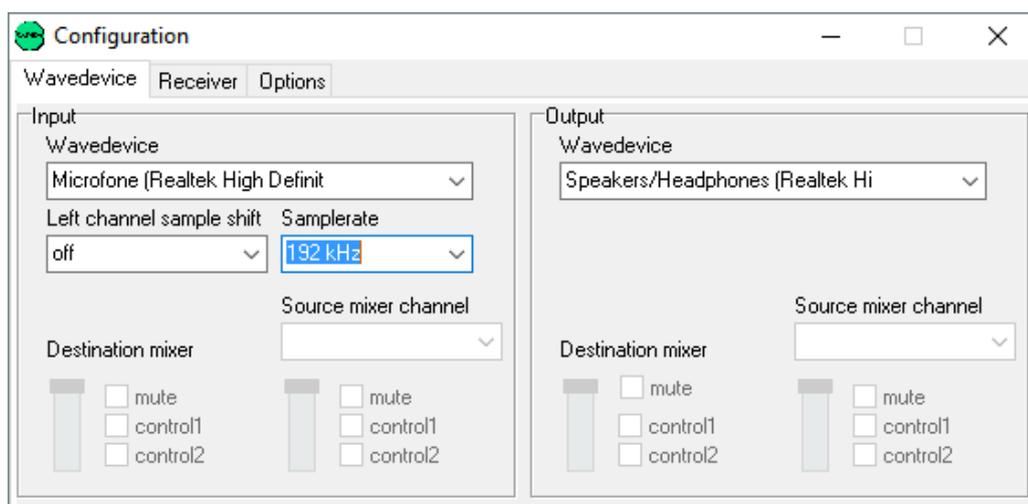
Figura 18. Configuração do receptor



Fonte: Print screen da janela do programa. Elaborada pelo autor.

A configuração do software Sodira é feita através do botão “Configuration”. Na janela seguinte, na aba “Wavedevice”, foi configurado o *Input* para microfone, com taxa de amostra de 192kHz e as demais opções conforme a figura 19. Na aba “Receiver”, a opção “Used soundchannel” foi setada para “right” e a “Preferred IF shift” para 12000Hz

Figura 19. Configuração do SoDiRa



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

5.3 CONFIGURAÇÃO E MODOS SIMULADOS

Para os testes, foi estipulado realizar em todos os modos, do “A” ao “E”. Para o modo “A”, o menos robusto e, portanto, o que oferece maior banda para a transmissão de dados de informação (vide Tabela 2, pg. 36), foram feitos também testes alterando o mapeamento QAM entre 16 e 64 no canal MSC; do QAM do SDC entre 4 e 16; e da largura de banda entre 5kHz e 10Khz. A tabela 4 mostra um resumo dos modos testados.

Tabela 4. Modos testados

Modo	Mapeamento MSC	Mapeamento SDC	<i>Interleaving</i> (segundos)	Largura de banda (kHz)	Serviços
A	16QAM	4QAM	2	10	1
A	16QAM	4QAM	2	5	1
A	16QAM	4QAM	0,4	10	1
A	64QAM	16QAM	0,4	10	2
B	64QAM	16QAM	2	10	1
C	64QAM	16QAM	2	10	1
D	64QAM	16QAM	2	10	1
E	16QAM	4QAM	0,6	98	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A configuração de cada teste foi configurada no software Spark. A primeira configuração do transmissor, assim como uma demonstração de como é a interface do programa, pode ser visualizada na figura 20.

Figura 20. Configuração e apresentação da interface

The screenshot displays the Spark Modulator software interface. The main window is titled "Spark Modulator" and features a "Transmitter" tab. The "DRM Settings" section is expanded, showing various configuration options:

- Robustness mode: Mode A (DRM30)
- OFDM bandwidth: 10 kHz
- MSC mapping: 16 QAM - Standard Mapping
- MSC cell interleaving: 2 s (long interleaving)
- MSC LPP protection: 1: weak
- MSC HPP protection: 1: weak
- MSC VSPP protection: 0: high
- SDC mapping: 4 QAM - Standard Mapping
- SDC protection: 0: high
- Transmission layer: Base layer (recommended)

Below the DRM settings, there are sections for "OFDM Post-Processing", "OFDM PAPR Reduction", "Modulation", and "Output Devices". The "Modulation" section shows:

- Interm. frequency: 12 kHz
- Output frequency: 5 MHz
- Invert baseband spec.: OFF

At the bottom of the interface, a table displays the stream configuration:

Stream ID	Type	Name	Bitrate	High protected	Low protected
0	Audio	FAAC	18.44 kBit/s	204 bytes	718 bytes

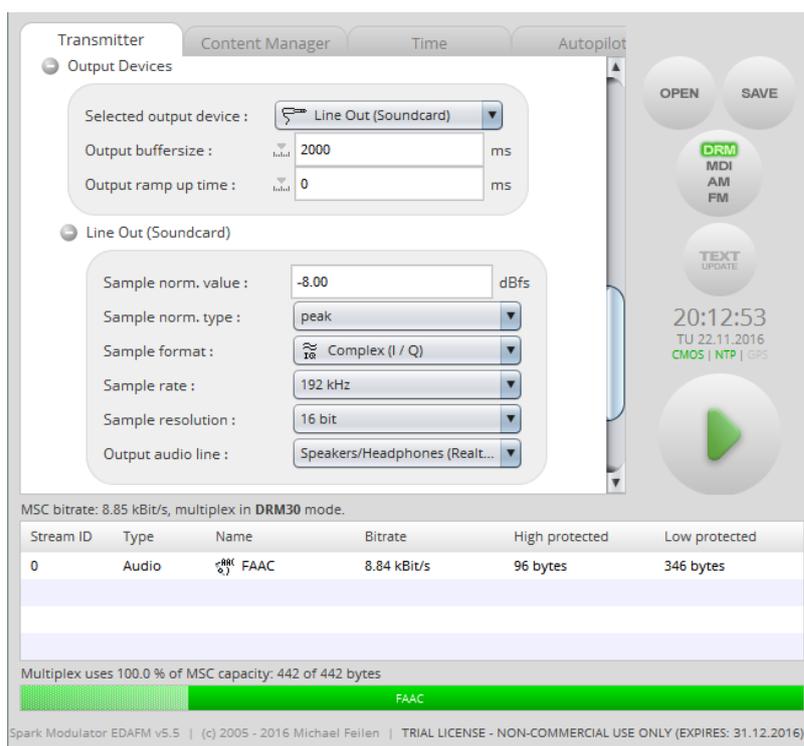
Below the table, a progress bar indicates "Multiplex uses 100.0 % of MSC capacity: 922 of 922 bytes". The interface also includes a sidebar with "OPEN" and "SAVE" buttons, a "DRM" mode selector (MDI, AM, FM), a "TEXT UPDATE" button, a digital clock (19:43:16), and a date (TU 22.11.2016). A large red square button is visible at the bottom right of the sidebar.

