



# ESCOLA NAVAL



*ta sainte & bief faire*

António Maria Marques Lopes

## Detecção Acústica através de Fibras Óticas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha



Alfeite

2025





# ESCOLA NAVAL

*talant de bi-faire*



**António Maria Marques Lopes**

*Deteção Acústica através de Fibras Óticas*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha

**Orientação de:** Professor Doutor Victor José de Almeida e Sousa Lobo

**Co-orientado por:** Professor Auxiliar Hugo Filipe Diniz Policarpo

*O Aluno Mestrando,*

*O Orientador,*

---

ASPOF M Marques Lopes

---

Professor Victor Lobo

Alfeite

2025



Se algo pode correr mal, correrá mal. E no pior momento possível.

Lei de Murphy



Dedico a minha família, amigos e todos aqueles que com coragem se levantam após  
falhar.



# Agradecimentos

A realização deste trabalho contou com o apoio indispensável de várias pessoas e instituições, às quais endereço, de seguida, o meu profundo agradecimento.

Agradeço a minha família pelo apoio e paciência para tanto tempo passado longe de casa.

Ao meu Orientador Professor Doutor Victor José de Almeida e Sousa Lobo pelo apoio, total disponibilidade, conhecimento e acompanhamento neste percurso.

Ao meu Coorientador Professor Auxiliar Hugo Filipe Diniz Policarpo pelo apoio, zelo e paciência durante essenciais para o cumprimento desta tarefa.

Agradeço ao Departamento de Ciências e Tecnologia pelo apoio para toda execução prática e, em especial, ao CFR EN-AEL Barbosa do Vale, ao Sargento Fernandes e Sargento Jacinto.

Aos membros do projeto FIBERMARS, aos alunos e docentes que anteriormente a mim participaram e criaram caminho para eu poder executar este estudo.

As unidades da Marinha que permitiram a execução dos diversos testes, nomeadamente IH, DITIC e DMS2.

E por fim, agradeço aos meus amigos de longa data Henrique, Tomás, Sara, Leonor, Mateus, Pinho, Brito, Panzo, Baptista, Marbelha, Abreu, Mendes e Soares.



# Resumo

A monitorização do ambiente marítimo enfrenta desafios crescentes, exigindo soluções passivas (de modo a não serem detetadas), escaláveis e com baixo custo de operação. A tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS), baseada em fibras óticas, surge como alternativa promissora aos hidrofones clássicos para deteção e caracterização acústica de tráfego marítimo, aproveitando infraestruturas existentes de cabos. Esta dissertação avalia a viabilidade do DAS em cenários reais (REPMUS 2024: Sesimbra, Troia e Carcavelos) e em ensaios controlados de tanque, comparando diferentes cabos e condições de acoplamento.

Para confirmar a origem dos sinais captados no DAS, foram usados registos Automatic Identification System (AIS). Foram selecionadas janelas de dados em torno da hora e posição da passagem de navios sobre o cabo (reportados por AIS). Esses dados foram pre-processados usando um filtro Butterworth passa-alto de 4ª ordem, removendo a componente DC, e usando uma janela de Hamming antes de fazer a análise espectral. Sobre estes dados foram feitas análises de potência integrada por banda (Frequency Band Energy - FBE), transformadas de Fourier (FFT) quer de grandes segmentos com grande resolução em frequência, quer na forma de espectrogramas para observar variações no tempo, e foram calculadas relações sinal-ruído (SNR) sempre que possível. No mar, observou-se concentração de energia relevante em baixas frequências, orientando a filtragem para o intervalo útil. Em tanque, a comparação entre cabos e acoplamentos evidenciou diferenças marcadas por frequência, com melhor SNR em configurações na coluna de água e pior desempenho quando enterrados, bem como efeitos dependentes do contexto no uso de ressonadores. Nos testes preliminares feitos no âmbito do projeto Fibermars, observou-se que os cabos enterrados conseguiam ter melhores relações sinal-ruído do que os cabos pousados no fundo ou na coluna de água. Os resultados aparentemente contraditórios obtidos em tanque indicam que esses maus resultados se deviam ao ruído de fluxo (flow-noise) da água sobre os cabos.

Os testes efetuados em tanque foram extremamente importantes para o projeto Fibermars, por serem os primeiros deste género. No entanto, foram limitados pelas limitações da fonte emissora, que tinha uma banda útil limitada e que não

abrangia as frequências muito baixas, e pela ausência de uma calibração absoluta, que levou a que todas as medições sejam relativas à condição base. Ainda assim, os resultados suportam o potencial do DAS como complemento aos meios tradicionais de vigilância e para reforço do conhecimento situacional marítimo, recomendando campanhas adicionais com varrimento espectral alargado, calibração e controlo de variáveis ambientais.

**Palavras-chave:** Detecção Acústica Distribuída, Fibra Ótica, Acústica Submarina, Consciência Situacional Marítima, Cabos de Telecomunicações Submarinos

# Abstract

Maritime environment monitoring faces increasing challenges, requiring passive solutions (so as not to be detected), scalable, and with low operating cost. Distributed Acoustic Sensing (DAS) technology, based on optical fibers, emerges as a promising alternative to classical hydrophones for the detection and characterization of maritime traffic, leveraging existing cable infrastructures. This dissertation evaluates the feasibility of DAS in real scenarios (REPMUS 2024: Sesimbra, Tróia, and Carcavelos) and in controlled tank tests, comparing different cables and coupling conditions.

To confirm the origin of the signals captured by DAS, Automatic Identification System (AIS) records were used. Data windows were selected around the time and position of vessel passages over the cable (as reported by AIS). These data were pre-processed using a 4th-order high-pass Butterworth filter to remove the DC component and applying a Hamming window prior to spectral analysis. On these data, band-integrated power analyses (Frequency Band Energy - FBE) were performed, as well as Fourier transforms (FFT) on both long segments for high frequency resolution and in the form of spectrograms to observe temporal variations. Signal-to-noise ratios (SNR) were also calculated whenever possible. At sea, relevant energy concentration was observed at low frequencies, guiding filtering towards the useful band. In the tank, the comparison between cables and coupling configurations revealed marked frequency-dependent differences, with better SNR in water-column configurations and worse performance when buried, as well as context-dependent effects when using resonators. In preliminary tests conducted within the Fibermars project, it was observed that buried cables could achieve better signal-to-noise ratios than cables laid on the seabed or in the water column. The apparently contradictory results obtained in the tank suggest that these poor results were due to flow noise generated by water over the cables.

The tank tests were extremely important for the Fibermars project, as they were the first of their kind. However, they were limited by the characteristics of the source, which had a limited useful bandwidth and did not cover very low frequencies, and by the absence of absolute calibration, which meant that all measurements are

relative to the baseline condition. Nevertheless, the results support the potential of DAS as a complement to traditional surveillance means and for enhancing maritime situational awareness, recommending additional campaigns with broader spectral coverage, calibration, and control of environmental variables.

**Keywords:** Distributed Acoustic Sensing, Optical Fiber, Underwater Acoustics, Maritime Situational Awareness, Submarine Telecommunication Cables

# Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Enquadramento e justificação do tema . . . . .           | 1         |
| 1.2      | Objeto de estudo e sua delimitação . . . . .             | 2         |
| 1.3      | Objetivo . . . . .                                       | 3         |
| 1.4      | Metodologia de investigação . . . . .                    | 4         |
| 1.5      | Trabalhos publicados . . . . .                           | 4         |
| 1.6      | Estrutura . . . . .                                      | 5         |
| <b>2</b> | <b>Enquadramento Teórico</b>                             | <b>7</b>  |
| 2.1      | Fundamentos da Propagação do Som . . . . .               | 7         |
| 2.1.1    | Características do Som . . . . .                         | 8         |
|          | Frequência, Período e Comprimento de Onda . . . . .      | 8         |
|          | Intensidade Acústica . . . . .                           | 9         |
|          | Decibel (dB) . . . . .                                   | 9         |
| 2.2      | Processamento de Sinal . . . . .                         | 9         |
| 2.2.1    | Teorema da Amostragem . . . . .                          | 10        |
| 2.2.2    | Transformada de Fourier . . . . .                        | 11        |
| 2.3      | Fibra Ótica . . . . .                                    | 12        |
| 2.3.1    | Tipos de Cabos Submarinos . . . . .                      | 12        |
| 2.3.2    | Fusão de Fibras Óticas (Splicing) . . . . .              | 14        |
| 2.4      | Tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS) . . . . .  | 14        |
| 2.4.1    | Modo de Funcionamento . . . . .                          | 15        |
| <b>3</b> | <b>Estado da Arte</b>                                    | <b>17</b> |
| 3.1      | Funcionamento dos Hidrofonos Digitais Modernos . . . . . | 18        |
| 3.2      | Tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS) . . . . .  | 19        |
| <b>4</b> | <b>Trabalho Experimental</b>                             | <b>21</b> |
| 4.1      | FIBERMARS . . . . .                                      | 21        |
| 4.1.1    | REPMUS 2024 . . . . .                                    | 21        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 4.1.2    | Testes Troia . . . . .   | 22        |
|          | Equipamentos e Meios Empenhados . . . . .                        | 22        |
|          | Planeamento e trabalhos realizados . . . . .                     | 24        |
| 4.1.3    | Testes na Alemanha . . . . .                                     | 25        |
| 4.2      | Testes no Tanque de Arquitetura Naval . . . . .                  | 27        |
| 4.2.1    | Tanque de Arquitetura naval . . . . .                            | 28        |
| 4.2.2    | Cabos de fibra ótica . . . . .                                   | 28        |
|          | Hidrofone . . . . .  | 29        |
| 4.2.3    | Altifalante subaquático . . . . .                                | 30        |
| 4.3      | Ficheiros Áudio . . . . .  | 30        |
| <b>5</b> | <b>Resultados Experimentais</b>                                  | <b>33</b> |
| 5.1      | REPMUS 2024 . . . . .  | 33        |
| 5.1.1    | Troia . . . . .  | 33        |
| 5.1.2    | Estação de Cabos de Sesimbra . . . . .                           | 34        |
| 5.2      | Estação de Cabos de Carcavelos . . . . .                         | 37        |
| 5.3      | Testes de Troia . . . . .  | 39        |
| 5.4      | Testes Tanque de Arquitetura Naval . . . . .                     | 40        |
|          | <b>Conclusão</b>   | <b>44</b> |
|          | <b>Bibliografia</b>  | <b>49</b> |
|          | <b>Apêndices</b>   | <b>53</b> |
|          | <b>A Cabo de Carcavelos - Tipo de Armadura</b>                   | <b>53</b> |
|          | <b>B Testes Troia - Posições Hidrofones</b>                      | <b>55</b> |
|          | <b>C Testes Troia - Planeamento de Séries</b>                    | <b>57</b> |
| C.1      | Série ALFA . . . . .   | 57        |
| C.2      | Série BRAVO . . . . .  | 58        |
| C.3      | Série CHARLIE . . . . .  | 58        |
| C.4      | Série DELTA . . . . .  | 59        |
|          | <b>D Testes Alemanha - Esquema dos cabos de Fibra</b>            | <b>61</b> |
| D.1      | Instalação dia 1 . . . . .                                       | 61        |
| D.2      | Instalação dia 2 . . . . .                                       | 61        |
|          | <b>E Testes Tanque de Arquitetura Naval - Gráficos e Tabelas</b> | <b>63</b> |

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| E.1           | Tabela de valores para 200Hz e 1KHz . . . . .   | 63        |
| E.2           | Gráficos para 1KHz . . . . .  | 63        |
| E.3           | Função Transferência FOC 0 . . . . .  | 64        |
| E.4           | Função Transferência FOC 2 . . . . .  | 64        |
| E.5           | Função Transferência FOC 3 . . . . .  | 65        |
| E.6           | Função Transferência SA . . . . .   | 65        |
| <b>Anexos</b> |   | <b>67</b> |
| <b>I</b>      | <b>Especificações do modelo da Máquina de Fusão de Fibra Ótica<br/>Signal Fire AI-9</b> | <b>67</b> |
| <b>II</b>     | <b>Especificações do modelo do Hidrofone Cabelado TP-1</b>                              | <b>69</b> |
| <b>III</b>    | <b>Especificações do modelo do Hidrofone Autônomo SR-1</b>                              | <b>73</b> |
| <b>IV</b>     | <b>Especificações do FOC 3</b>  | <b>77</b> |
| <b>V</b>      | <b>Especificações do FOC 1</b>  | <b>79</b> |
| <b>VI</b>     | <b>Especificações do FOC X</b>  | <b>81</b> |
| <b>VII</b>    | <b>Especificações do cabo SA</b>  | <b>85</b> |
| <b>VIII</b>   | <b>Especificações do Modelo do Altifalante Subaquático LL916C</b>                       | <b>89</b> |
| <b>IX</b>     | <b>Especificações do FOC 0</b>  | <b>93</b> |
| <b>X</b>      | <b>Especificações do FOC 2</b>  | <b>95</b> |



# Lista de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Cabos submarinos em Portugal. Fonte: <a href="https://www.submarinecablemap.com">https://www.submarinecablemap.com</a> . . . . .  | 1  |
| 2.1  | Modulação da pressão ambiente. Fonte: Hansen, 2001 . . . . .  | 8  |
| 2.2  | Esquema da estrutura de uma fibra ótica. Fonte: Adaptado de Addanki et al., 2018 . . . . .  | 12 |
| 2.3  | Comparação entre fibra monomodo e fibra multimodo. Fonte: Adaptado de Buck, 2003. . . . .   | 13 |
| 2.4  | Tipos de cabos submarinos de fibra ótica: Lightweight (LW), Lightweight Protected (LWP), Single Armor (SA) e Double Armor (DA).. Fonte: <a href="https://www.hmntech.com/enWetPlants/37408.jhtml">https://www.hmntech.com/enWetPlants/37408.jhtml</a> . . . . . | 13 |
| 2.5  | Esquema explicativo da fusão duas fibras alinhadas, fusão por arco elétrico e resultante conexão contínua. Fonte: Adaptado de Association, 2025 . . . . .   | 14 |
| 2.6  | Esquema de uma aplicação do sistema DAS. Fonte: Adaptado de Sensing, 2023. . . . .  | 15 |
| 4.1  | Passagem do <i>NRP Hydra</i> durante testes em Troia. . . . .   | 22 |
| 4.2  | Esquema da instalação dos equipamentos em Troia. . . . .  | 23 |
| 4.3  | Ligação das fibras para testes em Troia. . . . .  | 23 |
| 4.4  | Esquema para instalação dos hidrofones e fotografia de um hidrofone TP-1 . . . . .  | 24 |
| 4.5  | Levantamento Hidrografico efetuado pelo IH. . . . .   | 25 |
| 4.6  | Esquema da instalação dos testes na WTD 71. . . . .   | 26 |
| 4.7  | Navio FGS Helmsand durante os testes em Eckernförde. . . . .  | 26 |
| 4.8  | Esquema dos testes no Tanque de Arquitetura Naval. . . . .  | 28 |
| 4.9  | Caixas de Ressonância para acoplar nos FOC, com o fatiamento (slicing) efetuado no <i>PrusaSlicer</i> . . . . .   | 30 |
| 4.10 | Altifalante subaquático LL916C da Lubell Labs. . . . .  | 30 |
| 5.1  | DAS Configurator Display com passagem de Ferry em Troia . . . . .   | 34 |
| 5.2  | Passagens de Ferries sucessivas no dia 24 de Setembro de 2024 . . . . .   | 34 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 5.3  | Sagres Cable . . . . .   | 35 |
| 5.4  | Posições AIS . . . . .   | 35 |
| 5.5  | Amostras do intervalo da passagem . . . . .  | 36 |
| 5.6  | FFT inicial para os dados da passagem sobre o cabo . . . . .   | 36 |
| 5.7  | Gráfico FBE em que o eixo x representa a distância ao longo do cabo; o eixo y representa instantes temporais em ordem crescente; e a cor representa a intensidade do sinal captado pelo DAS. . . . . | 37 |
| 5.8  | Tipos de Navios que efetuaram passagens durante as medições de Carcavelos até Abril . . . . .  | 38 |
| 5.9  | Cabo de Carcavelos com as posições AIS da embarcação de pilotos TORRE DE BELEM (Azul) e navio-tanque PIS PROLIFIC (Violeta) . . . . .  | 38 |
| 5.10 | Espectrograma das posição da passagem de dois navios . . . . .   | 39 |
| 5.11 | Gráfico FBE da passagem da Série BRAVO do <i>NPR HIDRA</i> . . . . .   | 40 |
| 5.12 | Gráficos do sinal original do hidrofone quando iluminado a $200Hz$ na gama de interesse (0 a $2,5kHz$ ) . . . . .  | 42 |
| 5.13 | Gráficos do sinal original do hidrofone quando iluminado a $200Hz$ em toda a gama que o hidrofone capta (0 a $17,5kHz$ ) . . . . .   | 42 |

# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Posições dos Hidrofonos . . . . .  | 24 |
| 4.2 | Comparação entre valores esperados e medidos da potência acústica. . . . . | 31 |
| 5.1 | Sensores e acoplamento (TT) . . . . .                                      | 41 |
| 5.2 | Resultados para frequência $200Hz$ . . . . .                               | 43 |
| 5.3 | Resultados para frequência $1KHz$ . . . . .                                | 44 |
| C.1 | Test runs (speed, distance to pier, heading, vessels) . . . . .            | 57 |
| C.2 | Run specification . . . . .  | 58 |
| C.3 | Run specification . . . . .  | 58 |
| C.4 | Run specification . . . . .  | 59 |



# Lista de Equações

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Função Senoidal . . . . .                        | 8  |
| 2.2  | Período . . . . .                                | 8  |
| 2.3  | Comprimento de Onda . . . . .                    | 8  |
| 2.4  | Intensidade Acústica . . . . .                   | 9  |
| 2.5  | Decibel - Pressão . . . . .                      | 9  |
| 2.6  | Decibel - Intensidade . . . . .                  | 9  |
| 2.7  | Período de Amostragem . . . . .                  | 10 |
| 2.8  | Frequência de Nyquist . . . . .                  | 10 |
| 2.9  | Identidade de Euler . . . . .                    | 11 |
| 2.10 | Transformada de Fourier . . . . .                | 11 |
| 2.11 | Transformada de Fourier Inversa . . . . .        | 11 |
| 2.12 | Transformada de Fourier Discreta (DFT) . . . . . | 11 |
| 2.13 | Relação entre frequências . . . . .              | 11 |
| 2.14 | Intensidade de retroespalhamento . . . . .       | 15 |
| 2.15 | Variação de fase por deformação . . . . .        | 16 |
| 2.16 | Alongamento da fibra . . . . .                   | 16 |
| 2.17 | Resolução espacial do sistema . . . . .          | 16 |



# Lista de Abreviaturas

|               |   |
|---------------|---|
| <b>AIS</b>    | <b>A</b> utomatic <b>I</b> dentification <b>S</b> ystem   |
| <b>CEOM</b>   | <b>C</b> entro de <b>E</b> xperimentação <b>O</b> peracional da <b>M</b> arinha   |
| <b>CINAV</b>  | <b>C</b> entro de <b>I</b> nvestigação <b>N</b> AVal  |
| <b>CMRE</b>   | <b>C</b> entre for <b>M</b> aritime <b>R</b> esearch and <b>E</b> xperimentation  |
| <b>CNUDM</b>  | <b>C</b> onvenção das <b>N</b> ações <b>U</b> nidas sobre o <b>D</b> ireito do <b>M</b> ar                              |
| <b>CSM</b>    | <b>C</b> onhecimento <b>S</b> ituacional <b>M</b> arítimo   |
| <b>DAS</b>    | <b>D</b> istributed <b>A</b> coustic <b>S</b> ensing  |
| <b>DITIC</b>  | <b>D</b> ireção de <b>T</b> ecnologias de <b>I</b> nformação e <b>C</b> omunicação                                      |
| <b>DMS</b>    | <b>D</b> estacamentos de <b>M</b> ergulhadores <b>S</b> apadores 2  |
| <b>FBE</b>    | <b>F</b> requency <b>B</b> and <b>E</b> nergy   |
| <b>FFT</b>    | <b>F</b> ast <b>F</b> ourier <b>T</b> ransform  |
| <b>FOC</b>    | <b>F</b> iber <b>O</b> ptic <b>C</b> able   |
| <b>GPS</b>    | <b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem   |
| <b>HDAS</b>   | <b>H</b> igh-fidelity <b>D</b> istributed <b>A</b> coustic <b>S</b> ensing  |
| <b>ICPC</b>   | <b>I</b> nternational <b>C</b> able <b>P</b> rotection <b>C</b> ommittee  |
| <b>IEEE</b>   | <b>I</b> nstitute of <b>E</b> lectrical and <b>E</b> lectronics <b>E</b> ngineers                                       |
| <b>IH</b>     | <b>I</b> nstituto <b>H</b> idrográfico  |
| <b>LPG</b>    | <b>L</b> iquefied <b>P</b> etroleum <b>G</b> as   |
| <b>NRP</b>    | <b>N</b> avio da <b>R</b> epública <b>P</b> ortuguesa   |
| <b>QGIS</b>   | <b>Q</b> uantum <b>G</b> eographic <b>I</b> nformation <b>S</b> ystem   |
| <b>REPMUS</b> | <b>R</b> obotic <b>E</b> xperimentation and <b>P</b> rototyping using <b>M</b> aritime <b>U</b> ncrewed <b>S</b> ystems |
| <b>SA</b>     | <b>S</b> ingle <b>A</b> rmor  |
| <b>SNR</b>    | <b>S</b> ignal-to- <b>N</b> oise <b>R</b> atio  |
| <b>TCP</b>    | <b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol   |
| <b>UDP</b>    | <b>U</b> ser <b>D</b> atagram <b>P</b> rotocol  |
| <b>VTs</b>    | <b>V</b> essel <b>T</b> raffic <b>S</b> ervice  |
| <b>ZEE</b>    | <b>Z</b> ona <b>E</b> conómica <b>E</b> xclusiva  |



# Lista de Símbolos

|                  |                            |                               |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|
| $t$              | tempo                      | s                             |
| $T$              | período                    | s                             |
| $f$              | frequência                 | Hz                            |
| $f_s$            | frequência de amostragem   | Hz                            |
| $N$              | número de amostras         |                               |
| $x$              | distância ao longo do cabo | m                             |
| $z$              | profundidade               | m                             |
| $L_g$            | comprimento de medição     | m                             |
| $\Delta x$       | deslocamento               | m                             |
| $v$              | velocidade                 | $\text{m s}^{-1}$ (kn)        |
| $P$              | potência                   | W ( $\text{J s}^{-1}$ )       |
| $E$              | energia                    | J                             |
| $V_{\text{RMS}}$ | tensão eficaz              | V                             |
| $S$              | sensibilidade do hidrofone | $\text{V } \mu\text{Pa}^{-1}$ |
| SNR              | relação sinal/ruído        | dB                            |
| IL               | perda de inserção          | dB                            |
| RL               | perda de retorno           | dB                            |
| $\theta$         | rumo                       | °                             |
| $\omega$         | frequência angular         | $\text{rad s}^{-1}$           |
| $\phi$           | fase                       | rad                           |



# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo introdutório tem como propósito contextualizar e fundamentar a temática abordada na presente dissertação, identificando o objeto de estudo, os objetivos delineados e os respetivos limites de atuação. Adicionalmente, apresenta-se a metodologia adotada ao longo da investigação, bem como a estrutura do trabalho.

