

## *A concha do mexilhão Perna Perna: presença de impurezas e espessura em diferentes condições ambientais*

O estudo avalia e compara as influências ambientais (aporte de rios e exposição a ondas) sobre a presença de Fe(III) e Mn(II) e a espessura das conchas do mexilhão Perna perna. As seguintes hipóteses são levantadas: i) conchas provenientes de áreas com maior influência de rios têm maiores concentrações de Fe(III) e Mn(II); e ii) conchas provenientes de áreas com maior exposição a ondas são mais espessas. A primeira hipótese foi confirmada, e as maiores concentrações de ambos os elementos foram registradas em conchas provenientes de Atafona, área localizada próximo à foz do Rio Paraíba do Sul. A segunda hipótese não se confirmou. A média dos valores de espessura da concha foi maior em Búzios, que é uma área classificada como ausente em relação à exposição a ondas. Este resultado pode ser explicado pela elevada disponibilidade de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> para águas costeiras nessa área. O mexilhão P. perna é um filtrador sésil com ampla distribuição na costa brasileira, e os resultados do estudo sugerem que seus bancos naturais podem constituir sentinelas de caracterização e monitoramento ambiental.

**Palavras-chave:** Bivalve; Aragonita; Ferro; Manganês; Mudanças ambientais.

## *The shell of Perna Perna mussel: presence of impurities and thickness in different environmental conditions*

The study evaluates and compares the environmental influences (river inputs and wave exposure) on the presence of Fe(III) and Mn(II) and thickness of the shell of Perna perna mussel. The following hypotheses are raised: i) shells from areas with greater influence of rivers have higher concentrations of Fe(III) and Mn(II); and ii) shells from areas with greater wave exposure are thicker. The first hypothesis was confirmed, and the highest concentration of both elements were registered in shells from Atafona, area located near the mouth of the Paraíba do Sul River. The second hypothesis was not confirmed. The mean shell thickness values were higher in Búzios, which is classified as an area without wave exposure. This result can be explained by the high availability of CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> for coastal waters in this area. The P. perna mussel is a sessile filter with wide distribution along the Brazilian coast, and the results suggests that its natural banks can serve as sentinels for environmental characterization and monitoring.

**Keywords:** Bivalve; Aragonite; Iron; Manganese; Environmental changes.

Topic: **Conservação da Biodiversidade**

Received: **09/06/2021**

Approved: **10/07/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Dayvison Felismindo Lima** 

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0799599514832070>

<http://orcid.org/0000-0001-5490-7706>

[lima@pg.uenf.br](mailto:lima@pg.uenf.br)

**Thaluana Silva Gonçalves** 

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2366478890333695>

<http://orcid.org/0000-0002-9281-9341>

[goncalvesthaluana@pg.uenf.br](mailto:goncalvesthaluana@pg.uenf.br)

**Ana Paula Madeira Di Benedetto** 

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8402221071942314>

<http://orcid.org/0000-0002-4248-9380>

[anapaula@uenf.br](mailto:anapaula@uenf.br)

**Roberto Weider de Assis Franco** 

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5208824640229110>

<http://orcid.org/0000-0002-3321-2005>

[franco@uenf.br](mailto:franco@uenf.br)



DOI: 10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0003

### Referencing this:

LIMA, D. F.; GONÇALVES, T. S.; BENEDETTO, A. P. M.; FRANCO, R. W. A..

A concha do mexilhão Perna Perna: presença de impurezas e espessura em diferentes condições ambientais. *Nature and Conservation*, v.14, n.3, p.42-51, 2021. DOI:

<http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.003.0003>

## INTRODUÇÃO

Moluscos bivalves, como ostras e mexilhões, são invertebrados que dão suporte aos serviços ecossistêmicos e contribuem para a estruturação de comunidades bênticas (EKSTROM et al., 2015). A espécie *Perna perna* (L. 1758), conhecida como mexilhão marrom, é um bivalve da família Mytilidae que ocorre em águas tropicais e subtropicais nos Oceanos Atlântico e Índico e do Mar Mediterrâneo, se distribuindo em substratos consolidados na região entremarés (MOLLUSCABASE, 2021). Na costa brasileira, este mexilhão ocorre entre 5°S e 34°S, com maior abundância entre 19°S e 27°S, que compreende a costa dos estados do Espírito Santo até Santa Catarina (REGALLA et al., 2008).

