REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ESTRATÉGIAS MORFOLÓGICAS E OCUPAÇÃO ECOLÓGICA DE BIVALVES EM COSTÕES ROCHOSOS DE ARRAIAL DO CABO-RJ

MORPHOLOGICAL STRATEGIES AND ECOLOGICAL NICHES OF BIVALVES ON ROCKY SHORES OF ARRAIAL DO CABO-RJ

ESTRATEGIAS MORFOLÓGICAS Y OCUPACIÓN ECOLÓGICA DE BIVALVOS EN COSTAS ROCOSAS DE ARRAIAL DO CABO-RJ

Luciano Rapagnã[1], Jaqueline Pereira de Azeredo Rapagnã[2], Rodolfo Dias Correa[3], Thalita Castro de Oliveira[3], Gustavo Borges de Oliveira[4], Gabriela da Silva Marques[4], Julio Cesar Quintanilha Peres dos Santos[4], Ana Polycarpa de Almeida Marinho Carvalho[4], Thayane Delazari Corrêa[3], Josman Ferreira França[4], Daniel Rodrigo Bernardes Vilanova[4]

e6106864
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i10.6864

PUBLICADO: 10/2025

RESUMO

A morfologia de bivalves em ambientes costeiros é modulada por gradientes ambientais e pressões ecológicas, refletindo adaptações funcionais e processos de exclusão competitiva. Este estudo analisou a variação morfológica de três espécies, *Pinctada imbricata*, *Perna perna* e *Isognomon bicolor*, em costões rochosos de Arraial do Cabo-RJ, submetidos a diferentes níveis de hidrodinamismo e intensidade da ressurgência. Foram coletados 50 indivíduos por espécie em quatro localidades com distintas exposições, e avaliadas 18 variáveis morfométricas por meio de análises multivariadas (ACP e análise discriminante), com correção alométrica para isolar os efeitos da forma. Os resultados revelaram que *I. bicolor* e *P. perna* apresentaram variação predominantemente associada ao tamanho, enquanto *P. imbricata* apresentou diferenciação mais vinculada à forma da concha. A segregação morfológica entre localidades reflete respostas adaptativas às condições locais, sendo mais intensa em espécies com menor tolerância ao estresse físico. A ocupação diferencial por espécies nativas e exóticas indica processos ativos de bioinvasão e substituição ecológica. Conclui-se que a morfometria funcional, associada a gradientes ambientais, constitui ferramenta sensível para detectar padrões adaptativos, com implicações relevantes para o monitoramento de comunidades costeiras e para estratégias de conservação diante da expansão de espécies invasoras.

PALAVRAS-CHAVE: Ecologia de bivalves. Morfometria multivariada. Bioinvasão.

ABSTRACT

The morphology of bivalves is strongly shaped by environmental gradients and ecological pressures, reflecting functional adaptations and competitive interactions. This study examined morphological variation in three species — Pinctada imbricata, Perna perna, and Isognomon bicolor — inhabiting rocky shores of Arraial do Cabo-RJ, a region influenced by intense upwelling and heterogeneous hydrodynamic conditions. A total of 50 individuals per species were sampled across four sites with contrasting levels of wave exposure and upwelling intensity. Eighteen morphometric variables were measured and analyzed using multivariate approaches (PCA and discriminant analysis) with allometric correction to isolate shape effects. Results indicated that I. bicolor and P. perna exhibited size-driven variation, whereas P. imbricata showed morphological differentiation primarily associated with shell shape. Patterns of segregation across sites suggest adaptive responses to local stress

[1] Universidade Federal Fluminense - UFF.
[2] SEMECCETEL.
[3] Universidade Guarulhos - UNG.
[4] Fac-Unilagos.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

gradients, being more pronounced in species less tolerant to hydrodynamic stress. These findings highlight the role of functional morphometrics as a sensitive tool for detecting adaptive strategies in benthic communities, with important implications for monitoring bioinvasions, ecological replacement processes, and coastal conservation policies.