Modulator EDAFM v5.5 | (c) 2005 - 2016 Michael Feilen | TRIAL LICENSE - NON-COMMERCIAL USE ONLY (EXPIRES: 31.12.2016)

Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

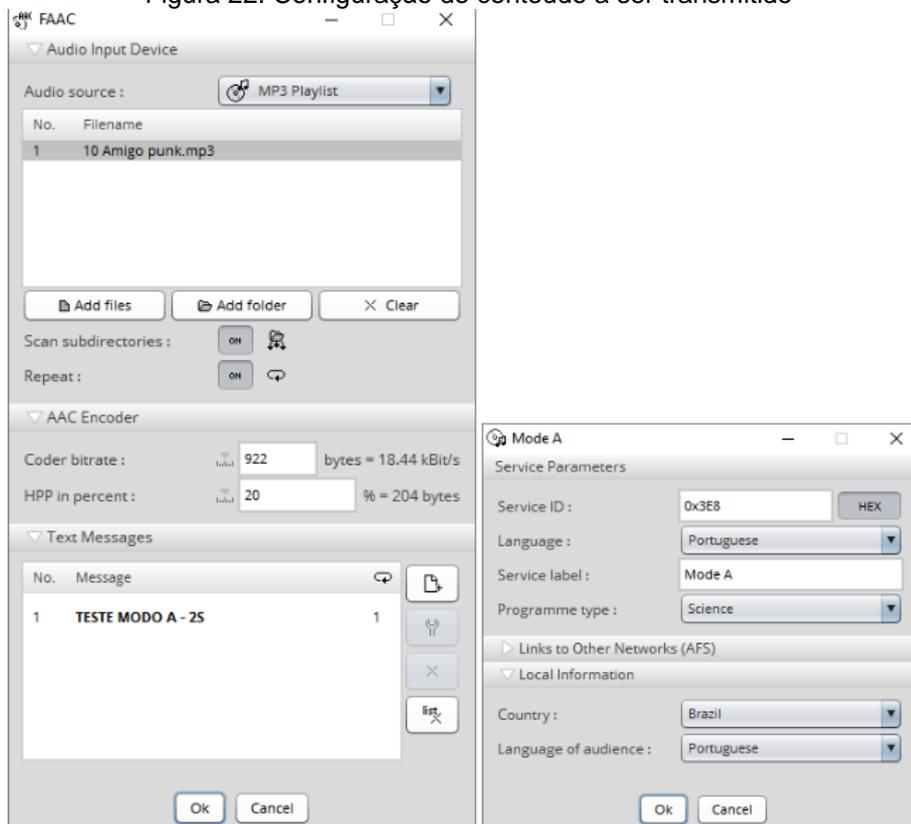
A visualização da configuração da aba do gerenciador de conteúdo é apresentada logo a seguir (figura 21). A figura 22 apresenta como foi configurado o conteúdo, nesse caso uma música no formato MP3 e um serviço de *Text Message*. A mesma figura mostra também os parâmetros do serviço.

Figura 21. Configuração do gerenciador de conteúdo



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Figura 22. Configuração do conteúdo a ser transmitido



Fonte *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

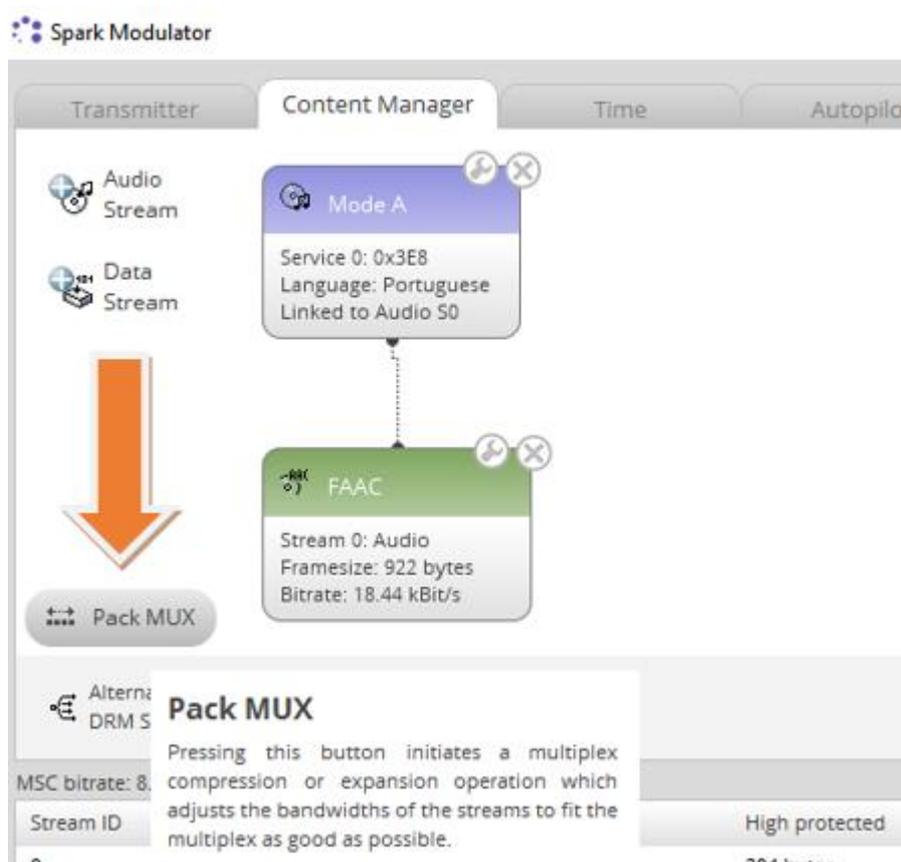
Ao tentar configurar o segundo teste, o programa automaticamente avisou que o conteúdo gerado excedia a quantidade de banda disponível (figura 23). Para corrigir isto, basta seleccionar o botão “Pack Mux” na aba “Content Manager”, destacado na figura 24.

Figura 23. Aviso de MSC muito grande



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Figura 24. Opção “Pack MUX”



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O teste realizado com dois serviços, foi configurado uma música diferente para cada um dos mesmos. A figura 25 mostra como ficou a janela do gerenciador de conteúdo para este caso.

Figura 25. Teste com dois serviços

The screenshot displays the Spark Modulator software interface. The main window is titled "Spark Modulator" and has tabs for "Transmitter", "Content Manager", "Time", and "Autopilot". The "Content Manager" tab is active, showing two audio services: "Mode A" and "Mode A2".

Mode A: Service 0: 0x3E8, Language: Portuguese, Linked to Audio S0. It is connected to a FAAC stream (Stream 0: Audio, Framesize: 869 bytes, Bitrate: 17.38 kBit/s).

Mode A2: Service 1: 0x405, Language: Portuguese, Linked to Audio S1. It is connected to a FAAC stream (Stream 1: Audio, Framesize: 869 bytes, Bitrate: 17.38 kBit/s).

The interface also shows a "Transmitter" section with "Audio Stream" and "Data Stream" options, and an "Autopilot" section with "OPEN", "SAVE", "DRM MDI AM FM", and "TEXT UPDATE" buttons. A large green play button is visible at the bottom right of the Autopilot section.

Below the Content Manager, the following text is displayed: "MSC bitrate: 34.77 kBit/s, multiplex in **DRM30** mode."

Stream ID	Type	Name	Bitrate	High protected	Low protected
0	Audio	FAAC	17.38 kBit/s	194 bytes	675 bytes
1	Audio	FAAC	17.38 kBit/s	194 bytes	675 bytes

Below the table, it states: "Multiplex uses 100.0 % of MSC capacity: 1738 of 1738 bytes". A progress bar at the bottom shows two segments labeled "FAAC".

At the very bottom, the footer reads: "Spark Modulator EDAFM v5.5 | (c) 2005 - 2016 Michael Feilen | TRIAL LICENSE - NON-COMMERCIAL USE ONLY (EXPIRES: 31.12.2016)".