### 1.1 Enquadramento e justificação do tema

Portugal possui uma posição geoestratégica ímpar no contexto atlântico (Reza, 2019), funcionando como plataforma natural entre os continentes europeu, africano e americano. Esta localização privilegiada é vital para a interligação global e a segurança das redes de telecomunicações. Esta importância é amplificada pela presença de uma vasta rede de cabos submarinos que cruzam a Zona Económica Exclusiva (ZEE) portuguesa (Figura 2.1). Face à responsabilidade de proteger estas infraestruturas críticas, consagrada na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) (Nations, 1982), é urgente desenvolver soluções tecnológicas que permitam a sua monitorização eficaz e contínua.

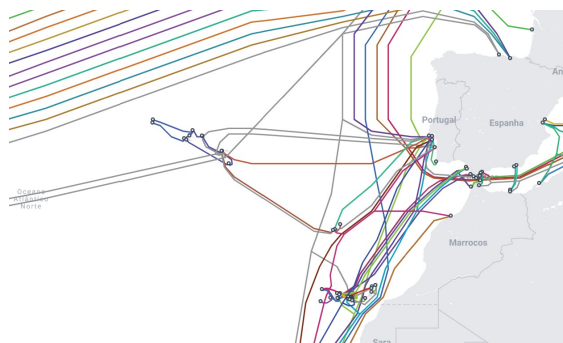


FIGURA 1.1: Cabos submarinos em Portugal.  
Fonte: <https://www.submarinecablemap.com>

Os sistemas tradicionais de vigilância marítima, como o radar costeiro, o Automatic Identification System (AIS) (e.g. Smith & Chen, 2021) ou o patrulhamento com meios navais e aéreos, apresentam limitações operacionais. Estas incluem cobertura limitada, dependência de condições meteorológicas e a impossibilidade de detetar embarcações não cooperativas ou de pequenas dimensões, bem como dificuldade em detetar submarinos.

Neste contexto, a tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS) (e.g. Xenaki, 2025) surge como uma solução promissora. Esta tecnologia permite transformar cabos de fibra ótica em sensores acústicos distribuídos, capazes de detetar vibrações ao longo do seu percurso com elevada resolução. O DAS baseia-se na retroespalhação de Rayleigh em fibras óticas, usualmente permitindo captar alterações causadas pela passagem de navios ou outras perturbações submarinas. O sistema AP Sensing<sup>TM</sup>, por exemplo, possibilita a visualização em tempo real da energia acústica ao longo da fibra, com capacidade de segmentação por banda de frequência (Sensing, 2023).

A combinação entre a elevada densidade de cabos submarinos em território português, a responsabilidade internacional na sua proteção e as limitações dos meios tradicionais de monitorização justificam plenamente a pertinência deste estudo. A tecnologia DAS representa uma oportunidade para reforçar o Conhecimento Situacional Marítimo (CSM) de Portugal com base em infraestruturas já existentes e com custos operacionais reduzidos (CMRE, 2020).

## 1.2 Objeto de estudo e sua delimitação

Portugal, enquanto nação marítima por excelência, tem no mar não apenas uma via de comunicação e comércio, mas também uma componente crítica da sua segurança energética, ambiental, alimentar e militar. O Atlântico, onde se insere geograficamente, é hoje palco de intensos fluxos de tráfego marítimo, cabos submarinos de comunicações, redes de energia, rotas migratórias e dinâmicas de poder geopolítico que exigem atenção constante e capacidades de vigilância sofisticadas. Neste contexto, a proteção das linhas de comunicação subaquáticas e a deteção atempada de atividades anómalas ganham relevo como elementos centrais para a segurança nacional e para a credibilidade internacional de Portugal enquanto Estado costeiro (Bernardino, 2024; Reza, 2019).

É neste quadro que se insere o presente trabalho, que tem como objeto de estudo a aplicação da tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS) para reforçar a

vigilância marítima e a percepção situacional em ambiente subaquático. A tecnologia DAS permite transformar cabos de fibra ótica convencionais em sensores acústicos distribuídos ao longo de extensões muito consideráveis. Com base na retroespalhação de Rayleigh, estes sistemas conseguem detetar perturbações mecânicas, como as provocadas pela passagem de navios, oferecendo uma solução de monitorização contínua, passiva e discreta (DOSITS, 2023; Zhan, 2020).

A adoção desta tecnologia representa um passo significativo para a Marinha Portuguesa, que enfrenta o desafio de assegurar vigilância eficaz sobre uma área marítima extensa (Blanco, 2021). A possibilidade de utilizar infraestruturas já existentes, como cabos de comunicações submarinos, como base para uma rede de sensores acústicos de longo alcance, permite à Marinha ampliar as suas capacidades operacionais sem recorrer a sistemas dispendiosos ou tecnologicamente invasivos. Mesmo a instalação de novos sistemas DAS, com a instalação de novos cabos, para vigilância costeira terá um impacto económico menor, assim como maior facilidade de manutenção, em comparação com instalações de hidrofones convencionais. O DAS pode, assim, complementar meios tradicionais como o radar, o AIS e o patrulhamento naval, superando as suas limitações, nomeadamente em cenários de silêncio radioelétrico, navegação furtiva ou interferência intencional (Hughes, 1998).

Este estudo, por impossibilidade de aquisição de outros sistemas de interrogação, encontra-se delimitado ao uso de sistemas desenvolvidos pela empresa AP Sensing<sup>TM</sup>. A aplicação prática é desenvolvida no âmbito do projeto internacional FIBERMARS financiada pela European Defence Agency (EDA), que reúne entidades de Portugal, Alemanha e Grécia com o objetivo comum de explorar soluções avançadas para vigilância e segurança marítima com base em tecnologia DAS.

Assim, o presente trabalho insere-se numa linha de investigação que procura responder a desafios reais e emergentes da segurança marítima nacional, demonstrando como a convergência entre tecnologia, geoestratégia e infraestrutura existente pode oferecer soluções inovadoras para a defesa de um país que tem no mar o seu maior ativo estratégico.

## **1.3 Objetivo**

O principal objetivo desta tese é estudar o comportamento da fibra ótica como sensor acústico através da tecnologia DAS em diferentes tipos de cabos, comparando o seu desempenho com o de hidrofones convencionais, tanto em ambiente

laboratorial como em condições reais de operação. A investigação visa avaliar a sensibilidade, a resolução e a fiabilidade da resposta acústica da fibra ótica em diversos cenários, contribuindo para validar a sua aplicação prática em vigilância marítima e deteção subaquática.

## 1.4 Metodologia de investigação

A metodologia de um trabalho de investigação consiste na definição estruturada dos procedimentos e etapas necessários para alcançar os objetivos propostos e os resultados pretendidos, conforme descrito por (Freixo, 2011). Numa fase inicial, procedeu-se a uma revisão aprofundada da literatura e ao enquadramento teórico do tema, permitindo estabelecer a sua relevância e formular objetivos, metas e tarefas específicas. Os dados analisados neste estudo resultam das campanhas realizadas durante os exercícios REPMUS 2024 (Robotic Experimentation and Prototyping with Maritime Unmanned Systems) e outros, no âmbito do projeto FIBERMARS, bem como de ensaios laboratoriais conduzidos no tanque de arquitetura naval da Escola Naval. Esses contextos forneceram condições complementares (operacionais e controladas) para recolher informação crítica à avaliação da tecnologia em estudo.

## 1.5 Trabalhos publicados

Durante o desenvolvimento desta dissertação de mestrado foram produzidas duas publicações científicas diretamente relacionadas com o tema em estudo. A primeira, preparada numa fase inicial, foi aceite e posteriormente apresentada pelo autor no *VI Encontro Anual de Investigação e Desenvolvimento em Ciências Militares (EI&DCM)*, iniciativa do *Instituto Universitário Militar (IUM)* que visa dinamizar a investigação em Ciências Militares e fomentar a cooperação entre unidades militares, a Guarda Nacional Republicana e entidades externas. A segunda foi aceite para apresentação na conferência internacional *OCEANS 2025 - Great Lakes*, evento de referência dedicado à partilha de conhecimento e à inovação no setor marítimo, com especial ênfase na proteção e utilização sustentável dos recursos oceânicos. A apresentação pública e presencial está agendada para *Setembro*, no âmbito das sessões técnicas do programa científico. Adicionalmente, foi submetido um artigo ao NATO Science and Technology Organization (STO) SET 351, encontrando-se atualmente em avaliação. No âmbito do projeto FIBERMARS participou-se nas campanhas de gravação de dados em Portugal e Eckernförde, Alemanha, tendo contribuído o texto dos *Deliverables*, nomeadamente o 5.1.

## 1.6 Estrutura

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma:

- **(Capítulo 2) Enquadramento Teórico** Neste capítulo, examina-se a natureza física do som, em particular como este se comporta na água, abrangendo os processos e fenómenos relacionados à sua propagação, além de alguns fatores ambientais que exercem influência sobre o mesmo. É explorado também o funcionamento do sistema *Distributed Acoustic Sensing* (DAS).
- **(Capítulo 3) Estado da Arte** Este capítulo apresenta uma revisão crítica da literatura científica relevante, com foco em aplicações de sistemas de vigilância acústica, tecnologias baseadas em fibras óticas e estudos comparativos com sensores convencionais, como hidrofones. A revisão inclui também projetos internacionais relacionados e trabalhos recentes sobre sensores distribuídos no domínio marítimo.
- **(Capítulo 4) Trabalho Experimental** Neste capítulo, descrevem-se os cenários experimentais utilizados na investigação, tanto em ambiente laboratorial como em ambiente real. São apresentados os parâmetros físicos, os materiais utilizados, a disposição dos sensores e a configuração das condições de teste.
- **(Capítulo 5) Resultados Experimentais** Esta etapa compila os dados obtidos durante os ensaios experimentais realizados no tanque da Escola Naval e nos testes em ambiente marítimo. Apresenta-se uma análise detalhada dos resultados, com comparação entre a resposta da fibra ótica e dos hidrofones convencionais, destacando vantagens, limitações e padrões observados.
- **(Capítulo 5) Conclusões e Trabalho Futuro** Por fim, este capítulo sintetiza os principais contributos da investigação, discute os resultados à luz dos objetivos definidos e propõe linhas de continuidade para investigação futura, incluindo sugestões de otimização de desempenho, novos cenários de teste e possíveis aplicações operacionais.



# Capítulo 2

## Enquadramento Teórico

Neste capítulo, examina-se a natureza física do som, em particular como este se comporta na água, abrangendo os processos e fenómenos relacionados à sua propagação, além de alguns fatores ambientais que exercem influência sobre o mesmo. É explorado também o funcionamento do sistema *Distributed Acoustic Sensing* (DAS).

### 2.1 Fundamentos da Propagação do Som

O som é uma forma de energia mecânica gerada a partir de uma perturbação local, que provoca o movimento periódico das moléculas num meio elástico. Essa perturbação resulta na modulação da pressão ambiente, propagando-se a partir do ponto de origem para os pontos circundantes (Urlick, 1983).

A propagação do som depende da existência de um meio físico, uma vez que necessita de um suporte mecânico não sendo possível no vácuo. Esta energia propaga-se, portanto, em meios materiais, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos. Nos fluidos, caso particular da acústica submarina, a propagação dá-se sob a forma de ondas longitudinais, que se manifestam por compressões e expansões sucessivas do meio. Já nos sólidos, o som pode propagar-se tanto como ondas longitudinais como ondas transversais, sendo as primeiras frequentemente designadas por ondas de pressão (Apel, 1987).

Com base nestes princípios, é possível afirmar que o som consiste, essencialmente, numa variação de pressão ao longo do tempo. A representação mais simples de um sinal acústico (um tom puro) pode ser expressa por uma função sinusoidal, que descreve a oscilação da pressão  $p$  em função do tempo  $t$  (Crocker, 1998):

$$p(t) = A \sin(\omega t - \theta) \quad (2.1)$$

onde  $A$  representa a *amplitude* da onda,  $\omega$  a *frequência angular* e  $\theta$  a *constante de fase*.

Este modelo sinusoidal(Figura 2.1) constitui a base teórica para a análise dos dados acústicos recolhidos ao longo deste trabalho.

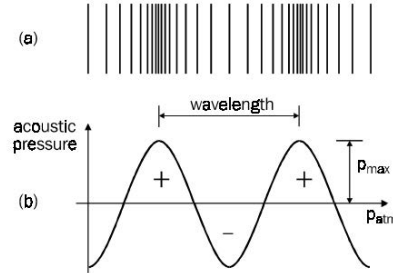


FIGURA 2.1: Modulação da pressão ambiente.  
Fonte: Hansen, 2001

### 2.1.1 Características do Som

Nesta secção abordam-se as principais características do som relevantes tanto em ambiente submarino como aéreo.

#### Frequência, Período e Comprimento de Onda

Uma onda acústica resulta de uma perturbação local que se propaga no tempo e no espaço. A frequência ( $f$ ), medida em Hertz (Hz), corresponde ao número de ciclos por segundo e depende da fonte emissora. O período ( $T$ ), medido em segundos ( $s$ ), por sua vez, é o tempo necessário para completar um ciclo e é inversamente proporcional à frequência:

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

O comprimento de onda ( $\lambda$ ) representa a distância entre dois pontos consecutivos em fase e depende tanto da frequência como da velocidade de propagação do som ( $C$ ) no meio considerado:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (2.3)$$

### Intensidade Acústica

A intensidade acústica está diretamente relacionada com a amplitude da variação de pressão no meio. Quanto maior for a amplitude, maior será a intensidade do som percebido. Fisicamente, a intensidade acústica ( $I$ ) pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} \quad (2.4)$$

onde  $p$  é a pressão acústica (Pa),  $\rho$  é a densidade do fluido (kg/m<sup>3</sup>) e  $c$  é a velocidade do som no meio (m/s) (Crocker, 1998).

### Decibel (dB)

Devido à ampla gama de variação de intensidades sonoras na natureza, utiliza-se frequentemente uma escala logarítmica para representar estas grandezas. O decibel (dB) é a unidade mais comum nesta escala, permitindo comparar uma intensidade ou pressão acústica com um valor de referência. Para a pressão, a definição é:

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{p_1}{p_0} \right) \quad (2.5)$$

onde  $p_1$  é a pressão considerada e  $p_0$  a pressão de referência. Para relações de intensidade acústica, o nível em decibel é calculado como:

$$N(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left( \frac{I_1}{I_0} \right) \quad (2.6)$$

onde  $I_1$  é a intensidade considerada e  $I_0$  a intensidade de referência (Crocker, 1998).

## 2.2 Processamento de Sinal

O avanço tecnológico na produção de microchips e no desenvolvimento de sistemas digitais ao longo das últimas décadas deu origem a uma área fundamental da engenharia moderna: no Processamento Digital de Sinais (DSP) (Stergiopoulos, 2017). Os sons são representados como sinais digitais, ou seja, vetores de números, que podem ser manipulados por diferentes sistemas. Para além destes sinais

digitais, também chamados discretos (Antoniou, 2006), continua a ser necessário o processamento dos sinais contínuos. As principais diferenças são:

- **Sinais contínuos** definidos em todos os instantes de tempo. São comuns na natureza, como uma onda eletromagnética solar ou o som emitido por um golfinho;
- **Sinais discretos** definidos apenas em instantes de tempo específicos (por exemplo, a cada milissegundo). Exemplos incluem a precipitação diária ou o preço de mercado de uma ação ou uma amostragem em intervalos regulares do som emitido por um golfinho.

Converter sinais contínuos em sinais discretos, processo central no DSP, oferece inúmeras vantagens: maior facilidade de implementação em microprocessadores e processamento por software, possibilidade de aplicar filtros digitais ideais, maior robustez e imunidade ao ruído.

### 2.2.1 Teorema da Amostragem

A amostragem é o processo que converte sinais contínuos em sinais discretos. O período de amostragem ( $T_s$ ) é o intervalo entre duas amostras consecutivas. O seu inverso define a frequência de amostragem ( $f_s$ ):

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (2.7)$$

Segundo o Teorema de Nyquist-Shannon, um sinal pode ser perfeitamente reconstruído a partir das suas amostras se a frequência de amostragem for superior ao dobro da maior frequência presente no sinal. A frequência de Nyquist ( $f_{Ny}$ ), que é a maior frequência que pode ser detetada e representada sem erro, define-se como:

$$f_{Ny} = \frac{1}{2}f_s \quad (2.8)$$

Quando  $f \leq f_{Ny}$ , a reconstrução do sinal é possível. Caso contrário, ocorre aliasing, ou seja, o espectro do sinal sobrepõe-se a si próprio (faz *Wrapround* e a informação original é distorcida. Aumentar a frequência de amostragem permite uma largura de banda maior sem interferência entre espectros (Antoniou, 2006).

## 2.2.2 Transformada de Fourier

Qualquer sinal analítico pode ser decomposto numa soma de exponenciais complexas, que por sua vez são compostas por senos e cossenos. Esta decomposição permite representar sinais no domínio da frequência, ou seja, representando as amplitudes e fases de cada uma das frequências.

A identidade de Euler descreve a exponencial complexa como:

$$e^{i\omega n} = \cos(\omega n) + i \sin(\omega n) \quad (2.9)$$

A Transformada de Fourier converte um sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx \quad (2.10)$$

A sua inversa permite recuperar o sinal original:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)e^{i\omega x} d\omega \quad (2.11)$$

Para sinais discretos e periódicos, utiliza-se a Transformada de Fourier Discreta (DFT):

$$F(k) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n)e^{-i2\pi nk/N} \quad (2.12)$$

A relação entre frequência contínua e digital pode ser expressa por:

$$\frac{f_s}{2f_{contnuo}} = \frac{\pi}{f_{digital}} \quad (2.13)$$

A implementação eficiente da DFT é feita através da Fast Fourier Transform (FFT), que reduz significativamente o custo computacional da operação (Heckbert, 1995).

## 2.3 Fibra Ótica

As fibras óticas (e.g. Buck, 2003) são guias de onda dielétricos que transportam impulsos de luz através do princípio da reflexão interna total. Uma fibra é composta por um núcleo central, rodeado por uma camada (*cladding*) de menor índice de refração (Figura 2.2). Quando a luz entra no núcleo num ângulo adequado, permanece confinada ao longo da fibra, percorrendo grandes distâncias com baixa atenuação. A cobertura exterior (*coating*) fornece proteção mecânica, sem função ótica direta (Addanki et al., 2018).

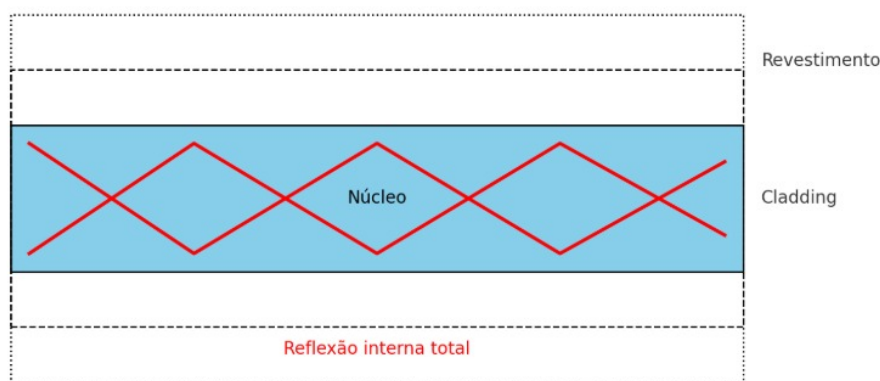


FIGURA 2.2: Esquema da estrutura de uma fibra ótica.  
Fonte: Adaptado de Addanki et al., 2018

Existem dois tipos principais de fibras (Buck, 2003): Multimodo e Monomodo (Figura 2.3).

- **Multimodo** (*Multimode*) possuem um núcleo de maior diâmetro (tipicamente 50 ou 62,5  $\mu\text{m}$ ), permitindo a propagação simultânea de vários impulsos de luz, sendo adequadas para distâncias mais curtas mas sofrem de dispersão modal, que alarga os pulsos e limita a largura de banda.
- **Monomodo** (*Singlemode*) apresentam um núcleo muito mais pequeno (cerca de 8–10  $\mu\text{m}$ ), suportando apenas um modo de propagação.

Isto reduz a dispersão e permite transmissões a longas distâncias e altas taxas de dados, sendo a escolha dominante em telecomunicações modernas e as fibras utilizadas neste estudo.

### 2.3.1 Tipos de Cabos Submarinos

Os cabos submarinos de fibra ótica (Figura 2.4) variam conforme a profundidade e o risco de danos (AB, 2022; Team, 2023). Os **Lightweight (LW)** são

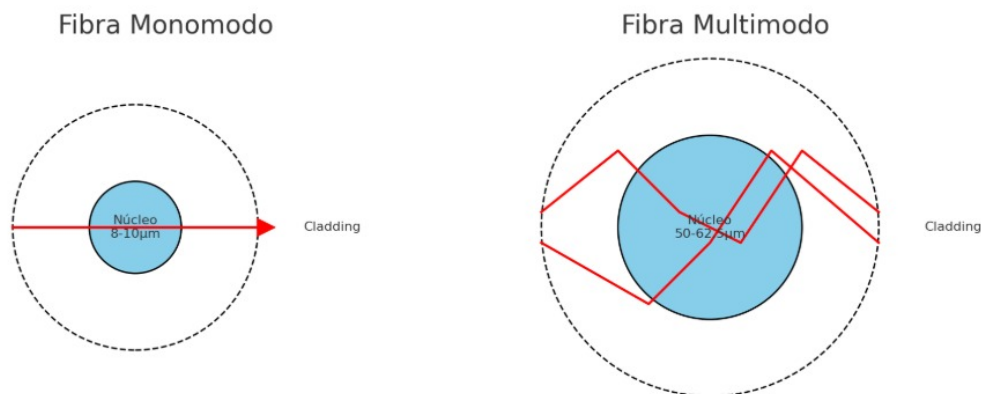


FIGURA 2.3: Comparação entre fibra monomodo e fibra multimodo.  
Fonte: Adaptado de Buck, 2003.

usados em águas profundas, sem armadura metálica, sendo leves e económicos. O **Lightweight Protected (LWP)** adiciona proteção contra abrasão e fauna marinha em profundidades intermédias. Em águas costeiras ou fundos rochosos utilizam-se cabos armados: o **Single Armor (SA)** possui uma camada de armadura de cabos de aço, adequado até cerca de 500 m. O **Double Armor (DA)** usa duas camadas cruzadas, ideal para zonas rasas e de alto risco.

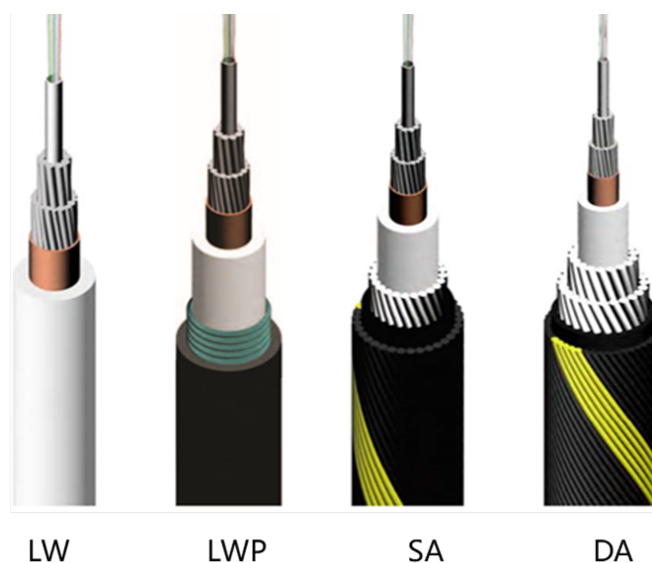


FIGURA 2.4: Tipos de cabos submarinos de fibra ótica: Lightweight (LW), Lightweight Protected (LWP), Single Armor (SA) e Double Armor (DA)..