Atualmente, *P. perna* é o principal produto da mitilicultura no Brasil. A rápida taxa de crescimento (5,8 mm mês<sup>-1</sup>) e a alta resistência às variações de salinidade (19 a 44) e temperatura da água (5°C a 30°C) fazem com que seja uma espécie adequada para fins de cultivo (REGALLA et al., 2008). Estimativas sobre o crescimento de *P. perna* indicaram que sua concha atinge 50 mm de comprimento 14 meses após o assentamento das larvas no substrato, quando os mexilhões já são considerados adultos (HENRIQUES et al., 2001). *Perna perna* é um organismo sésil filtrador que se alimenta de fitoplâncton, zooplâncton e matéria orgânica em suspensão (REGALLA et al., 2008). Essas características, juntamente com sua elevada abundância, fácil amostragem e ampla distribuição em ambientes costeiros, fazem desta espécie sentinela para monitoramento de mudanças ambientais ao longo do tempo (GALVÃO et al., 2015).

As características ambientais em que os moluscos se desenvolvem influenciam na composição da sua concha (NORRIE et al., 2019). Esta estrutura calcária acumula elementos traço absorvidos em partículas em suspensão, no sedimento ou no alimento, independentemente desses elementos serem essenciais para nutrição, fisiologia ou metabolismo do organismo (NORRIE et al., 2019). A concha dos moluscos é uma estrutura organo-mineral, e sua parte mineral é constituída de polimorfos cristalinos de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), em especial calcita e/ou aragonita. Mexilhões de águas tropicais possuem concha aragonítica; enquanto àqueles de águas temperadas têm concha aragonítica + calcítica (TAYLOR et al., 1969). As conchas aragoníticas são mais comuns, porém são mais solúveis (mais frágeis) que as calcíticas. As conchas podem se tornar frágeis devido a eventos de aquecimento e acidificação dos oceanos que interferem na disponibilidade dos carbonatos na água (MACKENZIE et al., 2014; THOMSEN et al., 2015).

Dentre os metais de transição que formam a crosta terrestre, manganês (Mn) só é menos abundante que o ferro (Fe); e ambos têm propriedades físicas e químicas semelhantes (ENGHAG, 2004). Em geral, a origem natural de ambos os elementos para águas costeiras é litogênica, quando são adsorvidos em partículas em suspensão e transportados por rios (MALM et al., 1988). Tanto Fe quanto Mn estão entre os elementos mais abundantes na concha de bivalves (MEDAS et al., 2018). Durante o processo de cristalização da concha, os íons Fe(III) e Mn(II) são incorporados como impurezas na matriz de CaCO<sub>3</sub>. Fe(III) é uma impureza paramagnética comum na aragonita natural (KABACINSKA et al., 2014). Durante o processo de biomineralização da aragonita e da calcita, Mn(II) é incorporado como impureza substitucional em sítios de cálcio (Ca(II)) (ANGUS et al., 1979).

A concha dos mexilhões fornece proteção contra ações mecânicas e ambientais, tais como exposição a ondas e predação. Logo, qualquer fator que altere a sua integridade afetará a vulnerabilidade dos indivíduos e sua sobrevivência. Em geral, mexilhões que habitam áreas naturais em zonas entremarés têm conchas menores e mais espessas do que indivíduos provenientes de mitilicultura submersa, por exemplo (RESGALLA et al., 2008). Em áreas naturais localizadas em regiões costeiras abertas, com alta exposição a ondas, as conchas são menores e mais espessas do que em áreas mais abrigadas (STEFFANI et al., 2003; KANDRATAVICUS et al., 2014).

O objetivo deste estudo é avaliar e comparar as influências ambientais (aporte de rios e exposição a ondas) sobre a presença de Fe(III) e Mn(II) e a espessura das conchas de *P. perna*. As seguintes hipóteses são levantadas: i) conchas provenientes de áreas com maior influência de rios têm maiores concentrações de Fe(III) e Mn(II); e ii) conchas provenientes de áreas com maior exposição a ondas são mais espessas. O estudo discute o potencial de utilização desta espécie para fins de monitoramento do estado de acidificação dos oceanos ao longo de suas áreas de ocorrência.

## **METODOLOGIA**

### **Amostragem**

Os mexilhões foram amostrados em cinco áreas ao longo de 300 km no litoral do estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil, entre 21°S e 23°S (Figura 1). A escolha das áreas de amostragem considerou a influência de rios em águas costeiras e a exposição às ondas, que podem direcionar a disponibilidade de Fe(III) e Mn(II) nas conchas e a sua espessura, respectivamente (Tabela 1). As concentrações de Fe e Mn na água não foram medidas nas áreas de amostragem, mas como o mexilhão é um filtrador sésil pressupõe-se que a presença desses elementos na concha representa sua biodisponibilidade no ambiente (NORRIE et al., 2019).

