

Resposta acústica de artes de pesca para captura de lula e ocultação à sondagem por golfinhos

M. Barreto (1), M. Gatta (1, 2, 3), V. Lobo (1, 2, 4)

- (1) Escola Naval, miguelbarreto00@gmail.com
- (2) CINAV, Centro de Investigação Naval.
- (3) CFCUL, Universidade de Lisboa.
- (4) NOVA IMS.

Resumo: A depredação por golfinhos das lulas ferradas nas toneiras da frota de pesca artesanal Micaelense, nos Açores, constitui um problema sócio-económico e de conservação marinha. Na hipótese da resposta das toneiras à sondagem acústica (ecolocalização) por parte dos golfinhos ser significativa, estas seriam um elemento auxiliar que lhes facilitaria a detecção e identificação. Uma mudança nas artes de pesca podia assim ajudar a minimizar os prejuízos causados. Para compreender a detectabilidade através de acústica submarina, caracterizámos a impedância dos materiais e a resposta das toneiras a sinais sonoros de banda curta percorrendo o intervalo espectral dos cliques de golfinhos. Dos ensaios realizados em configuração bi-estática no tanque anecóico, resultam sonogramas, curvas de resposta em frequência e valores quantitativos (*target strength*) que nos permitem hierarquizar reflectividades e distâncias de detecção. Permitem também comparar comportamento de ecos e sugerir medidas para atenuar a reflectividade (aumentando a furtividade), originando recomendações aos pescadores.

Palavras-chave: acústica submarina, detecção acústica, ecolocalização, furtividade, *Target Strength*.

1. INTRODUÇÃO

As frotas de pesca artesanal para a captura de lula na ilha de São Miguel – Açores, reportam com regularidade, a depredação por golfinhos durante a fase da recolha para bordo, das lulas já ferradas nas artes de pesca (toneiras), no que é um problema ambiental, como também sócio-económico pela razão de que acresce os factores de incerteza ao retorno a obter por cada saída de mar e acentuar a instabilidade financeira das famílias que dependem da actividade (Figura. 1). Este caso foi já alvo de estudos anteriores (Cruz *et al.*, 2014) onde se testaram também diferentes abordagens na procura de reduzir o impacto do fenómeno mas que contudo, carece ainda que se encontrem soluções realmente funcionais.

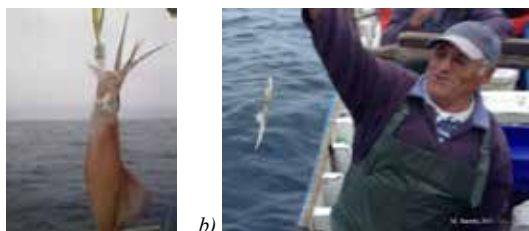


Figura. 1. a) lula ferrada na toneira ; b) vestígios de depredação.

Problemas de interacção de cetáceos nas pescas são aliás, um fenómeno com expressão à escala global e comum em diversas pescarias, sendo uma das principais ameaças que se menciona como prioritário combater para a salvaguarda e

conservação da vida selvagem nos oceanos. Os golfinhos são como se sabe, dotados de um sistema de sonar biológico (ecolocalização) que lhes permite a detecção e discriminação de alvos distantes. Como resultado de embarques realizados para se conhecer a dinâmica da pesca e observar as interacções tendo por objectivo identificar pontos de intervenção, surgiu a hipótese de se em comparação com as lulas, presas alimentares com fraca reflectividade acústica que os golfinhos buscam em profundidade, possam as artes de pesca usadas por esta frota e pelas suas características de construção, proporcionar uma resposta mais forte aos cliques emitidos pelos animais e com isso servir como elemento auxiliar que os beneficia na detecção e contribuí em estender a janela de tempo (e distância) útil para a execução dos ataques. Será então provável que as toneiras constituam para o cetáceo, um elemento de interesse a priorizar na busca activa em detrimento dos cefalópodes e em parte contrariando a finalidade a que se destinam ao potenciar o grau de vulnerabilidade e prejuízos do pescador, podendo a escolha de determinadas toneiras, mais prejudicar do que ajudar. Será então oportuno avaliar a resposta destas à ecolocalização, e também medidas para as ocultar. Este é assim um problema de busca e detecção (activa) de pequenos objectos em meio submerso, tarefa também comum à hidrografia e que remete para os fundamentos da acústica submarina. Sobre o aparelho de pesca, este compõem-se de duas toneiras (pequenos corpos com aspecto a mimetizar um peixe) suspensas por uma linha e incrustadas na

