
REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

NÚMERO 28 - 2016



DIRETORIA-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR
E TECNOLÓGICO DA MARINHA (DGDNTM)

REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

A Revista Pesquisa Naval tem como missão proporcionar à comunidade científica um canal formal de comunicação e de disseminação da produção técnico-científica nacional, por meio da publicação de artigos originais que sejam resultados de pesquisas científicas e que contribuam para o avanço do conhecimento nas áreas de interesse da MB. Os artigos aqui publicados não refletem a posição ou a doutrina da Marinha e são da responsabilidade dos seus autores.

PATROCÍNIO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

EDITOR-CHEFE

Almirante de Esquadra Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior
Diretor-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

EDITORES ADJUNTOS

C Alte Alfredo Martins Muradas
Diretor do Centro de Análises de Sistemas Navais - CASNAV

C Alte Marcos Lourenço de Almeida
Diretor do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - IEAPM

C Alte (EN) André Luis Ferreira Marques
Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP

C Alte (EN) Luiz Carlos Delgado
Diretor do Instituto de Pesquisas da Marinha - IPqM

COMISSÃO EDITORIAL

Adriano Joaquim de Oliveira Cruz - UFRJ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Júnio - UFPA - Belém/PA/Brasil
Aletéia Patrícia Favacho de Araújo - UNB - Brasília/DF/Brasil
André Andrade Longaray - FURG - Rio Grande /RS/Brasil
Andre Luiz Lins de Aquino - UFAL - Maceió /AL/Brasil
Cintia de Moraes Borba - FIOCRUZ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Genaina Nunes Rodrigues - UNB - Brasília/DF/Brasil
Giovane Quadrelli - UCP - Petrópolis/RJ/Brasil
Gilson Brito Alves de Lima - UFF - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Jaci Maria Bilhalva Saraiva - CENSIPAM - Brasília/DF/Brasil
José Maria Parente de Oliveira - ITA - São José dos Campos /SP/Brasil
José Mario De Martino - FEEC/UNICAMP - Campinas/SP/Brasil
Jose Manoel Seixas - UFRJ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Luciano Zogbi Dias - FURG - Rio Grande/RS/Brasil

CONSELHO EDITORIAL

CMG Antônio Capistrano de Freitas Filho
CMG José Fernando De Negri
CF Benjamin Dante Rodrigues Duarte Lima
CC (EN) Elaine Rodino da Silva
2º SG-OR Rogério Augusto dos Santos
3º SG-ET Renato Ellyson Oliveira Cavalcante

EDIÇÃO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM
www.marinha.mil.br/dgdntm/revista

PRODUÇÃO EDITORIAL

Zeppelin Publishers / Instituto Filantropia
www.zeppelin.com.br

Maria Eveline de Castro Pereira - FIOCRUZ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Marcos Evandro Cintra - UFRSA - Mossoró/RN/Brasil
Marcelo Sperle Dias - UERJ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Mirian Enriqueta Bracco - UERJ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Nataanael Nunes de Moura - UFRJ - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Newton Narciso Pereira - USP - São Paulo/SP/Brasil
Nivaldo Silveira Ferreira - UENF - Campos dos Goytacazes /RJ/Brasil
Paulo Sérgio Soares Guimarães - UFMG - Belo Horizonte /MG/Brasil
Raul Francé Monteiro - PUC-Goiás - Goiânia/GO/Brasil
Ricardo Coutinho - IEAPM - Rio de Janeiro/RJ/Brasil
Thiago Pontin Tancredi - UFSC - Florianópolis /SC/Brasil
Vivian Resende - UFMG - Belo Horizonte/MG/Brasil
Walter Roberto Hernández Vergara - UFGD - Dourados /MS/Brasil

A REVISTA PESQUISA NAVAL É PATROCINADA POR

FUNDAÇÃO CONRADO WESSEL
FCW

Revista Pesquisa Naval / Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
v. 1, n. 1, 1988 - Brasília - DF - Brasil - Marinha do Brasil

Anual
Título abreviado: Pesq. Nav.
ISSN Impresso 1414-8595 /
ISSN Eletrônico 2179-0655

1. Marinha - Periódico - Pesquisa Científica. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha.

CDU 001.891.623/.9
CDD 623.807.2

1 APRESENTAÇÃO

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

AMBIENTE OPERACIONAL

2 MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DE RISCO PARA OPERAÇÕES COM AERONAVES EMBARCADAS: UMA ABORDAGEM MULTICRITÉRIO

A risk classification model for organic aircraft operations: a multiple criteria approach
Luiz Fernando do Nascimento, Mischel Carmen Neyra Belderrain

13 O GERENCIAMENTO DO RISCO OPERACIONAL APLICADO AO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO DA AMAZÔNIA AZUL

The operational risk management applied to the scientific development of "The Blue Amazon" - Amazônia Azul
Guilherme Pires Black Pereira

ARQUITETURA NAVAL E PLATAFORMA

21 INVESTIGAÇÃO SOBRE A RESPOSTA ESTRUTURAL, INDUZIDA PELA BATIDA DE PROA EM EMBARCAÇÃO MONOCASCO DE SEMIPLANEIO, POR MEIO DE MODELAGEM POR SUBESTRUTURAÇÃO

Investigation on structural response, induced by slamming effect in a monohull semidisplacement ship by means of substructured modeling
Fabio da Rocha Alonso, Waldir Terra Pinto

DESEMPENHO HUMANO E SAÚDE

34 ACIDENTES COM TRANSPORTES HIDROVIÁRIOS EM OCASIÃO DE EXTREMOS METEOROLÓGICOS

Accidents with waterway transports due to extreme weather conditions
Suanne Honorina Martins dos Santos, Maria Isabel Vitorino, Jefferson Inayan de Oliveira Souto, Edson José Paulino da Rocha

PROCESSOS DECISÓRIOS

45 DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA POR ATRIBUTOS SÍSMICOS ELÁSTICOS: UMA ABORDAGEM POR SISTEMAS FUZZY-GENÉTICOS

Lithology discrimination by seismic elastic patterns: a genetic fuzzy systems approach
Eric da Silva Praxedes, Adriano Soares Koshiyama, Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco, Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco, Ricardo Tanscheit

SENSORES, GUERRA ELETRÔNICA E GUERRA ACÚSTICA

57 COMPARAÇÃO ENTRE A ESTIMAÇÃO TEÓRICA E AS MEDIDAS DAS PRINCIPAIS FIGURAS DE MÉRITO DE FOTODETECTORES INFRAVERMELHOS A POÇOS QUÂNTICOS

Comparison between the theoretical estimation and the measurements of the main figures of merit of quantum well infrared photodetectors
Ali Kamel Issmael Junior, Fábio Durante Pereira Alves, Ricardo Augusto Tavares Santos

71 DETECÇÃO CEGA E ASSISTIDA DE SINAIS EM SISTEMAS UWB BASEADOS NO PADRÃO IEEE 802.15.4A

Blind and assisted signal detection for UWB systems based on the IEEE 802.15.4a standard

Aline de Oliveira Ferreira, Cesar Augusto Medina Sotomayor, Fabian David Backx, Raimundo Sampaio Neto

82 SONAR PASSIVO NACIONAL: AVANÇOS E DEMONSTRAÇÃO DE TECNOLOGIA

Brazilian Passive Sonar: advances and technology showcase

Fabricio de Abreu Bozzi, William Soares Filho, Fernando de Souza Pereira Monteiro, Carlos Alfredo Órfão Martins, Gustavo Augusto Mascarenhas Goltz, Orlando de Jesus Ribeiro Afonso, Cleide Vital da Silva Rodrigues, Fernando Luiz de Magalhães, Leonardo Martins Barreira

TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E DE COMUNICAÇÕES

93 UMA ARQUITETURA PARA A GESTÃO DOS PROJETOS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE VISANDO À INTEGRAÇÃO NAS FORÇAS ARMADAS

An architecture to manage software engineering projects aimed at integration within the Brazilian Armed Forces

Geraldo da Silva Souza, Rodrigo Abrunhosa Collazo, Jones de Oliveira Avelino, Carlos Eduardo Barbosa

SONAR PASSIVO NACIONAL: AVANÇOS E DEMONSTRAÇÃO DE TECNOLOGIA

Brazilian Passive Sonar: advances and technology showcase

Fabrizio de Abreu Bozzi¹, William Soares Filho², Fernando de Souza Pereira Monteiro³,
Carlos Alfredo Órfão Martins⁴, Gustavo Augusto Mascarenhas Goltz⁵,
Orlando de Jesus Ribeiro Afonso⁶, Cleide Vital da Silva Rodrigues⁷,
Fernando Luiz de Magalhães⁸, Leonardo Martins Barreira⁹

Resumo: O presente trabalho sintetiza o desenvolvimento de um demonstrador de tecnologia de um sonar passivo, abrangendo as áreas de aquisição e processamento de sinais para arranjo de sensores. A partir da construção de um arranjo de hidrofones com geometria cilíndrica, que corresponde à parte “molhada” do sistema sonar, um sistema de aquisição de sinais foi montado para ler, pré-processar e enviar esses sinais em uma rede Ethernet. O Sistema de Detecção, Acompanhamento e Classificação de Contatos (SDAC) foi utilizado como o receptor dos sinais, realizando o tratamento e a exibição das informações, sendo ele a interface do demonstrador (parte “seca” do sonar). Nesse desenvolvimento foi realizada a implementação da formação de feixes, o que possibilitou a capacidade de discriminação direcional do sonar. O formador de feixes atraso-e-soma, escolhido devido à sua rapidez de processamento, se mostrou adequado para a exigência de processamento em tempo real.

Palavras-chave: Sonar. Arranjo Cilíndrico de Hidrofones. Processamento de Sinais Acústicos Submarinos. Conformação de Feixe.

Abstract: This paper summarizes the development of a technology showcase for a passive sonar system, covering the areas of signal acquisition and array processing. Using a hydrophone array with cylindrical geometry as the “wet” part of the sonar system, a signal acquisition system was assembled to read, preprocess, and send these signals over an Ethernet network. The Detection, Tracking and Classification System (SDAC) was used as the receiver of this signal, performing the processing and the display of the information obtained, being the graphic interface for the sonar operator (“dry” part of the sonar). In this development, a beamformer was implemented using the delay-and-sum method, chosen because of its fast processing, that was adequate for real-time processing requirement.

Keywords: Sonar. Cylindrical Array of Hydrophones, Underwater Acoustics Signal Processing. Beamforming.

1. Capitão-Tenente. Mestre em Engenharia Elétrica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Ajudante da Divisão de Equipamentos Hidroacústicos do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: bozzi@ipqm.mar.mil.br

2. Doutor em Engenharia Elétrica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Coordenador da área de Processamento de sinais do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: william@ipqm.mar.mil.br

3. Mestre em Engenharia Biomédica, pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Engenheiro Eletrônico da Amazul colaborador da Divisão de Equipamentos Hidroacústicos do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: nandospm@gmail.com

4. Capitão-de-Corveta, Mestre em Engenharia Oceânica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Professor do Centro de Instrução Almirante Wanderkolk - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: carlos.martins@ipqm.mar.mil.br

5. Capitão-Tenente. Mestre em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - São José dos Campos, SP - Brasil. Encarregado da Divisão de Processamento de Sinais e Propagação Acústica do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: goltz@ipqm.mar.mil.br

6. Mestre em Engenharia Oceânica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Encarregado da Divisão de Equipamentos Hidroacústicos do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: orlando@ipqm.mar.mil.br

7. Doutora em Engenharia de Produção pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. Ajudante da Divisão de Processamento de Sinais e Propagação Acústica do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: cleide@ipqm.mar.mil.br

8. Doutor em Engenharia Mecânica pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil, Ajudante da Divisão de Equipamentos Hidroacústicos do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, - Brasil. E-mail: fernando.magalhaes@ipqm.mar.mil.br

9. Capitão-de-Fragata, Doutor em Engenharia Oceânica pela pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro, RJ - Brasil, Encarregado do Grupo de Acústica Submarina do Instituto de Pesquisas da Marinha - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: barreira@ipqm.mar.mil.br

1. INTRODUÇÃO

O Sonar Nacional Passivo (SONAP) é um projeto do Grupo de Sistemas Acústicos Submarinos (GSAS) do Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM) e consiste no desenvolvimento de um sistema sonar. O IPqM vem, ao longo de anos, capacitando pesquisadores e engenheiros para solidificar os conhecimentos em sistemas acústicos, sendo o demonstrador de tecnologia desenvolvido, a junção desses conhecimentos.

Um avanço nas pesquisas de sonar foi dado com o desenvolvimento do Sistema de Detecção, Acompanhamento e Classificação de Contatos (SDAC), que, ao ser instalado nos submarinos da Marinha do Brasil (MB), possibilitou a coleta de sinais dos hidrofones, já instalados no submarino. No entanto, esse sistema, quando instalado nos submarinos, recebia sinais após a formação de feixes. A formação de feixes, como será detalhada posteriormente, é uma etapa de processamento sensível, ou seja, a tecnologia desse processo pode comprometer o resultado final.

Pode-se dividir o sistema sonar passivo, basicamente, em duas áreas (LI, 2012): desenvolvimento de elementos hidroacústicos (hidrofones, transdutores e *staves*), sendo referido aqui como parte molhada do sonar; e desenvolvimento do processamento de sinais (formação de feixes, tratamento de dados, apresentação e análises), chamada de parte seca. Ainda existe a área de aquisição dos sinais, que é considerada o “elo” entre a parte molhada e a seca.

Assim, o demonstrador de tecnologia visa, com recursos de materiais comerciais disponíveis, avançar em direção à parte molhada, construindo um arranjo, adquirindo os sinais, realizando a formação de feixes e a integração com o SDAC.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Pode-se considerar que toda a cadeia de processos envolvida no sistema sonar passivo tem início quando uma onda mecânica acústica submarina se choca com um elemento piezoelétrico (hidrofone) e esse é excitado, gerando uma tensão elétrica em seus terminais (SHERMAN e BUTLER, 2007). A partir dos sinais elétricos gerados nos terminais do hidrofone, inicia-se o processo de aquisição desses sinais. Essa etapa consiste em condicionar o sinal e adquiri-lo em um computador, de forma digital.

Partindo-se do ponto em que os sinais dos diversos sensores estão chegando de maneira digital, inicia-se o processamento dos sinais do arranjo. Considera-se que o arranjo de hidrofones é uma antena e o interesse é, em um primeiro momento, direcionar essa antena para enfatizar sinais vindos de uma dada direção. Isso se chama formação de feixes.

Existem diversas técnicas de formação de feixes, a mais simples é conhecida como atraso-e-soma (*delay-and-sum*) (VAN TREES, 2004). Por sua simplicidade e rapidez, essa é a técnica implementada neste trabalho.

A partir dos feixes formados, iniciam-se as etapas de análises, onde são realizados processamentos para caracterização dos sinais. Entre as análises contidas em um sistema sonar, serão abordadas neste trabalho, as análises *low frequency analysis and recording* (LOFAR) e *detection of envelope modulation on noise* (DEMON). Essas análises levam o sinal para o domínio da frequência, trazendo informações espectrais que ajudam na classificação do sinal (TORRES; SEIXAS; SOARES FILHO, 2004; MOURA, 2013).