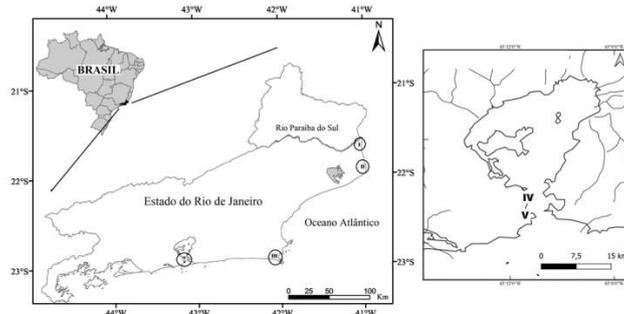
A Licença Permanente para Coleta de Material Zoológico número 16401-4 concedida pelo Governo Brasileiro à A.P.M. Di Benedetto autorizou as amostragens dos mexilhões para a realização desse estudo. As coletas foram feitas manualmente em abril de 2017, durante o período matutino e de maré mais baixa, considerando os maiores indivíduos fixados no substrato (inspeção visual). Em quatro locais de amostragem, os mexilhões estavam fixados em substratos artificiais (entulho de edifícios e enrocamentos), mas foram considerados como bancos naturais da espécie porque esses substratos simulam costões rochosos e são influenciados pela maré (Tabela 1).

Cada indivíduo foi acondicionado em saco plástico transparente e limpo, e em caixa com gelo para transporte ao laboratório. No laboratório, os epibiontes (e.g, algas, cracas, poliquetas), todos os tecidos moles do mexilhão e o perióstraco das valvas foram removidos. As valvas foram lavadas em água deionizada e secas em temperatura ambiente durante duas semanas. A valva direita de cada indivíduo foi pulverizada em almofariz e pilão e peneirada (63 µm) para análise de espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE). As medidas da concha foram tomadas antes deste procedimento.

## Medidas da concha

As medidas foram realizadas em conchas secas. Cada concha foi medida em três eixos, a saber: comprimento (distância máxima no eixo anterior-posterior), altura (distância máxima no eixo dorsal-ventral, através do eixo médio da concha) e largura (distância máxima no eixo lateral, entre ambas as valvas da concha fechada). Todas as medidas foram realizadas com aproximação de 0,1 mm com paquímetro digital. O peso da concha foi aferido em balança digital (0,01 g). As medidas e o peso da concha foram utilizados para o cálculo do índice de espessura da concha.

O índice de espessura da concha (IEC – g.mm<sup>2</sup>) foi determinado de acordo com Freeman et al. (2006), usando a equação:  $IEC = (1000 * \text{massa da concha seca}) / (L * (H^2 + W^2) 0,5 * \pi / 2)$ , onde L = comprimento, H = altura e W = largura da concha seca. IEC é medida de espessura da concha com menor erro associado em comparação com a medição direta (FITZER et al., 2015). Esse índice integra todas as dimensões da concha, incluindo sua massa. IEC alto indica uma concha mais espessa e IEC baixo uma concha mais fina.



**Figura 1:** Mapa do estado do Rio de Janeiro, suldeste do Brasil, com as cinco áreas de amostragem de *Perna perna* marcadas com círculos pretos. As áreas de amostragem IV e V estão destacados no lado direito. Atafona ou ponto de amostragem I; Praia do Açu ou ponto de amostragem II; Búzios ou ponto de amostragem III; Baía de Guanabara ou ponto de amostragem IV; e Praia Vermelha ou ponto de amostragem V.