KEYWORDS: *Bivalve ecology. Functional morphometrics. Bioinvasion.*

RESUMEN
La morfología de los bivalvos está fuertemente influenciada por gradientes ambientales y presiones ecológicas, reflejando adaptaciones funcionales e interacciones competitivas. Este estudio evaluó la variación morfológica de tres especies — Pinctada imbricata, Perna perna e Isognomon bicolor — en costas rocosas de Arraial do Cabo-RJ, una región marcada por un intenso sistema de surgencia y condiciones hidrodinámicas heterogéneas. Se recolectaron 50 individuos por especie en cuatro localidades con diferentes niveles de exposición al oleaje e intensidad de surgencia. Se midieron 18 variables morfométricas, analizadas mediante enfoques multivariados (ACP y análisis discriminante), con corrección alométrica para aislar los efectos de la forma. Los resultados mostraron que I. bicolor y P. perna presentaron variación dominada por el tamaño, mientras que P. imbricata exhibió diferenciación morfológica principalmente vinculada a la forma de la concha. Los patrones de segregación entre localidades reflejan respuestas adaptativas a las condiciones locales, siendo más marcadas en especies menos tolerantes al estrés físico. Estos hallazgos refuerzan el potencial de la morfometría funcional como herramienta sensible para detectar estrategias adaptativas, con aplicaciones relevantes en el monitoreo de comunidades bentónicas, bioinvasiones y políticas de conservación costera.

PALABRAS CLAVE*: Ecología de bivalvos. Morfometría funcional. Bioinvasion.*

INTRODUÇÃO

Os moluscos bivalves constituem um dos grupos mais representativos nos costões rochosos e ambientes costeiros tropicais e subtropicais, desempenhando funções ecológicas centrais como filtradores de partículas em suspensão, recicladores de nutrientes e engenheiros de ecossistema, uma vez que formam *micro-habitats* que favorecem a colonização de diversos organismos (Gosling, 2015). Além de sua importância ecológica, esses organismos apresentam elevado valor econômico e histórico, sendo utilizados por comunidades humanas desde o período pré-histórico, como demonstram registros arqueológicos em sambaquis da costa fluminense (de Souza *et al.,* 2010).

A morfologia das conchas desses organismos reflete não apenas pressões seletivas oriundas de predadores e das condições oceanográficas locais, mas também processos adaptativos relacionados à plasticidade fenotípica. Gradientes ambientais, como hidrodinamismo, salinidade, disponibilidade de nutrientes e intensidade da ressurgência costeira, modulam a forma, a robustez e a espessura das conchas. Essa plasticidade permite a coexistência e, em alguns casos, a exclusão competitiva entre espécies nativas e exóticas, configurando um campo fértil para estudos sobre invasões biológicas e substituição faunística (Machado *et al.,* 2025; Telesca *et al.,* 2018).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

No litoral brasileiro, três espécies destacam-se por sua relevância ecológica e biogeográfica: *Pinctada imbricata*, registrada amplamente em sambaquis e historicamente dominante nos costões fluminenses (de Souza Faria; Corrêa Luz de Souza, 2014), o mexilhão *Perna perna*, amplamente distribuído atualmente no Atlântico Sul, com fortes indícios de origem exótica africana (Pierri *et al.,* 2016), e o invasor *Isognomon bicolor*, proveniente do Caribe, cuja introdução nos anos 1990 alterou significativamente a composição das comunidades bentônicas do Sudeste brasileiro (Breves-Ramos *et al.,* 2010; López *et al.,* 2014)

O município de Arraial do Cabo (RJ) é um cenário privilegiado para esse tipo de investigação, pois combina um complexo sistema de ressurgência costeira, considerado um dos mais intensos do Atlântico Sul (Lessa *et al.,* 2016a, 2016b; Shimabukuro *et al.,* 2025), com ambientes costeiros heterogêneos, variando de costões abrigados a áreas fortemente expostas ao batimento das ondas. Tal configuração o transforma em um laboratório natural para avaliar como fatores oceanográficos moldam a morfologia, a distribuição e as interações entre espécies nativas e exóticas.

Diante desse contexto, o presente trabalho busca compreender de que maneira gradientes de ressurgência e hidrodinamismo influenciam a variação morfológica de *P. imbricata*, *P. perna* e *I. bicolor* em costões rochosos de Arraial do Cabo-RJ, destacando padrões adaptativos e implicações para processos de bioinvasão e conservação marinha.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Morfologia de bivalves e plasticidade fenotípica

A morfologia das conchas de bivalves é resultado da interação entre fatores genéticos e ambientais, configurando um exemplo clássico de plasticidade fenotípica em organismos marinhos. Essa plasticidade permite que indivíduos de uma mesma espécie apresentem variações significativas de forma, espessura e robustez da concha em resposta a gradientes ambientais, como hidrodinamismo, disponibilidade de nutrientes, salinidade, temperatura e pressão de predação (Suplicy; Moltschaniwskyj, 2024; Telesca *et al.,* 2018).