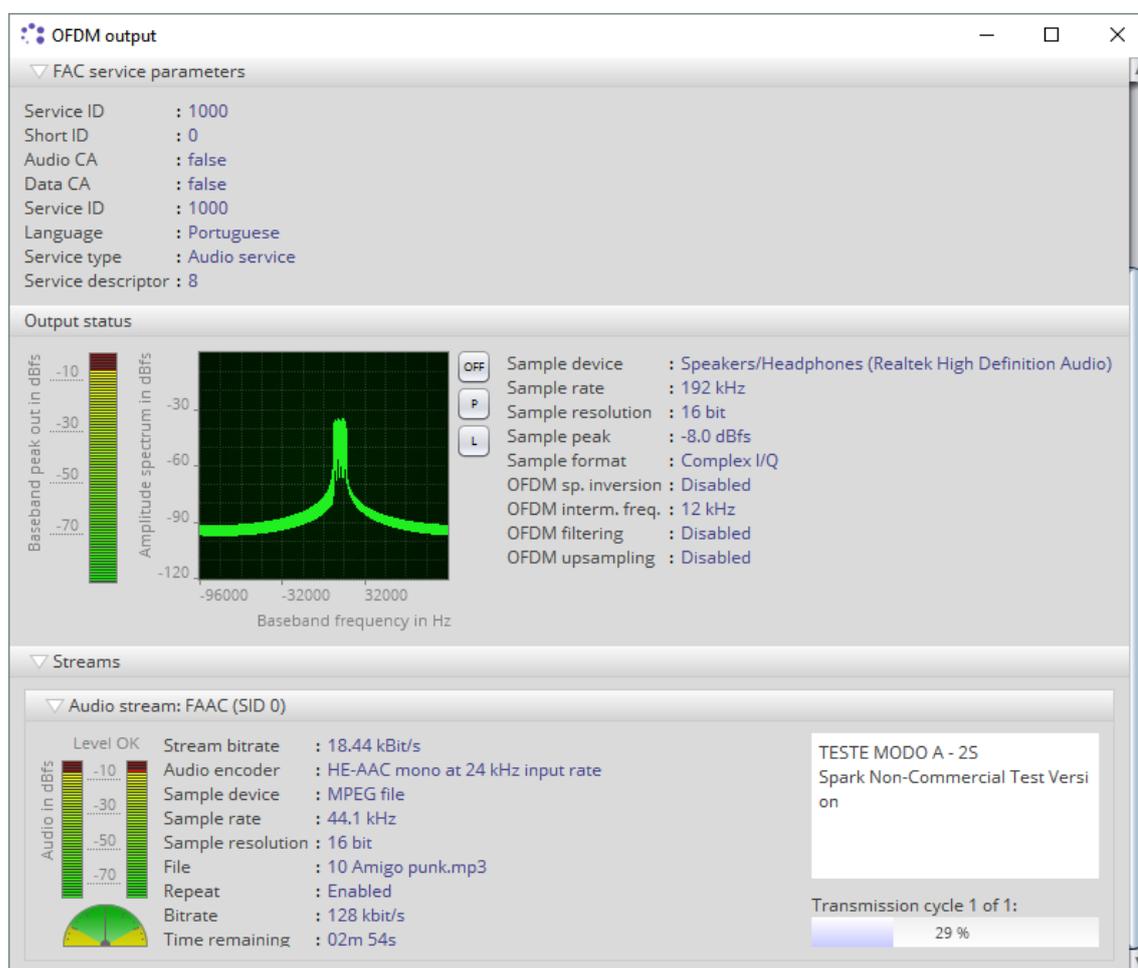
Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

6 RESULTADOS

Os resultados dos testes serão apresentados através de figuras, com uma breve descrição do que é apresentado.

O primeiro teste foi com o modo “A”, utilizando mapeamento MSC 16QAM e SDC de 4QAM, com uma largura de banda de 10kHz e um *interleaving* longo (2 segundos). A figura 26 demonstra a saída gerada pelo software Spark.

Figura 26. Janela de saída de transmissão

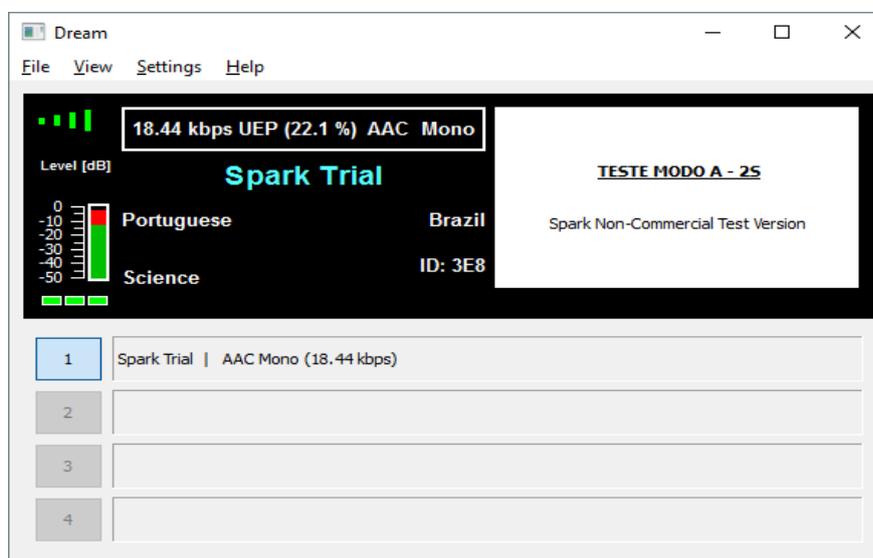


Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

No lado do receptor, utilizando o software Dream, podemos visualizar na figura 27 as informações que chegam para o ouvinte, como o Nome do Serviço, neste caso “Spark *Trial*”, que na versão de demonstração do Spark não pode ser alterado; o *Service ID*, identificado como 3E8; o tipo de programa, o qual foi escolhido *Science* por se tratar de um trabalho de pesquisa; o idioma do serviço (*Portuguese*); o país de

origem como sendo *Brazil*; e uma mensagem de texto informando neste caso o tipo do teste sendo apresentado.

Figura 27. Janela do receptor demonstrando o primeiro teste

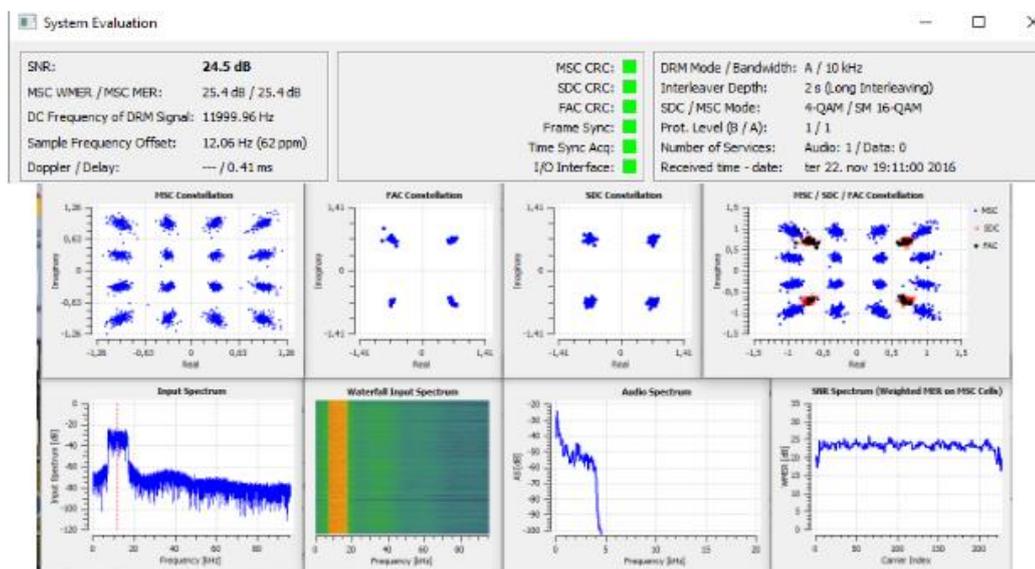


Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O programa Dream também apresenta na sua tela principal informações do codec utilizado (AAC Mono) e da taxa de fluxo de bits (18,44 kbps). A taxa do UEP (22,1%) também é disponibilizada.

