

Num Planeta em risco, a Biologia desempenha um papel fundamental na explicação de fenómenos e na compreensão e resolução de problemas do Planeta Terra e a Matemática será crucial para apontar orientações e linhas de atuação na definição de políticas de conservação e preservação de espécies em vias de extinção.

Depois de uma visita até à Ciência Polar pelas mãos do José Xavier e da Patrícia Azinhaga, nesta edição o Rogério Ferreira e o Pedro Sarmento, dois biólogos e investigadores, explicam como é que as decisões que tomam nas investigações em que estão envolvidos estão impregnadas de Matemática. É na Estatística que é apoiada toda a análise dos dados que recolhem no terreno e é a partir dela que emergem os resultados e recomendações. Neste artigo, são retratadas as questões e as tomadas de decisão inerentes a um método de investigação quantitativa na área da biologia marinha. Vamos levantar um pouco o véu dos bastidores da investigação e tornar explícita a interdependência entre a Matemática e, neste caso, a Biologia marinha.

JOANA LATAS

## Pesca de espadarte e conservação de tartarugas marinhas

A Zona Económica Exclusiva Portuguesa, especialmente a área ao redor do arquipélago dos Açores, é um importante habitat de desenvolvimento de juvenis de tartaruga careta (*Caretta caretta*). Contudo, além do impacto crescente da ingestão e emaranhamento em plásticos e outros resíduos, estes e outros animais ameaçados (como algumas espécies de tubarões) são afetados pelas atividades pesqueiras que os capturam em números preocupantes, acidentalmente ou acessoriamente.

No início dos anos 80, quando os biólogos começaram a trabalhar com estas tartarugas nos Açores, a pergunta principal que faziam era: de onde vêm estas tartarugas marinhas? Afinal Portugal não tem praias de desova... Com a ajuda de estudos de marcação/recaptura e genética descobriu-se que estas tartarugas provinham de praias de desova dos EUA, principalmente da zona entre Florida e Carolina do Norte. As tartaruguinhas recém-eclodidas são transportadas por correntes até ao outro lado do Atlântico (figura 1), onde os juvenis se desenvolvem nesse ambiente pelágico<sup>[1]</sup> durante uma década, alimentando-se principalmente de cnidários<sup>[2]</sup>

(e.g. águas-vivas/medusas), antes de regressarem para viverem perto das suas praias de origem.

Nos anos 90, os investigadores Alan Bolten, Helen Martins e Karen Bjorndal alertaram a comunidade científica que estas tartarugas se encontravam ameaçadas pela pesca de espadarte (*Xiphias gladius*) no Atlântico Norte, com relevância para a área ao redor do arquipélago dos Açores onde a interação aparentava ser elevada. A arte de pesca utilizada, o palangre de superfície, é composta por uma *linha madre*, onde se acoplam os estralhos com os anzóis, suspenso à superfície por boias e deixado à deriva durante a noite. As embarcações de maiores dimensões e autonomia podem facilmente largar mais de 50km de linha e 2000 anzóis e estender o seu esforço por todo o Atlântico.

Nos Açores, eram as maiores tartarugas presentes na área que estavam a engolir o isco dos anzóis, logo aquelas que estavam prestes a regressar aos EUA. Esta classe de tamanhos é considerada como das mais importantes para a sobrevivência da população Norte Atlântica de tartarugas careta, pois nestes tamanhos a mortalidade natural é insig-