extremidade oposta com coroas de alfinetes para a captura da lula, que se complementam e não se podem substituir mutuamente, tendo uma delas a função prioritária de lastrar o conjunto que o operador faz agitar rente aos fundos e recolhe manualmente de profundidades na ordem dos 140-300 m. A saber ainda, que o critério fundamental de que depende a reflexão acústica e produção de ecos, é o contraste de impedâncias acústicas entre os materiais que constituem: o meio (Z_1) onde está imerso o alvo (na água) por ser onde se propaga o sinal incidente, e os materiais de que é construído o alvo reflector (Z_2), neste caso as toneiras. A fim de se avaliar e fundamentar a discussão da sua detectabilidade à sondagem dos cetáceos que permita contribuir com conhecimento e recomendações para os pescadores, houve que: 1) estudar as características de construção e materiais constituintes dos diferentes tipos de toneiras usadas, e 2) testar experimentalmente a reflectividade destas a sinais sonoros nas frequências abrangidas pelos cliques emitidos por golfinhos e que se descreve com o parâmetro quantitativo do *Target Strength* (TS), em décibéis (dB). A impedância acústica (Z) de qualquer material, será calculável se lhe forem conhecidas a densidade (ρ) e velocidade do som (c), Equação 1 (Au e Hastings, 2010). O contraste de impedâncias pode ser quantificado por estimativa do parâmetro do Coeficiente de Reflexão (C_r), Equação 2 (Lurton, 2002).

$$Z = c \cdot \rho \tag{1}$$

$$C_r = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \tag{2}$$

Já o parâmetro do TS , consiste na razão entre os valores lidos da energia reflectida (E_r) sobre a incidente (E_i), Equação 3 (Lurton, 2002).

$$TS = 10 \log_{10} \left(\frac{E_r}{E_i} \right) \tag{3}$$

Enquanto plataforma de sondagem, podemos considerar os golfinhos como um sistema mono-estático que emite sinais de banda larga (Figura. 2), com energia entre, cerca dos 15 aos quase 200 KHz e no caso dos delfínidos, de muito curta duração ($\tau_{cliques} < 100 \mu s$).

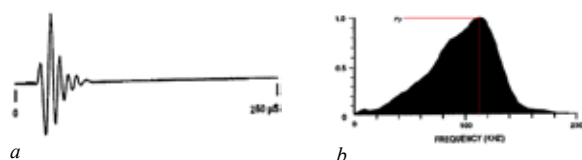


Figura. 2. Características de clique de golfinho. a) no domínio do tempo; b) espectrograma. Adaptado de Au e Hastings, 2010.

Uma estratégia para minimizar o sucesso dos golfinhos na depredação, poderá ser a ocultação das toneiras à detecção, isto é tornando-as furtivas e que implica discutir as diferentes metodologias. A saber:

- a) favorecer o casamento de impedâncias;
- b) explorar o desvio do eco coerente para direcção diferente da origem;
- c) absorção da energia acústica incidente e
- d) aplicação de *Cloaks* acústicos e metamateriais.

2. METODOLOGIA E MEIOS

Depois de recolhidos e catalogados com código alfanumérico consoante a tipologia e função prioritária no aparelho - para Captura (C) ou para Lastro (L), foram observados nos exemplares que se seleccionaram como os representativos da diversidade de toneiras usadas pela frota (Tabela. i), as características de construção e materiais constituintes, tendo para isso consultado também uma especialista na área dos polímeros.

Tabela. i. Toneiras seleccionadas para análise e pormenores relevantes, para as compreender como alvos à detecção acústica.