A figura 28 contém as informações consolidadas da janela *Evaluation Dialog*. Nota-se a constelação QAM do MSC com os 16 elementos e a do SDC com os 4 elementos.

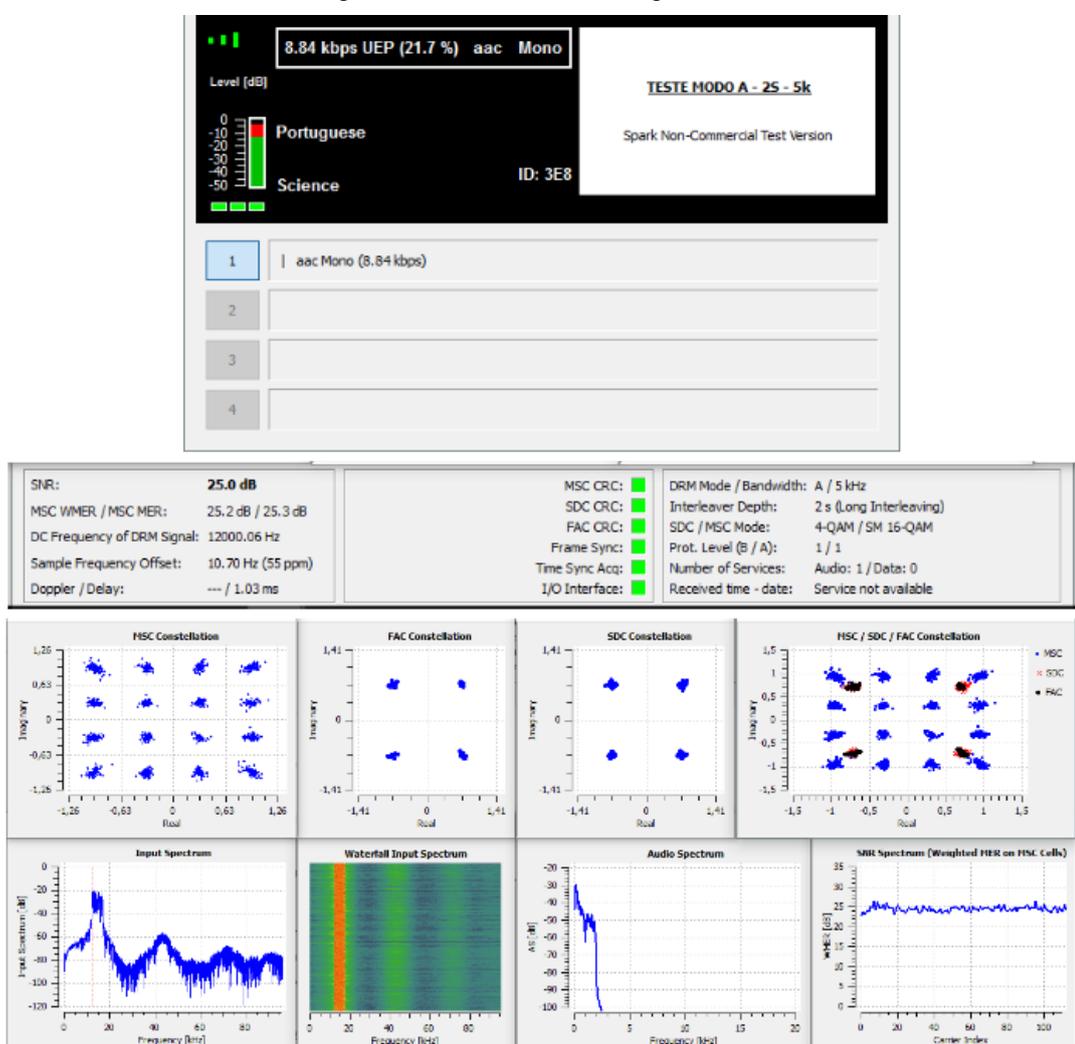
Figura 28. Resultados do primeiro teste



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Outros aspectos a observar são o formato do sinal do espectro de entrada com o tamanho de 10kHz e o sinal de espectro de áudio, com uma faixa de em torno de 4400Hz. O atraso (*delay*) do processamento do sinal apresentado foi de 0,41ms. Mesmo sem aplicar SBR, pois no programa de demonstração não há essa possibilidade, o som do áudio apresentou boa qualidade, com perceptíveis falhas em notas mais agudas. O tempo de sincronização do sinal (tempo decorrido desde o início de envio do sinal até o início de execução do áudio) foi em torno de 2 segundos, conforme esperado devido ao uso do *interleaving* longo de 2 segundos.

Figura 29. Resultados do segundo teste



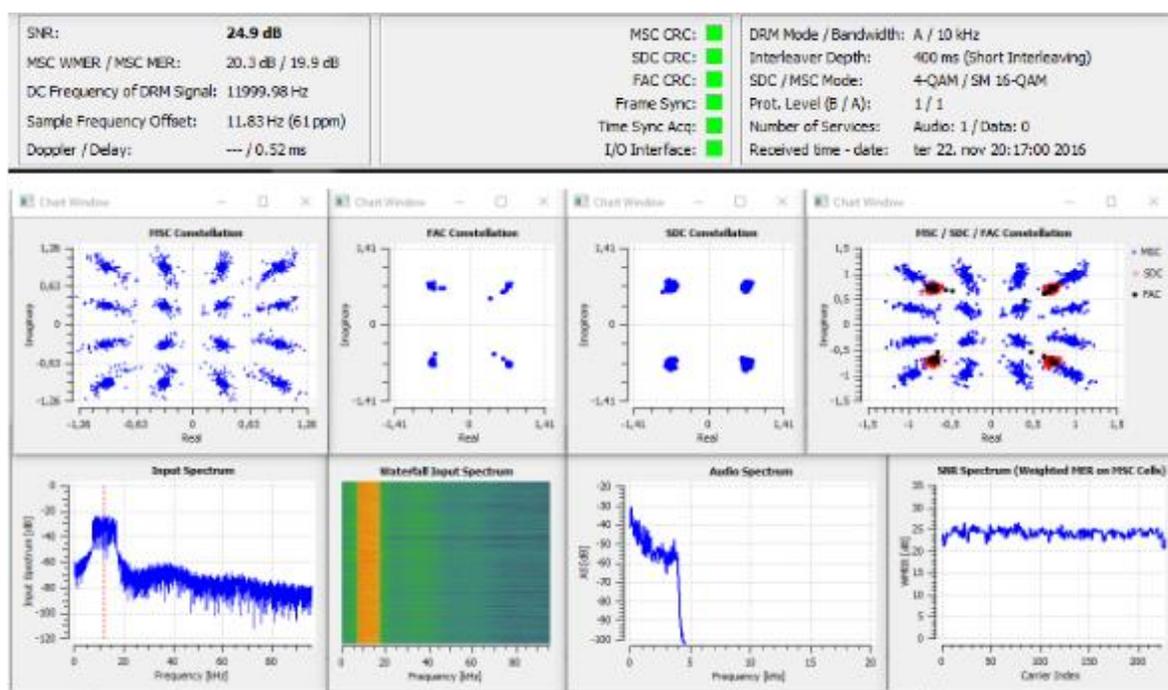
Fonte: Print screen da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O segundo teste foi com o modo "A", utilizando mapeamento MSC 16QAM e SDC de 4QAM, com uma largura de banda de 5kHz e um *interleaving* longo (2 segundos). A taxa do MSC ficou em 8,84 kbps. Observa-se na figura 29 da página

anterior o formato do sinal do espectro de entrada com o tamanho de 5kHz e o sinal de espectro de áudio, com uma faixa de em torno de 2200Hz. O atraso apresentado foi de 1,03ms. A qualidade do som apresentou-se aceitável para fala, mas ruim para música. O tempo de sincronização do sinal foi em torno de 2 segundos.