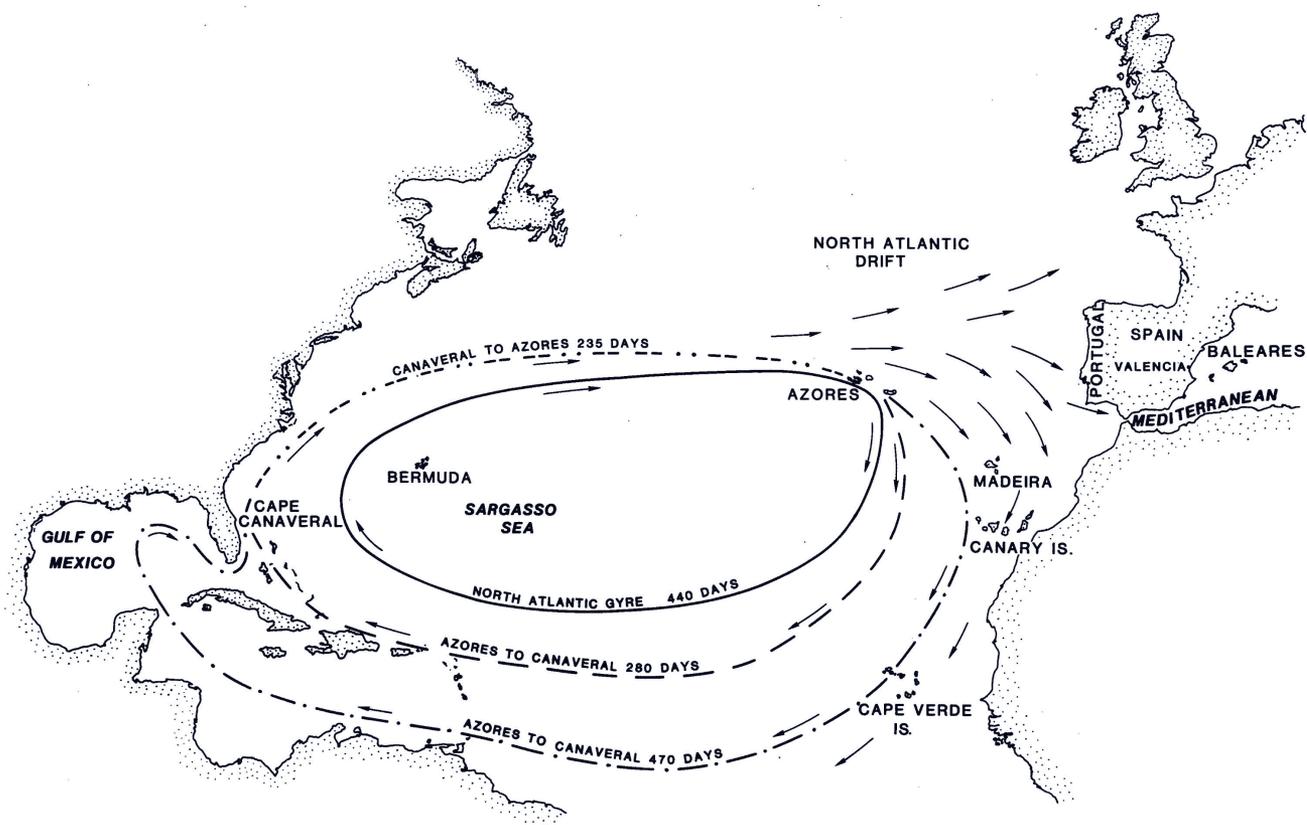


Figura 1. Rotas de migração de tartarugas entre Flórida e Açores e entre Açores e Flórida (Cortesia da NOAA Fisheries).

nificante. Na última década, assistiu-se a um declínio bastante acentuado no número de fêmeas desta espécie a desovar na Florida, um declínio que poderá estar associado ao aumento da pesca de espadarte no Atlântico Norte. Com isto em mente, foram realizadas experiências em embarcações comerciais de modo a investigar formas de reduzir a captura destes animais.

### PONTO DE PARTIDA

Sabia-se que a captura de tartarugas na pesca ao espadarte nos Açores era mais elevada em determinados meses e locais que noutros. Desta forma, os investigadores averiguaram o porquê dessas diferenças.

As hipóteses iniciais seriam que os parâmetros investigados (variáveis independentes) não teriam efeito na variação observada no número de tartarugas capturadas, por 1000 anzóis, (variável dependente) para cada lance de pesca.