Fonte: <https://www.hmntech.com/enWetPlants/37408.jhtml>

### 2.3.2 Fusão de Fibras Óticas (Splicing)

O *fusion splicing* é o método mais comum para unir permanentemente fibras óticas, fundindo-as com um arco elétrico que gera temperaturas em torno de  $1800\text{ C}$  para garantir baixa perda e mínima reflexão de sinal (Association, 2025). As primeiras máquinas surgiram em 1980, e avanços técnicos posteriores introduziram alinhamento direto do núcleo via monitoramento microscópico, aumentando significativamente a precisão e reduzindo perdas por splice (Ito et al., 2018).

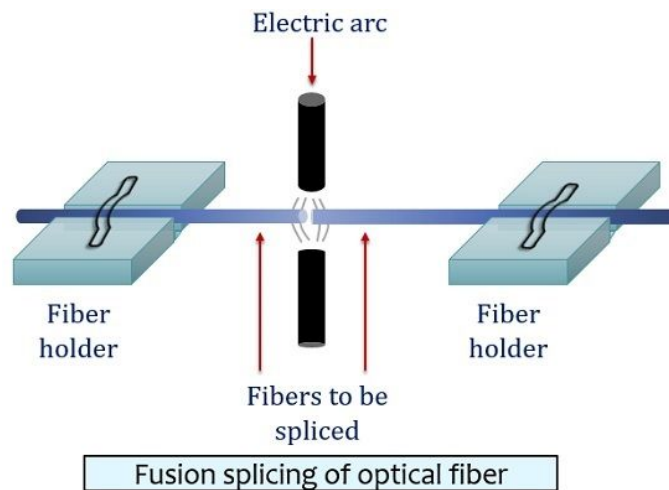


FIGURA 2.5: Esquema explicativo da fusão duas fibras alinhadas, fusão por arco elétrico e resultante conexão contínua.

Fonte: Adaptado de Association, 2025

A fusão das fibras utilizadas neste estudo foram realizadas utilizando uma máquina de fusão modelo Signal Fire AI-9 (Anexo I), adquirida pelo autor desta dissertação no âmbito do projeto FIBERMARS e foram verificadas através do *Optical time-domain reflectometer (OTDR)* integrado no interrogador DAS da AP Sensing<sup>TM</sup>.

## 2.4 Tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS)

A tecnologia *Distributed Acoustic Sensing* (DAS) constitui uma solução emergente de elevada relevância para a vigilância subaquática. Ao converter fibras óticas convencionais em redes de sensores acústicos distribuídos, o DAS oferece uma abordagem passiva, escalável e de alta resolução espacial para deteção de vibrações ao longo de longas distâncias. Com aplicações que vão desde a deteção de tráfego marítimo à proteção de cabos submarinos, esta tecnologia tem potencial para redefinir a forma como a monitorização subaquática é conduzida (Figura 2.6). Casos reais

demonstram o sucesso da tecnologia na detecção de tráfego marítimo, atividade sísmica e até movimentação de fauna marinha (Landrø et al., 2022; Taweessintananon et al., 2021).



FIGURA 2.6: Esquema de uma aplicação do sistema DAS.  
Fonte: Adaptado de Sensing, 2023.

### 2.4.1 Modo de Funcionamento

O DAS opera com base no princípio da retrospalhação de Rayleigh. Quando um impulso de luz coerente é injetado numa fibra ótica monomodo, pequenas imperfeições no núcleo da fibra fazem com que parte da luz seja retroespalhada. As variações de fase nesta luz retroespalhada dão informação sobre variações na posição das imperfeições do cabo que por sua vez são o resultado da vibração mecânica sobre o cabo.

A intensidade do sinal retroespalhado ao longo da fibra pode ser expressa como:

$$I(z, t) = I_0 \cdot e^{-2\alpha z} \cdot R(z, t) \quad (2.14)$$

onde  $I_0$  é a intensidade do pulso incidente,  $\alpha$  é o coeficiente de atenuação,  $z$  é a posição ao longo da fibra, e  $R(z, t)$  a resposta local ao espalhamento.

Quando a fibra é sujeita a uma perturbação mecânica, ocorre uma variação do seu comprimento local  $\Delta L(t)$ , causando uma alteração de fase na luz retroespalhada:

$$\Delta\phi(t) = \frac{4\pi n}{\lambda} \cdot \Delta L(t) \quad (2.15)$$

A deformação axial pode ser relacionada com a tensão induzida no material através da relação:

$$\Delta L = \frac{\sigma L}{E} \quad (2.16)$$

sendo  $\sigma$  a tensão axial,  $E$  o módulo de Young da fibra e  $L$  o comprimento original.

A resolução espacial do sistema depende da largura temporal do pulso ( $\tau$ ) e da velocidade da luz no meio ( $v$ ):

$$\Delta z = \frac{v \cdot \tau}{2} \quad (2.17)$$

Estes princípios permitem que a fibra funcione como uma rede contínua de sensores, com uma resolução de 1 a 10 metros. Assim, um cabo de 6 km pode equivaler a uma matriz de 600 a 6000 sensores, sendo possível na prática monitorizar até 70 km com um único interrogador (Xenaki et al., 2025).

# Capítulo 3

## Estado da Arte

Nas últimas décadas, a detecção acústica subaquática tem adquirido uma importância crescente em domínios como a segurança marítima, a vigilância de infraestruturas críticas e a monitorização ambiental. O aumento da atividade naval, a evolução dos veículos subaquáticos não tripulados (UUVs) e a vulnerabilidade acrescida de cabos submarinos, pontos estratégicos e portos (*chokepoints* têm reforçado a necessidade de tecnologias que assegurem conhecimento situacional contínuo e discreto no ambiente marinho (Marage & Mori, 2013; Urick, 1983).

Historicamente, a detecção acústica começou com hidrofones analógicos simples (com tecnologia de piston/bobine ou materiais piezoelétrico), evoluindo depois para sistemas digitais mais robustos e configurações *towed array*, capazes de ampliar o alcance e a sensibilidade das medições (Barbagelata & Guerrini, 2010; Lemon, 2004). Estas tecnologias permitiram avanços significativos na identificação de embarcações e na vigilância de áreas costeiras e oceânicas.

Mais recentemente, a integração de técnicas de escuta passiva com sensores digitais e tecnologias emergentes, como o *Distributed Acoustic Sensing* (DAS), tem aberto novas perspetivas. O aproveitamento das fibras óticas já instaladas, associado a algoritmos avançados de análise espectral e inteligência artificial, viabiliza não só a detecção de embarcações e fenómenos naturais, mas também a classificação automática de assinaturas acústicas com elevada resolução espacial e temporal (Gorshkov et al., 2022; Liokumovich et al., 2015; Shi & Zong, 2025; Xenaki et al., 2025).

Assim, este capítulo propõe uma análise da evolução da detecção acústica, destacando princípios, aplicações, limitações e contributos recentes da investigação científica.

### 3.1 Funcionamento dos Hidrofonos Digitais Modernos

Os hidrofonos digitais representam a evolução natural dos sensores acústicos tradicionais, combinando elevada sensibilidade, robustez eletrônica e facilidade de integração com sistemas modernos de aquisição e processamento de dados. Um exemplo representativo é o modelo *digitalHyd TP-1* da MarSensing, que integra transdutores piezoelétricos com eletrônica digital embutida para amplificação, amostragem e transmissão de sinais via protocolo Ethernet (MarSensing, 2016).

Estes dispositivos permitem a configuração remota dos parâmetros de aquisição, como ganho, taxa de amostragem e filtragem digital, através de interfaces de controlo programáveis (API) (MarSensing, 2017). Essa flexibilidade facilita a adaptação do sensor a diferentes cenários operacionais, desde ambientes laboratoriais até operações oceânicas complexas, com transmissão de dados em tempo real, minimizando perdas ou interferências (MarSensing, 2025).

Entre as principais vantagens destacam-se:

- **Sensibilidade calibrada** os dispositivos vêm com curvas de resposta acústica certificadas;
- **Alta relação sinal/ruído (SNR)** assegurando deteção fiável de fontes acústicas mesmo em ambientes ruidosos;
- **Modularidade e portabilidade** facilitando a integração com sistemas de aquisição multicanal e plataformas móveis;
- **Versatilidade** podem ser utilizados tanto em campanhas de campo como em ensaios controlados em tanques ou câmaras anecoicas.

Recentemente, têm surgido alternativas baseadas em sensores óticos, como os hidrofonos FabryPerot (Huang et al., 2022), que utilizam microcavidades para medir variações de pressão com extrema precisão, sem necessidade de eletrônica ativa no ponto de medição. Estes sensores proporcionam imunidade eletromagnética, elevada estabilidade térmica e potencial para integração em redes distribuídas, sendo especialmente promissores para aplicações subaquáticas de alta precisão, incluindo monitorização sísmica, deteção de veículos submarinos e estudos ambientais .

O avanço na miniaturização, na integração com fibras óticas e na conectividade digital faz dos hidrofonos digitais modernos ferramentas críticas para a nova geração de sistemas de vigilância subaquática e observação científica oceânica.

## 3.2 Tecnologia Distributed Acoustic Sensing (DAS)

A tecnologia *Distributed Acoustic Sensing* (DAS) representa um avanço significativo na monitorização remota do meio subaquático, permitindo transformar fibras óticas convencionais em sensores acústicos distribuídos ao longo de extensões que podem ultrapassar os 50 *km* (na prática até aos 70 *km*). O princípio de funcionamento do DAS baseia-se na análise do espalhamento Rayleigh de pulsos de luz enviados por um interrogador ótico ao longo de uma fibra monomodo. Alterações na tensão mecânica da fibra, provocadas por vibrações acústicas ou movimentos do meio envolvente, induzem variações na fase e intensidade da luz retroespalhada. Estas variações são então processadas para reconstruir, em tempo quase real, uma imagem espaço-temporal da perturbação acústica ao longo do cabo (Gorshkov et al., 2022; Li et al., 2021).

Uma das principais vantagens desta tecnologia reside na sua capacidade de criar uma densa rede de sensores virtuais com resolução espacial da ordem dos 5 a 10 metros, sem a necessidade de instalação de sensores físicos ao longo da fibra. Desta forma, um único cabo de 40 *km* pode equivaler a uma matriz linear com milhares de pontos de medição independentes. Adicionalmente, o DAS pode ser implementado em fibras óticas já existentes inclusive aquelas sem utilização atual (*dark fibers*) reduzindo drasticamente os custos de infraestrutura e permitindo vigilância em locais previamente inacessíveis (Shen & Wu, 2024).

Por ser um sistema completamente passivo, o DAS não requer fontes acústicas nem eletrónica ao longo do cabo, o que aumenta significativamente a fiabilidade, segurança e discrição da operação. Esta característica torna-o especialmente valioso em ambientes sensíveis, como zonas costeiras críticas, infraestruturas submersas ou regiões sujeitas a disputas territoriais.

Entre as principais aplicações já demonstradas em ambiente real incluem-se:

- Monitorização de tráfego marítimo, incluindo deteção de embarcações silenciosas por variações de pressão e deslocamento de água;
- Vigilância sísmica e deteção de tsunamis;
- Proteção de cabos submarinos, gasodutos e estruturas portuárias (identificando intruso, variações de temperatura e quebras);
- Estudo de dinâmica costeira e ondas internas.

O desenvolvimento recente de sistemas DAS integrados em plataformas móveis, como veículos de superfície autônomos ou arrays rebocados, tem permitido ampliar a cobertura de monitorização para missões dinâmicas em tempo real (Gorshkov et al., 2022). Estas soluções híbridas abrem caminho para operações de vigilância marítima em larga escala com custos e logística significativamente inferiores às tecnologias tradicionais.

À medida que o processamento de sinal e as técnicas de aprendizagem automática evoluem, prevê-se que o DAS venha a desempenhar um papel central em sistemas de conhecimento situacional marítimo, contribuindo para a segurança nacional, proteção ambiental e mapeamento oceânico de alta resolução.

# Capítulo 4

## Trabalho Experimental

Neste capítulo, descrevem-se os cenários experimentais utilizados na investigação, tanto em ambiente laboratorial como em ambiente real. São apresentados os parâmetros físicos, os materiais utilizados, a disposição dos sensores e a configuração das condições de teste.

### 4.1 FIBERMARS

Este trabalho encontra-se integrado no Projeto FIBERMARS que realizado em conjunto entre Portugal, Alemanha e Grécia. O CINAV é subcontratado pelo INOV e efetuou ensaios em ambiente real e empenhando meios da Marinha Portuguesa, tendo sido realizados durante o REPMUS 2024, nas estações de cabos submarinos de Carcavelos e na Zona Livre Tecnológica Infante D. Henrique, mais concretamente no Centro de Experimentação Operacional da Marinha (CEOM). O cabo utilizado em Carcavelos conectando esta estação de cabos submarinos a Sesimbra, abrangendo a entrada do Porto de Lisboa, e a classificação, seleção e armazenamento de dados considerado como classificados ou de interesse para Marinha foi realizado pelo Instituto Hidrográfico (IH), que libertou os restantes dados para utilização no projeto. As características do tipo de cabo submarino e seu acoplamento ao fundo são conforme o Apêndice A. Durante o mês de agosto foram realizados testes na Alemanha, nas instalações da WTD 71.

#### 4.1.1 REPMUS 2024

Durante o Robotic Experimentation and Prototyping with Maritime Unmanned Systems (REPMUS) 2024 foram instalados dois interrogadores DAS da AP Sensing na estação de cabos submarinos de Sesimbra, estando ligado ao cabo submarino que conecta Sesimbra à ponta de Sagres e no CEOM, nos cabos instalados

localmente pelo projeto para testes realizados em 2023. Neste cabo foram adquiridos dados durante o decorrer do exercício que foram utilizados para desenvolvimento de artigos científicos. Esta previsto realizar testes durante o REPMUS 2025 com as fibras das instalações de Troia.

### 4.1.2 Testes Troia

Durante o mês de Julho de 2024 foram realizados testes com empenhamento de unidades navais nas instalações do Ponto de Apoio Naval de Troia (PANTROIA), utilizando os cabos de fibra instalados em 2023 e hidrofones. Estes testes tinham sido planeados anteriormente para Abril de 2024, mas devido a instalações e equipamentos danificados pelas condições meteorológicas, foram adiados.

### Equipamentos e Meios Empenhados

Durante os trabalhos realizados foram empenhadas duas unidades navais para efetuarem passagem na área sensorizada, nomeadamente os navios NRP Tejo e NRP Hidra (Figura 4.1) , tendo existido dificuldades no sistema de governo do NRP Tejo que impossibilitaram as series planeadas para a unidade.



FIGURA 4.1: Passagem do *NRP Hidra* durante testes em Troia.

Adicionalmente foi empenhada uma equipa de mergulhadores do Destacamento de Mergulhadores Sapadores n2 (DMS2) que efetuou a instalação e extração dos hidrofones.

A instalação utilizada nestes trabalhos conforme a Figura 5.1, é constituída por:

- 1 Interrogador DAS da AP Sensing<sup>TM</sup>
- 3 *tethered hydrophones* (cable 100 m), modelo *digitalHyd TP-1* da MarSensing (Anexo II)

#### 4.1. FIBERMARS

- 1 hidrofone autónomo SR-1 da MarSensing (Anexo III)
- 3 fibras no cabo de fibra ótica FOC 3 (Anexo IV), 2 fibras fundidas de forma a regressar para a estação em terra (Loop)
- 1 fibra helicoidal do cabo FOC 1 (Anexo V) afixado a uma amarra pousada no fundo, tipicamente utilizado para sismografia
- 1 fibra FOC X (Anexo VI) como ligação as instalações de terra para o FOC 1

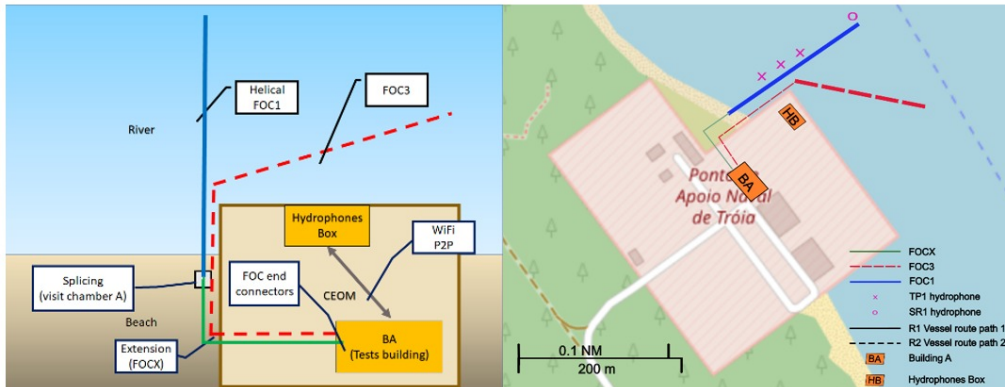


FIGURA 4.2: Esquema da instalação dos equipamentos em Troia.

A fusão entre o FOC 1 e o FOC X foi danificada por condições meteorológicas que arrastaram a amarra que segurava o FOC 1, não sendo possível reparar a tempo de utilização nos testes, com previsão de reparação para utilização no REP-MUS 2025. Foram utilizadas as 3 fibras do FOC3 em sequencia (Figura 4.3).

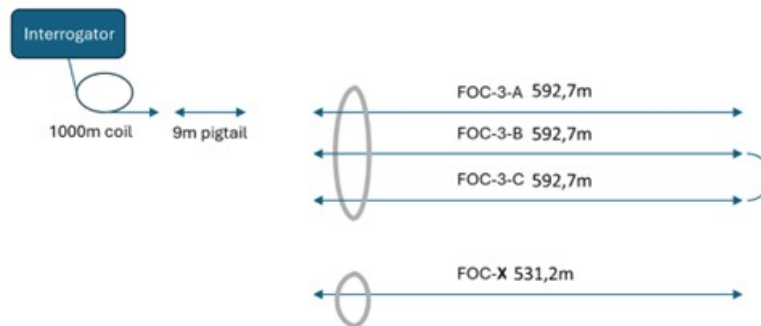


FIGURA 4.3: Ligação das fibras para testes em Troia.

Os Hidrofones TP-1 foram instalados nas posições A, B e C (Tabela 4.1) com espaçamento de 25m (Apêndice B), de forma a ficarem na vertical a 1m do fundo através de uma boia de vidro (Figura 4.4).

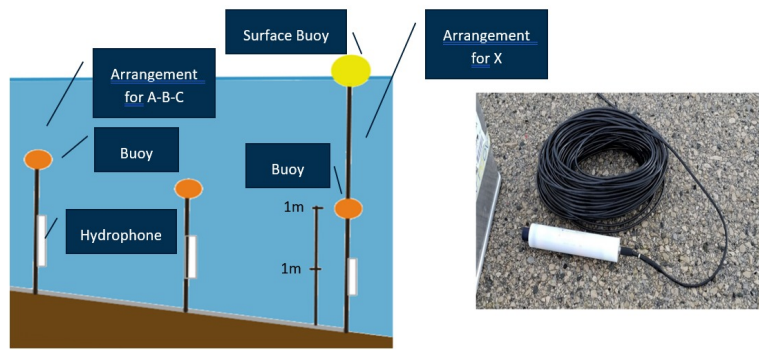


FIGURA 4.4: Esquema para instalação dos hidrofones e fotografia de um hidrofone TP-1

TABELA 4.1: Posições dos Hidrofones

| Position label | Lat.          | Long.          |
|----------------|---------------|----------------|
| A              | 38° 28,563' N | 008° 52,219' W |
| B              | 38° 28,564' N | 008° 52,233' W |
| C              | 38° 28,567' N | 008° 52,246' W |
| X              | 38° 28,551' N | 008° 52,140' W |

O hidrofone SR-1 foi instalado antes do inicio do teste com o mesmo esquema de instalação mas com uma boia de marcação a superfície.

### Planeamento e trabalhos realizados

O planeamento das series a serem realizadas foram baseadas em testes realizados anteriormente no projeto, sendo coordenados e adaptados com base nas capacidades das unidades e instruções passadas durante as apresentações de coordenação com os navios e com as equipas de mergulhadores.

O Instituto Hidrográfico realizou um levantamento hidrográfico (Figura 4.5) solicitado pelo projeto para localizar a amarra afixada ao FOC 1, onde foi identificado o movimento mesma, sendo visualizado através do Quantum GIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As séries a realizar foram planeadas utilizando o software Open Chart Plotter Navigator (OpenCPN), tendo em conta perigos e restrições a manobra na zona de operações, como por exemplo a ilha artificial e as suas boias de sinalização (C.4. Foi determinado uma distância mínima ao cais de 50m e aos perigos mais próximos de forma a permitir a segurança da navegação. As manobras foram planeadas tendo

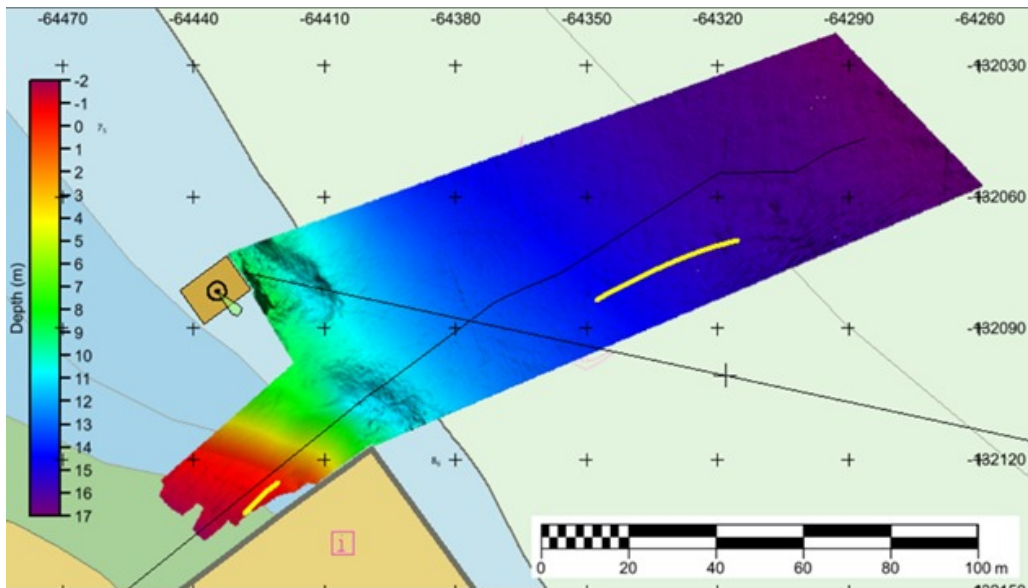


FIGURA 4.5: Levantamento Hidrográfico efetuado pelo IH.

em conta os momentos evolutivos dos navios e instruções dadas pelo comando dos navios, dando prioridade ao bordo de preferencial para os navios guinarem.

As séries foram divididas em:

- Série Alfa - Passagens paralelas ao cais de Troia a diferentes regimes de velocidade;
- Série Bravo - Passagem ao longo da posição do cabo, terminando numa guinada de 90°;
- Série Charlie - Rotação a velocidade constante com referência de passagem o ponto A (posição do hidrofone);
- Série Delta - Passagem simultânea paralela ao cais (Não realizada devido a serem canceladas as series com o NRP Tejo).