A metodologia de pesquisa mostra como cada uma das etapas do sistema foi tratada e implementada. Um diagrama do sistema auxilia a visualização da estrutura dos processos, sendo detalhado, posteriormente, cada um deles.

2.1. DIAGRAMA DO SISTEMA

A Figura 1 apresenta o diagrama geral do sistema sonar desenvolvido no IPqM. Podem-se notar os processos envolvidos descritos anteriormente: arranjo de sensores, amplificação, digitalização, tratamento inicial dos sinais adquiridos pelo software de aquisição, controle da amplificação, envio de dados pela rede através de um roteador (*switch*) e, por fim, apresentação dos dados no SDAC.

2.2. ARRANJO CILÍNDRICO

Um sistema sonar pode conter apenas um hidrofone. Mas, na prática, sabe-se que, em geral, esses elementos são omnidirecionais, ou seja, “escutam” em todas as direções. Quando o desejado é obter a direção de uma fonte sonora, utilizam-se arranjos de hidrofones (WAITE, 2002). Este estudo trata especialmente do arranjo cilíndrico de hidrofones (*cylindrical hydrophone array* ou, simplesmente, CHA).

O CHA é composto de um arranjo de *staves* (barrote) agrupados de forma circular. O *stave* é a estrutura que aglomera os elementos (hidrofones) e os encapsula em material específico,

garantindo que não percam suas propriedades. O encapsulamento ainda realiza a função de proteger os hidrofones do contato direto com a água salgada. Por fim, são projetados de forma a abafar um dos lados, com o objetivo de direcionar o feixe.

A construção de um arranjo de sensores em escala reduzida, comparada aos arranjos dos submarinos da MB, visa facilitar testes do arranjo no tanque hidroacústico do IPqM e facilitar a logística de transporte, posicionamento e embarcação do arranjo.

Com esse arranjo é possível coletar dados brutos, ou seja, sinais provenientes diretamente de cada elemento sem nenhum processamento. O arranjo construído é composto de 32 *staves*, 1 metro de diâmetro, sendo que cada um possui 3 hidrofones ligados em série. A saída de cada *stave* é a soma dos sinais de cada hidrofone. A Figura 2 apresenta o arranjo de hidrofones.

2.3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE SINAIS

O condicionamento inicial dos sinais recebidos pelos *staves* compreende a amplificação e, posteriormente, a digitalização do sinal. O condicionamento e a digitalização feitos de maneira adequada levam a resultados mais apurados e minimizam erros característicos de quantização e saturação

(DINIZ, DA SILVA e NETTO, 2014). A amplificação é necessária para se obter sinais em níveis compatíveis para a digitalização, já que a intensidade de tensão elétrica na saída dos hidrofones é baixa, podendo ser da ordem de μV .

A digitalização é feita para permitir processar os dados em um computador. No caso do sistema sonar, é necessário que a digitalização seja feita de maneira síncrona, que é um pré-requisito da formação de feixe.



Figura 2. Arranjo de sensores de 32 *staves*.

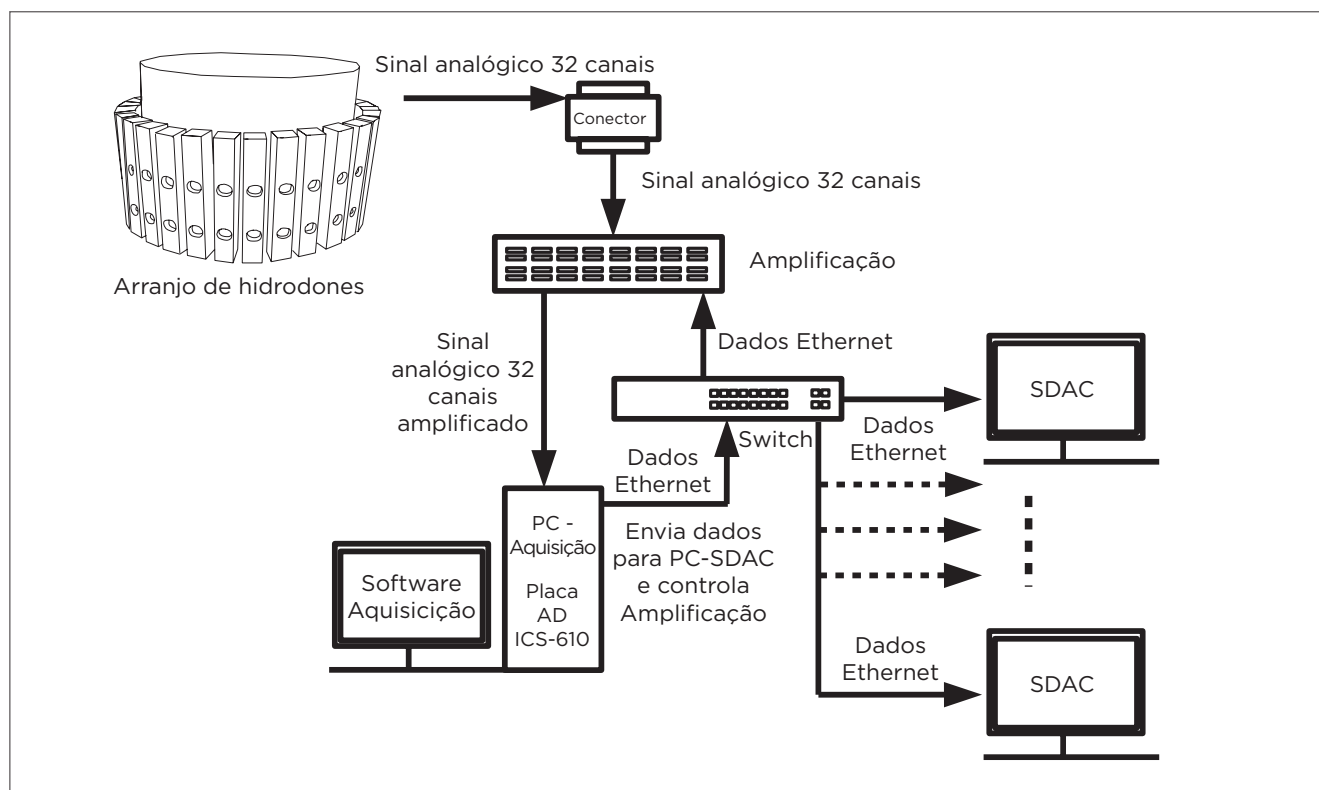


Figura 1. Diagrama geral do sistema sonar.

Neste trabalho, um sistema de aquisição foi montado utilizando *hardwares* comerciais. No entanto, a leitura, a gravação e o pré-processamento dos sinais adquiridos foram feitos a partir de um *software* desenvolvido no IPQM. Dessa forma, foi possível um maior controle da aquisição e garantir a integridade dos dados.

2.4. PROCESSAMENTO DE SINAIS: FORMAÇÃO DE FEIXE

Dentre diversas configurações geométricas de arranjos, o arranjo em linha uniforme (*uniform linear array*, ULA) é a configuração com maior bibliografia entre as configurações existentes e preferencialmente adotada para o início de estudos de arranjos. No caso do ULA, seu modelo e suas expressões analíticas para potência e diretividade são problemas já estudados e bem desenvolvidos (RODRIGUES, 2006). Um diagrama do *beamforming* atraso-e-soma para um arranjo linear uniforme é apresentado na Figura 3.

