

# COMUNICAÇÕES ACÚSTICAS SUBMARINAS DIGITAIS

## O PROTOCOLO JANUS (OTAN) E O MODEM CSUB (MB)



Capitão de Fragata FÁBIO BARBOSA LOUZA

MSc em "Applied Marine Physics" (RSMAS, Univ. Miami - EUA)  
Doutorando em Eng. Eletrônica e Telecomunicações (Univ. Algarve - Portugal)

FOTO: wired.com - U.S. Navy  
Composição Fotográfica: 1ºSG Severiano

### INTRODUÇÃO

**N**o cenário geopolítico atual, as comunicações digitais assumem papel cada vez mais relevante. Com a vantagem de reduzir a exposição de submarinos para fins exclusivos de comunicação rádio ou satelital, mantendo sua furtividade, as comunicações acústicas submarinas têm sido objeto de interesse de instituições governamentais e da academia. O recebimento de dados operativos que permitam atualizar o quadro tático antes de emergir à superfície, de previsões meteo-oceanográficas ou a troca de informações em situações de emergência são apenas algumas das possíveis utilizações. Nos últimos anos, a Organização do Tratado do Atlântico Norte (Otan) desenvolveu um protocolo de comunicação digital, chamado JANUS<sup>1</sup> que permite a interoperabilidade entre os diversos modems acústicos. Em paralelo, por questões estratégicas, a Marinha do Brasil tem desenvolvido o projeto Comunicações Submarinas (CSUB), culminando com o primeiro modem acústico digital<sup>2</sup> 100% nacional, um marco tecnológico em prol das operações submarinas brasileiras.

### PERSPECTIVA HISTÓRICA

O interesse nas comunicações acústicas submarinas remonta à época do desenvolvimento dos primeiros submarinos tripulados, tendo evoluído dos antigos telefones acústi-

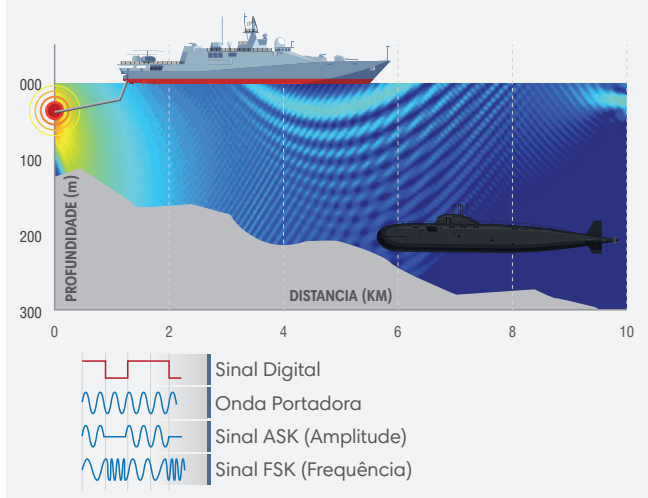
cos analógicos, da época da Segunda Guerra Mundial, que transmitiam voz e código Morse, até os modernos modems digitais nos dias de hoje<sup>3</sup>. Encontrado a bordo da maioria dos meios navais ao redor do mundo, o telefone submarino ou *underwater telephone* (UT), designado AN/UQC, evoluiu ao longo dos anos, passando a incorporar outras funções como transponder e ecobatímetro. Apelidado pela USNavy de "Gertrude", o UT é, ainda hoje, considerado pela Otan como padrão internacional para comunicações por voz<sup>4</sup> graças à capacidade do cérebro humano de detectar e processar o áudio recebido, ainda que profundamente distorcido. Utilizando modulação em amplitude (AM), com banda lateral única na frequência de 8,087 kHz, o UT não possui a capacidade de minimizar e compensar as distorções causadas pelo canal submarino, reverberante e variável no tempo<sup>3</sup>. Por essas razões, surgiram, na década de 1960, as comunicações acústicas submarinas digitais.