Adicionalmente, foram registadas contactos de oportunidade na zona de operações como por exemplo os ferries, embarcações de recreio e embarcações pesca.

#### 4.1.3 Testes na Alemanha

Os testes realizados pelo projeto FIBERMARS na Alemanha foram coordenadas e realizadas pelo Bundeswehr Technical Center for Ships and Naval Weapons, Maritime Technology and Research (WTD 71), nas suas instalações em Eckernförde (Figura 4.6).

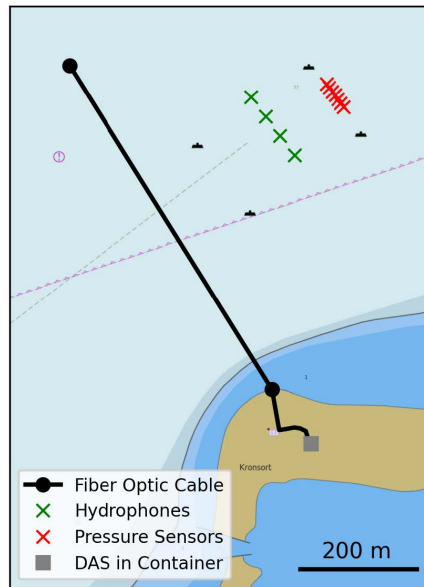


FIGURA 4.6: Esquema da instalação dos testes na WTD 71.

A instalação utilizada para os testes é composta por um conjunto de hidrofones e sensores de pressão instalados na área e um conjunto de cabos de fibra, nomeadamente um cabo Single Armor (SA) (Anexo VII) com 16 fibras internas e uma fibra helicoidal integrada na armadura, tendo sido utilizadas duas configurações das fibras que se encontram no esquema do (Apêndice D.2).

Foram empenhados o navio FGS Helmsand e uma embarcação para os testes (Figura 4.7), tendo realizado diversos planeamentos, a diferentes velocidades e emissões acústicas através do SONAR (Sound Navigation And Ranging), telefone submarino e altifalante subaquático. Mais dados sobre esta campanha encontram-se disponíveis nos deliverables e no site do projeto FIBERMARS.



FIGURA 4.7: Navio FGS Helmsand durante os testes em Eckernförde.

## 4.2 Testes no Tanque de Arquitetura Naval

Os dados obtidos nas campanhas de mar levantaram bastantes dúvidas sobre o comportamento do DAS. Por um lado constatou-se que apenas se conseguiam dados viáveis com os cabos enterrados, pois nos outros apenas se observava ruído. Por outro lado suspeitava-se que os diferentes cabos tivessem características muito diferentes e que a forma como estavam afixados alterava significativamente as suas capacidades. Na bibliografia então consultada não se encontraram caracterizações laboratoriais ou teóricas das características dos cabos como recetores acústicos. Os estudos teóricos são particularmente difíceis devido ao elevado número de interfaces (Água/Areia/Camada exterior do cabo/Camadas intermédias do cabo/Fibra). Assim sendo optamos por tentar caracterizar experimentalmente os cabos e seu posicionamento em ambiente laboratorial controlado. Tanto quanto sabemos este foi dos primeiros trabalhos públicos a realizar com este fim e permite-nos ter "pistas" (*insight*) sobre o comportamento dos diversos tipos de cabos. Assim sendo foram realizados ensaios em ambiente controlado e isolado, simulando as condições de um cabo depositado no fundo do mar ou parcialmente enterrado, com o intuito de estudar a sua capacidade de deteção de sinais acústicos.

A análise incide sobre a sensibilidade do sistema à captação de diferentes frequências, a definição do limite de deteção, a eficácia na monitorização e a integridade na transmissão dos dados, bem como a relação sinal-ruído sobre as diversas condições. Apesar de inicialmente prevista, a comparação direta (ganhos, função de transferência, etc.) com equipamentos acústicos convencionais, como hidrofones e sonobóias, não será abordada no âmbito desta Dissertação, apesar de se ter utilizado um hidrofone clássico para monitorizar o som presente no tanque.

Foram testados, em simultâneo, quatro tipos distintos de FOC, juntamente com um hidrofone de referência, de forma a possibilitar a comparação entre os diferentes meios de deteção. Os ensaios foram realizados considerando três configurações de posicionamento dos cabos no meio aquático: pousados no fundo, enterrados em substrato (simulado com sacos de areia) e suspensos na coluna de água. Adicionalmente, em dois dos cabos foi acoplada uma caixa de ressonância impressa em filamento Poliacido Láctico (PLA), com o objetivo de avaliar o seu impacto na amplificação e deteção do sinal acústico.

A fonte emissora utilizada foi um projetor sonoro subaquático (altifalante LL916C), escolhido pela sua capacidade de gerar sinais em diferentes frequências, estando as suas especificações técnicas detalhadas no (Anexo VIII).

### 4.2.1 Tanque de Arquitetura naval

O tanque utilizado possui um comprimento total de 8 metros. No entanto, o estudo incidiu apenas sobre uma secção de 5 metros com sacos de areia que simulam o fundo marinho seguindo uma disposição linear.

A fonte sonora (altifalante subaquático) foi colocada na posição correspondente aos 4,5 metros, designada como posição 1. Simultaneamente, um hidrofone foi posicionado em frente ao altifalante, de forma a captar os sinais acústicos gerados durante os ensaios. Este posicionamento permitiu a gravação simultânea dos sinais em vários FOC e no hidrofone, facilitando a posterior comparação dos resultados. Como ilustrado na Figura 4.8, que não está à escala.

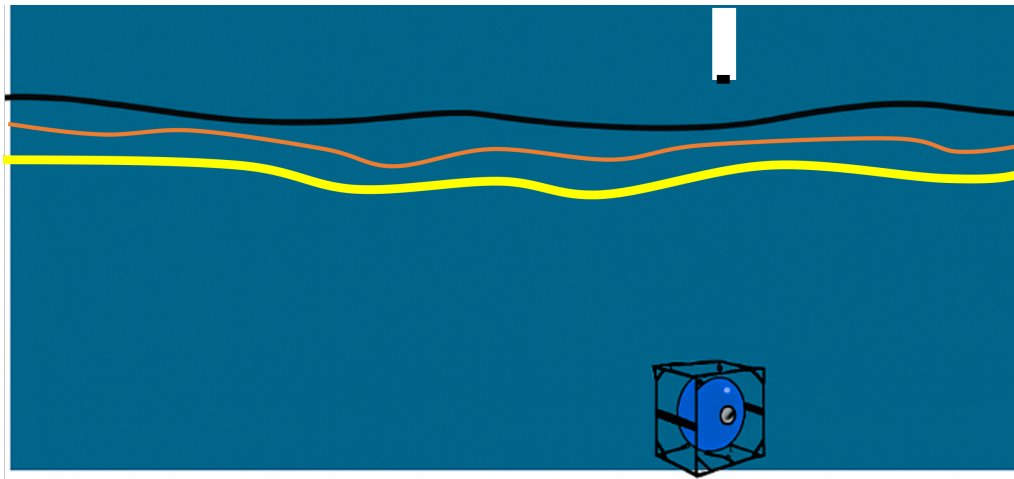


FIGURA 4.8: Esquema dos testes no Tanque de Arquitetura Naval.

Adicionalmente, salienta-se que o tanque não possui qualquer isolamento acústico nas paredes laterais nem no fundo, o que pode dar origem a fenómenos de interferência construtiva (amplificação) ou destrutiva (atenuação) das ondas sonoras.

### 4.2.2 Cabos de fibra ótica

Para os ensaios realizados, foram utilizados quatro tipos distintos de Cabos de Fibra Ótica (FOC), nomeadamente:

- Single Armour (SA) - Cabo com armadura de cabos de aço utilizado nos testes realizados na Alemanha (apenas foram utilizadas as fibras internas por dificuldade de fusão da fibra helicoidal);
- FOC 0 (Anexo IX) - cabo de ligação com conectores nas duas extremidades de 30m (Patch cord);

- FOC 2 (Anexo X) - Cabo de ligação para conexões no exterior com duas fibras internas e reforçado com um ou dois cabos de aço ou kevlar (FTTH Drop Cable);
- FOC 3 - Cabo de telecomunicações LWP utilizado nos testes em Troia.

As especificações destes cabos encontram-se em anexo. Estes cabos foram selecionados com o objetivo de comparar o desempenho de diferentes configurações e construções físicas em ambiente aquático, no contexto de monitorização acústica com tecnologia DAS.

De forma a garantir a continuidade do sinal e a integração adequada no sistema de aquisição, foram realizadas as fusões óticas necessárias entre os cabos, recorrendo à máquina de fusão de fibra ótica Signal Fire AI-9. Esta máquina, apropriada para trabalhos de campo e laboratório, permite fusões de elevada precisão e baixa atenuação.

Os cabos foram posicionados segundo diferentes configurações, com o objetivo de avaliar o grau de acoplamento acústico nas três principais situações simuladas: cabo enterrado, cabo pousado no fundo e cabo suspenso na coluna de água. A disposição dos cabos em cada uma destas configurações está ilustrada na figura seguinte.

Adicionalmente, foram integradas caixas de ressonância nos cabos FOC 0 e FOC 2, com o objetivo de potenciar a captação de sinal acústico. Estas caixas foram modeladas tridimensionalmente no software Blender (Figura 4.9) e impressas em 3D na impressora Creality CR-6 MAX, utilizando filamento Ácido Polilático (PLA), cada 20cm, sendo intervaladas 5cm por forma a criar uma área de 1m.

### **Hidrofone**

O sistema experimental utilizou como referência o hidrofone digital TP-1, da MarSensing Lda, concebido para aquisição de sinais acústicos subaquáticos em tempo real e indicado para monitorização contínua. O dispositivo suporta taxas de amostragem até 312,5 kHz/24 bits, com banda útil de 1 Hz a 150 kHz e sensibilidade programável entre -165 dB e -129 dB re 1V/Pa a 80 kHz, ajustável por PGA de sete níveis. A aquisição é feita via Ethernet 10/100 Mbps, com possibilidade de análise por FFT. O sistema é alimentado a 1224 V e resiste até 100 m de profundidade. A integração foi assegurada pela INOV, garantindo compatibilidade do TP-1 com o sistema experimental.

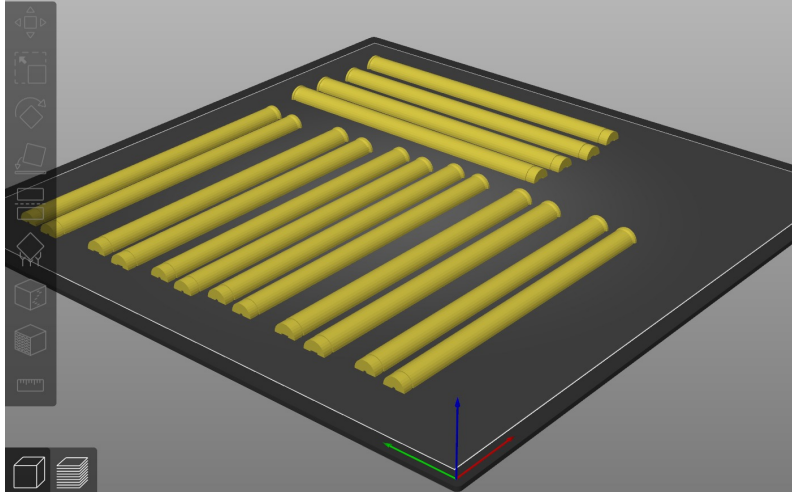


FIGURA 4.9: Caixas de Ressonância para acoplar nos FOC, com o fatiamento (slicing) efetuado no *PrusaSlicer*.

### 4.2.3 Altifalante subaquático

Nos ensaios foi utilizado o projetor de som subaquático LL916C da Lubell Labs (Figura 4.10), reconhecido pela sua robustez e uso frequente em testes em tanque. A sua resposta em frequência, limitada ao intervalo de  $200\text{ Hz}$  a  $21\text{ kHz}$ , representa, contudo, uma restrição relevante no presente estudo. Esta limitação impossibilitou a realização de medições a frequências inferiores a  $200\text{ Hz}$ , fundamentais para o estudo da propagação acústica em larga escala, uma vez que sinais de baixa frequência propagam-se mais eficazmente em longas distâncias. Em consequência, não foi possível analisar a resposta do sistema DAS a frequências ultra-baixas.



FIGURA 4.10: Altifalante subaquático LL916C da Lubell Labs.

## 4.3 Ficheiros Áudio

Com base nos ensaios preliminares conduzidos em ambiente real/operacional e tendo em consideração as limitações do altifalante subaquático, optou-se por

### 4.3. Ficheiros Áudio

---

realizar medições nas frequências de  $200Hz$ ,  $1000Hz$  e  $2500Hz$ . Determinou-se experimentalmente a potência mínima audível e, subsequentemente, definiram-se os parâmetros a aplicar no software de edição e gravação de áudio digital *Audacity*, de forma a assegurar a equivalência de potência entre as diferentes frequências (Tabela 4.2).

| Frequência (Hz) | $A_{\text{Audacity}}$ | $V_{\text{RMS}}$ (mV) | $p$ (Pa) | $P$ (W) |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------|---------|
| 200             | 0.00465               | 11.1                  | 11300    | 55.6    |
| 1000            | 0.00165               | 2.22                  | 11300    | 55.6    |
| 2500            | 0.00085               | 2.22                  | 11300    | 55.6    |

TABELA 4.2: Comparação entre valores esperados e medidos da potência acústica.

Os ficheiros de cada frequência foram gerados com o software *Audacity* e possuíam uma duração total de 3 minutos e 20 segundos, tendo 5 blocos com 10 segundos de silencio e seguidos 30 segundos de som. O primeiro bloco usava a potência máxima, usando cada um dos blocos seguintes metade da potência até ao valor mínimo calculado anteriormente.



# Capítulo 5

## Resultados Experimentais

### Introdução

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos ao longo da campanha de ensaios realizada em diferentes contextos e locais. Inicia-se com a descrição dos testes efetuados em cabos submarinos entre Sesimbra e Troia, no âmbito do exercício REPMUS 2024, seguindo-se os ensaios adicionais conduzidos em Carcavelos. Posteriormente, apresentam-se os resultados de novos testes experimentais realizados em Troia e, por fim, os ensaios em ambiente controlado no tanque de Arquitetura Naval da Escola Naval. A organização deste capítulo visa evidenciar a progressão entre ensaios em condições reais e laboratoriais, permitindo uma análise comparativa abrangente do desempenho do sistema.

### 5.1 REPMUS 2024

#### 5.1.1 Troia

Durante o exercício REPMUS 2024, um interrogador DAS estava instalado nos cabos existentes no CEOM, nomeadamente o cabo FOC 3 foi sensorizado, tendo a oportunidade realizar a análise de contactos de oportunidade, como por exemplo os ferries que realizam a travessia entre Setúbal e Troia. Sendo um acontecimento recorrente e com um horário consistente foi possível identificar a sua passagem no interface do software DAS Configurador no gráfico Frequency Band Energy (FBE) (Figura 5.1), onde no eixo horizontal é apresentado o comprimento ao longo do cabo, no eixo vertical a hora das amostras medidas consecutivamente e apresenta a intensidade de energia para uma dada banda de frequências num espectro de cores, sendo azul menor intensidade e vermelho mais intenso. Na Figura 5.1 é apresentada

uma das passagens na posição aproximada dos 1600 m, verificando que era uma frequência aproximada aos 400Hz.

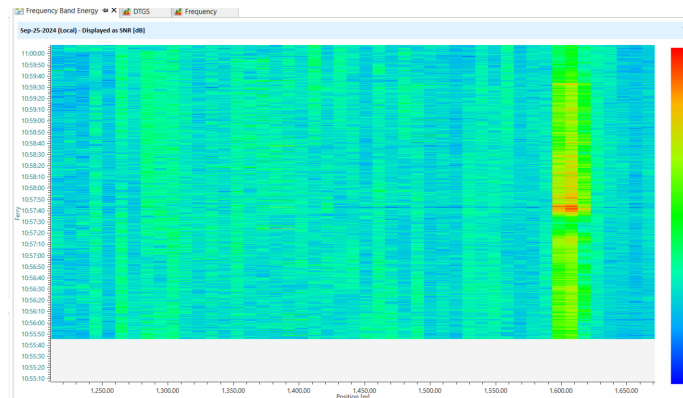


FIGURA 5.1: DAS Configurator Display com passagem de Ferry em Troia

Os dados retirados do interrogador DAS são extraídos no formato .hdf5, sendo processados em script python com o Loader do fabricante de forma a ter acesso aos datasets e atributos. Nos dados relativos ao dia 24 de Setembro de 2024 foi aplicado um filtro passa-banda de Butterworth para isolar entre as frequências de 300Hz e 500Hz, ao longo de um intervalo de tempo de aproximadamente 6 horas, resultado no gráfico apresentado na Figura 5.2, onde os picos desta banda de frequências foram assinalados, verificando que se repetiam ao minuto 6 e 50 de cada hora, assinalados a verde e vermelho respetivamente, e sendo coincidentes com os horários de verão da passagem dos ferries disponíveis no site da Atlantic Ferries.

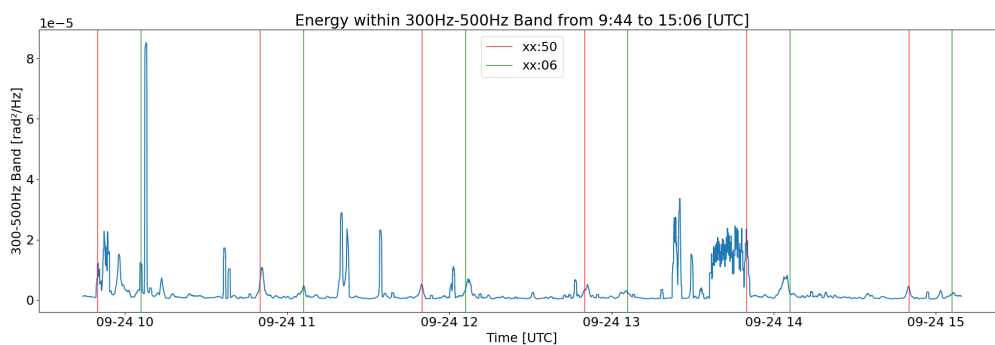


FIGURA 5.2: Passagens de Ferries sucessivas no dia 24 de Setembro de 2024

### 5.1.2 Estação de Cabos de Sesimbra

O cabo utilizado na Estação de Cabos Submarinos de Sesimbra estabelece ligação ao Cabo de São Vicente, na área de Sagres, como se pode verificar na Figura

5.3 produzida no software QGIS. Durante o exercício REPMUS 2024, foram realizados testes com um interrogador da AP Sensing™ e com o High-Fidelity Distributed Acoustic Sensor (HDAS®) da Aragón Photonics, equipamento pertencente ao Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência (INESC TEC). A gestão e o processamento destes dados foram assegurados pelo Instituto Hidrográfico, para posterior apresentação ao Estado-Maior da Armada (EMA). A



FIGURA 5.3: Sagres Cable

deteção de outros contactos foi efetuada através da visualização das posições AIS de navios que cruzaram a zona do cabo de Sagres. A título ilustrativo, apresentam-se no QGIS as posições AIS (Figura 5.4) relativas à passagem do cargueiro *WILSON HIRTSHALS*, em 25 de setembro de 2024.



FIGURA 5.4: Posições AIS

Esta nesta passagem, uma vez estabelecida a correlação espacial e temporal entre os dados de DAS e as rotas AIS dos navios, isolou-se o sinal acústico correspondente a cada cruzamento para análise. A seleção dos dados relevantes de DAS foi orientada diretamente pelas marcas temporais (*timestamps*) do AIS. Especificamente, extraiu-se uma janela temporal que abrange instantes antes e depois do momento registado de cruzamento, o que resultou num conjunto de dados com amostras temporais dos canais de DAS correspondentes.

Estas amostras foram visualizadas tanto no domínio do tempo como no domínio da frequência(Figura 5.5). Aplicou-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para converter os sinais temporais no domínio espectral, permitindo identificar as componentes de frequência dominantes associadas à assinatura acústica do navio, tais como harmónicos do motor, ruído de cavitação e interações do casco com a água.

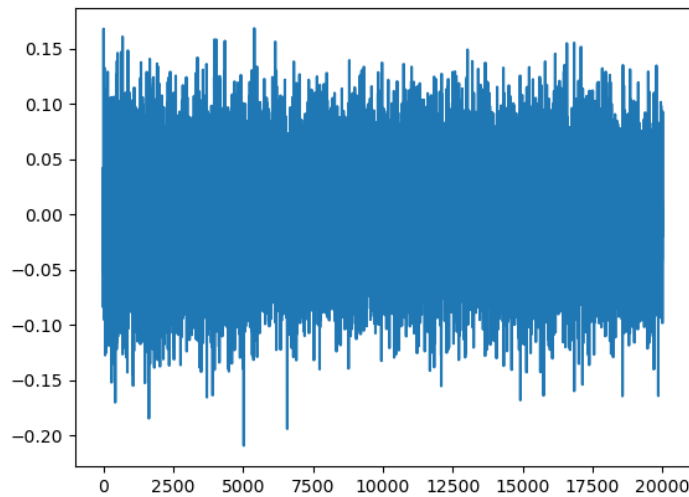


FIGURA 5.5: Amostras do intervalo da passagem

A análise por FFT, ilustrada na Figura 5.6, revelou que a maior parte da energia acústica relevante se encontrava concentrada entre  $2Hz$  e  $120Hz$ .

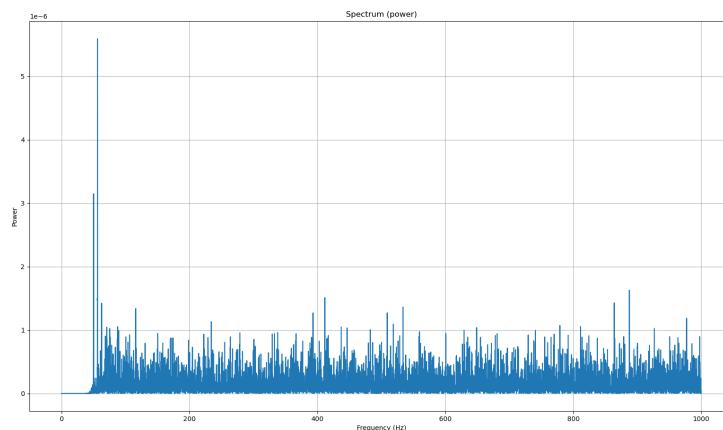


FIGURA 5.6: FFT inicial para os dados da passagem sobre o cabo

Em consequência, o conjunto de dados foi filtrado para reter apenas esta banda de frequências, removendo eficazmente o ruído de fundo e melhorando a clareza dos sinais associados aos navios. O conjunto filtrado foi então utilizado para gerar dois produtos visuais principais:

- Um gráfico de Energia por Banda de Frequência (FBE), que fornece uma visão espacial e temporal da energia do sinal dentro da faixa selecionada durante a travessia do navio (Figura 5.7).
- O perfil em frequência do navio detetado para eventual classificação ou comparação futura.

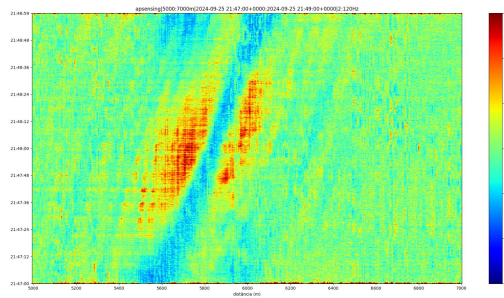


FIGURA 5.7: Gráfico FBE em que o eixo x representa a distância ao longo do cabo; o eixo y representa instantes temporais em ordem crescente; e a cor representa a intensidade do sinal captado pelo DAS.