**Tabela 1:** Descrição das áreas de amostragem de *Perna perna* no estado do Rio de Janeiro, suldeste do Brasil.

Área de amostragem (tamanho da amostra)	Influência de rios	Exposição a ondas	Observações sobre a área de amostragem
Atafona (I) (n = 20) (21°37'32"S; 41°00'49"W)	Forte	Forte	Mexilhões amostrados em entulhos de edificações de Atafona, localizados a 0,4 km da foz do Rio Paraíba do Sul. Este rio possui uma bacia hidrográfica de médio porte (~57.000 km <sup>2</sup> ), estendendo-se pelas áreas mais urbanizadas, industriais e agrícolas do suldeste do Brasil. A vazão média do rio é de 540 m <sup>3</sup> s, e a área de manguezal em seu estuário é de 8 km <sup>2</sup> . Atafona é uma praia arenosa aberta sem costão rochoso natural, e os entulhos de edificações desabaram em 2008 devido ao avanço do mar na linha costeira.
Praia do Açu (II) (n = 19) (21°50'57"S; 40°59'40"W)	Fraco	Forte	Mexilhões amostrados no enrocamento do Porto do Açu, na face voltada para a Praia do Açu. A Praia do Açu é uma praia arenosa aberta localizada 30 km ao sul da foz do Rio Paraíba do Sul, sem costões rochosos naturais. A construção do Porto do Açu iniciou em 2008 e as operações portuárias em 2014, com movimentação de cargas como granéis sólidos e líquidos, minério de ferro e petróleo.
Búzios (III) (n = 20) (22°44'39"S; 41°57'04"W)	Ausente	Ausente	Mexilhões amostrados em enrocamento na entrada de uma marina para barcos de recreio. A marina foi construída em 1990 e tem capacidade para 50 barcos (até 38 pés de comprimento). A marina está localizada na Península de Búzios, em uma área abrigada de águas calmas e sem influência de rios.
Baía de Guanabara (IV) (n =	Moderado	Ausente	Mexilhões amostrados em enrocamento dentro da Baía de

20) (22°56'14"S; 43°10'06"W)			Guanabara, localizado a 2 km da entrada da baía. Este enrocamento foi construído em 1965. A Baía de Guanabara é uma baía oceânica semifechada com 400 km <sup>2</sup> (segunda maior baía do Brasil) e intenso tráfego de navios. A área ao redor da baía é densamente povoada (~12 milhões de pessoas) e industrializada. Cinquenta e cinco pequenos rios e córregos desaguam no interior da baía, principalmente em sua porção norte, e a área de manguezal no seu entorno tem 69 km <sup>2</sup> .
Praia Vermelha (V) (n = 20) (22°57'23"S; 43°09'51"W)	Ausente	Moderado	Mexilhões amostrados em costões rochosos naturais. A Praia Vermelha é uma praia arenosa urbana, curta (300 m), de águas calmas, margeada por dois morros e localizada antes da entrada da Baía de Guanabara. No lado direito desta praia, onde foi feita a amostragem, a exposição às ondas ocorre durante os períodos de maré alta.

### Espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE)

RPE é técnica espectroscópica sensível que detecta elétrons não emparelhados, tais como Fe(III) e Mn(II) (EATON et al., 2010). Em polimorfos de CaCO<sub>3</sub>, como aragonita e calcita, os átomos de oxigênio coordenam Mn(II). A posição e a distância dos átomos de oxigênio ao redor do Mn(II) definem a forma do espectro, e cada polimorfo tem um espectro diferente de Mn(II). RPE é muito útil para a análise quantitativa dos elementos paramagnéticos até um limite de 10<sup>-9</sup> M (EATON et al., 2010).

Os espectros de RPE foram obtidos para 0,128 g de cada amostra de concha (n = 99) usando um espectrômetro Bruker E500 operando na banda X (9 GHz) à temperatura ambiente (25°C). Os fatores g foram referenciados usando um padrão MgO: Cr(III) (g = 1,9797). A área de um espectro de RPE em unidades arbitrárias (u.a.) é obtida por dupla integração das linhas. Essa intensidade é diretamente proporcional ao número de spins em ressonância e, portanto, diretamente proporcional à concentração das espécies paramagnéticas em uma amostra, como Fe(III) e Mn(II). No entanto, nos casos em que a mesma espécie paramagnética está presente em um conjunto de amostras e a largura de linha pico a pico é invariante, a amplitude pico a pico é um método conveniente de quantificar os sinais (EATON et al., 2010).

### Análise de dados

Análise de variância (ANOVA) com teste de Tukey *a posteriori* ( $\alpha = 0,05$ ) no programa R (R CORE TEAM, 2021) avaliou a diferença das médias entre as cinco áreas de amostragem em relação aos parâmetros da concha do mexilhão (Fe(III), Mn(II), IEC) para testar se conchas provenientes de áreas sob influência de rios têm maiores intensidades relativas de Fe(III) e Mn(II), e se conchas de áreas mais expostas às ondas são mais espessas. Quando necessário, as variáveis foram transformadas para atender aos pressupostos da ANOVA (linearidade, normalidade, homocedasticidade).

