



Introdução

Golfinho e boto são nomes populares para os cetáceos providos de dentes (odontocetos). Cetáceos são mamíferos de vida aquática, possuindo mecanismos de controle de temperatura, corpo fusiforme¹ e com espessa camada de gordura subcutânea. Um representante nacional destes golfinhos é o tucuxi (*Sotalia guianensis*), que é encontrado em todo o litoral do Brasil.

A variação da sua quantidade de movimento (ou momento linear) é propiciada pelas nadadeiras caudais, enquanto as laterais são responsáveis pela orientação. A pele é lisa e sem pêlos, com exceção de poucos, residuais, os quais, no caso dos golfinhos, inibem a ocorrência do fenômeno de turbulência, que retardaria seu movimento dentro da água [1]. O golfinho tucuxi alimenta-se de peixes, utilizando seus dentes agudos para capturá-los. Apresenta um alto grau de encefalização, nitidamente refletido na vida social complexa (alto nível de organização social) e na variedade de repertórios comportamentais que possui [2].

A respiração é realizada rapidamente na superfície da água, por meio de um espiráculo simples,² localizado no alto da cabeça. O conduto respiratório é isolado da boca, de modo que o golfinho não se afoga engolindo

água (assim como os demais cetáceos) nem lança pelo espiráculo a água recolhida pela boca.

Golfinhos recorrem à ecolocalização para a formação de imagens do ambiente e de suas presas: emitem pulsos ultra-sônicos de frequência variável pela laringe, cujo eco é captado por suas mandíbulas e transmitido por canais até seus ouvidos. Melhoraram sua precisão em situações de perseguição, pela variação da frequência do sonar.

Em situações envolvendo perseguição e captura de presas, a energia química intramuscular do predador se transforma em energia cinética necessária à perseguição, sendo o acúmulo de oxigênio um fator determinante para o sucesso da caçada. Para

Golfinhos recorrem à ecolocalização para a formação de imagens do ambiente e de suas presas: emitem pulsos ultra-sônicos de frequência variável pela laringe, cujo eco é captado por suas mandíbulas e transmitido por canais até seus ouvidos

reduzir o custo do deslocamento, os mamíferos marinhos desenvolveram uma ampla variedade de comportamentos nata-tórios, como controlar a velocidade do deslocamento, aproveitar o deslocamento da onda

(por exemplo, saltando sob as mesmas), aproveitar o deslocamento de embarcações e nadar em cardumes. Para um deslocamento para grandes profundidades, alguns desses mamíferos se impulsionam para baixo e deslizam sem movimento à medida que afundam [3].

Neste trabalho, mostramos como a utilização de conceitos físicos justificam a eficiência predatória do golfi-

.....
Débora Coimbra

Departamento de Física,
Centro de Ciências Tecnológicas,
Joinville, SC Brasil

E-mail: deboracoimbra@terra.com.br

.....
Anderson Luis do Valle e

Franciele C.C. Melo

Instituto Superior de Ensino de Brasília
Brasília, DF, Brasil

.....
Alexandre Marletta

Faculdade de Física
Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, MG, Brasil

.....

Através da observação meticulosa da atividade dos golfinhos tucuxi, em Pipa, RN, discutimos como conceitos simples de mecânica, como a adição galileana de velocidades, concorrem para a eficácia das estratégias de caça realizadas por esses mamíferos.

no tucuxi quando este persegue peixes, no litoral do Rio Grande do Norte, pela obtenção de um delicado equilíbrio entre a demanda energética da perseguição e a necessidade de conservação de energia.

A física envolvida

A distribuição dos cetáceos está relacionada à disponibilidade de alimento, especialmente para espécies não-migratórias, e, portanto, é influenciada pelas variáveis oceanográficas. Dentre essas variáveis, observações sistemáticas de Valle *et al.* [4] apontam, com relação à posição corporal usada para dar o bote sobre a presa, que a posição 6 da Fig. 1 foi a mais freqüentemente usada. Para compreender a alta incidência dessa posição [6], utilizamos o movimento relativo galileano.