Função	Exemplar		Materiais	Perfil transversal e constituição interior
Lastro	C02		chumbo	
	C05			
Captura	W38 (japonesas)		poliestireno	
			gasoso (duas bolsas de ar interiores)	
			chumbo	
	X01 (fuso)		polietileno	
aço (?) (veio interior metálico)				
U01 (fuso)		borracha		
		aço (?) (veio interior metálico)		
Y01		água (no interior)		
		Polietileno		
			borracha	

Afim de se poder discutir a detectabilidade destes objectos enquanto alvos de busca pelos cetáceos, avaliaram-se as reflectividades dos referidos exemplares explorando em paralelo, duas abordagens diferentes, a saber: a) a determinação do valor teórico do C_r dos diversos materiais usados na sua construção, e b) medições experimentais com sinais sonoros para conhecer o valor do TS .

1.1. Estima do C_r dos materiais constituintes e respectivos contrastes de impedância acústica com a água

Seguindo as opiniões da especialista em polímeros (que se baseou numa identificação apenas táctil e visual, justificando-se assim alguma cautela nas considerações ao trabalho), procedeu-se depois à consulta de tabelas de características dos materiais (Blattenberger, s.d.) para se conhecer as ρ e c dos vários materiais identificados nas toneiras em análise e derivar valores de impedância acústica. Assim se puderam depois estimar valores do parâmetro C_r considerando-as na condição de submersas na água, e por fim proceder também à hierarquização de reflectividades das toneiras consoante os materiais que as constituem.

1.2. Ensaio de acústica submarina para avaliação do TS

Realizaram-se nos tanques de acústica submarina do Arsenal do Alfeite, S.A, em condições anecoicas, numa configuração experimental bi-estática pela razão dos transdutores disponíveis para as frequências desejadas serem omni-direccionais, ensaios laboratoriais para caracterizar a resposta acústica das toneiras em ambiente submerso - nomeadamente do parâmetro do *Target Strength* - à incidência transversal de sinais sonoros de banda curta (sinusoides), percorrendo em passos de 10 KHz o intervalo espectral dos 40 aos 160 KHz por ser o especialmente relevante nos cliques de banda larga dos golfinhos (Figura. 3).

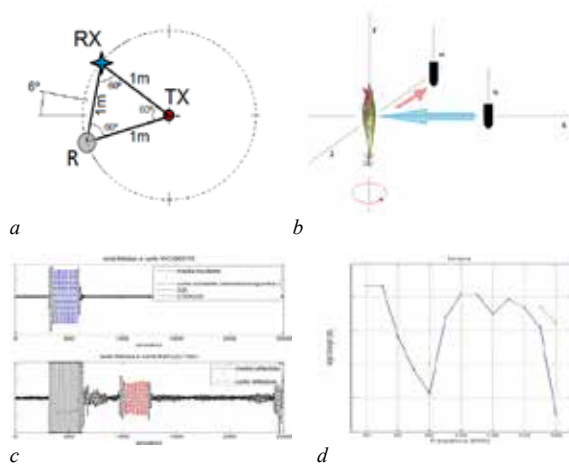


Figura. 3. a) geometria experimental bi-estática dos ensaios com posicionamento triangular entre o alvo e transdutores TX e RX a 1 m de distância; b) pormenor da orientação dos alvos em que se testaram as reflectividades - "incidência no plano transversal"; c) pormenor dos sinais e porções que se seleccionaram para análise entre os transitórios do Incidente (azul) e Eco Refletido (vermelho); d) exemplo de curva de resposta em frequência compilada para uma das toneiras testadas - nas abcissas a frequência, e às ordenadas correspondem os valores de Target Strength (em dB).

A considerar na análise aos dados obtidos, de ser desconhecida e desprovida de controlo a orientação azimutal do alvo durante os ensaios e que os sinais

emitidos nos testes, com duração na ordem dos 200 μ s, excediam largamente a duração dos cliques. Só foram integradas para análise, porções dos sinais Incidente e Refletido contidas entre os transitórios nos seus extremos, e igual quantidade de amostras (i.e., duração temporal) para ambos ($\tau_i = \tau_{eco}$). Obtiveram-se curvas de resposta em frequência para o intervalo referido a partir dos quais se calcularam depois para cada toneira, um valor de TS médio por forma a que se as possam hierarquizar da mais reflectiva à mais discreta, à detecção activa. Há a referir dos testes ao exemplar U01, que se realizaram com o seu interior preenchido com água e esvaziado de conteúdo gasoso, equivalendo à condição esperada no seu uso em profundidade.