Esse arranjo é composto de N elementos, com espaçamento d entre eles. Se em cada sensor incide o sinal $s(t, p)$, onde p refere-se a posição no espaço, e w é um vetor peso, assim, de acordo com Van Trees (2004), tem-se (Equação 1):

$$D(\theta) = \frac{1 \sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right)}{N \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos(\theta)\right)}, 0 \leq \theta \leq \pi \quad (1)$$

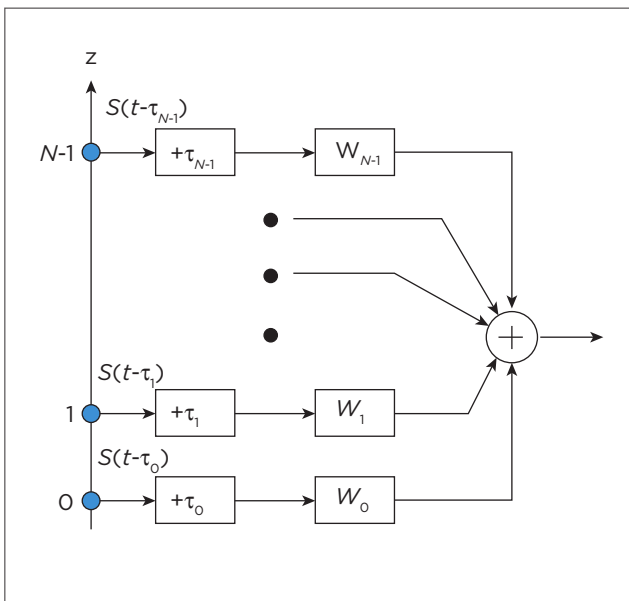


Figura 3. *Beamforming* atraso-e-soma para um arranjo linear.

onde $D(\theta)$ representa a função diretividade (chamada *beam pattern*, em inglês). A função diretividade de um sensor, ou de um arranjo, representa a resposta frequência/número de onda *versus* direção. Sua informação representa a irradiação do sensor/arranjo para uma determinada direção e é isso que determina seu desempenho.

O processo de implementação do *delay-and-sum* no arranjo circular foi amplamente abordado em (RODRIGUES, 2006; FELZKY, 2007; BOZZI, 2016) e é explicado de maneira detalhada na Figura 4, onde é apresentada a geometria circular do arranjo e uma frente de onda que está chegando de determinada direção. Utiliza-se um setor do arranjo contendo um número específico de elementos para formar o feixe da direção referente à frente de onda (no caso ilustrado, utilizam-se os elementos 1 a 5 e 28 a 32). Com essa seção escolhida, aplicam-se os atrasos nos elementos de forma a compensar os diferentes percursos da frente de onda.

O procedimento de atraso é uma forma de “sincronizar” os sinais e faz com que o arranjo circular seja considerado um arranjo em linha desigualmente espaçado. Esse fato também pode ser interpretado como uma projeção dos sinais em uma corda. Após serem aplicados os respectivos atrasos, somam-se os sinais desse setor, o que resulta em um feixe referente à direção chamada *broadside*, que é perpendicular ao arranjo em linha equivalente.

Na Figura 4, ressalta-se a representação da irradiação que o mesmo pode receber ao utilizar um sinal individual de um sensor e o diagrama de irradiação após a formação de feixes, onde se percebe que existe um ganho direcional. Esse procedimento é repetido utilizando-se elementos adjacentes. Assim, obtêm-se N feixes formados, onde N é o número de sensores (ATLAS ELEKTRONIK KRUPP, 1988).

As saídas do *delay-and-sum* são os feixes formados. No entanto, é comum calcular a energia desses feixes para uma visualização das fontes sonoras existentes ao redor do arranjo. O resultado dessa operação é apresentado comumente em forma de gráfico de energia x tempo x marcação, conhecido como gráfico de energia *waterfall*. Quando existe sinal em uma das direções, esse terá maior intensidade (energia) e isso poderá ser observado no *waterfall*. O gráfico de energia *waterfall* é utilizado para visualização do cenário, ou seja, para apresentação das fontes sonoras existentes ao redor do arranjo ao longo do tempo. Assim, é possível realizar o acompanhamento da fonte. Esse tipo de gráfico será apresentado nos resultados dos experimentos realizados.

2.5. PROCESSAMENTO DE SINAIS: ANÁLISES

A partir da identificação dos contatos existentes no cenário, através do gráfico de energia *waterfall*, seleciona-se o feixe da direção de um contato e realizam-se as análises LOFAR e DEMON.

O LOFAR é uma análise em frequência de banda estreita, onde se visualiza o espectro do sinal e seus tons característicos. Esse espectro carrega todas as informações de ruído irradiado pelo contato. No caso do contato ser uma embarcação, é possível extrair as características de máquinas e sua propulsão.

O DEMON é uma análise de banda estreita, que visa a extração de informações provenientes da cavitação de uma embarcação. Com essa análise, obtém-se a rotação do eixo, o número de eixos e o número de pás. Estudos, implementações e utilização dessas análises para classificação de contatos submarinos foram abordados em Torres, Seixas e Soares Filho (2004) e Moura (2013).

2.6. SISTEMA DE DETECÇÃO, ACOMPANHAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE CONTATOS

O SDAC é um *software* — desenvolvido no IPqM, instalado nos submarinos da MB — de grande aceitação por suas ferramentas gráficas, que inovaram o antigo sistema sonar

instalado nos submarinos (CSU-83 - Atlas). O demonstrador de tecnologias visa integrar esse sistema à parte de aquisição e formação de feixes desenvolvida.

O SDAC instalado nos submarinos recebe os sinais após a formação de feixes na forma digital. Foi necessário adequar o SDAC para receber dados de rede para essa nova configuração de arranjo. Além dessa modificação, o SDAC instalado nos submarinos recebe sinais de 96 *staves*, enquanto o arranjo construído possui 32 *staves*. Assim, é realizada a interpolação de 32 canais para 96 canais utilizando os conceitos de Diniz, da Silva e Netto (2014) e Mitra (2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas duas comissões do demonstrador de tecnologia do sonar passivo. Essas comissões tiveram por objetivo coletar dados, monitorar o ambiente marinho e avaliar o sistema desenvolvido.

3.1. PRIMEIRA COMISSÃO

A primeira comissão foi realizada no Depósito de Combustíveis da Marinha, no Rio de Janeiro (DepComb), entre os dias 5 e 29 de maio de 2015. Essa comissão teve