O terceiro teste foi com o modo “A”, utilizando mapeamento MSC 16QAM e SDC de 4QAM, com uma largura de banda de 10kHz e um *interleaving* curto (0,4 segundos). A taxa de MSC ficou em 18,44 kbps. O atraso apresentado foi de 0,52ms. A figura 30 mostra os gráficos da recepção. O som do áudio apresentou boa qualidade, com perceptíveis falhas em notas mais agudas. O tempo para o início da execução do áudio no receptor foi menor em relação ao *interleaving* longo, como esperado.

Figura 30. Resultados do terceiro teste

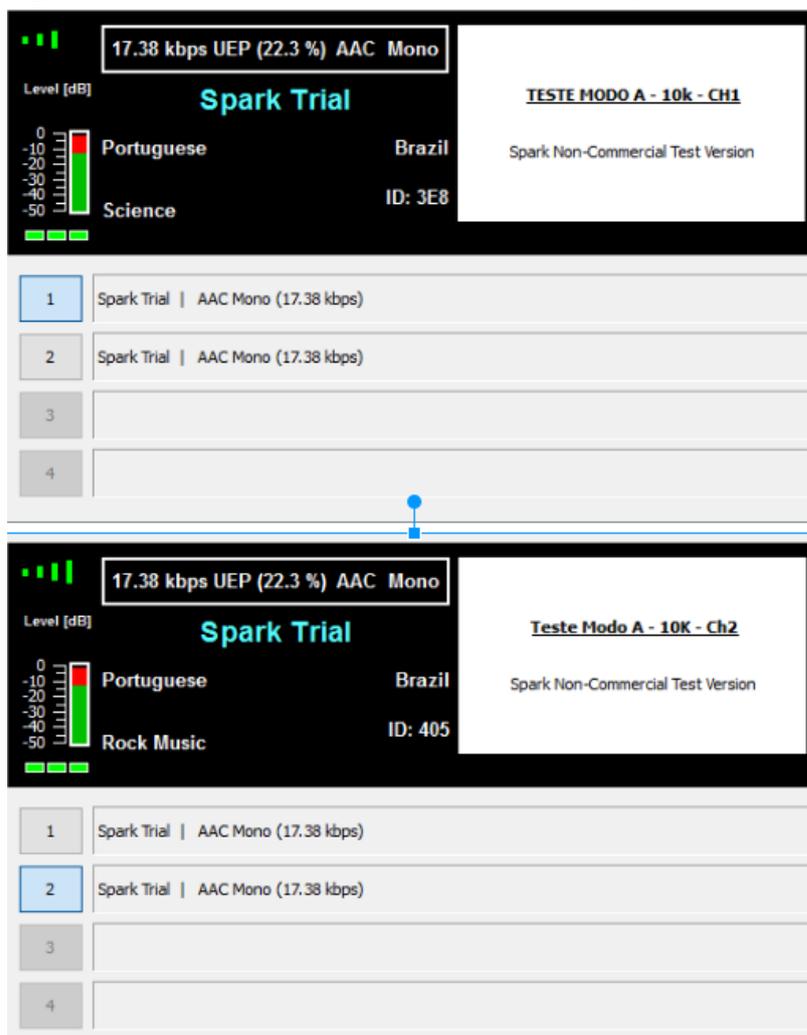


Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O quarto teste foi com o modo “A”, utilizando mapeamento MSC 64QAM e SDC de 16QAM, com uma largura de banda de 10kHz, um *interleaving* curto (0,4 segundos) e dois serviços de áudio. A taxa MSC ficou em 34,77 kbps para ambos os serviços (17,38 kbps para cada). O atraso apresentado foi de 0,52ms. A figura 31 apresenta duas vezes o painel principal do software Dream, onde aparecem os dois serviços selecionados separadamente.

Foi configurado para que cada serviço fosse de um tipo diferente (*Science* e *Rock Music*) juntamente com sua ID (3E8 e 405) e com seu respectivo serviço de texto. É importante ressaltar que esta diferenciação de ID demonstra que numa mesma frequência podem ser disponibilizadas mais de uma estação no espectro.

Figura 31. Janelas do receptor diferenciando o serviço selecionado



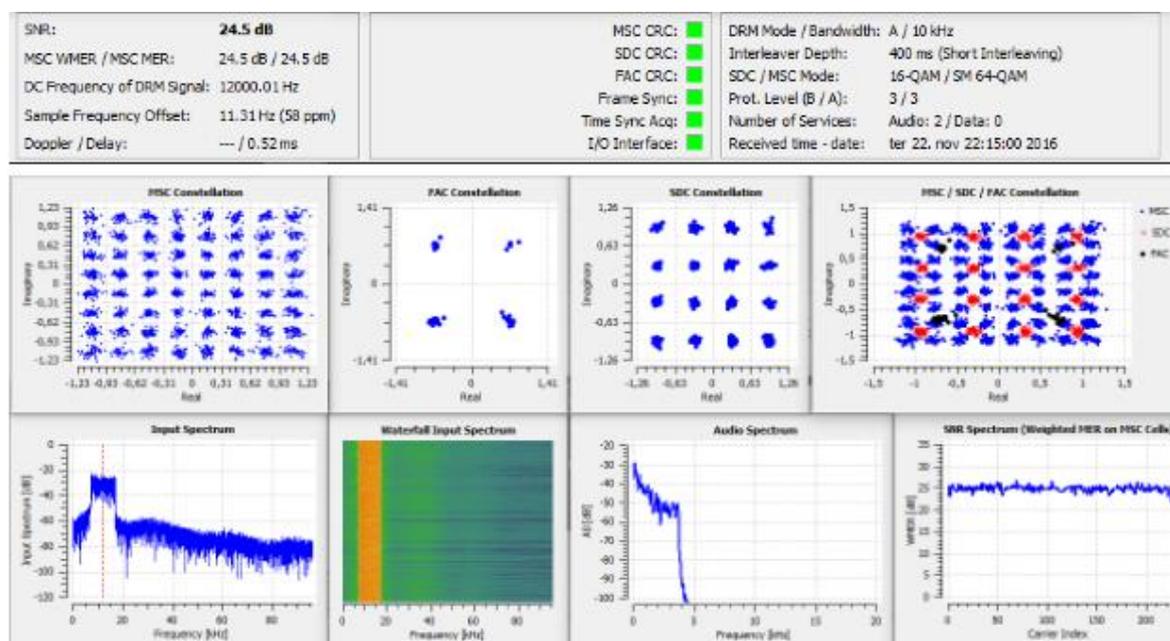
Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

As constelações QAM64 para o MSC e QAM16 para SDC podem ser observadas na figura 32. O início de execução do áudio foi reduzido como esperado e a troca entre os dois serviços resultou na troca de áudio quase que imediata. A qualidade do som foi considerada boa, com algumas falhas em frequências mais altas.

