

ARTIGO CIENTÍFICO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO



**CIÊNCIA E
TECNOLOGIA**

A EFICIÊNCIA DE DIFERENTES MODULAÇÕES EM QUADRATURA NO EMPREGO DAS COMUNICAÇÕES DIGITAIS: UMA ANÁLISE SOBRE AS MODULAÇÕES 16 E 64-QAM.
FRANCISCO JOSÉ KLAUTH BRACCINI
MÁRIO ANTÔNIO COSTA SOUZA

RESUMO: A utilização de diferentes tipos de modulações nos equipamentos rádio é intrínseca ao emprego das comunicações. Sua relevância pode parecer invisível aos olhos humanos, mas faz toda a diferença para o emprego das comunicações via rádio. Nesse contexto, dentre as diversas modulações, este artigo apresenta a comparação entre dois tipos de modulações digitais em quadratura bastante usuais: 16 e 64-QAM, as quais possuem características que levam em consideração a escolha entre cobertura e capacidade de transmissão de dados. Tais fatores são peças fundamentais para a definição do resultado final que a estação de transmissora deseja alcançar. Na análise realizada, observaram-se as características de cada modulação QAM, tais como a probabilidade de bit errado e o ganho mínimo para a decodificação do serviço de rádio digital. Diante dessa análise, verificaram-se aspectos positivos e negativos destas modulações, os quais devem ser considerados ao empregá-las, a fim de obter a confiabilidade necessária na transmissão.

Palavras Chaves: CONFIABILIDADE, DECODIFICAÇÃO, DIGITAL RADIO MONDIALE.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia Digital Radio Mondiale – DRM (Report ITU-R BS.2384-0), criada em 1998, é um padrão internacional de radiodifusão digital, que possui largo emprego nas bandas de Ondas Médias (MF) e Ondas Curtas (HF). Também pode ser empregada na banda de uso comercial da FM Estendida, FM até a banda III do VHF e Ondas Longas (LF), sendo esta última banda comumente empregada na radiodifusão europeia.

Esta tecnologia, permite a transmissão de áudio de qualidade, imagens, texto, texto avançado para a organização estruturada em links de informações (Journaline). O DRM possui algumas variações, a saber:

- **Tecnologia DIVEEMO:** Plataforma de transmissão de vídeos em pequena escala, por meio da tecnologia DRM. Tal tecnologia, está em fase de desenvolvimento pelo instituto alemão Fraunhofer IIS e normatização junto à União Internacional das Telecomunicações

(UIT). Essa tecnologia permite a transmissão de vídeos ao vivo em HF por exemplo.

- **Tecnologia NAVIDATA** (Recommendation ITU-R M.2058-0): destinada à navegação marítima, permite a transmissão de mensagens diversas sobre condições meteorológicas, segurança da embarcação, busca e salvamento, etc., de forma criptografada. Essa tecnologia utiliza uma arquitetura de transmissão muito similar à da tecnologia DRM.

Essas três tecnologias possuem em comum um importante aspecto: a utilização da modulação de amplitude em quadratura, do inglês, Quadrature Amplitude Modulation (QAM), na qual permite a codificação e decodificação dos diversos serviços proporcionados pelas plataformas de rádio digital.

2. DESENVOLVIMENTO

Ao enunciar a plataforma DRM, observa-

se que é uma tecnologia com grandes capacidades e que, em seus 22 anos de existência, alcançou uma maturação bastante significativa, se comparada aos antigos e consagrados métodos de transmissão em AM e FM.

No entanto, neste interim, surge a seguinte questão: quais os desafios a serem vencidos pelo rádio digital, para que conquiste o mesmo grau de confiabilidade e segurança frente às antigas tecnologias de modulação analógicas? Uma dessas variáveis, foco deste artigo, é a utilização correta da modulação digital QAM.