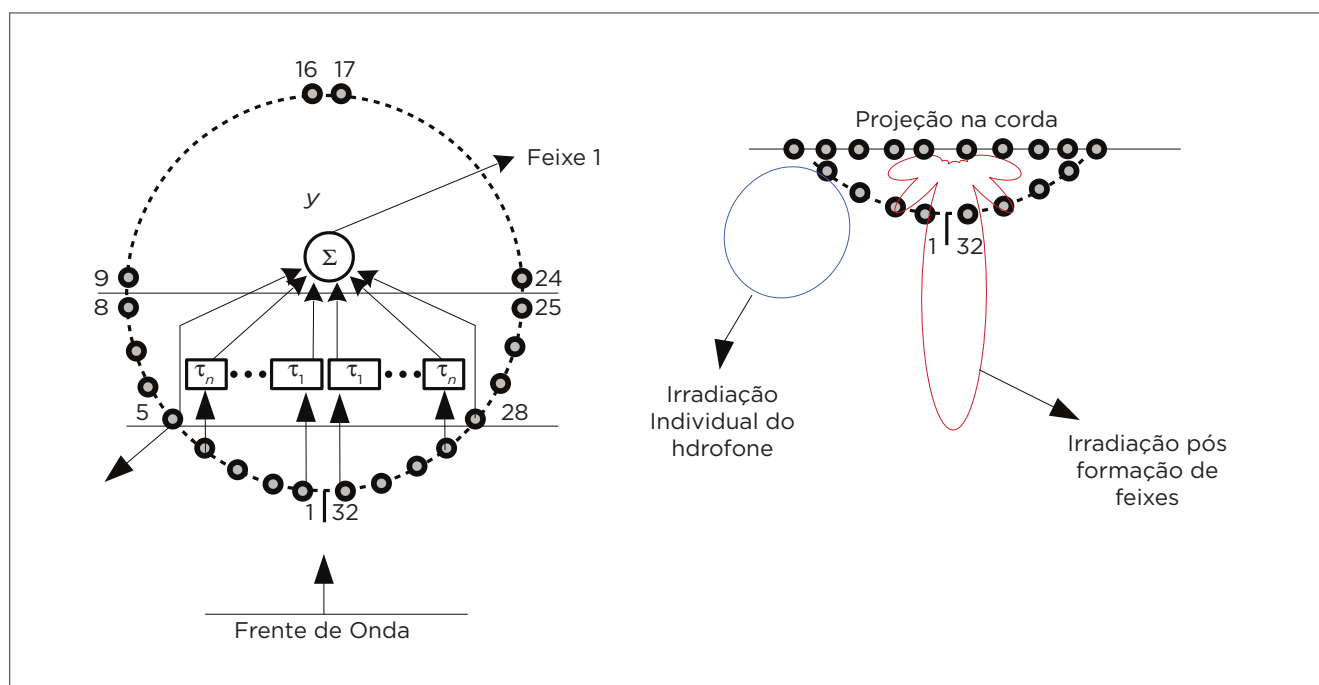


Figura 4. Formação de feixes.

como objetivo, principalmente, a coleta de dados, para um processamento *off-line* e avaliação do sistema de aquisição.

Embarcações do DepComb foram utilizadas para percorrer trechos específicos ao redor do arranjo, de forma controlada. Nessas corridas, realizou-se o monitoramento da posição da embarcação com um GPS. Foram realizadas 18 corridas com monitoramento de posição. Algumas serão relatadas a seguir.

- Corrida 1 – Utilizou-se um bote para, a partir de um ponto distante do cais, se aproximar em linha reta. Manteve-se velocidade constante e alta. A duração da corrida foi de cerca de 2,5 minutos. A Figura 5 mostra o trajeto feito pelo bote (obtido via GPS) e sua representação no gráfico de energia *waterfall*. Um ponto a ser observado é que existem reflexões nas paredes laterais do cais onde o arranjo ficou posicionado e isso é notado no gráfico de energia. A intensidade mais forte de energia é representada pela cor vermelha e a mais fraca, em azul.
- Corrida 2 – Foi avistada uma embarcação pesqueira que passava nas proximidades do arranjo e o bote, que estava posicionado em um ponto distante do arranjo, foi acionado para alcançá-la. Na Figura 6 nota-se que a gravação foi iniciada em um momento onde só existia o pesqueiro e em torno de 100 segundos o bote foi acionado (quando estava na marcação -50°).
- Corrida 3 – Utilizou-se o bote para, a partir de um ponto distante do cais, se aproximar em trajeto de zigue-zague. A duração da corrida foi de cerca de sete minutos. A Figura 7

mostra o trajeto do bote partindo da posição “a” passando por “b”, “c” até chegar em “d”. Houve um curto intervalo, entre “b” e “c”, onde a gravação foi interrompida. Através do gráfico de energia, pode-se notar o percurso do bote.

- Corrida 4 – Utilizou-se o bote e a lancha para realizar uma corrida simultânea, em trajeto circular ao arranjo, mas em direções opostas. Pela circunferência percorrida pelo bote ser menor, ele realizou duas voltas enquanto a lancha percorreu uma volta. Não houve controle da velocidade. A duração da corrida foi de cerca de três minutos. A Figura 8 apresenta a corrida 4. O gráfico de energia mostra que a energia do bote é mais intensa, sendo isso devido ao fato dele estar mais próximo do arranjo.

3.2. SEGUNDA COMISSÃO

A segunda comissão foi realizada no Aviso de Pesquisa “Aspirante Moura” (“AspMoura”), entre os dias 11 e 21 de agosto de 2015. Essa comissão teve como objetivo a demonstração da tecnologia de um sonar passivo para alguns setores da MB. O aviso foi fundeado próximo à Escola Naval, onde realizou-se o monitoramento do tráfego marítimo da região, que é via para os portos e trajeto de embarcações transitando entre Rio, Niterói e regiões próximas. A Figura 9 mostra a colocação do arranjo a bordo, o posicionamento no local de fundeio e o local onde foi exposto o SDAC.

Durante a comissão, foi realizado o monitoramento do cenário do tráfego marítimo na região por meio de fotografias

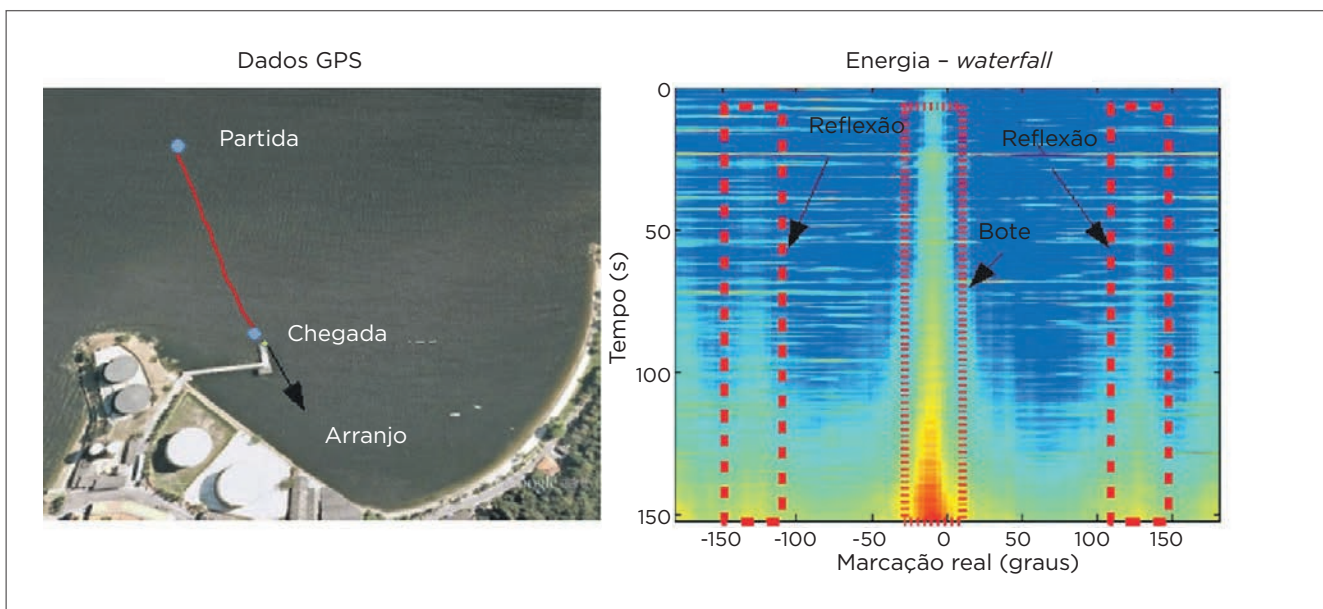


Figura 5. Corrida 1.