A energia pode ser avaliada considerando-se os referenciais inerciais, como esquematizado na Fig. 1a, na qual S representa a Terra (ou fundo do mar) e S' é o mar em movimento. O golfinho está, em $t = 0$, na posição $\mathbf{r}' = (0, 0)$, ou seja, na origem do sistema de referência S' . Define-se \mathbf{r}_0 como a posição inicial do golfinho em $t = 0$, em relação ao referencial S , \mathbf{r} é a posição do golfinho (G) em $t > 0$ em relação ao referencial S , e \mathbf{r}' é a posição do golfinho em $t > 0$ em relação ao referencial S' . G é o ponto de ataque do golfinho a uma distância R da origem no sistema S' , $|\mathbf{r}'| = R$.

Representando por \mathbf{v}_m a velocidade do referencial em movimento S' (onda), em relação ao referencial S (Terra), e por \mathbf{v}_G a velocidade do golfinho em relação ao referencial S' , podemos calcular a aceleração do golfinho em função da posição do bote, considerando a Fig. 1b.

A velocidade inicial é dada por

$$\mathbf{v}_0 = \mathbf{v}_m = v_m \hat{\mathbf{i}}, \quad (1)$$

e a velocidade final será

$$\mathbf{v} = (v_m + v_G \cos \alpha) \hat{\mathbf{i}} + v_G \sin \alpha \hat{\mathbf{j}},$$

sendo o ângulo α definido na Fig. 2b. Assumindo que o golfinho desenvolve uma aceleração constante a_G durante a perseguição, seu movimento é considerado uniformemente variado, com aceleração, segundo a equação

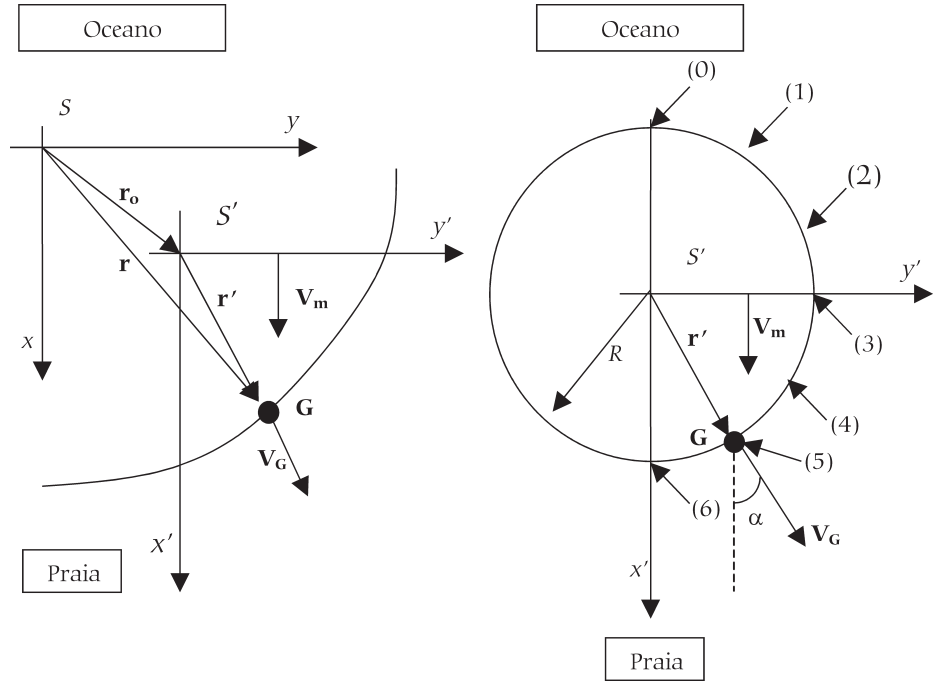


Figura 1. Esquema de orientação para a observação da posição de ataque do golfinho. Direção do corpo do golfinho em relação às ondas. O padrão geral representa todas as posições observadas durante o estudo, e o padrão dos botes e a direção no momento da captura. Os números externos representam a direção do corpo e os internos, em itálico, o número de amostras. As setas indicam a direção do corpo no momento que o animal submerge. Fonte: Ref. [4].