Para interpretar esta figura, importa ter presente que o ruído do navio não gera grande deformação longitudinal quando está diretamente sobre o cabo (daí a faixa de baixa intensidade, a azul, inclinada para a frente), mas produz deformação longitudinal máxima em ambos os lados da sua posição. Assim, observam-se duas manchas vermelhas em torno da passagem do navio, uma de cada lado. O navio cruzou o cabo sensivelmente a meio do gráfico.

## 5.2 Estação de Cabos de Carcavelos

No período de 6 de Fevereiro a 23 de Junho onde foram realizadas estas medições utilizou-se aproximadamente  $17km$  do cabo submarino, com uma amostragem espacial de  $5m$  com uma grande variação de profundidade. O resultado foi um Dataset de mais de 1000 passagens e cerca de 450 navios diferentes, sendo que a distribuição do tipo de embarcações até ao mês de Abril é conforme a Figura 5.8.

A análise efetuada pela INOV permitiu que desenvolvessem filtros e software para selecionar e armazenar automaticamente o segmento dos dados produzidos pelo interrogador DAS relativo as passagens, através das posições AIS. Um exemplo dos

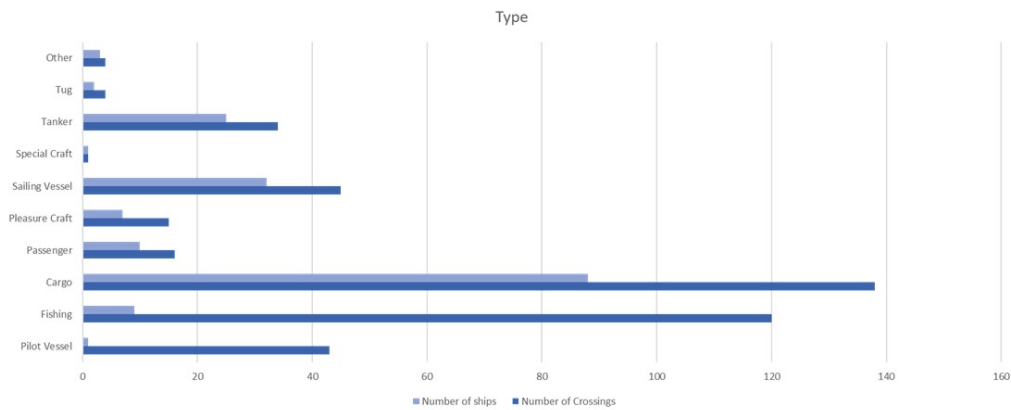


FIGURA 5.8: Tipos de Navios que efetuaram passagens durante as medições de Carcavelos até Abril

contactos estudados foi a passagem simultânea de mais que um navio (Figura 5.9) ou a passagem de um com outro presente, onde ocorre a passagem da embarcação de pilotos TORRE DE BELEM, com o AIS representado a azul, enquanto o navio-tanque LPG PIS PROLIFIC, representado a violeta, que atravessa mais a sul.

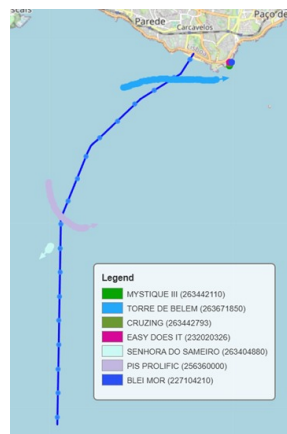


FIGURA 5.9: Cabo de Carcavelos com as posições AIS da embarcação de pilotos TORRE DE BELEM (Azul) e navio-tanque PIS PROLIFIC (Violeta)

A análise das frequências ao longo das posições (Figura 23) permite identificar a presença de ambos os navios no momento da passagem, sendo possível distingui-los devido à distância entre ambas as passagens e seguimento de ambos. A embarcação de pilotos apesar de ter dimensões mais pequenas é possível detetar, como assinalado na Figura 5.10 com um retângulo vermelho, devido a ter efetuado a passagem numa zona com uma profundidade inferior e com uma velocidade superior ( $17kts$ ) em comparação com o navio-tanque que tendo dimensões maiores é

facilmente visualizado na Figura 5.10 (assinalado com um retângulo azul) apesar de estar a praticar uma velocidade inferior (11*kts*) numa zona mais profunda.

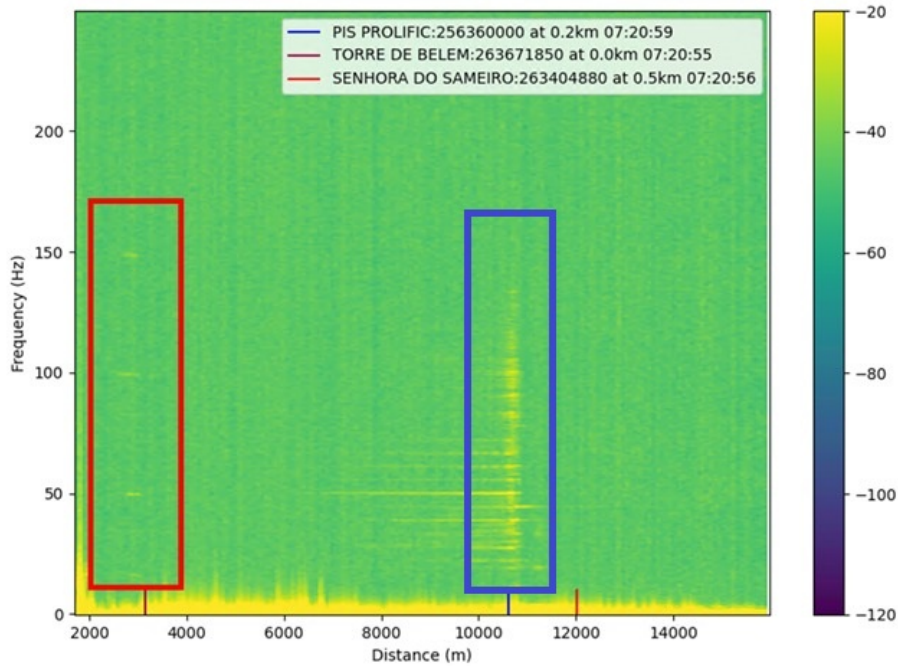


FIGURA 5.10: Espetrograma das posição da passagem de dois navios

### 5.3 Testes de Troia

Nos testes realizados em Troia não foi possível efetuar passagens em simultâneo com ambos os navios devido a uma avaria no sistema de governo do *NRP TEJO*. Assim, os ensaios decorreram apenas com o *NRP HIDRA*, tendo sido registada e considerada a presença do *NRP TEJO* e de outras embarcações na área de operações. Dos dados recolhidos com os hidrofones, verificou-se que:

- num dos TP-1, o cabo Ethernet foi danificado durante a instalação;
- um TP-1 apresentou ruído cuja origem não foi possível identificar;
- o SR-1 sofreu falha de bateria e interrompeu a gravação antes do início dos testes.

Os dados de GPS e AIS evidenciaram falhas na amostragem. Na passagem da série *Bravo* (passagem ao longo do cabo) do *NRP HIDRA*, iniciada em 1 de julho de 2025 às 14:42:04 e terminada às 14:44:10, não foram registados pontos de GPS ou AIS. Ainda assim, durante a série observaram-se resultados visuais no gráfico FBE, no software *DAS Configurator* (Figura 5.11). A imagem apresenta simetria

devido à existência de uma caixa de fusão que fecha o circuito no final do cabo, na posição dos 1600m. Curiosamente a sensibilidade na posição da caixa era maior do que no restante cabo, o que motivou a testar a hipótese da aplicação de *caixas de ressonância* nos FOC em ambiente laboratorial.

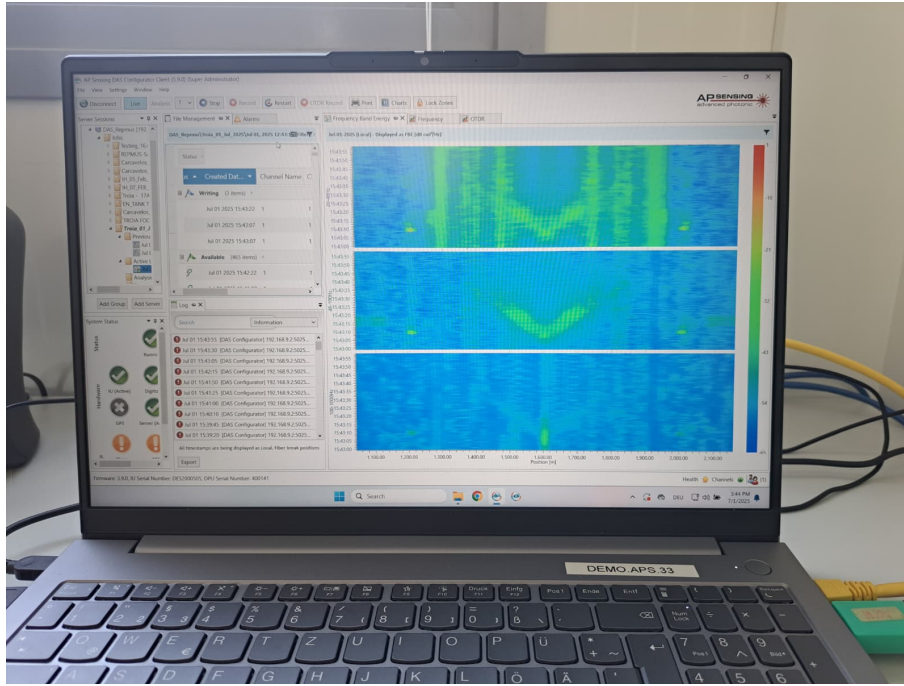


FIGURA 5.11: Gráfico FBE da passagem da Série BRAVO do *NPR HIDRA*

## 5.4 Testes Tanque de Arquitetura Naval

Os testes foram realizados com os diferentes tipos de cabos em simultâneo mas as diferentes posições na coluna de água e modos de acoplamento foram realizados em instantes diferentes, devido a não existir a possibilidade de efetuar o teste em simultâneo por não existir comprimento suficiente para todos os cabos efetuarem as 3 passagens (no caso do FOC 3 e SA) e 4 passagens (no caso do (FOC 0 e FOC 2)).

O interrogador DAS foi configurado com taxa de amostragem de  $5kHz$ , amostragem espacial de  $1,25m$  e *gauge length* de  $10m$ . As emissões foram *single-tone* nas frequências de  $200Hz$ ,  $1kHz$  e  $2500Hz$ , em vários níveis de potência não calibrados em absoluto, mas mantidos consistentes entre ensaios (comparação relativa válida).

Para melhor processamento os ficheiros .hfd5 produzidos pelo DAS foram selecionados e convertidos em ficheiros .WAV, com a seguinte nomenclatura *TTFP.WAV*, sendo:

- **TT** - o tipo de sensor e o seu acoplamento segundo a seguinte Tabela 5.1;
- **F** - Frequência;
- **P** - Nível de Potência.

TABELA 5.1: Sensores e acoplamento (TT)

| <b>TT</b> | <b>Sensor</b> | <b>Acoplamento</b> |
|-----------|---------------|--------------------|
| 01        | Hidrofone     | simples            |
| 02        | Foc1          | Enterrado          |
| 03        | Foc1          | Pousado            |
| 04        | Foc1          | Coluna de Água     |
| 05        | Foc1          | C/ressonantes      |
| 06        | Foc2          | Enterrado          |
| 07        | Foc2          | Pousado            |
| 08        | Foc2          | Coluna de Água     |
| 09        | Foc2          | C/ressonantes      |
| 10        | Foc3          | Enterrado          |
| 11        | Foc3          | Pousado            |
| 12        | Foc3          | Coluna de Água     |
| 13        | S.A.          | Enterrado          |
| 14        | S.A.          | Pousado            |
| 15        | S.A.          | Coluna de Água     |

Os sinais foram pré-processados segundo a seguinte cadeia:

- (i) filtragem passa-alto de Butterworth de 4.<sup>a</sup> ordem, com frequência de corte de  $50Hz$ ;
- (ii) remoção das primeiras 100 amostras para eliminar transitórios de arranque;
- (iii) subtração da componente DC;
- (iv) aplicação de uma janela de Hamming antes do processamento espectral.

Cada registo teve a duração de 10s. Para controlo de qualidade, foram inspecionadas no domínio do tempo séries representativas de 500 amostras por registo e, em seguida, calculada a FFT de cada ficheiro .wav.

Verificamos que os dados obtidos pelo hidrofone a  $200Hz$  é praticamente perfeitos, ou seja formam uma senoide pura (Figura 5.12 e 5.13).

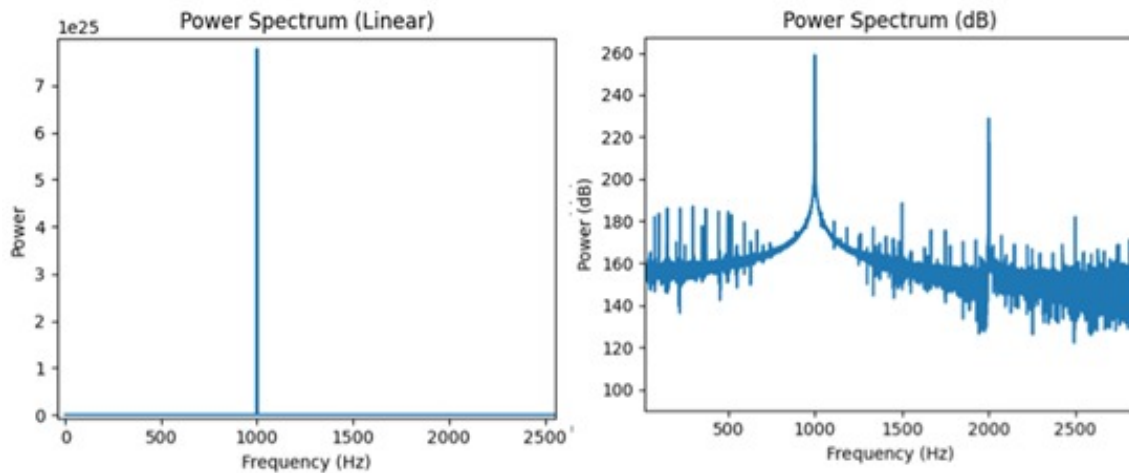


FIGURA 5.12: Gráficos do sinal original do hidrofone quando iluminado a  $200\text{Hz}$  na gama de interesse (0 a  $2,5\text{kHz}$ )

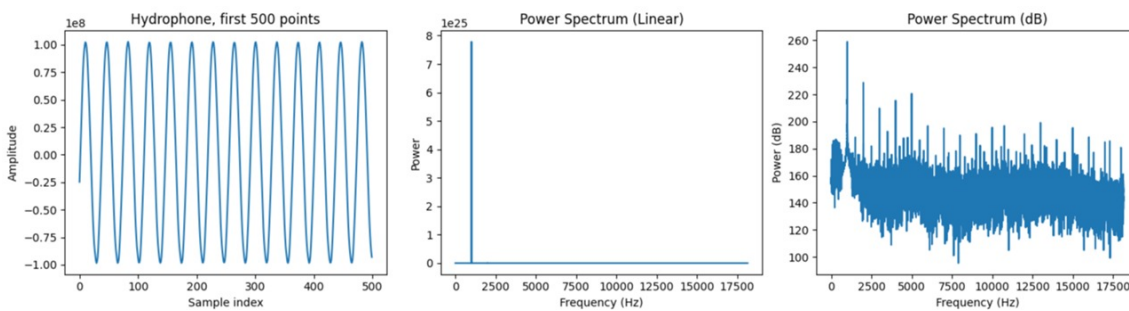


FIGURA 5.13: Gráficos do sinal original do hidrofone quando iluminado a  $200\text{Hz}$  em toda a gama que o hidrofone capta (0 a  $17,5\text{kHz}$ )

Os gráficos e tabelas correspondentes aos restantes dados encontram-se no Apêndice E.6. A potência não foi calibrada em unidades absolutas, contudo, todas as medições foram realizadas com a mesma configuração, pelo que as comparações relativas são válidas.

Com base nos espectros obtidos, calculou-se, para cada frequência (ou banda de interesse), a Relação SinalRuído (SNR), expressa em dB, bem como a Potência Total Recebida, obtida por integração espectral na banda considerada. Os resultados SNR agregados por sensor e condição de acoplamento para as frequências de  $200\text{Hz}$  e  $1\text{kHz}$  encontram-se nas Tabelas 5.2 e 5.3, respetivamente.

É de notar que ao longo deste trabalho experimental se considerou que SNR é igual a potência na frequência nominal (1 *bin*) a dividir pela potência fora de banda (somatório de todos os outros *bins*). Os resultados apresentados evidenciam que a Relação SinalRuído (SNR) foi, em geral, superior quando os cabos se encontravam

na *coluna de água* e inferior quando estavam *enterrados*. Este comportamento contrasta com o observado nos ensaios iniciais do projeto para a condição de coluna de água, sugerindo que fatores ambientais e de acoplamento tiveram papel determinante neste conjunto de medições. Podemos como hipótese que os melhores resultados nos testes reais foram devidos ao ruído de fluxo (*flownoise*), provocado pela água em movimento. No entanto esta hipótese carece de confirmação. Entre os sensores avaliados, o Foc 0 (Patchcord) apresentou o melhor desempenho, enquanto o cabo SA (armado) revelou o pior.

Verificou ainda diferenças muito expressivas tanto entre cabos, como entre frequências e entre acoplamentos, confirmando a forte dependência em relação a estas características.

Por fim, constatou-se que as caixas de ressonância produziram efeitos opostos nos dois casos analisados, o que indica sensibilidade às condições locais e à frequência de excitação.

Os testes laboratoriais resultaram em valores que implicam a necessidade de repetições dos ensaios que não foram possíveis de realizar devido a falta de comprimento dos cabos e dificuldade em adquirir mais fibras.

TABELA 5.2: Resultados para frequência 200Hz

| Sensor    | Acoplamento    | SNR(dB)     | Total Power |
|-----------|----------------|-------------|-------------|
| Hidrofone | Simples        | 0.454866    | 2.51E+16    |
| Foc0      | Enterrado      | <b>1.23</b> | 353.20      |
| Foc0      | Pousado        | -20.55      | 56.02       |
| Foc0      | Coluna de Água | -19.77      | 65.67       |
| Foc0      | C/ressonantes  | -32.24      | 196.38      |
| Foc2      | Enterrado      | -11.49      | 57.38       |
| Foc2      | Pousado        | -35.07      | 27.69       |
| Foc2      | Coluna de Água | <b>1.14</b> | 283.99      |
| Foc2      | C/ressonantes  | -5.30       | 112.33      |
| Foc3      | Enterrado      | -20.15      | 86.20       |
| Foc3      | Pousado        | -47.09      | 164.66      |
| Foc3      | Coluna de Água | -23.05      | 28.99       |
| Foc4 S.A. | Enterrado      | -21.79      | 77.97       |
| Foc4 S.A. | Pousado        | -39.11      | 55.97       |
| Foc4 S.A. | Coluna de Água | -4.43       | 44.25       |

TABELA 5.3: Resultados para frequência 1KHz

| Sensor    | Acoplamento    | SNR(dB)      | Total Power |
|-----------|----------------|--------------|-------------|
| Hidrofone | Simples        | 1.90         | 9.26E+20    |
| Foc0      | Enterrado      | 0.08         | -11.14      |
| Foc0      | Pousado        | 1.43         | 1.55        |
| Foc0      | Coluna de Água | <b>11.80</b> | 10.72       |
| Foc0      | C/ressonantes  | 4.08         | 6.11        |
| Foc2      | Enterrado      | 0.34         | -4.68       |
| Foc2      | Pousado        | 0.72         | -1.43       |
| Foc2      | Coluna de Água | 3.92         | 5.94        |
| Foc2      | C/ressonantes  | 0.04         | -13.70      |
| Foc3      | Enterrado      | 0.15         | -8.34       |
| Foc3      | Pousado        | 2.84         | 4.54        |
| Foc3      | Coluna de Água | <b>10.50</b> | 10.21       |
| Foc4 S.A. | Enterrado      | 0.15         | -8.33       |
| Foc4 S.A. | Pousado        | 0.05         | -13.05      |
| Foc4 S.A. | Coluna de Água | 8.64         | 9.36        |

Verifica-se pela análise das tabelas que o ruído ambiente é superior a 200hz do que a 1KHz, que com algumas exceções, a sensibilidade é maior para o cabo na coluna de água, menor para o pousado e intermédia para o enterrado a 200Hz. Enquanto a 1KHz continua a ser melhor para o cabo na coluna de água mas o pior passa a ser o enterrado.

Em síntese, os resultados sustentam que a condição de acoplamento e a frequência são determinantes para o desempenho, com vantagem observada para a instalação em coluna de água neste conjunto de testes, mas com variabilidade suficiente para exigir confirmação sob condições controladas.

# Conclusão

O principal contributo desta dissertação foi o apoio ao projeto FIBER-MARS, em concreto ao longo desta dissertação foram planeadas e acompanhadas as diversas campanhas de recolha de dados, desenvolveu-se o *know how* para realizar fusão de fibra desenvolveu-se software para análise dos dados e controlo das experiências. Os testes em tanque embora não estivessem previstos no plano do projeto, revelaram-se particularmente úteis. Esta dissertação já deu origem a 3 artigos científicos, dos quais dois já foram aceites e uma aguarda resposta.

## Síntese e resposta à questão principal da dissertação

Este trabalho demonstrou a viabilidade do *Distributed Acoustic Sensing* (DAS) aplicado a cabos de fibra ótica para deteção e análise de tráfego marítimo e para avaliação comparativa de diferentes cabos e estados de acoplamento, combinando dados reais (REPMUS 2024: Sesimbra, Tróia e Carcavelos) com ensaios controlados em tanque. A integração com dados AIS permitiu isolar eventos de passagem e construir produtos visuais (FBE e perfis espectrais) que tornam explícita a distribuição espaçotemporal da energia do sinal em bandas relevantes. A análise FFT revelou concentração de energia acústica útil sobretudo nas baixas frequências, conduzindo à filtragem dedicada (tipicamente  $2120Hz$ ). Em tanque, a comparação sistemática por cabo e por acoplamento mostrou diferenças expressivas na SNR e evidenciou uma vantagem geral para configurações em coluna de água nas condições ensaiadas.