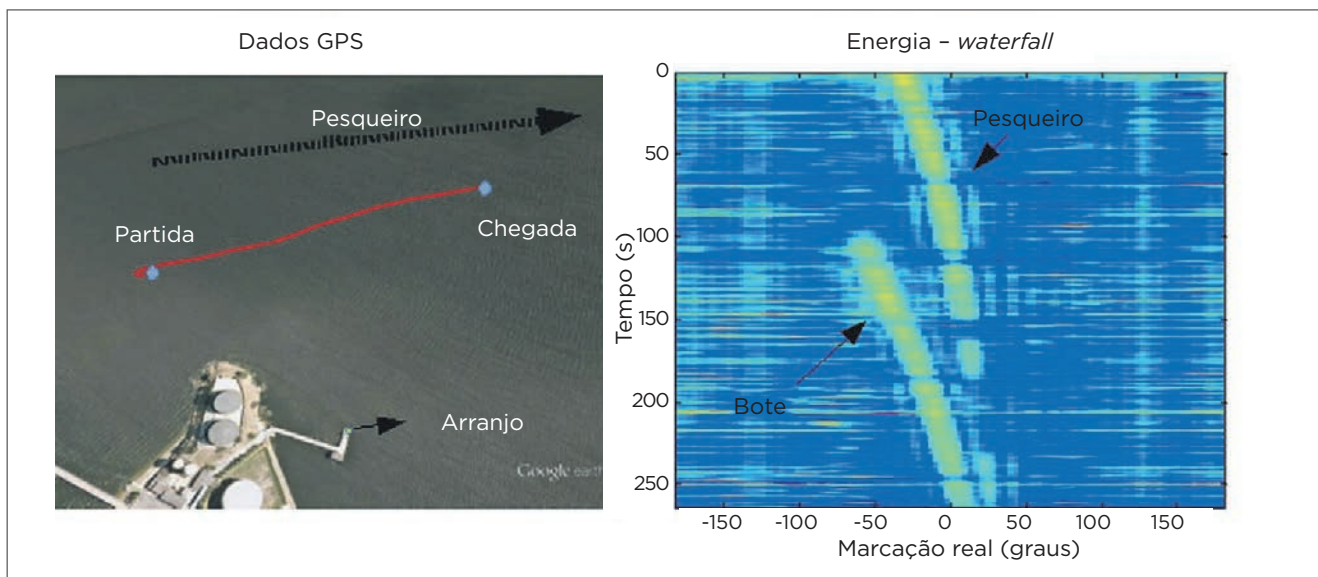


Figura 6. Corrida 2.

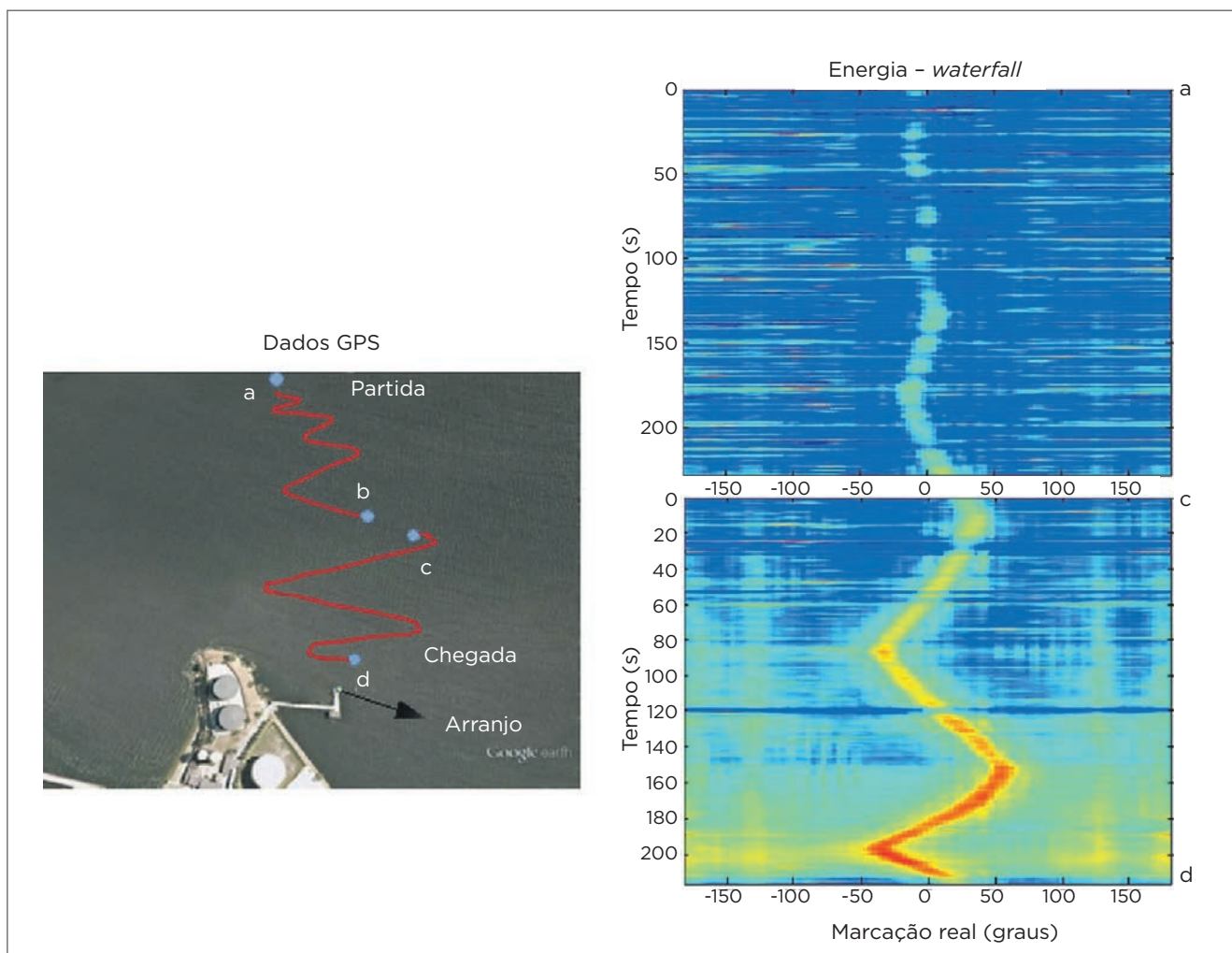


Figura 7. Corrida 3.

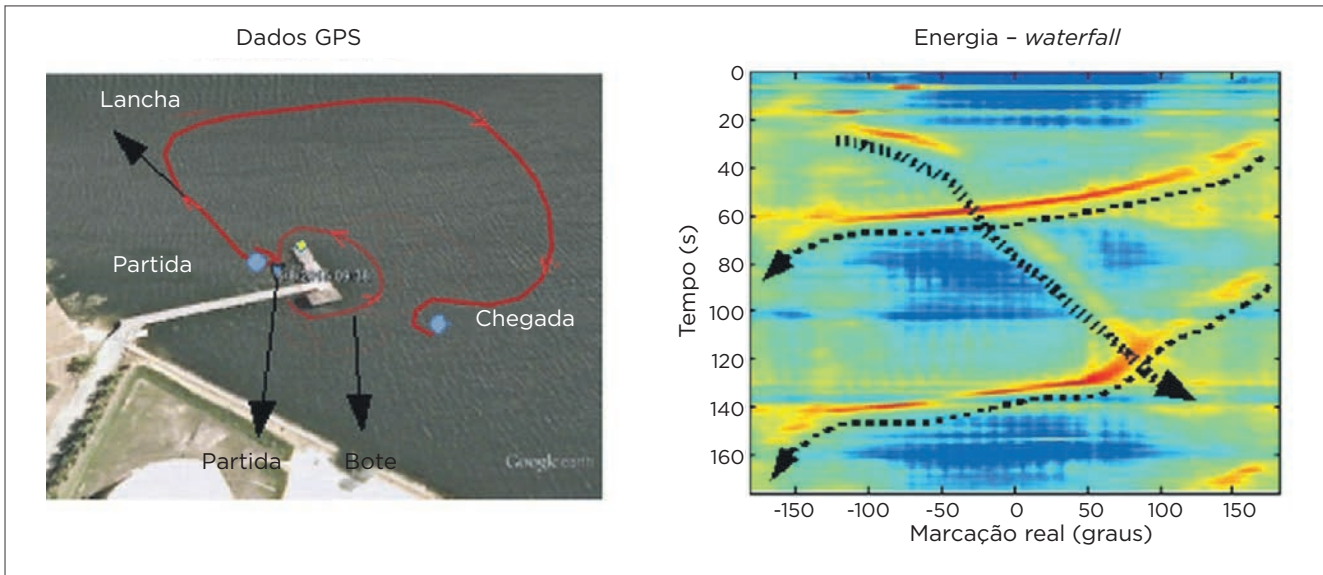


Figura 8. Corrida 4.