### A IDENTIFICAÇÃO E DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS

As variáveis neste estudo concreto foram obtidas paralelamente a uma experiência de modificação da arte de pesca. A metodologia utilizada na experiência foi igual em todos os lances de pesca. Dentro das variáveis disponíveis, tanto ambientais como pesqueiras, foram seleccionadas apenas as que poderiam afetar o número de tartarugas capturadas por lance.

Temperaturas do mar, à superfície, foram recolhidas através de deteção remota, no âmbito do projecto «AVHRR Oceans Pathfinder» desenvolvido pela NASA e NOAA e disponibilizado gratuitamente (<http://podaac.jpl.nasa.gov>).

A profundidade foi medida com uma sonda, apenas durante a largada, no início e final de cada segmento do aparelho de pesca. Como variáveis utilizaram-se as profundidades média e a mínima.

O estado do tempo foi calculado através da Escala de Beaufort e consistiu na observação média da velocidade do vento e seus efeitos na superfície do mar.

A área varrida, ou deslocação do aparelho de pesca, foi calculada através das posições de GPS (Global Positioning System) do início e final de cada segmento do aparelho de pesca, durante a largada e recolha.

O tempo de imersão corresponde ao tempo que cada segmento do aparelho de pesca permaneceu a pescar.

A fase lunar foi calculada através da fração iluminada da lua para cada lance de pesca e disponibilizada pelo sítio da USNO (<http://aa.usno.navy.mil/>).

## OS INSTRUMENTOS

A obtenção de dados em cooperação com as actividades pesqueiras resulta ser um método de estudo bastante eficaz e não dispendioso. Por exemplo, os estudos sobre a distribuição das tartarugas e identificação de habitats pelágicos são normalmente efetuados através de transmissores de satélite, de elevado custo, logo condicionado ao número de transmissores financiados.

Os instrumentos utilizados foram essencialmente três e todos eles precisam de matemática ou para funcionar ou para interpretarmos os dados que nos fornecem. A saber:

*Sonda:* emite um som perpendicular e através do tempo que o seu eco demora a ser recebido dá-nos a distância da embarcação ao fundo do mar.

*GPS:* utiliza o posicionamento entre 4 satélites para nos dar a posição no globo terrestre.

*Detecção remota:* neste caso obtido por sensores instalados nos satélites, é necessário à análise e calibração dos dados com valores obtidos em estações terrestres e a correcção dos espaços em branco e erros, para tal desenvolvem-se algoritmos.

## A ESCOLHA DE DISTRIBUIÇÃO PARA ANÁLISE DOS DADOS AO LONGO DO PROCESSO

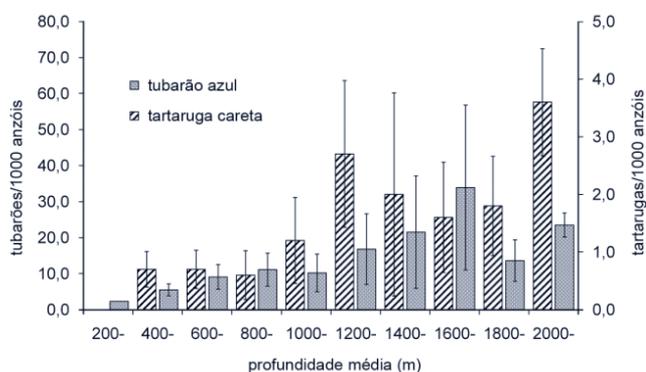
O *statistica* é um programa de tratamento de dados. Permite aplicar uma considerável bateria de testes que vão desde estatística descritiva até modelos de elevada complexidade. No entanto, neste momento o programa de estatística mais utilizado é o R. Funciona em plataforma aberta e tem mais de 500 pacotes adaptados a diversos fins que vão desde modelos simples até aplicações em geo-estatística. Inicialmente, houve alguma resistência na sua utilização pelo facto de exigir que os utilizadores saibam programação (linguagem R), mas devido às suas enormes potencialidades veio para ficar.