3. RESULTADOS

São item comum a quaisquer toneiras, as coroas de alfinetes metálicas, que na dúvida consideramos serem de aço. Na Tabela. ii identificam-se para os vários exemplares analisados, os materiais que julgamos serem os usados na construção de cada toneira (desprezando-se o aço para a coroa de alfinetes, mas não de outras componentes também metálicas), as características mecânicas e os valores de Z e C_r calculados para a condição de imersos em água. Toneiras "de lastro", são construídas unicamente em chumbo e de constituição interior maciça. Nas "de captura", destaca-se o modelo do exemplar W38 que se constitui dos materiais com os valores do C_r mais elevados. O facto de para o "ar" ter valor negativo é apenas indicação que o eco sofre inversão de fase, porém em termos absolutos é o que tem o C_r mais elevado. Já a U01 é construída com os materiais de C_r inferiores e por isso os menos reflectivos.

Tabela. ii. Descrição dos materiais de fabrico das toneiras; as características mecânicas e acústicas (Blattenberger, s.d.).

tipo toneira	ID toneira	material	densidade kg m^{-3}	Velocidade som longitudinal ms^{-1}	Z $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Coefficiente de Reflexão com a água
		água	1000	1500	1500000	-
lastro	C05	chumbo	11400	2000	22800000	0,88
	C02	chumbo	11400	2000	22800000	0,88
captura	W38	poliestireno	1060	2350	2491000	0,25
		ar	1,293	340	439,62	-0,99
		chumbo	11400	2000	22800000	0,88
	X01	polietileno	900	1950	1755000	0,08
		aço	7900	5800	45820000	0,94
	Y01	polietileno	900	1950	1755000	0,08
		borracha	1000	1600	1600000	0,03
U01	borracha	1000	1600	1600000	0,03	
	aço	7900	5800	45820000	0,94	

Ordenaram-se por ordem decrescente, os resultados de $TS_{\text{médio}}$ estimados para cada toneira com base nos TS obtidos experimentalmente para as várias frequências (Tabela. iii) e que aqui se apresentam convertidos para um valor relativo (a diferença à toneira de maior $TS_{\text{médio}}$), não sendo estes os valores absolutos. A toneira mais reflectiva face às restantes, será a W38 (das "de captura") que apenas excede

ligeiramente as “*de lastro*” (C02 e C05) e que se destaca significativamente das restantes da mesma categoria, diferindo o $TS_{\text{médio}}$ ao da menos reflectiva (U01) em 15 dB. Pela inclusão também nesta tabela, dos materiais e respectivos C_r antes estimados, constatamos que a reflectividade das toneiras observada experimentalmente parece acompanhar a esperada considerando os materiais de que são construídas e indicador de que (ainda desprezando as dimensões, geometrias e quantidades relativas dos materiais em cada exemplar, a par de como já referido, também o aço nas coroas), a reflectividade cumpre os pressupostos teóricos da física acústica.

Tabela. iii. Ordenação de reflectividades (valores TS) medidos experimentalmente, os materiais e os contrastes de impedância.

hierarquização o de	toneira	função	ordenação das diferenças relativas dos $TS_{\text{médio}}$ (dB)	materiais de constituição e coeficientes de reflexão na água (C_r)		
1º	W38	C	0	poliestireno (0,25)	ar [0,99]	chumbo (0,88)
2º	C02 C05	L	-2	chumbo (0,88)		
3º	X01	C	-3	polietileno (0,08)	aço (0,94)	
4º	Y01	C	-8	polietileno (0,08)	borracha (0,03)	
5º	U01	C	-15	borracha (0,03)	aço (0,94)	

4. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Deste trabalho resulta: A) informação dos materiais das toneiras e contraste de impedâncias com a água, B) sonogramas que permitem observar o comportamento do eco das toneiras no tempo e compreender os seus processos de formação, C) curvas de resposta em frequência e D) valores de $TS_{\text{médios}}$ que permitem ainda hierarquizar as reflectividades, e que se aplicados á equação do Sonar activo possibilitam estimar distâncias de detecção. A aplicação de procedimentos comuns ao exercício da hidrografia, permitiu-nos reforçar a confiança na hipótese que as toneiras possam auxiliar os cetáceos enquanto alvo de sondagem acústica e que a tomada de medidas para as ocultar, será uma estratégia potencialmente eficaz de lhes condicionar a depredação. Porque estes valores TS derivam de testes com sinais de banda-curta em configuração bi-estática, acreditamos que a resposta e detectabilidade à sondagem dos golfinhos - mono-estática e com cliques de banda larga, será superior. A diferença observada de 15 dB para os $TS_{\text{médio}}$ entre as toneiras mais e menos reflectivas, permite-nos contribuir com conhecimento e recomendações aos pescadores sobre quais as toneiras, materiais e características de construção cujo uso devem privilegiar ou evitar, quando em faina na presença de golfinhos. A furtividade das toneiras será também conseguida: experimentando geometrias adequadas para reflectir o eco para direcção diferente da fonte; recorrer a técnicas de construção para absorção do

sinal e o uso de materiais “acústicamente transparentes” na água. Como modelo para as toneiras “de Lastro”, sugerimos os protótipos já testados como prova de conceito de *cloaks* acústicos destinados a aplicações submarinas (Zang et al., 2011 e Chen et al., 2017). Incentivamos o reforço na investigação para a compreensão dos processos de formação do eco de objectos; a inovação das tecnologias e estratégias para a redução do *Target Strength* (ou do *Scattering Cross Section*) para ocultação de alvos a sondagens acústicas e se acompanhe a evolução da investigação inerente aos conceitos para a furtividade, como o *acoustic cloaking* e os metamateriais, desta forma também servindo a hidrografia e a busca submarina.

Agradecimentos

Temos a agradecer ao CINAV; à Escola Naval, nomeadamente aos docentes e militares do Dept. das Engenharias; ao Arsenal do Alfeite, S.A., nomeadamente aos Srs^o Eng. Parreira, mestre Pedro e restante equipa técnica do tanque de acústica submarina; ainda aos pescadores na ilha de São Miguel; à Lotaçor, Serviços de Lotas dos Açores, S. A., nomeadamente ao Eng. Luís Rodrigues e funcionários dos vários entrepostos e à Sr^a Eng Clara Cramez (Poliversal SA | Plasteme SA). Este projecto beneficiou ainda do suporte financeiro dos projectos DEEPFLOAT e SIDENAV.¹

REFERÊNCIAS

- Au, W. W. L. & Hastings, M. C. (2010). Principles of Marine Bioacoustics. Springer.
- Blattenberger, K. (s.d.). “Speed of Sound in Various Materials”. Acedido em Outubro de 2019 no sítio <http://www.rfcafe.com/references/general/velocity-sound-media.htm>.
- Chen, Y., Zheng, M., Liu, X., Bi, Y., Sun, Z., Xiang, P., et al. (2017). Broadband solid cloak for underwater acoustics. 10.1103/PhysRevB.95.180104.
- Cruz, M, J., Silva, M., Jordão, V., Pereira, J. G., Santos, R. S. (2014). Risso's dolphin depredation in the Azorean hand-jig squid fishery: Assessing the impacts and evaluating effectiveness of acoustic deterrents. *ICES Journal of Marine Science*. 71 (9), 2608-2620.
- Lurton, X. (2002). An Introduction to Underwater Acoustics, Principles and Applications. Springer.
- Zhang, S., Xia, C., & Fang, N. (2011). Broadband Acoustic Cloak for Ultrasound Waves. 10.1103/PhysRevLett.106.024301.

¹ Este documento não obedece ao novo acordo ortográfico.