2.1 HIPÓTESE

Com o advento do Rádio Digital, as capacidades desse importante meio de comunicação se ampliaram: transmissão de áudio de qualidade, imagens, textos, até documentos e vídeos. No entanto, um importante paradigma precisa ser resolvido pelos operadores e pessoas envolvidas no planejamento do emprego desta moderna tecnologia: a dicotomia entre a capacidade de transmissão, a qual é intrínseca ao tipo de modulação digital, e a área de cobertura desejada.

2.2 OBJETIVO GERAL

Este artigo, busca trazer a reflexão do leitor, quanto ao correto emprego da tecnologia de rádio digital, de forma ampla. Para alcançar esse objetivo, este artigo traz um estudo de caso, de forma a fazer com que o leitor reflita sobre o emprego de diversas outras modulações, tendo como base o estudo da modulação QAM.

Desta forma, com o alcance desse entendimento, o emprego dessa tecnologia pode ocorrer de forma mais eficiente nos diversos cenários a serem enfrentados por pessoas que trabalham com a tecnologia, bem como no fornecimento de um melhor serviço ao usuário final. Não se trata de uma fórmula pronta, mas sim de uma trilha que pode ser a solução de diversas situações de emprego do sistema de radiocomunicação

digital.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo deste artigo é apresentar a os aspectos positivos e negativos, comparando as modulações 16 e 64-QAM, no que tange os parâmetros de recebimento dos serviços de radiodifusão DRM, com foco no canal de serviço principal, do inglês, Main Service Channel (MSC), o qual carrega em si os dados referentes aos serviços existentes na transmissão, seja áudio, imagem, texto, etc. Este parâmetro é decisivo para a análise da dicotomia capacidade de transmissão e cobertura.

2.4 JUSTIFICATIVA

Com a deficiente consciência sobre o correto emprego do sistema de radiodifusão digital em nosso país, tendo em vista que no meio civil não há serviço regular existente para a população em geral, as radiocomunicações militares têm sido empregada gradualmente, exigindo que os elementos envolvidos no emprego das comunicações se ambientem cada vez mais com os aspectos referentes à essa recente tecnologia.

Dessa forma, este artigo traz uma análise pontual do padrão DRM, que já é utilizado em diversos países do mundo. Esse padrão, possui receptores que possuem a capacidade de apresentar as características necessárias para o entendimento da dicotomia analisada e assim poder apresentar os resultados, que são de suma importância para o bom emprego do rádio digital.

2.5 REFERENCIAL TEÓRICO

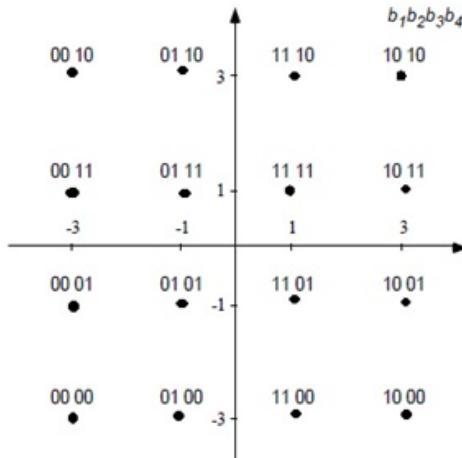
A linha de pesquisa adotada insere-se na linha de pesquisa bibliográfica, a qual está embasada nas obras de Fischer (2010), Laflin (2013), Spragg (2004), da Universidade de Porto (2019), bem como no tabelamento das características de recepção de estações DRM, com enfoque nos parâmetros de ganho mínimo e tipo de modulação.