de Torricelli:

$$a_G = \frac{v_G}{2R} \sqrt{(v_G + 2v_m)^2 + 4v_G v_m \cos \alpha - 1}. \quad (2)$$

É importante notar que a quantidade $\cos \alpha - 1 \leq 0$, é igual a zero se $\alpha = 0^\circ$ (direção 6, Fig. 1) e mínima (-2) se $\alpha = 180^\circ$ (direção 0, Fig. 1). Portanto, a maior aceleração do golfinho a_G (Eq. (2)) será na direção e sentido das ondas (sentido da origem para a praia - direção 6, Fig. 1) e mínima no sentido contrário (sentido da origem para o oceano - direção 0, Fig. 1).

Quanto maior a aceleração no momento que antecede o bote, menor o tempo gasto para atingir o ponto de bote após ter percorrido uma distância R (círculo no sistema de referência da Fig. 1b). Assim, podemos afirmar que o tempo para atingir o ponto 6 (Δt_6) é menor do que o tempo para atingir o ponto 5 (Δt_5), e assim sucessivamente, como mostra a desigualdade

$$\Delta t_6 < \Delta t_5 < \Delta t_4 < \Delta t_3 < \Delta t_2 < \Delta t_1 < \Delta t_0. \quad (3)$$

Se considerarmos que o golfinho irá empregar máxima conversão de

energia durante os instantes que antecedem o bote, ou seja, a potência empregada é máxima (P_{\max}) e constante durante todo o percurso independente do ponto de bote, teremos uma relação entre a energia gasta ΔE e o tempo decorrido Δt , como

$$\Delta E = P_{\max} \Delta t. \quad (4)$$

Finalmente, verificamos, pelas Eqs. (3) e (4), a seguinte desigualdade:

$$P_{\max} \Delta t_6 < P_{\max} \Delta t_5 < P_{\max} \Delta t_4 < P_{\max} \Delta t_3 < P_{\max} \Delta t_2 < P_{\max} \Delta t_1 < P_{\max} \Delta t_0,$$

ou

$$\Delta E_6 < \Delta E_5 < \Delta E_4 < \Delta E_3 < \Delta E_2 < \Delta E_1 < \Delta E_0 \quad (5)$$

Portanto, arremessar-se sobre o peixe na posição 6 implica em gastar menor energia.

Pesquisas de Spinelli *et al.* [2] indicam que esse comportamento é aprendido. Os autores categorizaram comportamentos de perseguição de jovens golfinhos a peixes próximos à zona de arrebentação, como uma brincadeira de forrageio, pela não-observação de sucesso na captura, por

animais imaturos. Tanto este comportamento quanto dois outros, designados como brincadeiras locomotoras e *surf*, poderiam representar um treinamento, tanto do ponto de vista motor quanto emocional, para testar seus limites e aperfeiçoar suas habilidades posturais e ações coordenadas.

Considerações finais

Uma última questão, uma das centrais da Ref. [4], seria se há uma fuga do peixe para a praia, ou o mesmo é encurralado pelo golfinho nesta direção. Segundo Valle *et al.* [4], os peixes poderiam estar se deslocando para fugir para a margem, buscando atravessar a linha máxima de capacidade de ataque do golfinho; porém não seria uma estratégia eficiente, uma vez que estes às vezes chegam a expor toda a metade superior do corpo à beira-mar e conseguem retornar [4]. Segundo Spinelli *et al.* [2], em cetáceos, o forrageio tem caráter especializado. Os autores apontam que a descrição de imaturos envolvendo-se em atividades que lembram o forrageio de adultos ou técnicas específicas de forrageio para golfinhos nariz-de-garrafa e orcas, sem resultar em apreensão de presas. No caso das orcas, a literatura registra o encalhamento de

Diferentemente do observado no caso do golfinho, situações de perseguição efetuadas por moscas e besouros registram investidas na direção da presa. Já no caso das libélulas, o ataque é direcionado a um ponto em frente à presa

filhotes acompanhados de adultos na praia, de forma semelhante a adultos quando caçam focas [2].