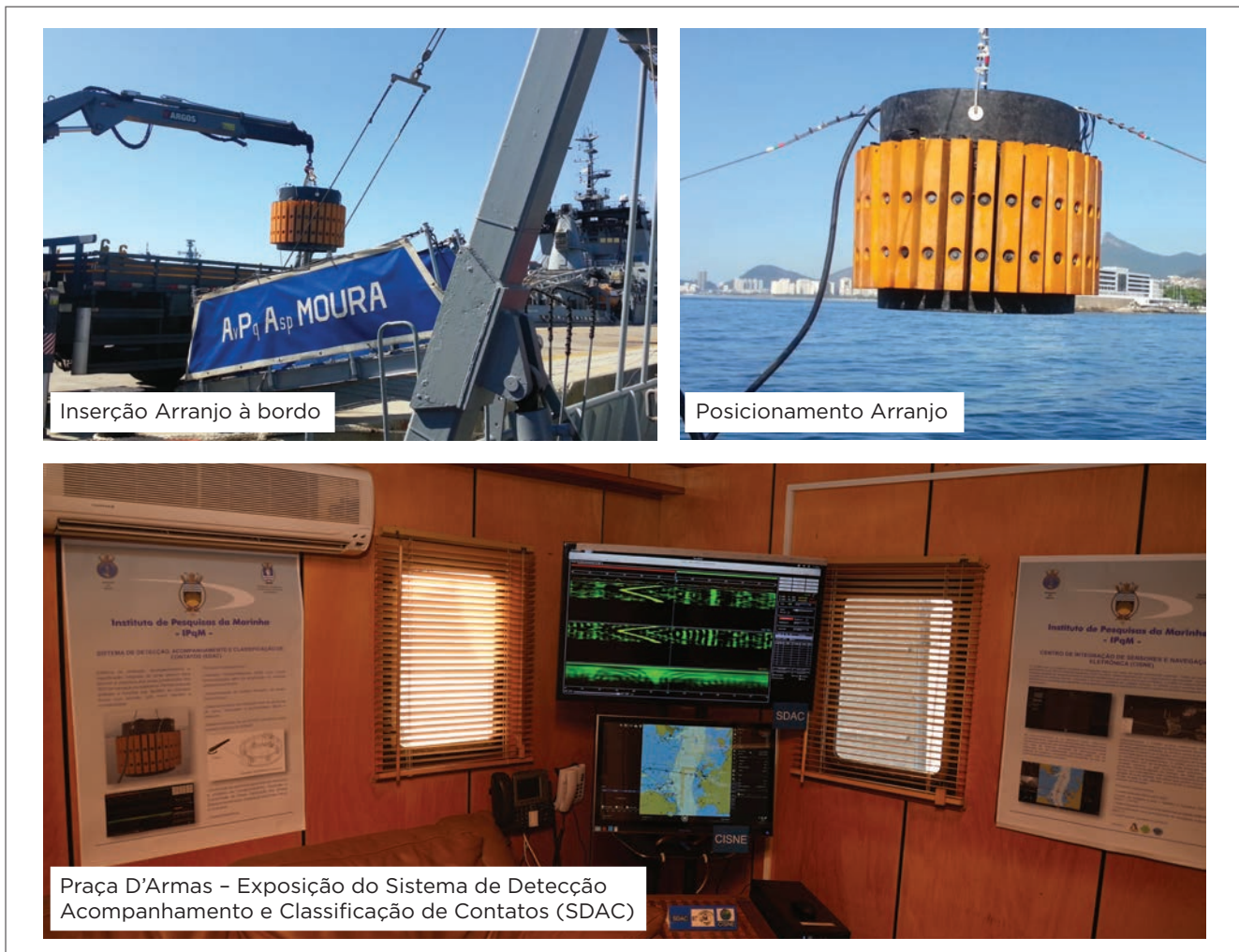


Figura 9. Comissão "Aspirante Moura".

e anotações, sendo que os dados adquiridos do arranjo foram gravados para pesquisas posteriores. A Figura 10 apresenta um navio mercante que estava saindo da Baía de Guanabara.



Figura 10. Navio mercante saindo da Baía de Guanabara.

A detecção e as análises desse navio são apresentadas na Figura 11. Nesta figura, pode-se notar o gráfico de energia *waterfall* (A), onde se detectou o contato na marcação -90° seguindo para 120° . O LOFAR (B) indica um tom característico de eixo cantante em 1.238 Hz. O DEMON (C) mostra claramente 4 harmônicos simples consecutivos, indicando 4 pás e 1 eixo, estando com 95 rpm. Essa caracterização não pode ser confirmada com o referido navio, no entanto, por experiência de especialistas, sabe-se que navios desse porte geram resultados semelhantes aos apresentados.

Devido ao grande fluxo de embarcações que trafegam na Baía de Guanabara, outro cenário frequente foi o cruzamento de diversas embarcações. Esse fato é notado na Figura 12.