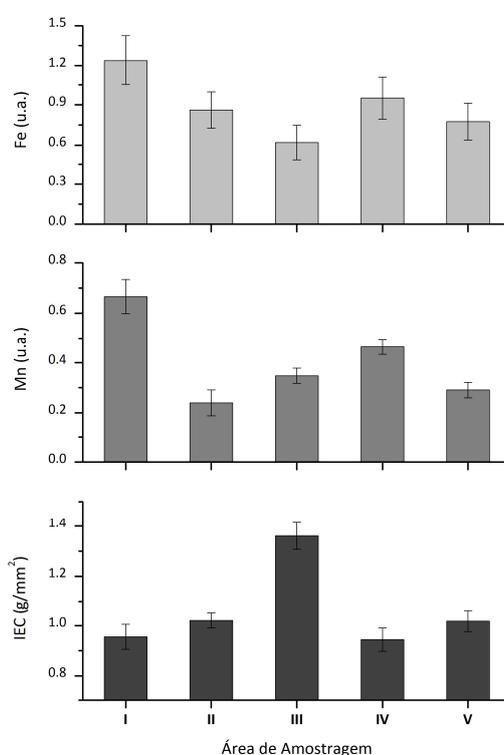
### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados deste estudo representam os bancos naturais ou populações do mexilhão *P. perna* estabelecidos em substratos artificiais (áreas de amostragem I, II, III e IV) ou em costão rochoso (área de amostragem V). Houve variação entre os locais de amostragem em relação aos parâmetros da concha considerados (Fe(III), Mn(II) e IEC) ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 2, Figura 2). As intensidades relativas de Fe(III)

apresentaram as menores variações entre as áreas de amostragem, e a única diferença digna de nota são valores superiores em Atafona (I). Em relação a Mn(II), Atafona (I), onde a influência de rio é mais acentuada, se destaca das demais áreas de amostragem com valores bem superiores. Sobre a espessura das conchas medida pelo IEC, notam-se valores significativamente superiores em Búzios (III) em comparação às demais áreas de amostragem, que foram semelhantes entre si (Tabela 2, Figura 2).

**Tabela 3:** Resultados da ANOVA e do teste de Tukey *a posteriori* sobre a comparação das cinco áreas de amostragem em relação aos parâmetros da concha de *Perna perna*. A intensidade do sinal > representa a significância estatística. I: Atafona, II: Praia do Açú, III: Búzios, IV: Baía de Guanabara, V: Praia Vermelha.

Parâmetros da concha	F	p	g.l.	Teste de Tukey <i>a posteriori</i>
Fe(III)	2,36	0,05	4	I > III; I=II=IV=V; II=III=IV=V
Mn(II)	14,29	<0,00001	4	I >>>> II=III=IV=V; IV >> II
IEC	14,47	<0,00001	4	III >>>> I = II = IV = V



**Figura 2:** Média dos parâmetros da concha de *Perna perna* nas cinco áreas de amostragem: Fe(III) (A), Mn(II) (B) e IEC (C). As barras representam o erro padrão. I: Atafona, II: Praia do Açú, III: Búzios, IV: Baía de Guanabara, V: Praia Vermelha.

Os resultados de Fe(III) sugerem que a influência de aporte de rios próximo aos bancos naturais de mexilhões podem incrementar as concentrações desse elemento nas conchas. Apesar da intensidade relativa de Fe(III) ter sido maior nas conchas provenientes de Atafona (I), área de amostragem localizada próximo à foz do Rio Paraíba do Sul, a significância das diferenças não destacou essa área das demais, com exceção da área de amostragem III (Búzios) (Tabela 2). Em Búzios, a influência de rios é ausente (Tabela 1).

Os resultados de Mn(II) destacaram que a presença de rios nas proximidades de bancos naturais influencia fortemente a concentração relativa desse elemento nas conchas de *P. perna*. A média dos valores de Mn(II) registrados nas conchas coletadas em Atafona (I) foram significativamente superiores às demais áreas de amostragem. Além disso, os valores de Mn(II) em conchas obtidas na Baía de Guanabara

(IV) foram numericamente superiores em relação às áreas de amostragem II, III e V (Figura 2). A Baía de Guanabara (IV) é classificada como influência fluvial moderada devido a dezenas de pequenos rios e córregos que deságuam em sua porção norte (distante cerca de 20 km do ponto de amostragem das conchas), enquanto as áreas Praia do Açú (II), Búzios (III) e Praia Vermelha (V) são classificadas como fraca (II) ou ausente (III e V) quanto à influência de rios (Tabela 1).

A primeira hipótese levantada neste estudo de que as conchas do mexilhão *P. perna* provenientes de áreas com maior influência de rios teriam maiores concentrações de Fe(III) e Mn(II) foi confirmada, conforme esperado (MALM et al., 1998). Já a segunda hipótese de que as conchas provenientes de áreas de amostragem com maior exposição a ondas teriam maior espessura em comparação àquelas provenientes de áreas mais abrigadas não se confirmou. O maior IEC das conchas em Búzios (III), área classificada como ausente em relação à exposição a ondas, pode ser justificado pela elevada disponibilidade de  $\text{CO}_3^{2-}$  para águas costeiras nessa região.