As conchas, formadas predominantemente por carbonato de cálcio e matriz orgânica, desempenham múltiplas funções: proteção contra predadores, resistência mecânica às ondas e correntes, armazenamento de energia e até regulação do balanço hídrico e iônico (Gosling, 2015). Em ambientes de forte hidrodinamismo, bivalves tendem a desenvolver conchas mais espessas, compactas e de menor alongamento, reduzindo a chance de fratura e o desprendimento do substrato. Em contraste, em áreas mais abrigadas, observa-se maior elongação e menor espessura, características que favorecem o crescimento em altura e o aproveitamento do espaço (Huhn *et al.,* 2016).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Esse padrão já foi amplamente descrito para espécies como *Perna perna*, cujas populações expostas a ambientes de alta energia apresentam conchas mais robustas, enquanto aquelas em zonas abrigadas mostram conchas mais alongadas e frágeis (Henriques; Casarini, 2009) De modo similar, *Pinctada imbricata* tende a apresentar maior sensibilidade a pressões hidrodinâmicas, limitando-se a *micro-habitats* estáveis, enquanto *Isognomon bicolor*, espécie invasora de origem caribenha, demonstra notável plasticidade, colonizando tanto áreas protegidas quanto locais de maior exposição (Breves-Ramos *et al.,* 2010; López *et al.,* 2014)

Além de influenciar a ecologia das populações, a variação morfológica em bivalves também tem implicações práticas para estudos de paleoecologia e zooarqueologia. As diferenças de concha podem refletir não apenas condições ambientais passadas, mas também estratégias de manejo e coleta por populações humanas ao longo do tempo (de Souza *et al.,* 2010) Dessa forma, a plasticidade morfológica dos bivalves constitui não apenas um mecanismo adaptativo contemporâneo, mas também um registro histórico-ecológico, essencial para compreender a dinâmica das comunidades costeiras sob múltiplos contextos temporais.

1.2. Espécies nativas e processos históricos

O registro arqueológico ao longo da costa brasileira indica que os moluscos bivalves sempre desempenharam papel central nas interações entre sociedades humanas e os ambientes costeiros. Em sambaquis da Região dos Lagos, espécies como *Pinctada imbricata* aparecem como os principais recursos malacológicos, compondo tanto a dieta quanto práticas culturais das populações sambaquieiras (de Souza Faria; Corrêa Luz de Souza, 2014; de Souza *et al.,* 2003, 2010). Essa predominância histórica sugere que a espécie, além de amplamente disponível, possuía características favoráveis de coleta, preparo e consumo, tornando-se um marcador cultural e paleoecológico dos sistemas costeiros do Holoceno.

Entretanto, a composição malacológica atual da costa difere substancialmente daquela registrada em sítios arqueológicos. *Pinctada imbricata*, outrora dominante, hoje encontra-se restrita a ambientes mais abrigados, como enseadas e substratos estáveis, apresentando menor representatividade nos costões expostos (de Souza *et al.,* 2003). Essa mudança é acompanhada pela ascensão de *Perna perna*, espécie de mexilhão que atualmente domina extensas faixas do litoral rochoso entre o estado do Rio de Janeiro e de Santa Catarina. Embora seja tratada por parte da literatura como nativa, evidências históricas e biogeográficas apontam sua provável origem africana, sugerindo que pode ter sido introduzida no Brasil durante o período colonial por meio de embarcações ligadas ao tráfico atlântico de escravizados (Pierri *et al.,* 2016).

Essa transição histórico-ecológica de comunidades dominadas por *P. imbricata* para cenários contemporâneos de predominância de *P. perna*, reflete não apenas processos naturais de substituição, mas também fortes influências antrópicas, como o transporte marítimo e a modificação

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

de habitats costeiros. Estudos comparativos demonstram que *P. perna* apresenta elevada plasticidade fenotípica, ajustando sua morfologia e taxas de crescimento a diferentes condições de hidrodinamismo e produtividade primária, o que favorece sua ampla distribuição atual (Henriques; Casarini, 2009).

Assim, compreender os processos históricos ligados à substituição de espécies nativas é fundamental para contextualizar a dinâmica atual das comunidades bentônicas. Essa perspectiva histórica não apenas ilumina as interações entre ambiente e cultura ao longo do tempo, mas também permite interpretar a presença de espécies contemporâneas sob a ótica da biogeografia e da antropização costeira.

1.3. Espécies invasoras e bioinvasões marinhas

As bioinvasões marinhas constituem um dos principais desafios para a conservação da biodiversidade costeira e oceânica no século XXI. O aumento da globalização e da intensificação do transporte marítimo tem ampliado as rotas de dispersão de espécies não indígenas (*Non-Indigenous Species – NIS)*, principalmente por meio da água de lastro e do *biofouling* em cascos de navios, boias, píeres e outras estruturas artificiais. Esses vetores favorecem a instalação de organismos exóticos em ambientes portuários e costeiros, que funcionam como pontos de entrada e dispersão para *habitats* naturais adjacentes (Corrêa *et al.,* 2023).