O quinto teste foi com o modo “B”, utilizando mapeamento MSC 64QAM e SDC de 16QAM, com uma largura de banda de 10kHz e um *interleaving* longo (2 segundos). A taxa de MSC ficou em 17,38 kbps. O atraso apresentado foi de 0,51ms.

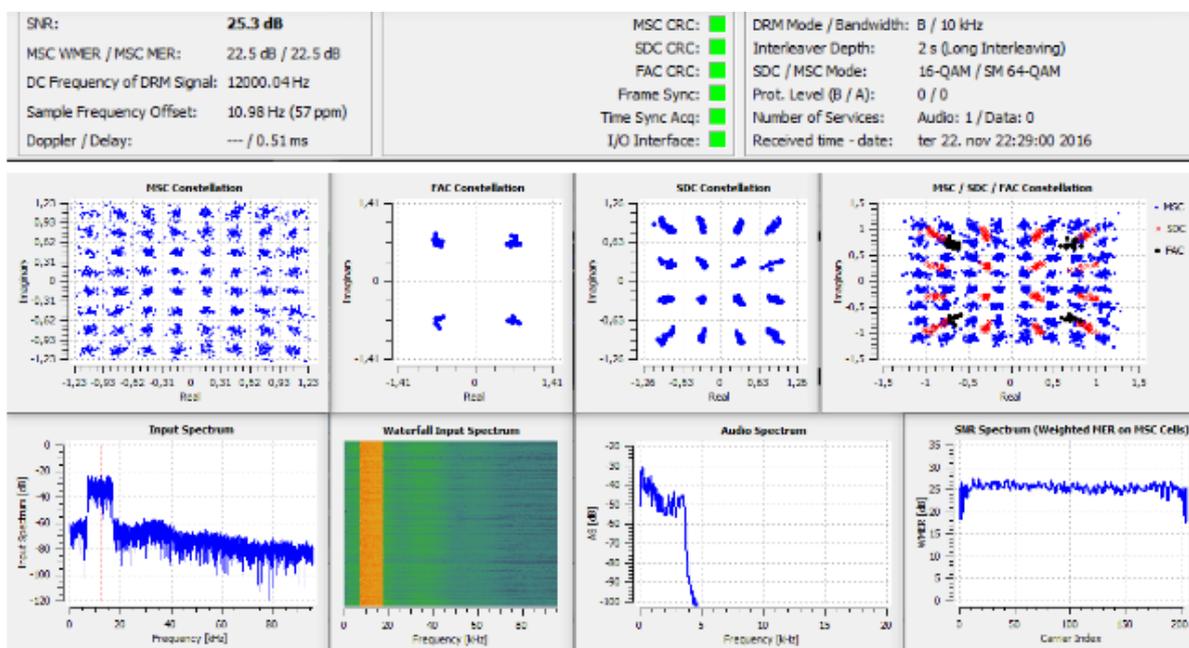
A figura 33 mostra os gráficos da recepção. O som do áudio apresentou boa qualidade, com perceptíveis falhas em frequências mais agudas.

Figura 32. Resultados do quarto teste



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Figura 33. Resultados do quinto teste.

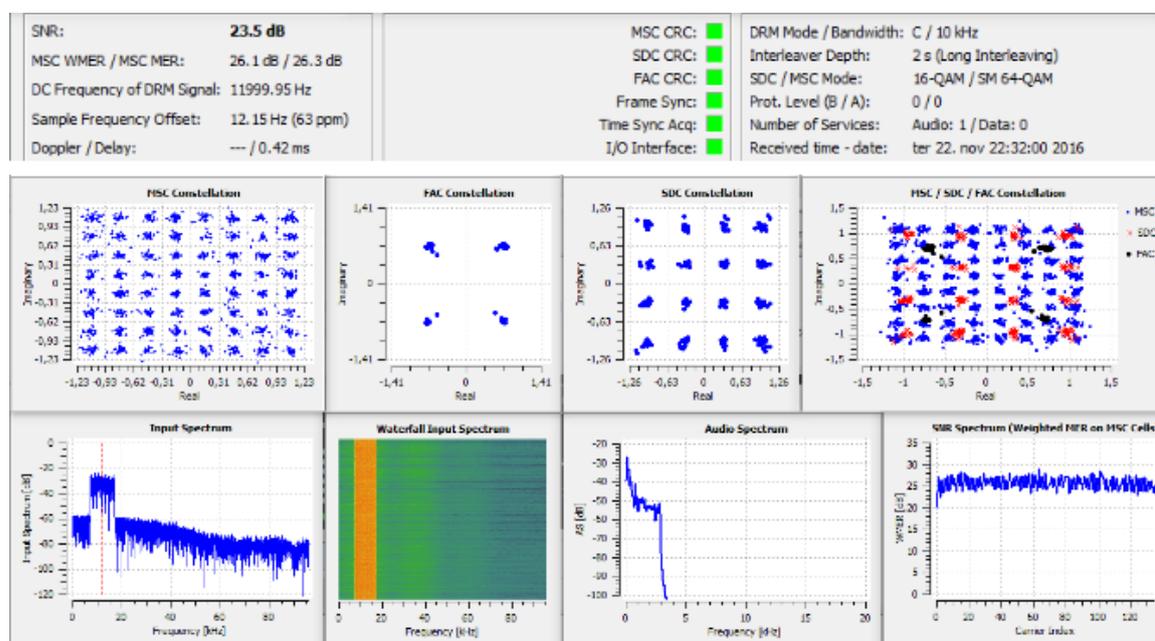


Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O sexto teste foi com o modo “C”, utilizando mapeamento MSC 64QAM e SDC de 16QAM, com uma largura de banda de 10kHz e um *interleaving* longo (2

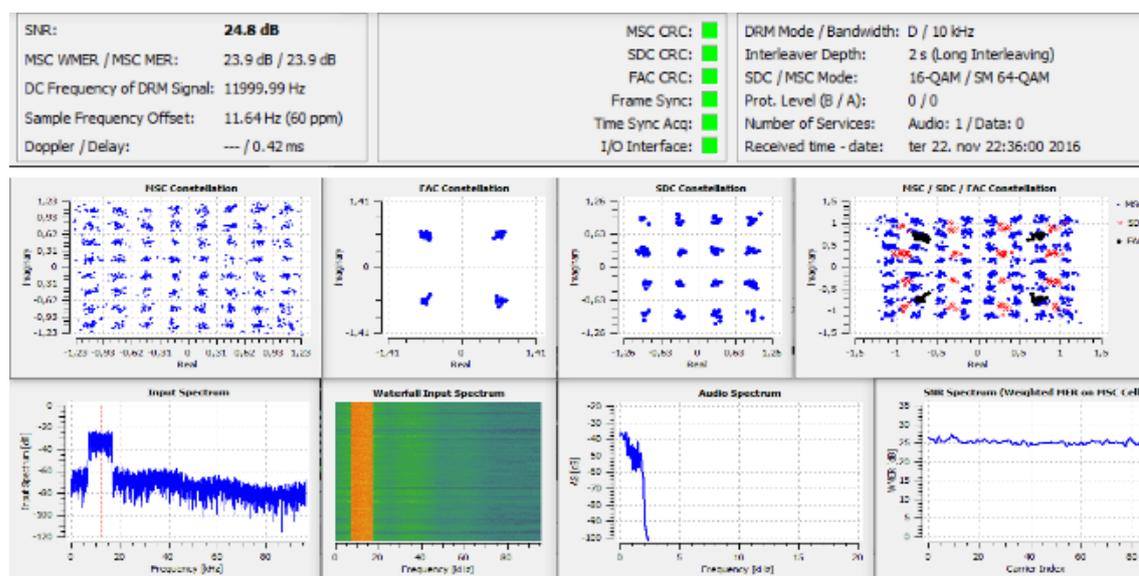
segundos). A taxa de MSC ficou em 13,78 kbps. O atraso apresentado foi de 0,42ms. A figura 34 mostra os gráficos da recepção. O som do áudio apresentou boa qualidade, com falhas em notas mais agudas.