Búzios (III) está relativamente próximo (16-25 km de distância) de duas grandes fontes de  $\text{CO}_3^{2-}$  para as águas costeiras da região: Lagoa de Araruama e Companhia Nacional de Álcalis. A Lagoa de Araruama é uma lagoa permanentemente hipersalina (45 a 56) com 220 km<sup>2</sup> resultante do confinamento da água do mar em depressões rasas durante uma transgressão do Holoceno (7.000 a 5.000 AP). Esta lagoa tem sedimentação carbonática com grandes depósitos de conchas que foram dragadas para a extração de calcário biogênico para uso industrial durante a operação da Companhia Nacional de Álcalis (1943 a 2006) (KJERFVE et al., 1996; SOUZA et al., 2003). No passado, pelo menos 32 espécies de moluscos habitavam o fundo da Lagoa de Araruama, mas agora existem apenas oito espécies, com alta abundância do bivalve *Anomalocardia brasiliiana* (Gmlin) (BEUCLAIR et al., 2016). Um canal estreito de 14 km de extensão (Canal do Itajurú) é a única conexão com o mar e fica a 16 km da área de amostragem em Búzios (III). Assim, a Lagoa de Araruama é uma importante fonte de  $\text{CO}_3^{2-}$ , exportando este íon para águas costeiras. Como o Canal do Itajurú é estreito e o balanço hídrico da lagoa é negativo, a taxa de exportação de  $\text{CO}_3^{2-}$  é lenta, mas contínua.

A Companhia Nacional de Álcalis estava sediada no município de Arraial do Cabo, distante 25 km de Búzios (III), com atuação contínua por mais de 60 anos na produção de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) para uso industrial a partir da extração de sal marinho e dos depósitos de conchas da Lagoa de Araruama. A área industrial da empresa incluía edifícios de 400.000 m<sup>2</sup> e milhares de quilômetros quadrados de solução salina, produzindo 50.000 t anuais de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (PEREIRA, 2010). Desde 2007, toda área da empresa está abandonada. O  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  aumenta a alcalinidade da água quando descartado no ambiente, levando a mais  $\text{CO}_3^{2-}$  em solução (água supersaturada). A solução com alto teor de  $\text{CO}_3^{2-}$  pode beneficiar os organismos calcificantes, principalmente aqueles com concha aragonítica, como o mexilhão *P. perna*. Portanto, a maior média do IEC verificada nas conchas procedentes de Búzios (III) pode ser explicada por fontes locais de  $\text{CO}_3^{2-}$  que saturam as águas costeiras com este íon. Assim, a maior disponibilidade de  $\text{CO}_3^{2-}$  favorece a maior incorporação de Ca(II) durante a formação da concha, produzindo uma estrutura mais espessa.

O litoral brasileiro possui 10.000 km de extensão, considerando as reentrâncias costeiras. Os dados disponíveis baseados em sistemas de monitoramento físico e biogeoquímico e estudos de modelagem ainda não permitem compreensão aprofundada dos possíveis efeitos das mudanças ambientais e climáticas ao longo da costa brasileira, tais como os processos de acidificação do oceano e seus efeitos sobre as espécies locais (KERR et al., 2016). As áreas da plataforma continental no Brasil (4ºN a 34ºS) são ecossistemas sensíveis, com grande diversidade de características oceanográficas e influências antrópicas (BERNARDES et al., 2012). Portanto, é um desafio determinar como os organismos são afetados e qual característica ou influência tem maior influência sobre eles.

Os bivalves de concha aragonítica, como o mexilhão *P. perna*, são mais suscetíveis a impactos ambientais que comprometem a integridade da concha porque este polimorfo de  $\text{CaCO}_3$  é mais solúvel, instável, e mais frágil que conchas calcíticas ou calcíticas+aragoníticas (RIES et al., 2012; MACKENZIE et al., 2014; FITZER et al., 2015). Embora *P. perna* seja uma espécie eurialina e eutérmica, ela pode ser sensível ao estado de subsaturação de  $\text{CaCO}_3$  como consequência do processo de acidificação dos oceanos. A concha dos bivalves é um arquivo temporal que representa o ambiente onde o indivíduo cresce (NORRIE et al., 2019). A longevidade de *P. perna* (~ 24 meses, BOUDJEMA et al., 1995) e sua eficiência em colonizar (e recolonizar) áreas naturais após perturbação (~14 meses para alcançar a fase adulta, com 40-50 mm de comprimento, Henriques et al. (2001) permitem utilizar essa espécie para o monitoramento ambiental em escalas de tempo curtas e consecutivas, o que é uma vantagem em um cenário global de rápidas mudanças ambientais.