### DESAFIOS E LIMITAÇÕES DAS COMUNICAÇÕES ACÚSTICAS DIGITAIS

Diversos fatores limitam as comunicações acústicas no mar<sup>3-5</sup> em especial, sobre a plataforma continental brasileira, área de operações da Marinha do Brasil (MB):

- 1) a restrição em banda de transmissão, devido à absorção

**FIG. 1-** O multicaminhamento do sinal é um dos principais problemas das comunicações digitais sobre a Plataforma Continental



das altas frequências, com a maioria dos modems acústicos operando abaixo de 30 kHz<sup>5</sup>;

- 2) as alterações da frequência do sinal, o famoso efeito Doppler, induzido pelo movimento relativo entre a fonte e o receptor, e pelas correntes marinhas;
- 3) o multicaminhamento do sinal, altamente dependente do perfil de velocidade do som, que resulta das múltiplas interações do pulso acústico com a superfície e o fundo, criando réplicas ou ecos que acarretam a interferência inter-simbólica, um dos problemas mais complexos das comunicações digitais, além de erros de sincronização entre o transmissor e receptor (Fig.1);
- 4) a forte atenuação do sinal com a distância, devido às interações com o fundo marinho; e
- 5) o nível de ruído ambiental, corrompendo o sinal transmitido e acarretando aumento na taxa de erros do sistema.

Tais limitações obrigam o emprego de diversas técnicas de modulação e processamento de sinal para aumentar o desempenho do sistema de comunicação, a depender da aplicação, da taxa de transmissão de dados, e da robustez necessária para lidar com os efeitos de reverberação e as variações das propriedades físicas do oceano. Priorizando a robustez, em detrimento da taxa de dados, tanto a Otan quanto a MB escolheram como base a modulação FSK (*Frequency-Shift Keying*), similar digital da modulação FM (*Frequency Modulation*), que atribui frequências diferentes ( $f_1$  ou  $f_2$ ) para a portadora em função do bit que é transmitido (Bit 0 ou 1).

## O PROTOCOLO JANUS (OTAN)

Em operações conjuntas, a palavra-chave é interoperabilidade. Entretanto, não existia nenhum padrão internacional para o estabelecimento de comunicações acústicas digitais<sup>1-6</sup>. Como cada fabricante utilizava protocolos próprios, tornava-se impossível a comunicação entre equipamentos diferentes, e, por consequência, entre meios operativos de nações distintas.

Nesse contexto, em 2007, o Center for Maritime Research and Experimentation (CMRE) da Otan iniciou pesquisas em parceria com a comunidade acadêmica e outros órgãos governamentais aliados para o desenvolvimento de um protocolo padrão, de código-aberto, que permitisse a interoperabilidade dos sistemas de comunicação digital de diferentes fabricantes.

Essa padronização, chamada JANUS, foi certificada pela Otan, em 2017, e parte dos detalhes técnicos se encontra disponível e publicada na literatura.<sup>1,4,6</sup>

### Principais características e aplicações

Operando na frequência central de 11,52 kHz, em uma banda de frequências entre 9,4 e 13,6 kHz, o JANUS utiliza a modulação FH-BFSK (*Frequency-Hopped Binary Frequency Shift Keying*). Uma das razões para a escolha da banda de transmissão foi a possibilidade de uso do chamado “hardware de oportunidade”, de forma a utilizar o que já existe no mercado e a bordo dos meios navais. Projetado para ser um protocolo comum, permitiria a interoperabilidade dos sistemas, além de possibilitar a adição de criptografia, reduzindo o risco de decodificação por sensores não autorizados.