2.6 METODOLOGIA

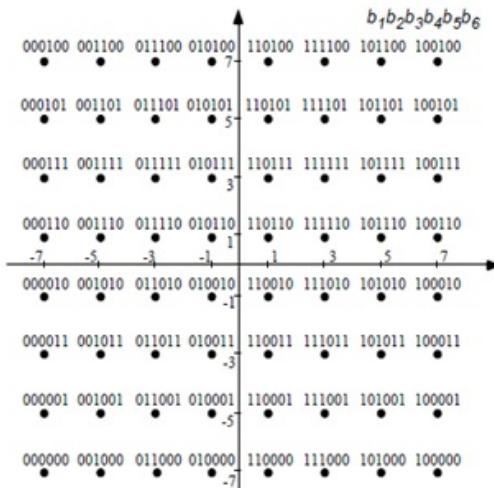
As modulações em QAM, são entendidas pelos equipamentos rádio através de uma série de cálculos realizados. Tais modulações se diferenciam pelos quantitativo de símbolos, o qual

FIGURA 1 Mapeamento ilustrativo das constelações de 16 e 64-QAM

Em 16-QAM o mapeamento é o seguinte:



Em 64-QAM o mapeamento é o seguinte:



Fonte: Universidade de Porto (2019), com edição do autor

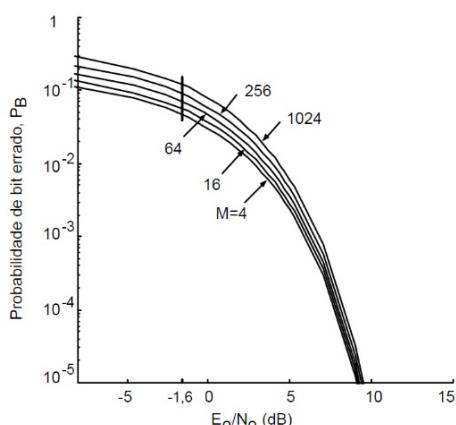
origina o tipo de modulação. Em 16-QAM há 16 símbolos representados, por exemplo. Na figura 1, as constelações de símbolos das duas modulações em análise são apresentadas pelo denominado diagrama de Gray, mapeados abaixo:

A fim de obter uma comparação adequada sob o ponto de vista prático, foram observadas as seguintes estações e seus parâmetros através do receptor DRM Uniwave Diwave 100, no período de janeiro a maio de 2020:

EMISSORA DRM	FREQUÊN CIA (KHz)	HORÁRIO DE BRASÍLIA	TAXA DE TRANSMISSÃ O (Kbps)	MODULA ÇÃO DO MSC (QAM)	POTÊNCIA (kW)	GANHO MÍNIMO PARA DECODIFICAÇ ÃO
Rádio Romênia Internacional	9620	18:00	11,64	16	90	10 dB
Rádio Nacional da China	9655	7:30	14,56	16	30	10 dB
Rádio Martí (EUA)	7345	22:30	9,1	16	5	10 dB
Rádio Romênia Internacional	7315	17:00	21,00	64	90	17 dB
All India Radio	7550	18:00	17,44	64	500	17 dB

Observe que independente dos demais parâmetros da transmissão, a modulação em 16-QAM possui um ganho mínimo para decodificar os serviços DRM de 10dB, enquanto em 64-QAM, esse ganho passa para 17dB, fazendo com que o ouvinte que queira escutar uma das estações em 64-QAM, precise estar mais próximo do parque de transmissões da mesma ou a necessidade de uma elevada potência de transmissão a partir da emissora, devendo contar ainda com os efeitos da propagação, que interferem no ganho do receptor. Em contrapartida,

FIGURA 3 Gráfico da Probabilidade de bit errado



Fonte: Universidade de Porto (2019)

observa-se que a modulação de 64-QAM pode carregar até 21 kbps com a emissão da Rádio Romênia Internacional, proporcionando uma maior capacidade de transmissão de dados que a modulação 16-QAM, que se observou uma taxa máxima de 14,56 kbps, considerando-se que todas as estações transmitem com uma largura de banda de 10 kHz. Isso se explica na figura 1, pois quanto maior o número de símbolos, maior é a taxa de transmissão que uma determinada modulação pode carregar, ou seja, maior é a sua capacidade de transmissão. A limitação de

FIGURA 4 Probabilidade de bit errado

- Relação entre $\frac{\langle E \rangle}{E_0}$ e o número de pontos da constelação, M :

$$\langle E \rangle = \frac{2(M-1)E_0}{3}$$

↓

M	$\frac{\langle E \rangle}{E_0}$
4	2
16	10
64	42
256	170

- A probabilidade de símbolo errado vai aumentando com o número de pontos da constelação, para a mesma relação $\frac{E_0}{N_0}$:

M	$P_e / Q\left(\sqrt{\frac{2E_0}{N_0}}\right)$
4	2
16	3
64	3,5
256	3,75

A contrapartida é o aumento da eficiência espectral.