Os peixes poderiam, ainda, fugir para a margem, uma vez que a inércia das ondas contribuiria para o deslocamento daquele que tem a menor massa, ou seja, o peixe sofre uma mudança do estado estático ao cinético mais rapidamente que o golfinho. Apesar de os peixes terem certo benefício ao se deslocarem para a praia, os golfinhos são favorecidos pelo fato de o deslocamento das águas, abaixo

da superfície, na região de arrebatamento, ocorra no sentido contrário daquelas na superfície, e por isso, no momento do bote, saltem da água se arremessando sobre o peixe trazido pela onda, como

mostra a Fig. 2.

Ainda, segundo Valle *et al.* [4], um outro argumento de que toda a perseguição, desde o momento que o golfinho a inicia até o momento do ataque, faça parte da estratégia de caça do golfinho é a análise da faixa da praia em que a mesma sucede. Na investigação de Valle *et al.* [4], esta faixa iniciava-se próximo à linha de quebra mar.

Diferentemente do observado no caso do golfinho, situações de perseguição efetuadas por moscas e besou-

ros registram investidas na direção da presa. No caso das libélulas, o ataque é direcionado a um ponto em frente à presa (pequenos insetos voadores), predizendo a trajetória desta [6] e indicando respostas visuais seletivas para pequenos movimentos nesses insetos. Estratégia análoga é adotada por jogadores de futebol, por exemplo, para interceptar bolas. Entretanto, para estes esta ação é aprendida, enquanto no caso das libélulas está intrincada em seu sistema neural.

Estimar distâncias e velocidades durante a caça requer um sistema mais complexo, até mesmo a aprendizagem. Nesse sentido, talvez esta seja a resposta do por que Valle *et al.* [4] observaram que golfinhos juvenis não tenham se comportado como os adultos, e Spinelli *et al.* identificaram brincadeira de forrageio [2], uma vez que se espera o aumento da eficiência e a melhoria das estratégias de ataque com o treino e com a idade.

Referências

- [1] Enciclopédia Barsa (Enciclopédia Britânica Editores Ltda, Rio de Janeiro, 2000).
- [2] L.H.P. Spinelli, L.F. do Nascimento e M.E. Yamamoto, Estudos de Psicologia **7**, 161 (2002).
- [3] T.M. Williams, J.E. Haun e W.A. Friedl, The Journal of Experimental Biology **202**, 2739 (1999).
- [4] A.L. do Valle, A. Marletta e F.C.C. Melo, Acta Biol. Paranaense, no prelo.
- [5] R. Resnick, D. Halliday e K.S. Krane, Física 1 (Editora Livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro, 1989), 4ªed., p. 69-70.
- [6] R.M. Olberg, A.H. Worthington and K.R. Venator, Journal of Comparative Physiology A **186**, 155 (2000).

Notas

¹Corpo pisciforme, cilíndrico. Por seleção natural, evoluíram para ter um corpo assim, hidrodinâmico.

²Abertura respiratória de orifício único, fechado por uma válvula quando o animal mergulha.

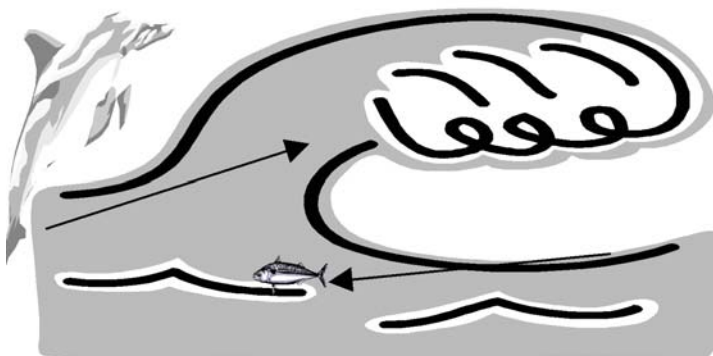


Figura 2. Comportamento das forças de deslocamento da água em uma onda.