O mexilhão *P. perna* é a espécie correspondente ecológico em águas tropicais do gênero *Mytilus*, bivalve da família Mytilidae de águas temperadas (THOMSEN et al., 2017). Esta condição permitirá comparações em larga escala sobre como as mudanças climáticas e ambientais conduzem a resposta dos mexilhões ao longo do tempo, e será interessante para modelagem ecológica e ambiental.

## CONCLUSÕES

O mexilhão *P. perna* é um filtrador sésil com ampla distribuição na costa brasileira, e seus bancos naturais podem constituir sentinelas de caracterização e monitoramento ambiental. A concha do mexilhão contém informações acumuladas durante o desenvolvimento do indivíduo. Em todos os conjuntos de conchas analisados, provenientes de cinco áreas de amostragem distintas, foram detectadas impurezas de Fe(III) e Mn(II). A maior concentração de Mn(II) foi verificada nas conchas provenientes de Atafona (I), que é a área com maior aporte fluvial. A exposição às ondas não constituiu fator determinante para alteração significativa do índice de espessura das conchas (IEC). Os maiores IEC das conchas provenientes de Búzios (III), onde tanto o aporte fluvial quanto a exposição a ondas são ausentes, estão provavelmente associados à maior disponibilidade de carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) naquela região.

## REFERÊNCIAS

BOUDJEMA, Y. A.; DAUVIN, J. C.. Recruitment and life span of two natural mussel populations *Perna perna* (Linnaeus) and *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck) from the Algerian

coast. **Journal of Molluscan Studies**, v.61, p.467-481, 1995.  
DOI: <https://doi.org/10.1093/mollus/61.4.467>