Figura 34. Resultados do sexto teste.



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Figura 35. Resultados do sétimo teste.



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

O sétimo teste foi com o modo “D”, utilizando mapeamento MSC 64QAM e SDC de 16QAM, com uma largura de banda de 10kHz e um *interleaving* longo (2

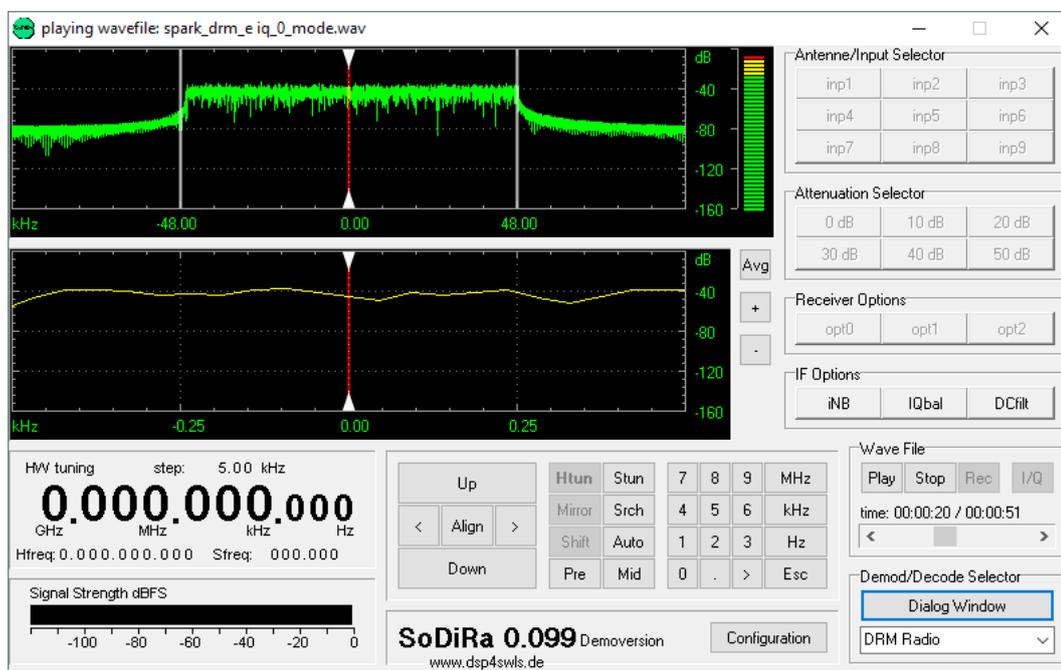
segundos). A taxa de MSC ficou em 9,14 kbps. O atraso apresentado foi de 0,42ms. A figura 35 apresentada anteriormente mostra os gráficos da recepção. O som do áudio apresentou razoável qualidade, com falhas em notas mais agudas.

O oitavo teste foi com o modo “E”, utilizando mapeamento MSC 16QAM e SDC de 4QAM, com uma largura de banda de 98kHz e um *interleaving* de 0,6 segundos.

Por utilizar o modo “E” e, portanto, o DRM+, o software de recepção utilizado foi o SoDiRa. Os testes, porém, não geraram resultados. Não foi possível sintonizar ou decodificar o sinal gerado pelo transmissor. Testes de reconfiguração da placa de som de ambos os computadores e de variação de parâmetros no transmissor foram realizados, porém o autor não conseguiu identificar a origem do problema.

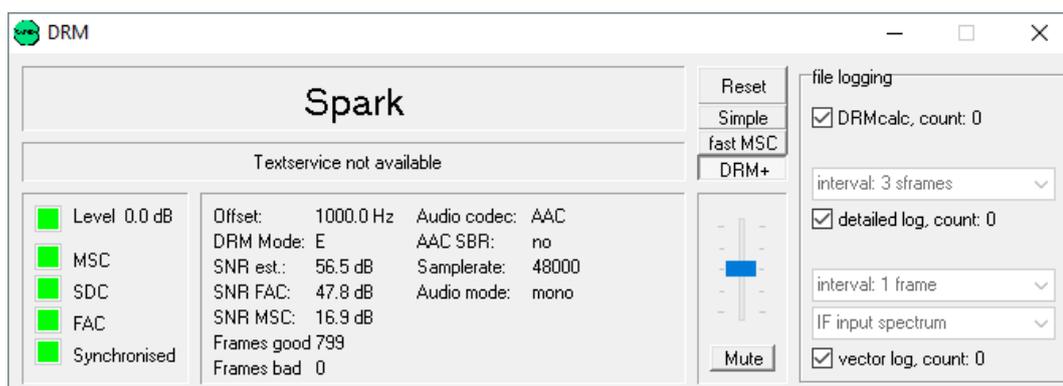
Para a visualização de um exemplo de sinal transmitido em DRM+ foi utilizado um arquivo de áudio com a extensão “wav” fornecido pelo desenvolvedor do software Sodira. Este arquivo foi gerado no Spark, sendo gravada o sinal codificado e modulado da saída do transmissor como um sinal de áudio. A figura 36 traz a tela de visualização do sinal e a figura 37 mostra a interface com os valores da transmissão.

Figura 36. Visualização da recepção através de um arquivo “.wav”.



Fonte *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Figura 37. Interface do aplicativo SoDiRa sintonizado pelo sinal do arquivo “.wav”



Fonte: *Print screen* da janela do programa. Elaborada pelo autor.

Infelizmente, o software Sodira não possui uma ferramenta de avaliação do sinal como acontece no software Dream e, portanto, não foi possível visualizar a constelação dos canais MSC, SDC e FAC. Também não é fornecida a taxa de transmissão do MSC, tampouco o atraso do processamento do sinal.

7 CONCLUSÃO

Os testes realizados demonstraram a facilidade de implantação de um sistema DRM ao se utilizar SDR, já com ferramentas prontas de fácil instalação, proporcionando uma fácil adaptação para quem quiser utilizar o mesmo em um sistema computadorizado. Para se ter um receptor DRM, bastaria a compra de um receptor de sinais simples ligado a entrada de uma placa de som de um computador.

Destaca-se o software Spark, que se apresentou como uma ferramenta completa para a geração e codificação de conteúdo e a codificação e modulação do sinal para transmissão, necessitando somente ao radiodifusor adaptar o transmissor ao sinal gerado pelo programa. No lado do receptor, o programa Dream, já bastante utilizado na recepção de DRM30, pode ganhar mais adeptos se implementar a recepção em DRM+ e talvez uma interface principal com opções de customização de visualização.

Analisando os resultados obtidos nos modos de transmissão diversos, percebe-se que o sistema funciona bem e de forma adequada. Por prever a possibilidade de adequação da transmissão de acordo com as características da área de cobertura, inclusive com a opção de automaticamente alterar os parâmetros de acordo com o horário, trata-se de um sistema bem completo. A possibilidade de uso simultâneo com o sinal analógico no mesmo espectro de banda também facilita a adaptação gradual do sistema na realidade do nosso país.