## Principais contributos

O principais contributos são:

- **Validação em cenário real com suporte AIS:** estabeleceu-se a correlação espaçotemporal entre DAS e trajetórias AIS, isolando janelas de análise por passagem e gerando FBE que exibem a assinatura espacial do evento.
- **Caracterização espectral de dados reais:** a FFT de passagens reais indicou que a energia mais informativa se concentra entre cerca de 2 e 120Hz, motivando filtragem de banda e uma leitura mais robusta das assinaturas dos navios, em particular observando diversas harmônicas da frequência base da rotação dos hélices, harmônicos do motor, cavitação e interações cascoágua).
- **Obtenção de um *dataset*:** utilização de cabos submarinhos de fibra ótica comerciais e construção de um *dataset* com >1000 passagens e cerca de 450 navios, permitindo análises de coincidência e casos com tráfego múltiplo.
- **Comparação de características de diferentes cabos e acoplamentos em ambiente controlado):** confirmou-se variação marcada de desempenho (SNR) por cabo e por frequência; em 1kHz, observaram-se diferenças como *FOC0* em coluna de água (10,72dB) vs. enterrado (-11,14dB), e *FOC3* em coluna de água (10,21dB).
- **Verificação do efeito das caixas de ressonância dependente do cenário:** os ressonadores produziram efeitos opostos nos dois casos analisados (1kHz vs. 200Hz / cabos distintos), salientando a sensibilidade às condições locais e à banda de operação.
- **Construção de um pipeline de processamento reprodutível:** normalizou-se o pré-processamento (Butterworth passa-alto 50Hz, remoção de 100 amostras iniciais, supressão DC, janela de Hamming), com cálculo de FFT, SNR em dB e potência integrada por banda; os detalhes e gráficos estão no Apêndice E (incluindo funções de transferência por cabo).

## Limitações

As principais limitações foram:

- **Fonte emissora e faixa espectral:** o altifalante subaquático LL916C (200Hz-21kHz) limitou o estudo em tanque, impedindo medições < 200Hz, precisamente a faixa de maior interesse para propagação de longa distância.
- **Aquisição de Material:** Limitação na possibilidade repetir testes por dificuldade em adquirir cabos de fibra ótica necessários.

- **Medições relativas de potência:** sem calibração absoluta, as comparações são relativas, ainda que consistentes pela manutenção da mesma configuração instrumental ao longo da campanha.
- **Execução experimental:** houve limitações logísticas (e.g., comprimento de fibra disponível) que impediram repetições adicionais necessárias para consolidar algumas métricas laboratoriais.
- **Instalações:** Utilização do Tanque de Arquitetura Naval, que é pequeno e tem muita reverberação, ao invés de um tanque anecóico como o do Arsenal do Alfeite. De facto estava previsto utilizarmos este tanque após obtermos resultados no tanque da Escola Naval, por este ter mais fácil acesso.

## Trabalho futuro

Para trabalhos futuros sugere-se:

- **Extensão para frequências abaixo de  $200Hz$ :** Repetição dos ensaios no tanque com projetor adequado para baixas frequências, cobrindo integralmente a banda identificada no mar (aprox. 2 a  $120Hz$ ) e possivelmente num tanque anecoico, como o existente no Arsenal do Alfeite.
- **Avaliação do efeito dos ressonadores:** mapear, por cabo e por frequência, condições em que os ressonadores melhoram ou degradam SNR e potência total, testando diferentes formatos e materiais.
- **Inteligência Artificial e Machine Learning:** criar datasets e alimentar redes por forma a treinar reconhecimento de padrões para automatização do processamento.
- Continuação de testes com diferentes cabos por forma a definir as características ideais para a aplicação deste tipo de tecnologia.
- **Caracterização da Função de Transferência dos Cabos:** Análise em maior banda de frequências por forma a caracterizar a função de transferência dos diferentes tipos de cabos

## Considerações finais

Em conjunto, os resultados sustentam que a condição de acoplamento e a frequência são determinantes para o desempenho do DAS, com *vantagem observada*

para a instalação em coluna de água neste conjunto de ensaios, ainda que com variabilidade entre cabos e frequências que exige confirmação sob condições controladas. A integração de FBE/FFT com AIS permite construir produtos operacionais claros e escaláveis, enquanto os ensaios de tanque forneceram *insights* experimentais sobre o impacto do tipo de cabo, do acoplamento e dos ressonadores. Limitações instrumentais (faixa do emissor) e de desenho experimental (foco em frequências discretas e potência relativa) foram identificadas e informam o plano de trabalho futuro. Globalmente, o estudo confirma o potencial do DAS, apoiado em infraestruturas de fibra existentes, como complemento aos meios tradicionais de vigilância, reforçando o conhecimento situacional marítimo através de sensores passivos distribuídos.

# Bibliografia

- AB, H. (2022). Selecting submarine cables: use of Single vs Double Armor depending on depth and environment [Explains choice of single vs double armored submarine cables based on water depth (500 m vs >500 m)]. <https://www.hexatronic.com/en/blog/selecting-submarine-cables>
- Addanki, S., et al. (2018). Review of optical fibers introduction and applications in sensor technology [Discusses total internal reflection principle in fibers and fiber-optic sensor applications]. *Review of Optical Fibers*.
- Antoniou, A. (2006). *Digital signal processing*. McGraw-Hill.
- Apel, J. R. (1987). *Principles of ocean physics*. Academic Press.
- Association, T. F. O. (2025). The FOA Reference for Fiber Optics Fusion Splicing [Explica o processo de fusão de fibras ópticas usando arco elétrico como método mais utilizado]. <https://www.thefoa.org/tech/ref/termination/fusion.html>
- Barbagelata, L., & Guerrini, F. (2010). History and Evolution of Towed Array Sonar. *Revista de la Armada*.
- Bernardino, L. (2024). Geostrategic position of Portugal in the global submarine cable network: Challenges and opportunities. [https://eurodefense.pt/wp-content/uploads/2024/08/20240731\\_Geostrategic-position-of-Portugal-in-the-global-submarine-cable-network.pdf](https://eurodefense.pt/wp-content/uploads/2024/08/20240731_Geostrategic-position-of-Portugal-in-the-global-submarine-cable-network.pdf)
- Blanco, S. (2021). The Mar-Portugal Plan: How Portugal's Action Plan to Transition into a Maritime Economy May Prove Challenging within the Current International Regulatory Framework for Deep Sea Mining. *Journal of International Business and Law: Vol. 21*.
- Buck, J. A. (2003). *Fundamentals of Optical Fibers, Second Edition* [Covers fundamentals of light propagation, waveguiding, nonlinearity, and measurement in optical fibers]. John Wiley & Sons.
- CMRE, N. (2020). *Passive Acoustic Surveillance and AIS Fusion Experiments* (rel. téc.). Centre for Maritime Research e Experimentation.
- Crocker, M. J. (1998). *Handbook of acoustics*. John Wiley & Sons.
- DOSITS. (2023). Distributed Acoustic Sensing (DAS): Shedding Light on Passive Acoustics. [https://dosits.org/2023/08/2025](https://dosits.org/2023/08/202308/2025)

- Freixo, M. J. V. (2011). *Metodologia científica: fundamentos, métodos e técnicas*. 3ª ed. Instituto Piaget.
- Gorshkov, B. G., Yüksel, K., Fotiadi, A. A., Wuilpart, M., Korobko, D. A., Zhirnov, A. A., Stepanov, K. V., Turov, A. T., Konstantinov, Y. A., & Lobach, I. A. (2022). Scientific Applications of Distributed Acoustic Sensing: State-of-the-Art Review and Perspective. *Sensors*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/s22031033>
- Hansen, C. H. (2001). Fundamentals of acoustics. In Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control [World Health Organization, 1(3), 23-52].
- Heckbert, P. (1995). Fourier transforms and the fast Fourier transform (FFT) algorithm. *Computer Graphics Vol. 2*.
- Huang, Z., Chen, W., & Yao, J. (2022). Review of Optical Fiber Hydrophones Using FabryPerot Cavities. *Applied Sciences*.
- Hughes, T. (1998). Vessel traffic services (VTS): Are we ready for the new millennium? *The Journal of Navigation Vol. 51(3)*.
- Ito, K., Miyamori, M., Sato, R., Takayanagi, H., Yusa, H., & Homma, T. (2018). History and Vision of Optical Fiber Fusion Splicing Technology. *Sumitomo Electric Industries Technical Review*.
- Landrø, M., et al. (2022). Monitoring vessel traffic and marine life using submarine DAS cable in SvalbardNorway. *ICPC Report*.
- Lemon, S. (2004). Towed-array history, 1917-2003. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 29(2), 365–373. <https://doi.org/10.1109/JOE.2004.829791>
- Li, Y., Karrenbach, M., & Ajo-Franklin, J. (2021). A Literature Review: Distributed Acoustic Sensing (DAS) Geophysical Applications Over the Past 20 Years. *Geophysical Monograph Series*.
- Liokumovich, L., Ushakov, N., Kotov, O., Bisyarin, M., & Hartog, A. (2015). Fundamentals of Optical Fiber Sensing Schemes Based on Coherent Optical Time Domain Reflectometry: Signal Model Under Static Fiber Conditions. *Journal of Lightwave Technology*, 33, 3660–3671. <https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2449085>
- Marage, J. P., & Mori, Y. (2013). *Sonar and underwater acoustics*. John Wiley & Sons.
- MarSensing. (2016). *digitalHyd TP-1 User Manual* [Versão técnica atualizada. Inclui descrição de hardware, instalação e especificações completas]. Faro, Portugal. <http://www.marsensing.com>

- MarSensing. (2017). *digitalHyd TP-1 Software API Documentation* [Contém estrutura dos pacotes de comunicação, comandos TCP/UDP, formatos de aquisição]. <http://www.marsensing.com>
- MarSensing. (2025). digitalHyd TP-1 - Digital Ethernet Hydrophone Datasheet [Documento técnico resumido com especificações de sensibilidade, resposta em frequência, operação e integração]. <http://www.marsensing.com>
- Nations, U. (1982). United Nations convention on the law of the sea.
- Reza, M. (2019). Geopolitics of Portugal in Atlantic Sea. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 48. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2019i6.6337>
- Sensing, A. (2023). AP. Sensing, Users Guide, 6th ed. [AP Sensing DAS Configurator Client].
- Shen, Z., & Wu, W. (2024). Ocean bottom distributed acoustic sensing for oceanic seismicity detection and seismic ocean thermometry. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth Vol. 129*.
- Shi, S., & Zong, Q. (2025). Benchmarking Machine Learning Methods for Distributed Acoustic Sensing [Explores ML applied to DAS signal recognition]. *arXiv preprint*.
- Smith, L., & Chen, Q. (2021). Integrating DAS and AIS for passive maritime monitoring. *Journal of Marine Technology*, 58(4), 215–228.
- Stergiopoulos, S. (2017). *Advanced signal processing handbook: theory and implementation for radar, sonar, and medical imaging real time systems*. CRC Press.
- Taweessintananon, K., Landrø, M., Brenne, J. K., & Haukanes, A. (2021). Distributed acoustic sensing for near-surface imaging using submarine telecommunication cable: a case study in the Trondheimsfjord, Norway. *Geophysics*.
- Team, Z. C. E. (2023). Summary of submarine fiber optic cable types: LW, LWP, SA, and DA [Defines Lightweight (LW), Lightweight Protected (LWP), Single Armor (SA) and Double Armor (DA) submarine fiber-optic cables]. *ZMS Cable Technical Article*. <https://kvcable.com/a-comprehensive-summary-of-submarine-fiber-optic-cable-types-and-distribution-around-the-world-in-one-article-favorites/>
- Urick, R. J. (1983). *Principles of Underwater Sound*. McGraw-Hill.
- Xenaki, A., Gerstoft, P., Williams, E., & Abadi, S. (2025). Distributed acoustic sensing for ocean applications. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2502.18344>
- Xenaki, A. (2025). Distributed acoustic sensing for ocean applications. <https://arxiv.org/abs/2502.18344>

Zhan, Z. (2020). Distributed Acoustic Sensing Turns Fiber-Optic Cables into Sensitive Seismic Antennas. *Seismological Research Letters* 91(1). <https://doi.org/10.1785/0220190112>

## Apêndice A - Cabo de Carcavelos - Tipo de Armadura

| Distância acumulada (km) | Profundidade da água (m) | Tipo de fibra                            | Comentários   |
|--------------------------|--------------------------|--|---|
| 0.994                    | 16                       | Dupla armadura                           | -   |
| 2.969                    | 15                       | Dupla armadura                           | -   |
| 5.439                    | 20                       | Dupla armadura                           | Até este ponto, o cabo de fibra foi colocado no fundo marinho numa ranhura feita com jato de água.          |
| 5.687                    | 21                       | Dupla armadura                           | A partir deste ponto, a fibra encontra-se enterrada a uma profundidade entre 0,5 m e 1 m por meio de arado. |
| 5.788                    | 21                       | Dupla armadura                           | -   |
| 6.126                    | 22                       | Transição de dupla para simples armadura | -   |
| 9.055                    | 41                       | Simple armadura                          | -   |
| 17.617                   | 114                      | Simple armadura                          | -   |



## Apêndice B - Testes Troia - Posições Hidrofonos



Posições

| Rótulo | Latitude      | Longitude      |
|--------|---------------|----------------|
| A      | 38° 28,563' N | 008° 52,219' W |
| B      | 38° 28,564' N | 008° 52,233' W |
| C      | 38° 28,567' N | 008° 52,246' W |
| X      | 38° 28,551' N | 008° 52,140' W |



# Apêndice C - Testes Troia - Planeamento de Séries

## C.1 Série ALFA

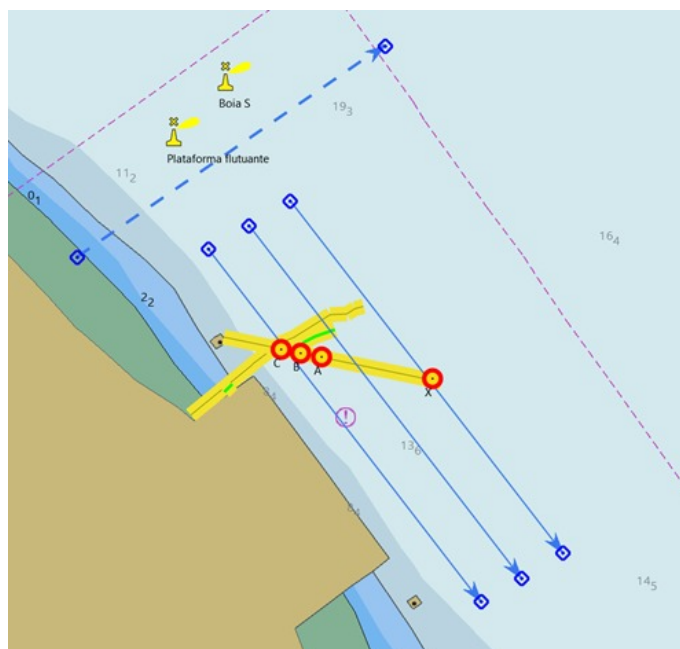


TABELA C.1: Test runs (speed, distance to pier, heading, vessels)

| Speed     | Distance to Pier | Heading | Vessels    |
|-----------|------------------|---------|------------|
| 5/7 knots | 50 m*            | 324°    | TEJO/HIDRA |
| 5/7 knots | 100 m*           | 144°    | TEJO/HIDRA |
| 5/7 knots | 150 m*           | 324°    | TEJO/HIDRA |
| 10 knots  | 50 m*            | 324°    | HIDRA      |
| 10 knots  | 100 m*           | 144°    | TEJO/HIDRA |
| 10 knots  | 150 m*           | 324°    | TEJO/HIDRA |
| 12 knots  | 50 m*            | 324°    | HIDRA      |
| 12 knots  | 100 m*           | 144°    | TEJO/HIDRA |
| 12 knots  | 150 m*           | 324°    | TEJO/HIDRA |

## C.2 Série BRAVO

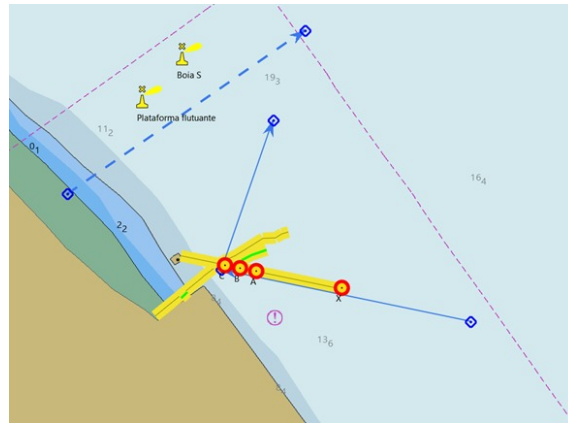


TABELA C.2: Run specification

| Speed    | Turn   | Heading | Participants |
|----------|--|---------|--------------|
| 10 Knots | Turn moment at CO's discretion. Never after point C. | 281°    | TEJO/HIDRA   |

## C.3 Série CHARLIE

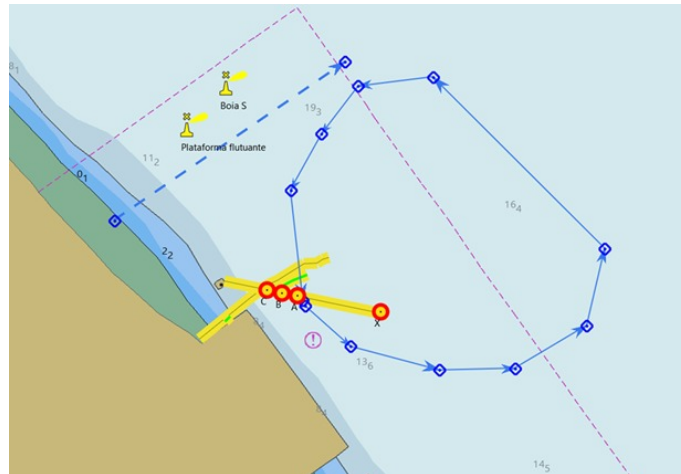


TABELA C.3: Run specification

| Speed    | Rotation  | Heading | Participants |
|----------|---|---------|--------------|
| 10 Knots | Rotation route as the vessel commander orders to pass through point A | 281°    | TEJO/HIDRA   |

## C.4 Série DELTA

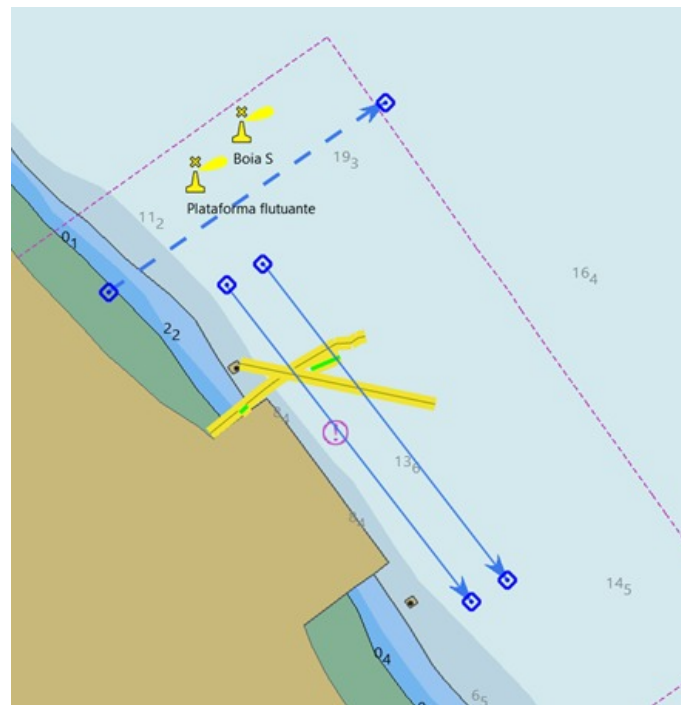


TABELA C.4: Run specification

| Speed   | Rotation   | Heading | Participants |
|---------|--|---------|--------------|
| 7 Knots | Lateral distance from pier - 50m for Hidra and after 30 m for Tejo | 324°    | TEJO/HIDRA   |





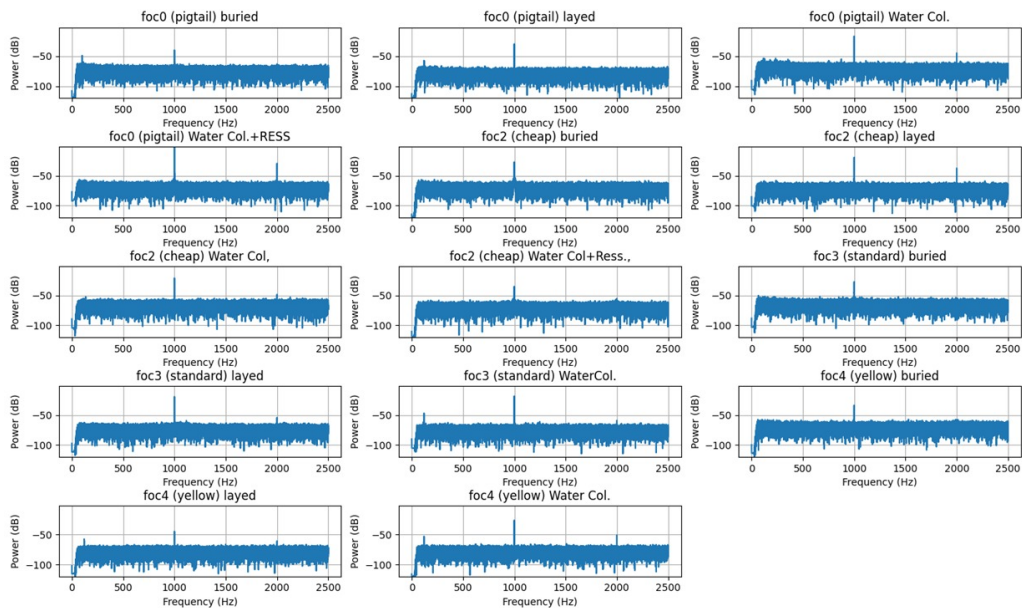


# Apêndice E - Testes Tanque de Arquitetura Naval - Gráficos e Tabelas

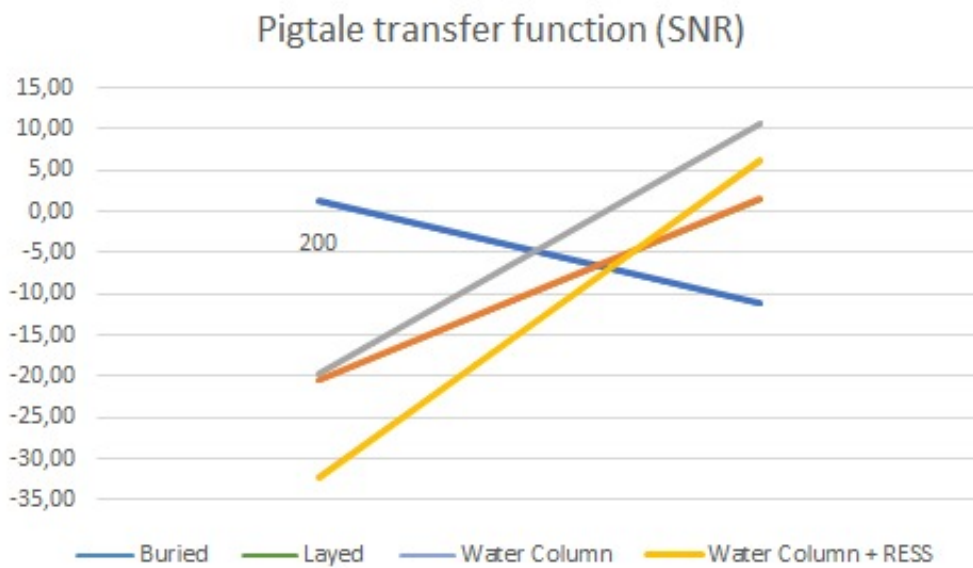
## E.1 Tabela de valores para 200Hz e 1KHz

|    |           |                     | snr  | snr(dB)  | power at 1kHz | Total Power | snr   | snr(dB) | power at 200 | Total Power |
|----|-----------|---------------------|------|----------|---------------|-------------|-------|---------|--------------|-------------|
| 1  | Hidrofone | Simple              | 1.11 | 0.454866 | 1.32E+16      | 2.51E+16    | 1.55  | 1.90    | 5.63E+20     | 9.26E+20    |
| 2  | Foc0      | Buried              | 1.33 | 1.23     | 201.47        | 353.20      | 0.08  | -11.14  | 4.14         | 58.02       |
| 3  | Foc0      | Layed               | 0.01 | -20.55   | 0.49          | 56.02       | 1.43  | 1.55    | 44.58        | 75.76       |
| 4  | Foc0      | Water Column        | 0.01 | -19.77   | 0.69          | 65.67       | 11.80 | 10.72   | 3415.13      | 3704.58     |
| 5  | Foc0      | Water Column + RESS | 0.00 | -32.24   | 0.12          | 196.38      | 4.08  | 6.11    | 27072.90     | 33710.60    |
| 6  | Foc2      | Buried              | 0.07 | -11.49   | 3.80          | 57.38       | 0.34  | -4.68   | 74.11        | 291.86      |
| 7  | Foc2      | Layed               | 0.00 | -35.07   | 0.01          | 27.69       | 0.72  | -1.43   | 414.55       | 990.65      |
| 8  | Foc2      | Water Column        | 1.30 | 1.14     | 160.56        | 283.99      | 3.92  | 5.94    | 763.72       | 958.36      |
| 9  | Foc2      | Water Column + RESS | 0.30 | -5.30    | 25.59         | 112.33      | 0.04  | -13.70  | 5.78         | 141.34      |
| 10 | Foc3      | Buried              | 0.01 | -20.15   | 0.82          | 86.20       | 0.15  | -8.34   | 74.36        | 581.22      |
| 11 | Foc3      | Layed               | 0.00 | -47.09   | 0.00          | 164.66      | 2.84  | 4.54    | 463.29       | 626.16      |
| 12 | Foc3      | Water Column        | 0.00 | -23.05   | 0.14          | 28.99       | 10.50 | 10.21   | 1105.09      | 1210.33     |
| 13 | Foc4 S.A. | Buried              | 0.01 | -21.79   | 0.51          | 77.97       | 0.15  | -8.33   | 19.55        | 152.79      |
| 14 | Foc4 S.A. | Layed               | 0.00 | -39.11   | 0.01          | 55.97       | 0.05  | -13.05  | 1.13         | 24.05       |
| 15 | Foc4 S.A. | Water Column        | 0.36 | -4.43    | 11.73         | 44.25       | 8.64  | 9.36    | 236.89       | 264.31      |