Regra geral, estes tipos de dados pesqueiros não obedecem a distribuições normais. Os modelos lineares generalizados (GLM) são métodos estatísticos muito flexíveis que surgem como uma alternativa não paramétrica da regressão linear e que permitem que as variáveis de resposta tenham uma distribuição não normal, o que se verifica na maior parte dos casos. Ao generalizarem as regressões lineares entre as variáveis explicativas e as de resposta permitem a linearização do modelo através de uma função de ligação (log, logit, etc.). Com alguma facilidade pode determinar-se quais as variáveis que têm uma influência significativa sobre a variável de resposta, atuando isoladamente ou em combinações.

Como as variáveis em estudo são contínuas, a distribuição de Poisson é adequada, por isso pode ser usada em GLMs (Poisson). Esta distribuição pode causar-nos desvios acentuados no modelo, devido ao excesso de zeros. Por esse motivo, podem usar-se modelos zero-inflacionados que permitem a presença de um elevado número de zeros.

**Tabela 1.** Valores de probabilidade (p), erro padrão (ep) e estimativa obtidos para os 7 parâmetros investigados através da análise GLM em relação ao CPUE (n ind./1000 anzóis) de tartarugas careta, tubarões azuis e espadartes. Os parâmetros significativos ( $\alpha < 0.01$ ) encontram-se em negrito.

Parametros	CPUE tartaruga careta			CPUE tubarão azul			CPUE espadarte		
	p	ep	estimativa	p	ep	estimativa	p	ep	estimativa
Prof. mínima	0.595	0.00	-0.0002	0.272	0.00	0.0001	0.007	0.00	0.0005
Prof. média	0.002	0.00	0.0014	0.000	0.00	0.0014	0.059	0.00	-0.0004
Temperatura do mar	0.000	0.09	0.5773	0.000	0.02	-0.3359	0.055	0.03	-0.0632
Estado do tempo	0.712	0.09	-0.0262	0.000	0.03	0.1230	0.738	0.04	0.0127
Área varrida	0.127	0.00	0.0018	0.013	0.00	0.0009	0.683	0.00	0.0002
Tempo de imersão	0.167	1.54	2.1274	0.000	0.56	2.7612	0.012	0.82	2.0699
Fase lunar	0.032	0.26	-0.5615	0.016	0.07	-0.1781	0.140	0.11	0.1696



**Figura 2.** Número de tubarões azuis e tartarugas careta por 1000 anzóis (CPUE) e por classe de profundidade média (m). Barras representam o erro padrão.

## OS RESULTADOS

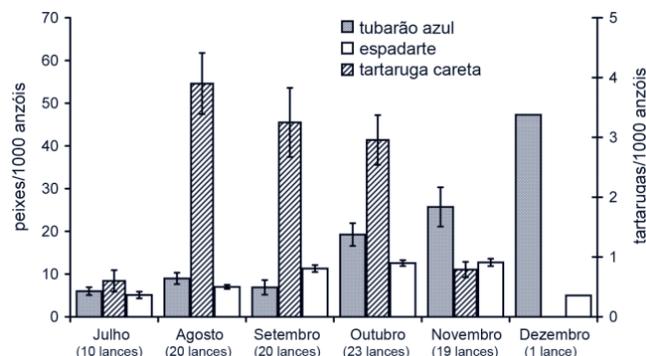
É com base na análise estatística que os investigadores podem aceitar ou rejeitar as hipóteses iniciais. Neste caso, da análise GLM resultou a tabela apresentada (Tabela 1).