Nos anos de 2015 e 2016, já em fase final de testes, o CMRE realizou experimentos com o submarino diesel-elétrico “Arpão”, da Marinha portuguesa.<sup>4-6</sup> O objetivo era testar algumas aplicações que só estão disponíveis quando o submarino se encontra à superfície ou na cota periscópica, por meio de sinais de rádio, tais como:

- **AIS submarino:** o AIS (*Automatic Identification System*) serve para divulgar informações importantes das embarcações, como rumo, velocidade e posição, às outras embarcações navegando na mesma região. A recente colisão do submarino nuclear HMS “*Ambush*”, da Marinha britânica, com um navio mercante no Estreito de Gibraltar<sup>7</sup> em 2016, trouxe à tona a necessidade operacional dos submarinos de compilarem o quadro tático de superfície, antes de iniciarem o procedimento de emersão. A transmissão de dados AIS aos submarinos mergulhados poderia, assim, reduzir os riscos envolvidos nessa manobra;

- **METOC:** a disponibilidade de dados meteorológicos e oceanográficos (METOC) atualizados é útil para o planejamento das operações, bem como auxilia na complexa navegação submarina;
- **Emergências em operações submarinas:** em operações SAR (*Search and Rescue*), a troca de dados entre um submarino sinistrado e uma embarcação de socorro e salvamento é realizada por voz, por meio dos telefones acústicos<sup>4</sup>. Como os militares estariam sob elevado estresse emocional, uma transmissão automática de dados poderia ser mais eficiente, retirando de cena os fatores humanos envolvidos nessa tarefa. Durante o exercício REP-16-Atlântico, o submarino “Arpão” simulou emergências a bordo, transmitindo informações como Lat/Long, profundidade, níveis de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO e H<sub>2</sub>, pressão, temperatura e número de sobreviventes. Os dados acústicos digitais foram recebidos por uma sonoboa e retransmitidos por VHF para o navio de pesquisa que realizava o experimento; e



- **Redes acústicas submarinas:** têm como objetivo conectar os elementos acima d’água (navios, boias, aeronaves...), que se intercomunicam por rádio ou satélite, às unidades submersas (veículos autônomos, sonobóias, submarinos...) utilizando dados acústicos digitais em uma rede de equipamentos interconectadas de múltiplo emprego (Fig.2).

## O PRIMEIRO MODEM ACÚSTICO DA MARINHA DO BRASIL

Considerando que o Brasil não é membro da Otan, o contato das instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) da

MB com outros centros de pesquisa em acústica, como o CMRE, é muito limitado. Para que ocorra a interação científica entre essas organizações, alguns acordos internacionais precisam ser assinados pelo Brasil e demais países, o que ainda encontra-se em fase de negociação política.

Assim, por questões estratégicas, foi iniciado, em 2012, o projeto Comunicações Submarinas (CSUB) para o desenvolvimento do primeiro modem acústico definido por software, em apoio ao Programa de Submarinos da Marinha (PROSUB)<sup>2</sup>. Com duração inicial de 10 anos e sob a coordenação do Departamento de Acústica Submarina do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), o projeto tem como objetivo desenvolver um sistema completo de comunicações acústicas digitais, com tecnologia nacional, e de domínio exclusivo da Marinha do Brasil.

Em face da complexidade do projeto, a MB utilizou seus programas de qualificação de pessoal para enfrentar os futuros desafios tecnológicos. Com uma equipe de Oficiais formada, em nível de Mestrado e Doutorado, em renomadas instituições de ensino, como a *Naval Postgraduate School* (EUA), a Universidade de Miami (EUA), a Universidade do Algarve (Portugal) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), além de pesquisadores provenientes de centros de excelência como a Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e o Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR), o projeto evoluiu. Após anos de pesquisa e desenvolvimento, o modem foi, finalmente, apresentado à comunidade acadêmica, tendo recebido o prêmio “Soberania pela Ciência”, da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM), em 2017<sup>8</sup>.

### Principais características

Considerado o “cérebro” do sistema de comunicação, o protocolo do modem CSUB pode ter seus parâmetros alterados de acordo com a aplicação desejada pelo setor operativo, além da inclusão de criptografia. Operando na frequência central de 7,5 kHz, em uma banda de 5 a 10 kHz, o modem utiliza modulação 8-FSK com diversidade de frequência e permite uma taxa de transmissão de até 200 bps (Fig.3a/b).