Fonte: Universidade de Porto

cobertura observada na modulação 64-QAM, pode ser evidenciada através do comparativo da probabilidade de bit errado, nos diferentes tipos de modulação em QAM.

A probabilidade de bit errado se refere a eventuais erros que podem ocorrer na transmissão devido a diversos fatores, tais como, sinal fraco, interferências e a propagação.

Tendo como referência a figura 3, contendo o gráfico da probabilidade de erro, observe o demonstrativo matemático base do

gráfico, que contém as modulações de 4, 16, 64 e 256-QAM:

Nota-se que a modulação 64-QAM possui uma probabilidade de erro de modulação maior que em 16-QAM, o que pode ser crucial para a transmissão da mensagem, que pode sofrer perdas por diferentes motivos no estabelecimento do enlace, resulta no comprometimento da eficácia e confiabilidade, tendo em vista a característica das emissões digitais necessitarem de um ganho mínimo para que

seus diversos serviços possam ser decodificados dentro de uma relação de erro de modulação aceitável ao receptor.

3. CONCLUSÕES

Conclui-se que a modulação 64-QAM possui uma maior capacidade de transmissão de dados, enquanto a transmissão em 16-QAM uma maior robustez às diversas interferências e perdas oriundas da realização de um enlace rádio.

Essa conclusão pode ser espelhada para os diversos tipos de modulação digitais existentes, ao se realizar um estudo de caso sobre qual modulação optar empregar. Um exemplo disso, se encontra nos transceptores militares Harris MPR-9600 Falcon II, que utilizam o modo de fonia MELP 600 e MELP 2400. Não coincidentemente, essa mesma lógica é vista, uma vez que a modulação MELP 600 possui menor taxa de transmissão e menor qualidade de áudio, no entanto alcança maiores áreas de cobertura. Já a MELP 2400 possui maior qualidade de áudio, no entanto a possui um alcance, utilizando a potência no transceptor.

Por fim, espera-se que o leitor possa ter captado esse importante insight, que é fundamental para o emprego do rádio, na Era das Comunicações Digitais, as quais fornecem serviços de qualidade, mas exigem cuidados em seu uso para sua boa utilização.

REFERÊNCIAS

FISCHER, Walter. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. Londres: Springer, 2010.

ITU. Report ITU-R BS.2384-0: Implementation considerations for the introduction and transition to digital terrestrial sound and multimedia broadcasting. Disponível em: <https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2384-2015-PDF-E.pdf>. 2015. Acesso em: 10 maio 2020.

ITU. Recommendation ITU-R M.2058-0: Characteristics of a digital system, named navigational data for broadcasting maritime safety and security related information from shore-to-ship in the maritime HF frequency band. Disponível em: <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2058-0-201402-I!!!PDF-E.pdf>. 2014. Acesso em: 10 maio 2020.

LAFLIN, Nigel. DRM Handbook. Geneva: DRM Consortium, 2019. Disponível em: <<https://www.drm.org/wp-content/uploads/2019/02/DRM-Handbook.pdf>>. Acesso em: 07 maio 2020.

SPRAGG, C. Donald. DRM Transmitter Requirements and Applying DRM Modulation to Existing Transmitters. Dallas: Continental Electronics Corp, 2004.

UNIVERSIDADE DO PORTO. Modulações digitais 5 “Quadrature Amplitude Modulation” (QAM) Detecção coerente e probabilidade de erro. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~sam/Tele2/apontamentos/Modul_QAM.pdf>. 2008. Acesso em 15 maio 2020.