Consideramos que aceitamos a hipótese se o nível de significância, representado por  $p$ , for inferior a 0,01. Quanto à escolha do nível de significância ser 0,01 ou vez do habitual 0,05, podemos verificar que a variável fase da lua, com o nível de significâncias escolhido não sugere relação com a captura de tartarugas, enquanto, se fosse considerado o valor 0,05, tal relação já seria considerada significativa. Esta opção evita assim erros do tipo 1 (acreditar que existe relação quando afinal não existe).

O estudo também indicou uma maior sobreposição de habitats entre as tartarugas careta e os tubarões azuis (*Priocace glauca*) do que entre as tartarugas e os espadartes. Esta relação está relacionada com a conjugação de vários fatores (análise de gráficos dos meses de maior captura de tartarugas e a análise GLM da profundidade média e da temperatura, esta última sugere-nos que a relação foi oposta entre as duas espécies).

Simplificando, se olharmos apenas para os meses de maior captura de tartarugas, a captura de tartarugas é mais elevada se a pesca se dirigir ao tubarão, que se diferencia da pesca dirigida ao espadarte fundamentalmente em relação à localização. Esta relação é sugerida pela profundidade média (local) que está relacionada positivamente entre as capturas das duas espécies (figura 2), embora a relação da temperatura (sazonal) seja oposta (figura 3).

De outros estudos já se sabia que as tartarugas estavam presentes nos Açores em maior número quando a temperatura da água é mais elevada (Agosto a Outubro). Esta conclusão é suportada pela última informação com a análise



**Figura 3.** Número de indivíduos por 1000 anzóis e por mês para tubarões azuis, espadartes e tartarugas careta. Número de lances é apresentado dentro de parêntesis e as barras representam o erro padrão.

da tabela GLM na variável temperatura da superfície do mar estava positivamente e significativamente relacionada com a captura de tartarugas (mais tartarugas nesta região mais interações com a pesca)

No entanto, há que ter em atenção na interpretação dos resultados que as embarcações de maior capacidade alternam a espécie alvo entre espadarte e tubarão azul. Quando a pesca é direcionada para o espadarte, a atividade termina mais cedo e menos tartarugas são capturadas. Por sua vez, quando a pesca é dirigida ao tubarão, a pesca é mais lenta (devido ao maior número de animais capturados e muitos ainda estarem vivos) e mais tartarugas são capturadas. Isto porque as tartarugas estão mais activas durante o dia.

## RECOMENDAÇÕES

As tartarugas juvenis agregam-se perto de estruturas oceanográficas, como frentes termais e redemoinhos, relacionadas com grandes correntes e características topográficas do fundo e em intervalos de temperatura específicos e necessários para o seu metabolismo, visto serem animais de sangue frio. Contudo, estas áreas de elevada produtividade são também as áreas utilizadas pela frota de pesca. A sugestão principal do artigo apontou para, através da previsão da distribuição espaço-temporal das tartarugas careta, reduzir as interações com a pesca.

A interação deste tipo de pesca com as tartarugas marinhas nos Açores poderia ser diminuída através da regulação da pesca de tubarão azul que, como a tartaruga careta, é uma espécie ameaçada devido à sobre-exploração e que utiliza as águas dos Açores como zona de maternidade.

Outras experiências paralelas, utilizando vários tipos de anzóis, mostraram que com o uso de anzóis circulares se capturam menos tartarugas e é mais fácil libertar as mes-

mas, pois são capturadas predominantemente pela boca, apresentando menos ferimentos graves. Por outro lado, suspeita-se que a utilização de anzóis circulares nos Açores poderia levar ao aumento da captura de tubarões azuis, isto porque o anzol circular é mais indicado para tubarões do que para espadartes e isso poderá ter alguma influência na selecção da espécie alvo da pescaria.

Outra medida identificada para reduzir o impacto desta pescaria nas tartarugas seria aumentar a consciencialização dos pescadores para a sua conservação. Se a embarcação parar e gentilmente se puxar a tartaruga, içando-a com um camaroeiro, o impacto físico nas tartarugas reduzir-se-á drasticamente. O uso de técnicas de remoção de anzóis, desenvolvidas especialmente para causarem menos dano nas tartarugas, também reduzirá a mortalidade das mesmas.