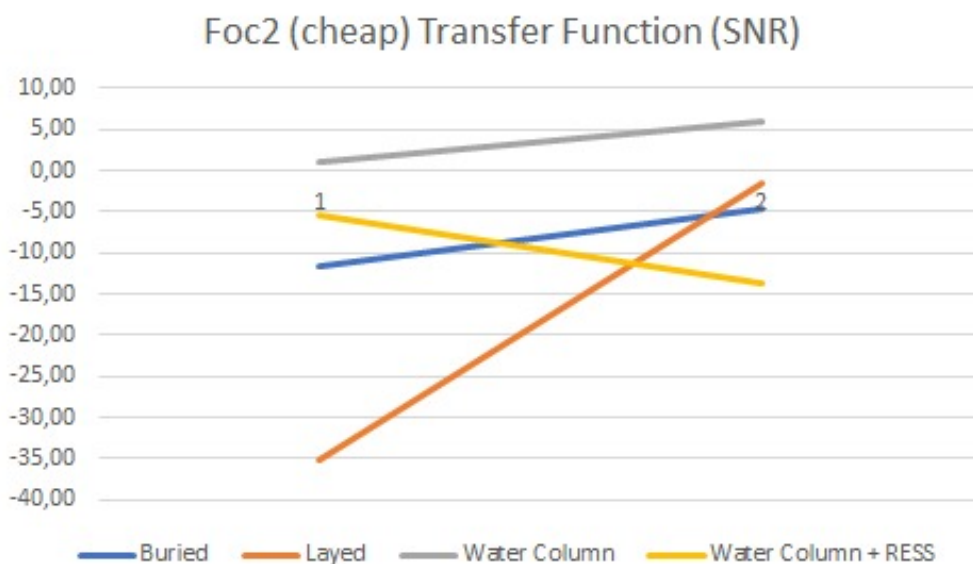
## E.2 Gráficos para 1KHz



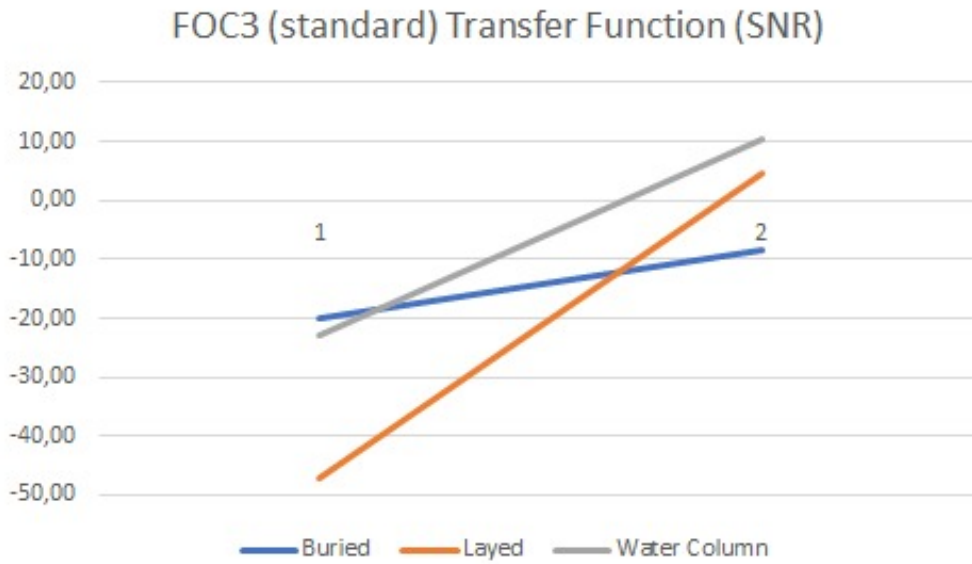
### E.3 Função Transferência FOC 0



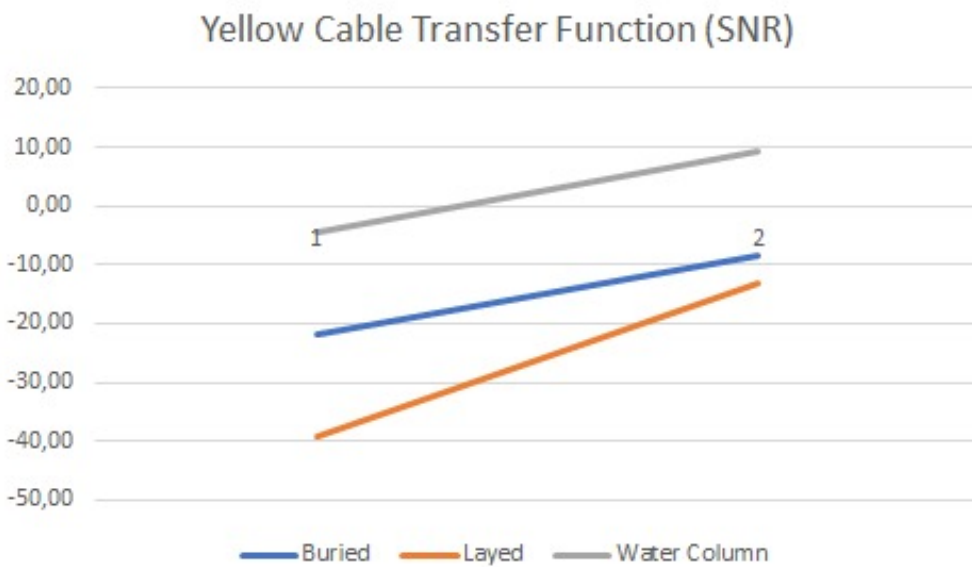
### E.4 Função Transferência FOC 2



## E.5 Função Transferência FOC 3



## E.6 Função Transferência SA





# Anexo I - Especificações do modelo da Máquina de Fusão de Fibra Ótica Signal Fire AI-9

OPTICAL FIBER FUSION SPLICER

  
OPTICAL FIBER FUSION SPLICER





## BASIC PARAMETER

|                        |   |                         |   |
|------------------------|---|-------------------------|---|
| Fiber alignment        | Core/cladding alignment / Manual alignment                            | Built-in lighting       | easy for night operation  |
| Splicing time          | 5S  | Tension Test            | Standard 2N   |
| Heating time           | 15S   | Fiber holders           | 3 in 1 fiber holder, SM, MM, bare fiber, pigtail, rubber-insulated, multi fiber cable   |
| Heating mode           | Automatic heating ( Preheating )                                      | Magnification           | 300 for X or Y view, 150 for X or Y view  |
| Focus mode             | Six motors Auto focus   | Screen                  | 5 inch TFT color display  |
| Applicable Fibers      | SM(G.852&G.657), MM ( G.651 ) , DS(G.657), NZDS ( G.655 )             | Splicing Mode           | Normal / high precision splicing  |
| Splice Loss            | 0.025dB ( SM ) , 0.01dB ( MM ) 0.04dB ( DS/NZDS )                     | Splicing method         | Fully automatic, Step by step splicing  |
| Control technology     | Real-time control and calibration of fusion ARC                       | Splicing record storage | Synchronize to the phone, the server to cloud storage unlimited   |
| Return loss            | Better than 60DB  | Built-in battery        | 7800 mA high-capacity lithium battery, charging time ≤ 3.5 hours, continuous splicing and heating about 200 times                     |
| Fiber diameter         | Cladding Diameter : 80-150µm<br>Coating Diameter : 100-1000µm         | Power supply            | Input AC100-240V 50 / 60HZ, output DC13.5V / 4A, the current power mode can be identified, real-time detection of battery power       |
| Fiber Cleave Length    | Coating less than 250µm : 8-18mm<br>Coating less than 250-1000µm:16mm | Operating Conditions    | Temperature -15 ~ +50 °C, humidity: <95% RH (no condensation)<br>Working altitude: 0 ~ 5000m. Resist max. wind speed: ≤ 15m / s       |
| Software update Length | Automatically update, Update by a key                                 | Shrinkable tube         | 60mm, 50mm, 40mm, 25mm  |
| Boot time              | 1 second  | Product protection      | Waterproof, dust proof, shock-resistant   |
| Visual Fault Locator   | Power:15mw,2hzflashing And Constantly Bright Mode                     | Optical Power Meter     | Wavelength:850nm, 1300nm, 1310nm, 1490nm, 1550nm, 1625nm<br>Measuring Range:-70 ~ +6db<br>Absolute Error:<0.3db(-50dbm ~ +3dbm Range) |



## Anexo II - Especificações do modelo do Hidrofone Cabelado TP-1

### DigitalHyd TP-1 -Digital ethernet hydrophone

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Institution/Company name</b> | <b>MarSensing Lda.</b>   |
| Contact details                 | Centro Empresarial de Gambelas<br>Universidade do Algarve, Campus de Gambelas,<br>Pavilhão B1, 8005-139 Faro, Portugal<br>Cristiano Soares<br><a href="mailto:contact@marsensing.com">contact@marsensing.com</a><br>(+351) 913729660 |
| Website                         | <a href="http://www.marsensing.com">http://www.marsensing.com</a>  |

□ **Key words**

Communications - Data management - Sensors / instrumentation / electronics - Software engineering / development

□ **Description**

Digital hydrophone suitable for integration in existing platforms. Real-time applications: use in tethered or system integrated configurations. Configurable for real-time onboard data analysis. Ideal for long-term monitoring.

The digitalHyd TP-1 is an **acoustic acquisition device designed for real-time streaming of digital data for remote storage, processing, and/or visualisation**. This device has internal processing capabilities allowing, alternatively, to stream results such as spectral analysis.

The TP-1 hydrophone is ideal for integration into monitoring buoys or readily existing systems, or it can be connected directly to a computer.

This digital hydrophone features a pre-amplifier combined with a programmable gain amplifier (PGA) with 7 different gains, for convenient adjustment of the overall sensitivity according to expected incoming signals' amplitudes.





The device is equipped with an analog-to-digital converter with a wide range of selectable sampling rates up to 312500 samples per second at 24 bits. The TP-1 is a telemetry based hydrophone which features a 10/100 MBit/s ethernet interface, which allows direct connection to a computer, or to a wired or wireless network for real-time data streaming to a client that can handle the acoustic data for storage, processing, and/or visualisation. A power/ethernet cable for power supply and two-ways communications can be supplied.

The TP-1 digital hydrophone has internal processing capabilities, where FFT based data analysis can be carried out and results can be made through a low-speed serial link. It features various configurations, including selectable sampling frequencies, programmable sensitivity, and acoustic data processing modes.

**Specifications:**

- Sample Frequency: 36.3, 67.8, 78.1, 119.8, 180.2, 156.3, 312.5 ksp/s (selectable)
- Sample Resolution: 24 bits
- Usable Acoustic Band: 1 Hz to 150 kHz
- Receive sensitivity: -165 to -129 dB re 1 V/uPa at 80 kHz (1x gain)
- Programmable Gain Amplifier: 1x, 2x, 4x, 8x, 16x, 32x, 64x
- Input Sound Pressure Level Range: Up to 200 dB re 1 uPa
- Power Supply: 12 to 24 VDC
- Operation depth: Up to 100 m
- Case dimension: 60 x 310 mm (diameter x length)
- Case Material: Delrin
- Weight: 0.5 kg (in water), 1 kg (in air)
- Operation Temperature Range: 0 °C to 40 °C

**Applicability of Technology to Maritime SMES**







## Anexo III - Especificações do modelo do Hidrofone Autônomo SR-1

**MARSENSING LDA**  
UNDERWATER ACOUSTICS & MARINE TECHNOLOGIES



# digitalHyd SR-1

*USER-FRIENDLY RECORDING OF UNDERWATER SOUND*  
A compact autonomous acoustic recorder for a broad range of applications.

*Underwater Noise Monitoring*  
*Bioacoustics of Marine Mammals*  
*Underwater Acoustics Research*  
*Underwater Vehicle Payload*



**Small size**  
50mm x 323mm (DxL)

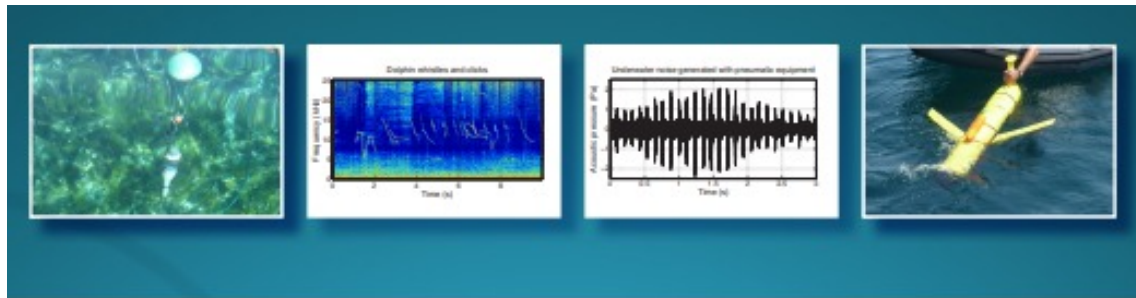
**Data Storage**  
Removable memory  
(up to 128 Gbyte)

**Autonomy**  
12h of continuous  
acquisition  
Extended operation time  
(optionally)

**Programmable**  
Acquisition scheduling

**Compact** autonomous underwater acoustic recording device.  
**User-friendly** operation: easy programming, deployment, and recovery.  
**Versatile** application: use in moored or tethered configurations.  
Ideal for implementing **efficient** multi-position monitoring strategies.





## DESCRIPTION

The digitalHyd SR-1 is a compact autonomous hydrophone designed for versatility and easy application. Its small size allows for easy use in moored or tethered configurations, or as a payload in underwater vehicles.

## REFERENCES

**READ** P. Felisberto, S. M. Jesus, F. Zabel, et al. *Acoustic monitoring of O<sub>2</sub> production of a seagrass meadow*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. Vol. 464, pages 75-87. March 2015.

**READ** A. Silva, A. Matos, C. Soares, J. Alves, J. Valente, F. Zabel, et al. *Measuring underwater noise with high endurance surface and underwater autonomous vehicles*. OCEANS'13 MTS/IEEE Conference, San Diego, USA. 23-27 September, 2013.

**READ** C. Soares, E. Cruz, F. Zabel and A. Moura. *Environmental inversion with an Autonomous Hydrophone in a Wave Energy Device Deployment Site*. In Proc. Underwater Acoustics Conferences 2014. Island of Rhodes, Greece. 22-27 June, 2014.

**READ** C. Soares, A. Pacheco, F. Zabel, et al. *Baseline assessment of underwater noise in the Ria Formosa*. Marine Pollution Bulletin. Volume 150. 2020.

## FEATURES

This device features a wide range of configurations, including selectable sampling frequencies and amplitude resolution, programmable sensitivity, start-up times and file duration, among others. The received acoustic data is stored on a removable memory card, in WAV format, which stores also all configuration parameters for usage during data analysis. The acoustic data files can be open and processed with free open source software such as **PamGuard** and **Audacity**. The device is configured through a USB interface with access compatibility from various types of operating systems.

The digitalHyd SR-1 is powered by a rechargeable lithium-ion battery and is able to remain on for up to 12 hours of continuous acquisition, or various days in stand-by. Battery and memory card are field replaceable, to allow for quick redeployments of the hydrophone. Optional battery extension packs are available on demand, for expanding the SR-1 to the user required autonomy.

## SPECIFICATIONS

**Sample Frequency**  
52.734 kHz / 105.469 kHz (selectable)  
**Sample Resolution**  
24 bits.

**Usable Acoustic Band**  
1 Hz to 25.8 kHz / 1 Hz to 51.6 kHz

**Receive sensitivity**  
-162.2 to -126.1 dB re 1 V/uPa

**Programmable Gain Amplifier**  
1x, 2x, 4x, 8x, 16x, 32x, 64x

**Input Sound Pressure Level Range**  
46.3 dB re 1 uPa to 172.5 dB re 1 uPa

**Memory Card Capacity**  
up to 256GB (field replaceable)

**Battery**  
3.7VDC, 3600mAh, Lithium-Ion 18650

**Battery Life**  
● up to 20h in continuous acquisition;  
● up to 750h in stand-by.  
● expandable with larger battery packs.

**Operation depth**  
Up to 100 m.

**Case dimension**  
50 x 323 mm (diameter x length)

**Case Material**  
Delrin

**Weight**  
0.18 kg (in water), 0.77 kg (in air)

**Real Time Clock**  
Precision of ± 64 seconds per year

**Operation Temperature Range**  
0 °C to 40 °C



**MARSENSING LDA**  
Centro Empresarial Pav. A5, Campus de Gambelas  
8005-139 Faro - PORTUGAL  
web: [www.marsensing.com](http://www.marsensing.com)  
e-mail: [contact@marsensing.com](mailto:contact@marsensing.com)  
phone: +351 913729660



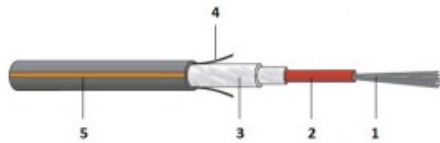


# Anexo IV - Especificações do FOC 3



## FO Outdoor ZGGT HP / A-DQ(ZN)B2Y

HighP Euroclass Fca  
 central tube design, metal-free,  
 longitudinally watertight, rodent protection



- 1 ≤ 24 fibres
- 2 Loose tube
- 3 Glass armour
- 4 Ripcord
- 5 HDPE sheath



### Description

Robust, metal-free fibre optic outdoor cable with one central loose tube and up to 24 fibres.  
 High tensile strength and high radial load strength for the highest transmission security.  
 Lightweight and installation friendly cable construction.  
 Non-metallic rodent protection.  
 The two coloured ripcords are easy to identify and enable the safe opening of the cable sheath.  
 HDPE cable sheath, easy to lay.

### Application

For pulling in or blowing through thermoplastic duct systems.  
 Suitable for laying in cable platforms, cable shafts  
 and even in very complex cable trays.  
 Direct burial.