- ANGUS, J. G.; RAYNOR, J. B.; ROBSON, M.. Reliability of experimental partition coefficients in carbonate systems: Evidence for inhomogeneous distribution of impurity cations. **Chemical Geology**, v.27, p.181-205, 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(79\)90038-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(79)90038-X)
- BERNARDES, M.; KNOPPERS, B.; REZENDE, C.; SOUZA, W.; OVALLE, A.. Land-sea interface features of four estuaries on the South America Atlantic coast. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.761-774, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400011>
- BEUCLAIR, M.; DUARTE, M. R.; SILVA, E. P.. Sambaquis (shell mounds) and mollusk diversity in the past history of Araruama Lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v.11, p.47-59, 2016.
- EATON, G. R.; EATON, S. S.; BARR, D. P.; WEBER, R. T.. Quantitative EPR. New York: SpringerWien. 2010.
- EKSTROM, J. A.; SUATONI, L.; COOLEY, S. R.; PENDLETON, L. H.; WALDBUSSER, G. G.; CINNER, J. E.; RITTER, J.; LANGDON, C.; HOODONK, R. V.; GLEDHILL, D.; WELLMAN, K.; BECK, M. W.; BRANDER, L. M.; RITTSCHOF, D.; DOHERTY, C.; EDWARDS, P. E. T.; PORTELA, R.. Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. **Nature Climate Change** v.5, p.207-214, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2508>
- ENGHAG, P.. **Encyclopedia of the elements**: technical data history, processing, applications. Weinheim: Wiley, 2008.
- FREEMAN, A. S.; BYERS, J. E.. Divergent induced responses to an invasive predator in marine mussel populations. **Science**, v.313, p.831-833, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1125485>
- FITZER, S. C.; VITTEERT, L.; BOWMAN, A.; KAMENOS, N. A.; PHOENIX, V. R.; CUSACK, M.. Ocean acidification and temperature increase impact mussel shell shape and thickness: problematic for protection? **Ecology and Evolution**, v.5, p.4875-4884, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1756>
- HENRIQUES, M. B.; MARQUES, H. L. A.; BARRELLA W.; PEREIRA, O. M.. Estimativa do tempo de recuperação de um banco natural do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) na Baía de Santos, Estado de São Paulo. **Holos Environment**, v. 1, p.85-100, 2001. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v1i2.1619>
- GALVÃO, P.; HENKELMANN, B.; LONGO, R.; TORRES, J. P. M.; MALM, O.; SCHRAMM, K.. The brown mussel *Perna perna* (L., 1758) as a sentinel species for chlorinated pesticide and dioxin-like compounds. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p.13522-13533, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4607-3>
- KABACINSKA, Z.; KRZYMINIEWSKI, R.; DOBOSZ, B.. EPR investigation of UV light effect on calcium carbonate powders with different grain sizes. **Radiation Protection Dosimetry**, v.159, p.149-154, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu177>
- KANDRATAVICUS, N.; BRAZEIRO, A.. Effects of wave exposure on morphological variation in *Mytilus edulis platensis* (Mollusca, Bivalvia) of the Atlantic Uruguayan coast. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v.9, p.31-38, 2014.
- KERR, R.; CUNHA, L. C.; KIKUCHI, R. K. P.; HORTA, P. A.; ITO, R. G.; MÜLLER, M. N.; ORSELLI, I. B. M.; AVILA, J. M. L.; ORTE, M. R.; SORDO, L.; PINHEIRO, B. R.; BONOU, F. K.; SCHRUBERT, N.; BERGSTROM, E.; COPERTINO, M. S.. The Western South Atlantic Ocean in a high-CO2 World: current measurement capabilities and perspectives. **Environmental Management**, v.57, p.740-752, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0630-x>
- KJERFVE, B.; SCHETTINI, C. A. F.; KNOPPERS, B.; LESSA, G.; FERREIRA, H. O.. Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.42, p.701-725, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0045>
- MACKENZIE, C. L.; ORMONDROYD, G. A.; CURLING, S. F.; BALL, R. J.; WHITELEY, N. M.; MALHAM, S. K.. Ocean warming, more than acidification, reduces shell strength in a commercial shellfish species during food limitation. **PLoS One**, v.9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086764>
- MALM, O.; PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M.; AZCUE, J. M.. Transport and availability of heavy metals in the Paraíba do Sul-Guandu river system, Rio de Janeiro state, Brazil. **Science of The Total Environment**, v.75, p.201-209, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(88\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(88)90033-2)
- MEDAS, D.; CARLOMAGNO, I.; MENEGHINI, C.; AQUILANTI, G.; ARAKI, T.; BEDOLLA, D. E.; BUOSI, C.; CASU, M. A.; GIANONCELLI, A.; KUNCSEK, A.; MARALOIU, V. A.; GIUDICI, G.. Zinc incorporation in marine bivalve shells grown in mine-polluted seabed sediments: a case study in the Malfidano mining area (SW Sardinia, Italy). **Environmental Science and Pollution Research**, v.25, p.36645-36660, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3504-y>
- NORRIE, C. R.; DUNPHY, B. J.; RAGG, N. L. C.; LUNDQUIST, C. J.. Comparative influence of genetics, ontogeny and the environment on elemental fingerprints in the shell of *Perna canaliculus*. **Scientific Reports**, v.9, p.8533, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44947-0>
- PEREIRA, W. L. C. M.. Vagas da modernidade: a Companhia Nacional de Alcalis em Arraial do Cabo (1943-964). **Estudos Históricos (Rio de Janeiro)**, V. 23, p. 321-343, 2010.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. 2021.
- RESGALLA C.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B.. O mexilhão *Perna perna* (L.): biologia, ecologia e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- RIES, J. B.; COHEN, A. L.; MCCORKLE, D. C.. Marine calcifiers exhibit mixed responses to CO2-induced ocean acidification. **Geology**, v.37, p.1131-1134, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1130/G30210A.1>
- SOUZA, M. F. L.; KJERFVE, B.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; DAMASCENO, R. N.. Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.57, p.843-858, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0272-7714\(02\)00415-8](https://doi.org/10.1016/S0272-7714(02)00415-8)

STEFFANI, C. N.; BRANCH, G. M.. Growth rate, condition, and shell shape of *Mytilus galloprovincialis*: responses to wave exposure. **Marine Ecology Progress Series**, v.246, p.197-209, 2003. DOI: <https://doi.org/10.3354/meps246197>

TAYLOR, J. D.; KENNEDY, W. J.. The influence of the periostracum on the shell structure of bivalve molluscs. **Calcified Tissue Research**, v.3, p.274-283, 1969. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02058669>

THOMSEN, J.; STAPP, L. S.; HAYNERT, K.; SCHADE, H.; DANELLI, M.; LANNING, G.; WEGNER, K. M.; MELZNER, F.. Naturally acidified habitat selects for ocean acidification: tolerant mussels. **Science Advances**, v.3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1602411>

THOMSEN, J.; HAYNERT, K.; WEGNER, K. M.; MELZNER, F.. Impact of seawater carbonate chemistry on the calcification of marine bivalves. **Biogeosciences**, v.12, p.4209-4220, 2015.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.