Inteligente, o receptor permanece em *stand-by* aguardando a chegada de um sinal específico (*wake-up signal*) como *trigger* do início das comunicações. Esse “modo de espera” permite importante economia de energia, vital nas futuras aplicações em meios portáteis, como os veículos autônomos submarinos. A seguir, durante o processamento em tempo real das mensagens, realiza a compensação do efeito Doppler, utiliza um filtro de Wiener para minimizar a interferência intersimbólica e um código convolucional para a correção de erros. Após esses passos, os bits são demodulados e decodificados.

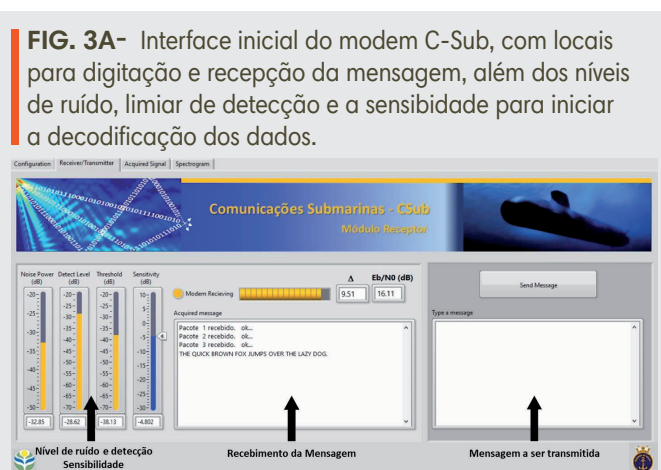
## Vantagens estratégicas e operacionais

O caminho trilhado pelo projeto CSUB mostra que inúmeros desafios se apresentam nessa área do conhecimento, considerada estratégica pela maioria das nações.

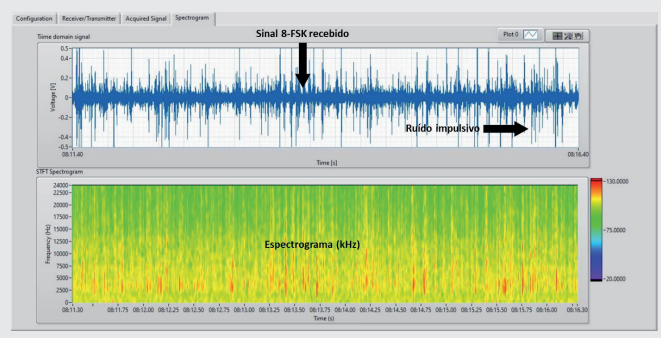
Assim como o JANUS, o modem CSUB possui características de robustez e confiabilidade, e possui as mesmas aplicações, sendo, contudo, de domínio nacional e exclusivo. Portátil, o modem pode vir a ser acoplado aos sistemas de combate, possibilitando a utilização dos arranjos de transdutores dos sonares de bordo para fins de comunicação, como já realizado em testes de campo do projeto SONAT (Sonar Ativo) do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM).

Desenvolvido em conjunto pelo IPqM/IEAPM, o SONAT contará com um módulo de comunicação digital submarina, concebido pelo projeto CSUB. Considerando as características intrínsecas de cada meio naval, bem como as diferentes condições de propagação acústica ao longo do extenso litoral brasileiro, seria possível, então, maximizar o alcance das comunicações.

Atualmente, o modem encontra-se em fase de testes de mar com os meios navais da MB.



**FIG. 3B-** Sinal (8-FSK) recebido com ruído impulsivo, característico da Plataforma Continental, além do espectrograma da transmissão.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inúmeras capacidades e aplicações das comunicações digitais ampliam as possibilidades de emprego dos meios navais, trazendo, ainda, um requisito de segurança adicional às operações submarinas. O desenvolvimento do JANUS, pela Otan, corrobora a importância do projeto CSUB, que resultou no primeiro *modem* acústico digital, 100% nacional.