Este trabalho apresentou uma revisão teórica do funcionamento do padrão de rádio digital DRM. A documentação em língua portuguesa sobre o assunto é escassa, principalmente sobre o DRM+, sendo encontrado somente artigos ou trabalhos acadêmicos sobre o mesmo. Acredito que a escolha deste sistema como padrão do SBRD pode, por exigir além de conhecimento da língua inglesa, o conhecimento técnico e teórico para a produção dos documentos, abrir um campo para projetos de tradução da norma no meio acadêmico.

Outros trabalhos futuros que podem ser vislumbrados seriam na utilização de interfaces de recepção e ou adaptação das mesmas para o uso de SDR e realização dos mesmos testes apresentados.

No presente momento, a definição do padrão de rádio digital no Brasil está parada. Houve uma movimentação no assunto de radiodifusão pelo fato do incentivo da migração de estações AM para o FM, além do início do desligamento definitivo de

transmissão de sinais analógicos de televisão, mas nada em relação ao rádio digital. O relatório de testes utilizando os sistemas DRM e HD Radio finalizado em 2013 inclinou-se a utilização do sistema DRM para ondas curtas, tropicais e médias (AM) e do HD Radio para o VHF (FM). Porém a conclusão do mesmo ficou em aberto, sugerindo-se novos testes com potências diferentes de transmissão e ajustes diante das novidades que principalmente do sistema DRM, com o novo codec para áudio e a implementação do sistema em um mercado bastante populoso como a Índia.

Para que se tenha um melhor proveito de futuros trabalhos na área de rádio digital, uma questão fundamental é a definição do padrão a ser adotado no país, uma vez que isso por si só criaria condições de desenvolvimento de hardwares específicos, otimização de modos de transmissão e criação de plataformas próprias para o Brasil, como aconteceu quando da implantação da televisão digital.

REFERÊNCIAS

BRECHT, Bertold. A Teoria do Rádio. **Rádio Livre**, [S.l.], 16 jun. 2007. Disponível em: <<http://www.radiolivre.org/node/3667>>. Acesso em: 04 out. 2016.

BRASIL. Decreto nº 8.139, de 07 de novembro de 2013. **Dispõe sobre as condições para extinção do serviço de radiodifusão sonora em ondas médias de caráter local, sobre a adaptação das outorgas vigentes para execução deste serviço e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 nov. 2013.

COMISSÃO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, COMUNICAÇÃO E INFORMÁTICA, **Relatório da Subcomissão Especial de Rádio Digital**. Brasília, 2013.

COSTA, Hélio. Portaria nº 290, de 30 de março de 2010. **Institui o Sistema Brasileiro de Rádio Digital - SBRD e dá outras providências**. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=122&data=31/03/2010> >. Acesso em: 28 jun. 2011.

COUNTRIES USING DAB/DMB. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Countries_using_DAB/DMB >. Acesso em: 03 out. 2016.

DIGITAL AUDIO BROADCASTING. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_audio_broadcasting >. Acesso em: 30 set. 2016.

DIGITAL Radio Mondiale. **Via Licensing**. San Francisco, [2016?]. Disponível em: <http://www.via-corp.com/licensing/drm/overview.html> . Acesso em 03 out. 2016.

DIGITAL RADIO. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_radio>. Acesso em: 30 set. 2016.

DISCOVER ITU's History. **ITU**, Geneva, [2016?], Disponível em: <http://www.itu.int/en/history/Pages/DiscoverITUsHistory.aspx#> . Acesso em: 10 nov. 2016.

DRM - brief history, great future. **Deutsche Welle**, [S.l.], 01 set. 2004. Disponível em: <<http://www.dw.com/en/drm-brief-history-great-future/a-1313992>> . Acesso em: 04 out. 2016.

DRM Consortium. **DRM Introduction and Implementation Guide**. rev. 2. Genebra, 2013.

DRM Consortium. **Minimum Receiver Requirements for DRM receivers operating below 30 MHz (DRM30)**.v. 2 [S.l.], fev. 2015.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (ETSI).**ETSI ES 201 980 V4.1.1: Digital Radio Mondiale (DRM): System Specification**. v. 4.1.1. Sophia Antipolis, 2014.

FLOSI, Fabio S.. Father Landell de Moura - Radio Broadcasting Pioneer. **Philatelia Chimica et Physica**, [S.l.], v. 18, n. 1, p. 18-26, 2012.

HAYKIN, Simon. **Sistemas de Comunicação Analógicos e Digitais**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2001.

HISTORY. **ITU**, Geneva, [2016?], Disponível em: <http://www.itu.int/en/about/Pages/history.aspx> Acesso em: 10 nov. 2016.

ISDB. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/ISDB>>. Acesso em: 03 out. 2016.

LINZ, Bernd. xHE-AAC - Reaching New Audiences. [S.l.], 2015. (3 min 38 s) Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=9cm_BokF96E - amostra xHE-AAC. Acesso em: 17 nov. 2016.

O RÁDIO brasileiro completa 90 anos e o DRM-Brasil apresenta o DRMb, o DRM brasileiro. **Digital Radio Mondiale - Brasil**, [S.l.], [2016?]. Disponível em: <<http://www.drm-brasil.org/pt-br/content/o-r%C3%A1dio-brasileiro-completa-90-anos-e-o-drm-brasil-apresenta-o-drm-b-o-drm-brasileiro>> . Acesso em: 01 nov. 2016.

ORTHOGONAL FREQUENCY-DIVISION MULTIPLEXING. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing>. Acesso em: 02 out. 2016.

PALMA, M. S. et al. The Father of Radio: A Brief Chronology of the Origin and Development of Wireless Communications. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. [S.l.], v. 53, n. 6, p. 83-114, Dez. 2011.

PRADO, Magaly. **A história do rádio no Brasil**. São Paulo: Da Boa Prosa, 2012.

PRASAD, Ramjee. **OFDM for Wireless Communications Systems**. Boston: Artech House, 2004.

QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. San Francisco. Disponível em: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Quadrature_amplitude_modulation>. Acesso em: 02 nov. 2016.

SAMPAIO, Mario Ferraz. **História do Rádio e da Televisão no Brasil e no Mundo**. Rio de Janeiro: Achiamé, 1984.

SDRFORUM. **SDRF Cognitive Radio Definitions**. [S.l.], 2007.

THE HISTORY of the Federal Communications Commission (FCC). **ShoreTel**, [S.l.], Disponível em: <<https://www.br.shoretel.com/en-BR/history-federal-communications-commission-fcc>> Acesso em: 10 nov. 2016.

TOME, Takashi. IBOC – Sistema de Rádio Digital nos Estados Unidos. Sete Pontos para Concretizar a Sociedade do Conhecimento, [S.l.], 2004. Disponível em: http://www.comunicacao.pro.br/setepontos/21/takashi_iboc.htm . Acesso em: 03 out. 2016.

TOME, Takashi. ISDB-Tsb: o padrão de rádio digital no Japão. Sete Pontos para Concretizar a Sociedade do Conhecimento, [S.l.], 2005. Disponível em: http://www.comunicacao.pro.br/setepontos/22/takashi_isdb.htm#sdfootnote1sym . Acesso em: 03 out. 2016.

TUTTLEBEE, Walter. **Software Defined Radio: Origins, Drivers and International Perspectives**. Chichester: John Wiley & Sons, 2002.