No Brasil, a introdução e estabelecimento de espécies exóticas já resultaram em impactos ecológicos e econômicos significativos. Estima-se que os prejuízos acumulados desde 1984 ultrapassem USD 100 bilhões, embora a maioria dos cálculos esteja associada a espécies terrestres; os custos relacionados ao ambiente marinho permanecem subestimados. Em áreas costeiras eutrofizadas e sujeitas a forte atividade portuária, como Santos e Paranaguá, espécies invasoras como *Branchiomma luctuosum*, *Styela plicata* e *Isognomon bicolor* têm sido registradas em alta dominância, alterando o equilíbrio ecológico local (Corrêa *et al.,* 2023).

Particular atenção deve ser dada aos corais do gênero *Tubastraea* (coral-sol), espécies oportunistas originárias do Pacífico que apresentam rápida capacidade de colonização em substratos naturais e artificiais, superando espécies nativas e endêmicas (Natálio *et al.,* 2022). Esses organismos têm provocado mudanças nos ecossistemas recifais, levando à redução da diversidade local e à modificação de funções ecossistêmicas (Natálio *et al.,* 2022). A detecção de *T. coccinea* e *T. tagusensis* no Porto de São Sebastião evidencia o papel dos portos não apenas como vetores primários de introdução, mas também como focos de dispersão secundária (Creed *et al.,* 2017; Miranda *et al.,* 2018).

A literatura ressalta que *habitats* artificiais, como estacas, diques, plataformas e píeres concentram maior número de espécies não indígenas quando comparados a substratos naturais, funcionando como *“stepping stones”* para a dispersão (Connell, 2005; Glasby *et al.,* 2007).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Em contrapartida, levantamentos realizados no litoral do estado do Paraná demonstraram que espécies invasoras já avançaram para substratos naturais em mar aberto, representando até 18% da fauna bentônica registrada em algumas áreas (Bumbeer; Rocha, 2016; Soares *et al.,* 2022).

Essas evidências reforçam a necessidade de políticas públicas e programas de monitoramento contínuo, com ênfase em áreas portuárias e zonas de amortecimento adjacentes. Estratégias de prevenção e detecção precoce são fundamentais para reduzir os impactos das bioinvasões, uma vez que a erradicação de espécies estabelecidas em ambientes marinhos é extremamente difícil (Corrêa *et al.,* 2023; Natálio *et al.,* 2022; Soares *et al.,* 2022).

1.4. Ressurgência costeira e gradientes ambientais

O sistema de ressurgência costeira de Cabo Frio-RJ constitui-se em um dos mais intensos e persistentes do Atlântico Sul Ocidental, caracterizando-se pelo afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), rica em nutrientes e com temperaturas entre 12 - 18 °C. Esse processo eleva massas de água subsuperficiais para a zona eufótica, promovendo elevadas taxas de produtividade primária e sustentando cadeias tróficas de alta relevância ecológica e pesqueira (Valentin, 1984; Mendonça *et al.,* 2010; Belem *et al.,* 2013).

A ocorrência da ressurgência em Arraial do Cabo está associada a múltiplos fatores que atuam de forma sinérgica: (i) a mudança abrupta da orientação da linha de costa e da plataforma continental, que favorece o transporte de *EKMAN*; (ii) a predominância de ventos alísios de nordeste, especialmente na primavera e verão, que induzem divergência costeira; (iii) o deslocamento sazonal da Corrente do Brasil, que no verão se afasta da costa permitindo maior intrusão da ACAS; e (iv) a formação de vórtices ciclônicos e meandros associados a instabilidades da Corrente do Brasil, que intensificam os pulsos de afloramento (Albuquerque *et al.,* 2014; Belem *et al.,* 2013).

Do ponto de vista ecológico, a ressurgência atua como um filtro ambiental, criando gradientes nítidos de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e nutrientes, que modulam a distribuição e o desempenho das comunidades bentônicas. Áreas expostas à ressurgência tendem a apresentar maior abundância de espécies oportunistas e morfologias adaptadas ao hidrodinamismo, como conchas mais espessas e compactas em bivalves, enquanto zonas abrigadas, menos influenciadas pelo afloramento, favorecem espécies mais sensíveis e com conchas mais delgadas (Huhn *et al.,* 2016; Seabra *et al.,* 2015).