Além destas, a definição de uma política de mitigação das capturas acessórias que requeresse que as embarcações após elevada captura de tartarugas procurassem outra área de pesca, ou mesmo a proibição da pesca em áreas espaço-temporais identificadas como de elevada probabilidade de agregação de tartarugas careta, poderia também complementar o propósito de reduzir a captura de tartarugas.

Claro que, na prática, primeiro há que sensibilizar os pescadores para que tratem com cuidado os animais capturados. Depois, seguir a pescaria, através da colocação de observadores em grande parte da frota, e só aí implementar as proibições e obrigações que se provem necessárias.

#### Notas

- [1] Ambiente pelágico: zona ecológica ocupada por organismos que não dependem diretamente do fundo do mar.

- [2] Cnidaria: é o Filo onde se incluem os mais simples animais marinhos. Deve o seu nome às células urticantes que possui, os cnidócitos.

#### Referências

Figura 1 obtida na publicação Carr, A. (1986). New perspectives on the pelagic stage of sea turtle development. *NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-190*: 36pp.

Artigo e restantes figuras e tabelas baseado e obtidas, respectivamente, na publicação

Ferreira, LR, HR Martins, AB Bolten, MR Santos & K Erzini (2011). Influence of environmental and fishery parameters on loggerhead sea turtle by-catch in the longline fishery in the Azores archipelago and implications for conservation. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91 (8): 1697–1705. Publish online on 17 Jun 2010.

Para informações mais completas, em português, consultar: <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/1782>

#### ROGÉRIO FERREIRA

BIÓLOGO MARINHO E PESQUEIRO  
BOLSEIRO DE DOUTORAMENTO PELA FUNDAÇÃO  
PARA A CIÊNCIA E TÉCNOLOGIA  
CCMAR — CENTRO DE CIÊNCIAS DO MAR,  
UNIVERSIDADE DO ALGARVE, PORTUGAL  
ACCSTR — «ARCHIE CARR CENTER FOR SEA TURTLE  
RESEARCH», UNIVERSIDADE DA FLORIDA, EUA

#### PEDRO SARMENTO

FUNDAÇÃO ESSENTIA-PRÍNCIPE; DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

## MATERIAIS PARA A AULA DE MATEMÁTICA

A captura acidental de tartarugas associada à pesca de espadarte e de tubarão ao largo dos Açores é preocupante para a comunidade científica, assistindo-se posteriormente a um declínio acentuado do número de tartarugas fêmeas desta espécie aquando da desova na Florida. Para estudar o fenómeno um grupo de biólogos e investigadores partiram para uma investigação onde a estatística esteve sempre presente. Os resultados do estudo sugerem que as variáveis *temperatura superficial do mar* que foi recolhida através de deteção remota, no âmbito do projeto «AVHRR Oceans Pathfinder» desenvolvido pela NASA e NOAA (<http://podaac.jpl.nasa.gov>) e *profundidade média* que foi medida através de uma sonda são as que influenciam na captura de tartaruga.

Nesta tarefa propomos uma abordagem desses dos dados recolhidos no referido estudo. Esta tarefa dirige-se es-

pecialmente a alunos do Ensino Secundário, em particular de Matemática B e MACS no estudo de distribuições bidimensionais em articulação com medidas de localização e representação de dados em diagramas de extremos e quartis. Para a realização da atividade é necessário descarregar o ficheiro *temperatura\_profundidade* que está disponível junto à versão *online* da revista E&M <http://www.apm.pt/portal/em.php> e na página do MPT na APM <http://mpt2013.apm.pt/index.php/mpt-na-e-m>.

Agradecemos ao Rogério Ferreira por ter partilhado conosco os dados para a elaboração desta tarefa.

#### SÓNIA BARBOSA

AGRUPAMENTO DE ESCOLAS ÁLVARO VELHO