Como evolução do projeto, também se encontram em estudo as comunicações com baixa probabilidade de detecção<sup>9</sup> bem como a utilização de sensores vetoriais em substituição aos arranjos de hidrofones<sup>10</sup>. Tecnologias no estado da arte, em alinhamento com os objetivos do PROSUB. Após sua avaliação operacional, o modem CSUB poderia ser embarcado não só em meios submarinos, mas em meios de superfície e aeronaves.

Por fim, vale ressaltar a possibilidade de inclusão do JANUS, aumentando a interoperabilidade entre os meios navais da MB e de outras Marinhas amigas.

## REFERÊNCIAS:

- POTTER, John; ALVES, João; GREEN, Dale; ZAPPA, Giovanni; NISSEN, Ivor; MCCOY, Kim. The JANUS underwater communications standard. **Underwater Communications and Networking (UComms)**, Sestri Levante, 2014. Disponível em: <https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/1304>. Acesso em: 5 maio 2021.
- GUARINO, Alexandre G.L.; SILVA, Luis Felipe P.S.; XAVIER, Fabio C.; OSOWSKY, Jefferson. Primeira versão de um modem acústico submarino definido por software da Marinha do Brasil. **Pesquisa Naval (SDM)**, v. 29, p. 76-85, 2018.
- CHITRE, Mandar; SHAHABUDEEN, Shiraz; FREITAG, Lee; STOJANOVIC, Milica. Recent advances in underwater acoustic communications & networking. *In: OCEANS 2008, 2008, Quebec. Proceedings*, Quebec: IEEE, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5152045>. Acesso em: 5 maio 2021.
- ALVES, J.; FRICKE, C. Analysis of JANUS and underwater telephone capabilities and co-existence". **IEEE Third Underwater Communications and Networking Conference (UComms)**, p. 1-5, 2016, doi: 10.1109/UComms.2016.7583422.
- KILFOYLE, Daniel B.; BAGGEROER, Arthur B. The state of the art in underwater acoustic telemetry. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, [Nova lorque], v. 25, n. 1, jan. 2000. Disponível em: [http://users.isr.ist.utl.pt/~jpg/proj/plitom/refs/kilfoyle\\_baggeroer\\_jan00\\_00820733.pdf](http://users.isr.ist.utl.pt/~jpg/proj/plitom/refs/kilfoyle_baggeroer_jan00_00820733.pdf). Acesso em: 4 maio 2021.
- ALVES, João et al. Moving JANUS forward: a look into the future of underwater communications interoperability. *In: OCEANS 2016, 2016, Monterey. Proceedings*, Monterey: MTS/IEEE, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7761094>. Acesso em: 4 maio 2021.
- UK nuclear submarine collides with merchant vessel off Gibraltar, **BBC News**, [s.l.], 2016. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/uk-36852365>. Acesso em: 5 maio 2021.
- MARINHA DO BRASIL. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha. **Prêmio "Soberania pela Ciência"**, 2017. Disponível em: [www.marinha.mil.br/dgdntm/node/76](http://www.marinha.mil.br/dgdntm/node/76). Acesso em: 5 maio 2021.
- LOUZA, Fabio B.; DEFERRARI, Harry A. Superimposed training low probability of detection underwater communications. **Journal Acoustical Society of America**, Nova lorque, v. 148, n. 3, set. 2020. Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0001934>. Acesso em: 4 maio 2021.
- BOZZI, Fabricio A.; JESUS, Sérgio M. Vector sensor beam steering for underwater acoustic communications. *In: MEETING OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA*, 179, 2020, Nova lorque. **Papers**. Nova lorque: ASA, 2020. Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.5147077>. Acesso em: 3 maio 2021.