### Construction

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Armouring (rodent protection) | rodent proof |
| Outer sheath material         | PE           |



| General Properties       |  |
|--------------------------|--|
| Imprint                  | DATWYLER «cable type» «Datwyler designation» «DIN designation» «no. of fibres» «fibre type» «add. texts» «batch no.» «meter marks» |
| Installation temperature | -10 °C - +50 °C  |
| Operating temperature    | -40 °C - +70 °C  |
| Storage temperature      | -40 °C - +70 °C  |

| Standards                       |  |
|---------------------------------|--|
| Tensile performance             | IEC 60794-1-21 E1                                |
| Crush resistance                | IEC 60794-1-21 E3                                |
| Impact                          | IEC 60794-1-21 E4                                |
| Repeated bending                | IEC 60794-1-21 E6                                |
| Torsion                         | IEC 60794-1-21 E7                                |
| Bend                            | IEC 60794-1-21 E11                               |
| Water penetration               | IEC 60794-1-22 F5                                |
| Reaction to fire (Euroclasses)  | EN 13501-6                                       |
| Zero halogen no corrosive gases | IEC 60754-1/-2, EN 60754-1/-2, VDE 0482-754-1/-2 |

| Versions        |                    |                  |                     |                    |                            |                     |                |                  |                                 |                                 |                   |              |
|-----------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|----------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| Material number | Product            | Reaction To Fire | Outer sheath colour | Fibre type         | Outer sheath diameter [mm] | Bending radius [mm] | Weight [kg/km] | Tensile load [N] | Crush resistance short term [N] | Crush resistance continuous [N] | Fire load [kWh/m] | Packing unit |
| 1901600FZ       | FO Outdoor HP 1x4  | Fca              | black               | E9/125 G.652.D OS2 | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19212100FZ      | FO Outdoor HP 1x4  | Fca              | black               | G50/125 OM3        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19608900FZ      | FO Outdoor HP 1x4  | Fca              | black               | G50/125 OM4        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19016700FZ      | FO Outdoor HP 1x6  | Fca              | black               | E9/125 G.652.D OS2 | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19074700FZ      | FO Outdoor HP 1x6  | Fca              | black               | G50/125 OM3        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19016800FZ      | FO Outdoor HP 1x8  | Fca              | black               | E9/125 G.652.D OS2 | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19609000FZ      | FO Outdoor HP 1x8  | Fca              | black               | G50/125 OM4        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19016900FZ      | FO Outdoor HP 1x12 | Fca              | black               | E9/125 G.652.D OS2 | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 18636100FZ      | FO Outdoor HP 1x12 | Fca              | black               | G50/125 OM3        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19261000FZ      | FO Outdoor HP 1x12 | Fca              | black               | G50/125 OM4        | 8.2                        | 130                 | 75             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.558             | by the metre |
| 19014900FZ      | FO Outdoor HP 1x24 | Fca              | black               | E9/125 G.652.D OS2 | 8.6                        | 135                 | 80             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.589             | by the metre |
| 19264500FZ      | FO Outdoor HP 1x24 | Fca              | black               | G50/125 OM3        | 8.6                        | 135                 | 80             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.589             | by the metre |
| 19216700FZ      | FO Outdoor HP 1x24 | Fca              | black               | G50/125 OM4        | 8.6                        | 135                 | 80             | 2,500            | 10,000                          | 6,000                           | 0.589             | by the metre |

Subject to technical modification

As of 2020-11-06 13:44:41



# Anexo V - Especificações do FOC 1



| Cable Specification Sheet   |                      |  |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
|---|----------------------|--|--------------------|--|-------------------|----------------|------------------|-------------------|--|-----|----------|---------|------------|------------|-------|-------|----|----|----|-------|-------|---|-----|------|-----|-----|
| Helicaly Wound Cable  |                      |  |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| Art. No. 002 A 180  | Rev. 0A-             | Date 27-Aug-2020   |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
|   |                      | <p>2 Optical Fibres - RH Helix 60° - Lay 27.5mm<br/>2 Single Mode, Bend Insensitive, 6.4/80/170</p> <p>Strength Member Aramid Rope<br/>Jacket HDPE to Ø15mm</p> <p>Outer Sheath<br/>Material HDPE<br/>Thickness 1.75mm Nom. Radial</p> |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| Cable Diameter  |                      | 18.5mm ± 0.3mm   |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| Seawater Density  |                      | 1026 kg/m <sup>3</sup>   |                    |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| <p><b>Mechanical Properties :</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Breaking strength</th> <th rowspan="2">Bending radius</th> <th rowspan="2">Specific Density</th> <th colspan="2">Weight calculated</th> </tr> <tr> <th>air</th> <th>seawater</th> </tr> <tr> <th>minimum</th> <th>dynamic</th> <th>calculated</th> <th>kg/km</th> <th>kg/km</th> </tr> <tr> <th>kN</th> <th>mm</th> <th>SG</th> <th>kg/km</th> <th>kg/km</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>375</td> <td>0.95</td> <td>255</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> |                      |  |                    |  | Breaking strength | Bending radius | Specific Density | Weight calculated |  | air | seawater | minimum | dynamic    | calculated | kg/km | kg/km | kN | mm | SG | kg/km | kg/km | 4 | 375 | 0.95 | 255 | --- |
| Breaking strength   | Bending radius       | Specific Density   | Weight calculated  |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
|   |                      |  | air                | seawater   |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| minimum   | dynamic              | calculated   | kg/km              | kg/km  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| kN  | mm                   | SG   | kg/km              | kg/km  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| 4   | 375                  | 0.95   | 255                | ---  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| <p><b>Optical Properties :</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Component</th> <th>Mode</th> <th>Dispersion 1550</th> <th>Attenuation 1550</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>ps/nm·km</td> <td>dB/km</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.4/80/170</td> <td>single</td> <td>&lt;18.0</td> <td>&lt; 1.0</td> </tr> </tbody> </table>  |                      |  |                    |  | Component         | Mode           | Dispersion 1550  | Attenuation 1550  |  |     | ps/nm·km | dB/km   | 6.4/80/170 | single     | <18.0 | < 1.0 |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| Component   | Mode                 | Dispersion 1550  | Attenuation 1550   |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
|   |                      | ps/nm·km   | dB/km              |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| 6.4/80/170  | single               | <18.0  | < 1.0              |  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| Drawn by:   | Evert van Veldhuizen | Approved by:   | Sander van Leeuwen | Page 1 of 1  |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |
| <small>© De Regt Marine Cables B.V. 2020 – All rights reserved. This document must not be copied, re-printed or otherwise disclosed to a third party either wholly or in part without the prior consent, in writing, of De Regt Marine Cables B.V.</small>  |                      |  |                    | <small>Data sheet Not To Scale. Values are corrected for the overlength of the elements.</small> |                   |                |                  |                   |  |     |          |         |            |            |       |       |    |    |    |       |       |   |     |      |     |     |

# Anexo VI - Especificações do FOC X

## MiniXtend® Cable with Binderless\* FastAccess® Technology 12 F, SMF-28® Ultra fiber, Single-mode (G.652.D/G.657.A1)

CORNING

Part Number:  
012ZM4-T3F22A20

Coming MiniXtend® Cable with Binderless\* FastAccess® Technology is an all-dielectric loose tube cable designed for microduct applications and features industry-leading fiber density. The innovative Binderless FastAccess Technology improves cable handling and reduces access time up to 70 percent while lowering risk of cable and fiber damage. The MiniXtend Cable design reduces the cable diameter by up to 50 percent (versus traditional loose tube cables) which improves fiber density for duct applications and also enables new applications which can reduce total install cost by up to 60 percent. This cable also features Corning SMF-28® Ultra single-mode fiber which combines industry-leading attenuation and improved macrobend performance in one fiber. SMF-28 Ultra fiber is ITU-T Recommendation G.652.D compliant and also exceeds the requirements of the ITU-T Recommendation G.657.A1 standard. \*Corning's patented Binderless FastAccess Technology refers to the combination of a Corning FastAccess Technology jacket with an innovative technology used to bind cable construction through the manufacturing process, eliminating the use of binder yarns and waterblocking tapes.

### Features and Benefits

#### Binderless\* FastAccess® Technology

Innovative cable design that reduces cable access time up to 70 percent and lowers the risk of inadvertent fiber damage

#### Improved cable and fiber density

Small cable OD enables higher density and lower deployment cost; up to 96 fibers in 8 mm ID duct and up to 144 fibers in 10 mm ID duct

#### Optimized for air-assisted install in microducts

Capable of installation distances greater than 2000 m (6560 ft) at speeds up to 150 m/min (490 ft/min)

#### Mid-span express buffer tube performance

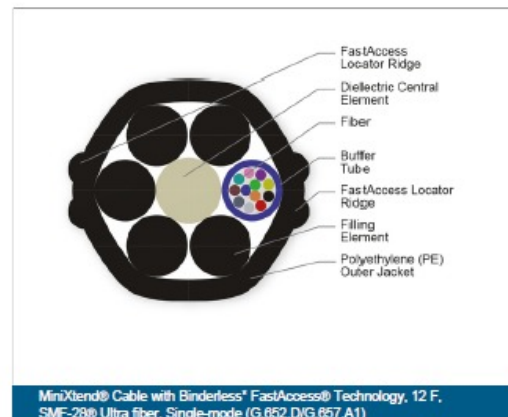
Meets the Telcordia GR-20 and RDUP/RUS PE-90 requirements for mid-span express buffer tube storage

#### SMF-28® Ultra fiber

Ultra fibre

#### Fully waterblocked loose tube, gel-filled design

Meets industry standard waterblocking requirements for outdoor cable



**MiniXtend® Cable with Binderless\* FastAccess® Technology 12 F, SMF-28® Ultra fiber, Single-mode (G.652.D/G.657.A1)**



**Specifications**

| General Specifications |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| Environment            | Outdoor                         |
| Cable Type             | Stranded Loose Tube Micro Cable |
| Product Type           | Dielectric                      |
| Fiber Category         | SMF-28® Ultra fiber             |
| Application            | Microduct                       |
| Fiber Count            | 12                              |

| Standards                |  |
|--------------------------|--|
| RoHS                     | Free of hazardous substances according to RoHS 2011/65/EU  |
| Common Installations     | Outdoor microduct, indoor when installed according to National Electrical Code® (NEC®) Article 770 |
| Design and Test Criteria | IEC 60794-5-10   |
| Corning Recommendations  | This cable should be placed in microduct for all applications, including aerial.                   |

| Environmental Conditions        |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Temperature Range, Installation | -15 °C to 60 °C ( 5 °F to 140 °F )  |
| Temperature Range, Operation    | -40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F ) |
| Temperature Range, Storage      | -40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F ) |

| Cable Design          |                   |
|-----------------------|-------------------|
| Central Element       | Dielectric        |
| Fiber Count           | 12                |
| Outer Jacket Color    | Black             |
| Outer Jacket Material | Polyethylene (PE) |
| Buffer Tube Color     | Blue              |

**MiniXtend® Cable with Binderless\* FastAccess® Technology 12 F, SMF-28® Ultra fiber, Single-mode (G.652.D/G.657.A1)**




| Cable Design               |  |
|----------------------------|--|
| Buffer Tube Diameter       | 1.4 mm (0.06 in)   |
| Number of Active Tubes     | 1  |
| Number of Filling Elements | 5  |
| Number of Tube Positions   | 6  |
| Fiber Coloring             | Blue, Orange, Green, Brown, Slate, White, Red, Black, Yellow, Violet, Rose, Aqua |
| Fibers per Tube            | 12   |
| Color Code Standards       | Telcordia  |

| Mechanical Specifications         |                    |
|-----------------------------------|--------------------|
| Max. Tensile Strength, Short-Term | 890 N (200.08 lbf) |
| Nominal Outer Diameter            | 5.4 mm (0.21 in )  |
| Min. Bend Diameter Installation   | 216 mm (8.5 in)    |
| Min. Bend Diameter Operation      | 164 mm (6.46 in)   |
| Min. Duct Size Diameter           | 8 mm (0.31 in)     |
| Optimal Duct Size                 | 10 mm (0.39 in)    |

| Optical Characteristics |                                      |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Fiber Code              | Z                                    |
| Fiber Name              | SMF-28® Ultra fiber                  |
| Fiber Type              | Single-mode                          |
| Performance Option Code | 22                                   |
| Maximum Attenuation     | 0.34 dB/km / 0.34 dB/km / 0.22 dB/km |
| Typical Attenuation     | 0.32 / 0.32 / 0.18                   |
| Wavelengths             | 1310 nm / 1383 nm / 1550 nm          |
| Fiber Category          | G.652.D/G.657.A1                     |





|   |  |          |            |
|---|--|----------|------------|
|  | <b>Technical Description</b><br><br>PRM Interstation Cable | Doc No.: | SB375-TD   |
|   |  | Issue:   | 01T        |
|   |  | Date:    | 2020-04-14 |
|   |  | Page:    | 2 of 8     |

## 1. SCOPE


This document presents the technical description and cross section drawing of an interstation cable based on URC-1 LW fibre optic submarine cable with 16 off single mode fibres in accordance with ITU-T G.652.D. 1 off High NA fibre is located in a stranded 1.5mm steel tube which is integrated in the armouring.

Fibre splices, if any, will be reported in the Manufacturing Record Book. Furthermore, fibre splices on stranded tube (FO1.5) shall be clearly marked at the location of the splice on both FO1.5 jacket and the outer jacket.

Cable handling and installation shall be performed in accordance with latest revision of Nexans guidelines (see section 2. REFERENCES).

## 2. REFERENCES

| Document        | Document title  |
|-----------------|---|
| TR1232          | Subsea Umbilicals and Cables Rev. 5   |
| TR3043          | Telecommunication systems Rev. 5.01   |
| NxNo – TR-48-99 | Handling Guidelines for URC-1, ROC-1 and ROC-2 products   |
| NxNo-TR-17-20   | Extended PRM Qualification Test Report  |
| OPT-SP0267      | Specification for interstation cable for Optowave 500.  |
| NxNo – TR-01-12 | Outer marking of URC-1 and ROC-2 cables   |
| IEC 60793       | Generic Specification Optical Fibres  |
| IEC 60794       | Optical Fibre Cables  |
| ITU-T G.652     | Characteristics of a single-mode optical fibre and cable  |
| TIA-598-D       | Optical Fiber Cable Color Coding  |
| ISO 13628 – 5   | Petroleum and natural gas industries -- Design and operation of subsea production systems -- Part 5: Subsea Umbilicals Subsea Umbilicals.   |
| ISO 9001        | Quality management systems  |
| ISO 14001       | Environmental management systems  |
| OHSAS 18001     | Occupational Health and Safety Management Systems   |
| QHSENO-1-1201   | QHSE Management System Handbook   |
| QHSENO-1-1205   | ISO Certificates <ul style="list-style-type: none"> <li>• "The Quality Management System" according to ISO 9001:2008</li> <li>• "The Environmental Management System" according to ISO 14001:2004</li> <li>• "The Occupational Health and Safety Management Systems" according to OHSAS 18001:2007</li> </ul> |

|   |   |          |            |
|---|---|----------|------------|
|  | <p style="text-align: center;"><b>Technical Description</b></p> <p style="text-align: center;">PRM Interstation Cable</p> | Doc No.: | SB375-TD   |
|   |   | Issue:   | 01T        |
|   |   | Date:    | 2020-04-14 |
|   |   | Page:    | 3 of 8     |

### 3. CABLE DESIGN

#### 3.1 Element Details

| Process/ Material  | Nom. Thickness (mm)              | Nom. Outer Diameter (mm) |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------|
| <b>UNIT FO1.5:</b> |                                  |                          |
| Optical fibre      | 1 SM High NA 80µm core fibre     | 0.16                     |
| Tube               | Steel tube with filling compound | 1.5                      |
| Sheath             | HDPE, Yellow                     | 1.9                      |
| <b>UNIT FO2.3:</b> |                                  |                          |
| Optical fibre      | 16 SM ITU-T G652.D               | 0.25                     |
| Tube               | Steel tube with filling compound | 2.3                      |
| Sheath             | HDPE, Black                      | 10                       |

**Note:** No copolymer between steel tube and the inner sheath to enhance the termination work for the client.





## Anexo VIII - Especificações do Modelo do Altifalante Subaquático LL916C

**MARSENSING LDA**  
UNDERWATER ACOUSTICS & MARINE TECHNOLOGIES

**UNDERWATER SPEAKERS**

*HIGH PERFORMANCE SPEAKERS FOR POWERFUL UNDERWATER SOUND*

Label Labs, the world leader in portable and in-wall underwater speakers.

**Sound Level**  
Up to 90 dB with only 20 V rms input voltage

**Frequency band**  
Wide band coverage spanning an interval from 200 Hz to 20 kHz

**Durability**  
Its extremely rugged construction provides long durability  
up to 5 years warranty!

*Synchronized swimming*  
*Hotels & private pools*  
*SCUBA Diving*

Portable and in-wall speakers



### DESCRIPTION

The LL916 is an economical yet powerful piezoelectric underwater speaker developed, patented, and manufactured by Labell Labs, Inc. (Columbus, Ohio). The LL916 series continues to set the world record for having the widest frequency response and output level of any commercial underwater speaker made, at a price that is reasonable and affordable. Because of its rugged PVC construction and cage-mounting system, the LL916C is nearly immune to damage, and may be used in test tanks, swimming pools, rivers, lakes, and oceans. The LL916 is provided with choice of audio isolation transformer box with cord, allowing phone jack connection to popular commercial sound amplifiers of various power and impedance ratings.

### APPLICATIONS

Labell underwater loudspeakers and systems find application in a range of areas including synchronized swimming, hotel and SPA, hotel pools, SCUBA instruction and diver vocal. One single LL916 speaker is capable of filling a municipal pool or an olympic pool. These underwater speakers are very popular for its exceptional performance, easy applicability, and durability.

### SPECIFICATIONS

**Frequency Response**  
200 Hz - 21 kHz

**Sound level**  
150 dB re 1µPa @ 1 m for 1 kHz

**Maximum Cable Voltage/Current**  
20 V rms / 3A (100% duty cycle)

**Maximum power rating**  
38 W

**Maximum operating depth**  
15 m

**Finish**  
Blue PVC

**Cable**  
8 m length (10.0 PVC for customized)

**Cable Termination**  
3-pin proprietary (Corded: 100-3PG-52W) mates with transformer box

**Weight**  
7 kg in air, 14 kg in water

**Dimensions**  
Speaker: 23 cm diameter, 19 cm axial length  
Cage: 27 cm x 27 cm x 20 cm

**Transformers**  
AC100-150 W; 32 Ω; 40 V rms; AC200-150 W; 2 Ω; 10 V rms;  
AC300-150 W; 8 Ω; 20 V rms; AC250-100 W; 16 Ω; 25 V rms;  
AC300-100 W; 8 Ω; 25 V rms (8 Ω or 8 Ω or output and alternate);  
AC300-100 W; 10 Ω; 40 V rms; 8 Ω or output and alternate)

**Warranty**  
5 years

#### THE LL916H UNDERWATER SPEAKER

The LL916H (hardest underwater speaker) is the economical version of the LL916C model for flexible usage in pools and at sea.



#### THE LL9484 UNDERWATER SPEAKER (IN-WALL)

The Labell 9484 is a pressure-in-wall underwater speaker system for municipal pools, pools in hotels and private homes.





**MARSENSING LDA**  
Centro Empresarial Pav. A5, Campus de Gambelas  
8025-139 Fátima - PORTUGAL  
web: [www.marsensing.com](http://www.marsensing.com)  
e-mail: [contact@marsensing.com](mailto:contact@marsensing.com)  
phone: +351 963729660













## Anexo IX - Especificações do FOC 0

### Ficha Técnica — Patch cord E2000/APC 30 m (OS2, Duplex)

Cordão ótico préconectorizado para interligação de equipamentos e ODFs. Conectores **E2000/APC** com obturador automático, cabo **duplex OS2** (G.652.D), bainha **LSZH**.

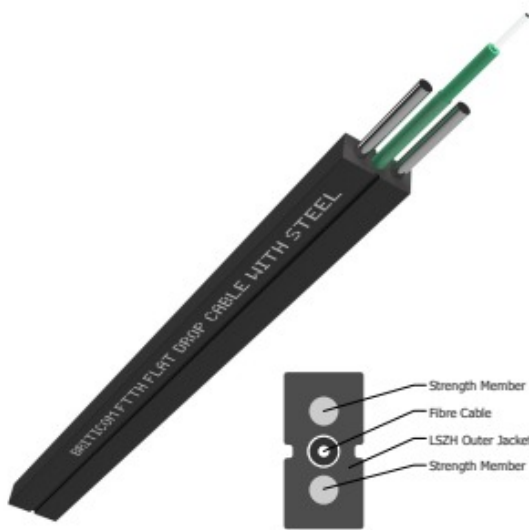
| Especificação          | Valor   |
|------------------------|---|
| Tipo de fibra          | SM OS2 (ITU-T G.652.D)  |
| Conectores             | E2000/APC – E2000/APC (verde, obturador)                          |
| Polimento              | APC 8°  |
| Modo/contagem          | Duplex (2 fibras)   |
| Comprimento            | 30 m (tolerância ±0,2 m)  |
| Perda de inserção (IL) | ≤ 0,25 dB típica; ≤ 0,50 dB máx. (1310/1550 nm)                   |
| Perda de retorno (RL)  | ≥ 65 dB (APC)   |
| Cabo                   | Zipcord 2×2,0 mm (ou 3,0 mm), cor amarela (OS2)                   |
| Bainha                 | LSZH (IEC 60332-1, 60754, 61034)                                  |
| Raio de curvatura      | ≥ 10×OD dinâmico; ≥ 20×OD estático                                |
| Tração / Esmagamento   | 100 N (curto prazo); 50 N (longo prazo) / 100 N/100 mm            |
| Temperatura            | Operação: –20...+70 °C; Armazenamento: –40...+85 °C               |
| Normas                 | IEC 61754-15; IEC 61300; IEC 60793/60794; ISO/IEC 11801; EN 50173 |
| Documentação           | Relatório IL/RL por cordão; etiquetas de identificação            |

*Nota:* valores típicos; consultar especificação final do fornecedor para tolerâncias e variantes (simplex, multimodo, OS2 3,0 mm, versões exteriores, etc.).





# Anexo X - Especificações do FOC 2



**Product Description**

Briticom® offers a wide range of indoor and outdoor fibre optic distribution, patching and consumer cables including Plenum, Riser and LSZH in all diameters. These are used to provide links to protocols such as FTTH, FDDI, 10 Gigabit Ethernet, ATM.

**Features & Benefits**

- Available in many colours, thicknesses and constructions (including armoured)
- Easy strip tight buffer

**Applications**

- Telecommunication networks
- CATV - Cable television
- Fibre-To-The-Home (FTTH)
- Wall outlets to desk



**Technical Specifications**

|   |                   |
|---|-------------------|
| Outer Sheath                                | PE or LSZH        |
| Outer Diameter                              | 2.0x5.0 ~ 2.0x5.6 |
| Weight per km                               | 21 ~ 21.5kg       |
| Max Tensile Strength (N)                    |                   |
| Long Term                                   | 30                |
| Short Term                                  | 60                |
| Bending Radius (mm)                         |                   |
| Static                                      | 300               |
| Dynamic                                     | 150               |
| Max Crush Resistance (N/10mm <sup>2</sup> ) | 1000              |
| Operating Temperature (°C)                  | -40~85            |

**To Order**

Ordering information on page 2.



Fibre Optic CableFTTH – Flat Drop Cable with Steel

**Ordering Information**

Use combinations of **bold** letters and numbers to create part numbers for ordering.

| Connector  |                  | Strength Members |            | No. of Fibres        |             | Additional*  |                        |
|------------|------------------|------------------|------------|----------------------|-------------|--------------|------------------------|
| <b>FDC</b> | Flat Drop Cable  | <b>SW</b>        | Steel Wire | <b>1</b>             | 1 FO        | <b>FI</b>    | Flat Inside Round      |
| <b>RDC</b> | Round Drop Cable | <b>FRP</b>       | FRP Member | <b>2</b>             | 2 FO        | <b>SM</b>    | Steel Wire Messenger   |
|            |                  | <b>K</b>         | Kevlar     | <b>3</b>             | 3 FO        | <b>FRPM</b>  | FRP Messenger          |
|            |                  | <b>AY</b>        | Aramid Yam | <b>4</b>             | 4 FO        | <b>FRPM8</b> | Figure 8 FRP Messenger |
|            |                  |                  |            | <b>5</b>             | 5 FO        |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>6</b>             | 6 FO        |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>7</b>             | 7 FO        |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>8</b>             | 8 FO        |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>9</b>             | 9 FO        |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>10</b>            | 10 FO       |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>11</b>            | 11 FO       |              |                        |
|            |                  |                  |            | <b>12</b>            | 12 FO       |              |                        |
| <b>*</b>   |                  | <b>*</b>         |            | <b>*</b>             |             | <b>*</b>     |                        |
| <b>FDC</b> | <b>A1</b>        | <b>SW</b>        | <b>BLK</b> | <b>2</b>             | <b>LS</b>   |              |                        |
|            | ▼                |                  | ▼          |                      | ▼           |              |                        |
| G657A1     | <b>A1</b>        | Yellow           | <b>YEL</b> | HDPE                 | <b>HD</b>   |              |                        |
| G657B3     | <b>B3</b>        | Black            | <b>BLK</b> | PVC                  | <b>PV</b>   |              |                        |
| OM1        | <b>M1</b>        | White            | <b>WHT</b> | LSZH                 | <b>LS</b>   |              |                        |
| OM2        | <b>M2</b>        | Aqua             | <b>AQU</b> | Polyethylene         | <b>PE</b>   |              |                        |
| OM3        | <b>M3</b>        |                  |            | LDPE                 | <b>LD</b>   |              |                        |
| OM4        | <b>M4</b>        |                  |            | Double Jacket PE/PVC | <b>DJ</b>   |              |                        |
| OS1        | <b>S1</b>        |                  |            | Double Jacket HDPE   | <b>DJHD</b> |              |                        |
| OS2        | <b>S2</b>        |                  |            | Single Jacket HDPE   | <b>SJHD</b> |              |                        |
|            |                  |                  |            | Single Jacket PE     | <b>SJPE</b> |              |                        |
| Fibre Type |                  | Colour           |            | Material             |             |              |                        |

\*Leave blank if not required

| Example Part Number  |               |
|--|---------------|
| Description  | Part Number   |
| Flat FTTH Cable 2 FO A1 Black with Steel Wires Strength Members LSZH | FDCA1SWBLK2LS |

**To Order**

To place an order, use the contact details below.

British Pride, Global Power

briticom.net | briticom@briticom.net | +44 (0)1604 434 186

SOVEREIGN CERTIFICATION ISO 9001

2 of 2