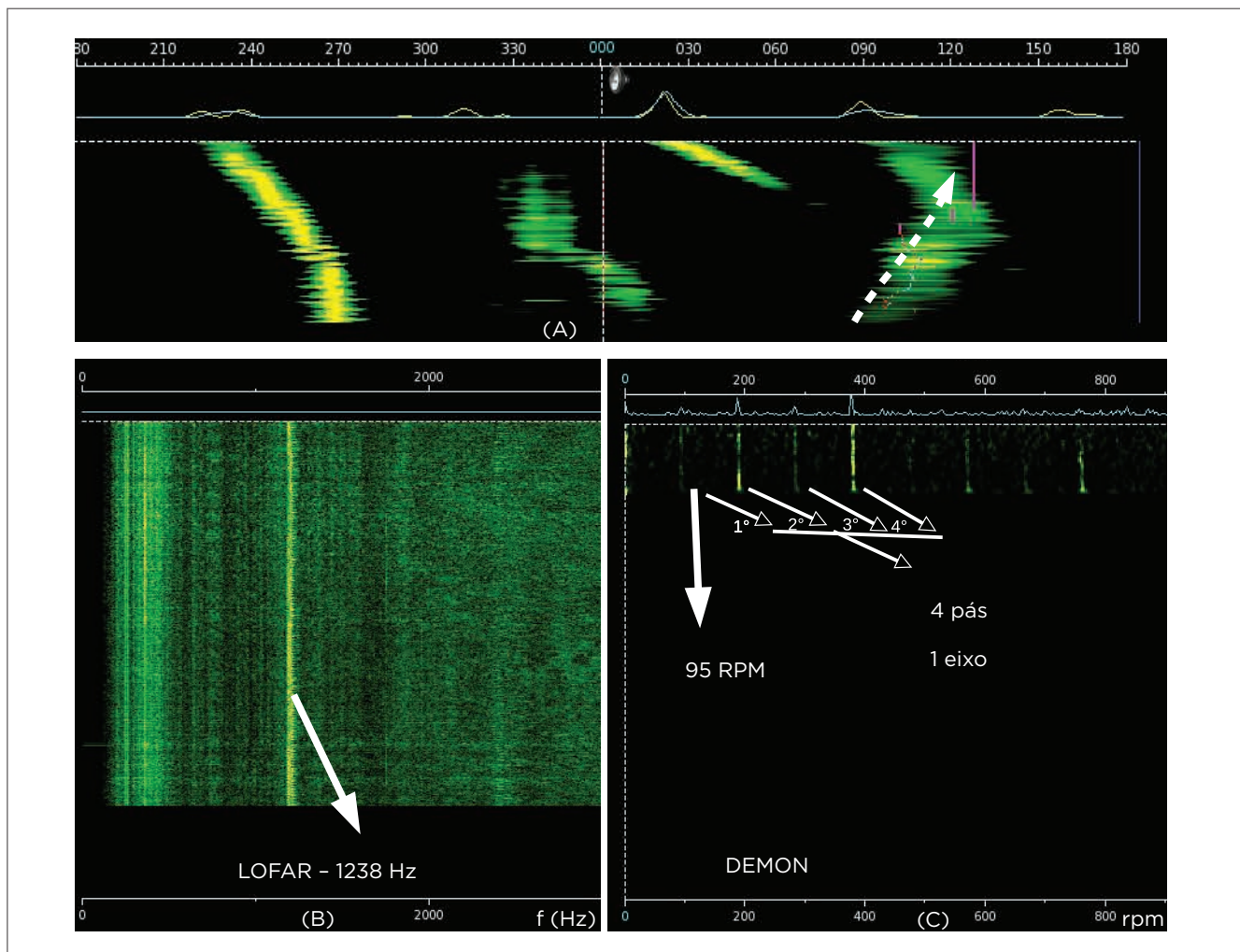


Figura 11. Análises do mercante – tela do Sistema de Detecção, Acompanhamento e Classificação de Contatos (SDAC).

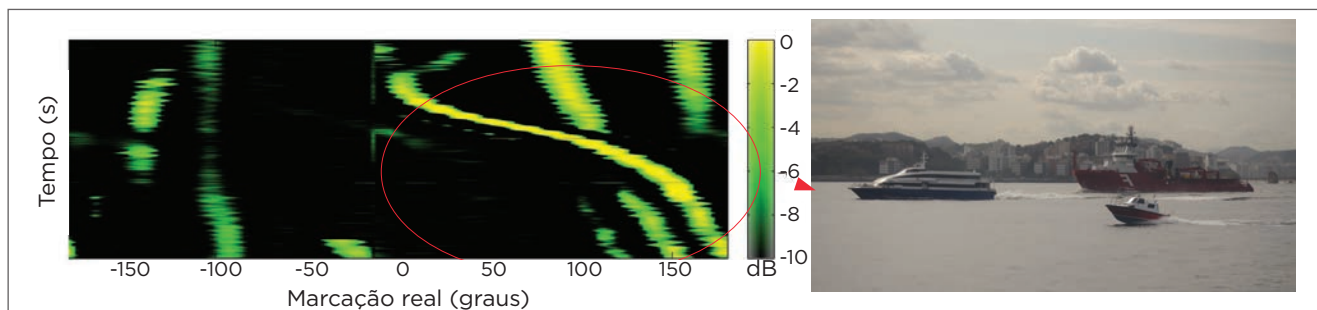


Figura 12. Cruzamento de embarcações.

4. CONCLUSÕES

O demonstrador de tecnologia de um sonar passivo visou ao domínio de todas as etapas de desenvolvimento presentes em um sonar. Os resultados apresentados indicam que, atualmente, o GSAS do IPqM é capaz de reproduzir, com a visão de pesquisa, todos os processos de um sonar.

Pode-se considerar que houve um grande avanço nas áreas de aquisição e processamento de sinais. Foram utilizadas *hardwares* comerciais, sendo o controle desses desenvolvido pelo IPqM.

Assim, o sistema de aquisição, que é o elo entre os sensores e o SDAC, foi amplamente explorado neste trabalho. Com isso, nas comissões realizadas, gravaram-se dados direto dos sensores, o que possibilita que muitas áreas de pesquisas sejam desenvolvidas.

O SDAC, que está presente em submarinos da MB, foi atualizado e integrado a essa configuração de sensores.

Acredita-se que os novos desafios serão de caráter especialista, ou seja, melhorar o que foi feito. Isso se dará com a substituição dos *hardwares* industriais por nacionais, desenvolvidos também no IPqM. Além disso, melhoras nos tipos de processamento de sinais, nas áreas de formação de feixes e detecção, podem trazer benefícios para as cadeias de análises seguintes.

A grande vantagem do domínio das etapas de aquisição e processamento é que se tem acesso a todos os parâmetros e variáveis, como por exemplo, a filtragem.

De um modo geral, nota-se nos resultados das comissões que foi possível detectar, acompanhar e realizar análises, funções essas necessárias a um sonar.

5. AGRADECIMENTOS

A equipe do GSAS agradece a colaboração, o comprometimento e o entusiasmo do servidor público Márcio Pereira Baptista, que esteve presente em todas as etapas deste projeto e teve papel fundamental para seu desenvolvimento. Também, à servidora pública Jacqueline Chiara Moura Karraz e a todos que colaboraram para o sucesso deste projeto.

Ao Depósito de Combustíveis da Marinha no Rio de Janeiro, pelo local cedido, apoio e suporte de embarcação para o experimento.

Ao Aviso de Pesquisa “Aspirante Moura”, que não mediu esforços para que a comissão ocorresse de forma bem planejada e organizada, provendo toda tranquilidade para a pesquisa.

Ao Grupo de Sistemas Digitais do IPqM, que dispôs de recursos materiais e pessoais para o cumprimento de todas as etapas do projeto. Esse grupo ainda proveu a instalação do CISNE a bordo, de forma a auxiliar a exposição sonar.

REFERÊNCIAS

ATLAS ELEKTRONIK KRUPP - TED WESTERN GERMANY PRESS. Atlas Sonar Equipment CSU 83-1/014 - Operating and Repair Instructions, Março 1988.

BOZZI, A.F. Conformação de Feixe em Sonar Passivo para um Arranjo Cilíndrico de Hidrofonos”, Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

DINIZ, P.; DA SILVA, E.; NETTO, S. Processamento Digital de Sinais - 2.ed.: Projeto e Análise de Sistemas. Bookman Editora, 2014.

FELZKY, A.M. Uma contribuição às técnicas de localização de fontes sonoras através de um sistema sonar passivo utilizando filtros fracionários. Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

LI, Q. *Digital Sonar Design in underwater acoustics: principles and applications*. Springer Science & Business Media, 2012.

MITRA, S. *Digital Signal Processing: a Computer-based Approach*. McGraw-Hill series in electrical and computer engineering. McGraw-Hill, 2011.

MOURA, N.N. *Deteção e Classificação de Sinais de Sonar Passivo Usando Métodos de Separação Cega de Fontes*. Tese de Doutorado. PEE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

RODRIGUES, P.S.M. *Estudo e análise de métodos empregados em array cilíndrico passivo para determinação da direção de fontes sonoras*. Dissertação de Mestrado. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2006.

SHERMAN, C.; BUTLER, J. *Transducers and arrays for underwater sound*. The Underwater Acoustics Series. Springer New York, 2007.

SOARES FILHO, W. *Classificação do Ruído Irrradiado por Navios usando Redes Neurais*. Tese de Doutorado. Ph.D. Thesis, PEE/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

TORRES, R.C.; SEIXAS, J.M.; SOARES FILHO, W.S. *Classificação de sinais de sonar passivo com base em componentes principais não-lineares*. *Learning and Nonlinear Models - Revista da Sociedade Brasileira de Redes Neurais*, v. 2, n. 2, p. 60-72, 2004.

VAN TREES, H.L. *Detection, estimation, and modulation theory, optimum array processing*. John Wiley & Sons, 2004.

WAITE, A.D. *Sonar for practising engineers*. John Wiley & Sons Incorporated, 2002.