Além disso, a variabilidade temporal da ressurgência, modulada por fenômenos interanuais como *El Niño*–Oscilação Sul e por oscilações de maior escala relacionadas ao deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul intensifica a heterogeneidade dos habitats costeiros. Essa variabilidade resulta em zonas de mosaico ambiental, nas quais espécies nativas e invasoras

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

encontram condições diferenciadas para crescimento, competição e estabelecimento (Albuquerque *et al.,* 2014).

Nesse contexto, a ressurgência de Cabo Frio-RJ pode ser vista não apenas como um motor de produtividade, mas como um agente estruturador da biodiversidade e da morfologia dos bivalves, influenciando a coexistência e o potencial de invasão de espécies como *Perna perna*, *Pinctada imbricata* e *Isognomon bicolor*.

2. MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O município de Arraial do Cabo, situado na Região dos Lagos, litoral centro-norte do estado do Rio de Janeiro (22°57’ S; 42°01’ W), destaca-se como um dos ambientes costeiros mais singulares do Atlântico Sul Ocidental. Essa área insere-se em um trecho peculiar da costa brasileira, marcado por uma mudança abrupta na orientação da linha de costa, de predominantemente NE-SW para E-W, e pela presença de uma plataforma continental estreita. Tais características geomorfológicas favorecem a ocorrência do sistema de ressurgência de Cabo Frio, um dos mais persistentes do Hemisfério Sul, responsável pelo afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), rica em nutrientes e de baixa temperatura, que ascende até a Zona Eufótica (Belem *et al.,* 2013; Valentin, 2001; Venancio *et al.,* 2016).

Esse processo oceanográfico confere à região condições altamente produtivas e heterogêneas, estabelecendo gradientes acentuados de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido. A alternância entre águas tropicais oligotróficas e pulsos frios e eutróficos gera um verdadeiro mosaico ambiental, que sustenta elevada diversidade biológica, incluindo comunidades bentônicas complexas e pesqueiros de grande relevância socioeconômica (Albuquerque *et al.,* 2014; Belem *et al.,* 2013; Venancio *et al.,* 2016).

A costa de Arraial do Cabo é caracterizada por uma notável diversidade de *habitats*: costões rochosos expostos ao forte batimento de ondas, enseadas abrigadas, praias arenosas e substratos artificiais associados a marinas, píeres e ao porto. Essa heterogeneidade ambiental cria condições propícias tanto para espécies nativas, como *Pinctada imbricata*, quanto para espécies oportunistas e invasoras, como *Isognomon bicolor*, que encontram locais adequados para fixação e expansão (Breves-Ramos *et al.,* 2010; López *et al.,* 2014).

Do ponto de vista socioambiental, Arraial do Cabo é uma região de importância histórica e cultural, marcada pela tradição da pesca artesanal, ainda hoje fundamental para a subsistência e economia local. Entretanto, a coexistência entre atividades tradicionais, turismo costeiro em expansão e pressões antrópicas (como atividades portuárias, incremento do tráfego marítimo e urbanização desordenada) faz da região não apenas um laboratório natural para estudos

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

ecológicos, mas também um espaço estratégico para discutir conservação marinha, impactos de bioinvasões e sustentabilidade socioambiental (Corrêa *et al.,* 2023; Ferreira; Junqueira, 2009).

Dessa forma, a escolha de Arraial do Cabo como área de estudos se justifica pela singular combinação de fatores oceanográficos, ecológicos e socioculturais, que conferem a esse sistema costeiro um caráter privilegiado para a investigação da variação morfológica de bivalves e dos efeitos de gradientes ambientais e processos de bioinvasão em costões rochosos tropicais.

Quatro costões rochosos foram selecionados para as coletas (Figura 1; Tabela 1): Forno (FN), Fortaleza (FT), Anjos (AN) e Sonar (SN). Os sítios foram definidos a partir de suas características geomorfológicas e dos distintos gradientes de exposição ao hidrodinamismo e à intensidade da ressurgência (Tabela).

Tabela 1. Distância (km), grau de batimento de ondas e intensidade da ressurgência entre os pontos de coleta em Arraial do Cabo-RJ

Area de coleta	***Distância entre os pontos (Km)***				***Grau de exposição as ondas***	***Intensidade Ressurgência***
	(FN)	***(FT)***	***(AN)***	***(SN)***		
Forno (FN)	0,00	0,23	0,97	2,61	Abrigado	Fraca
Fortaleza (FT)	0,23	0,00	0,74	2,38	Batido	Fraca
Anjos (AN)	0,97	0,74	0,00	1,64	Abrigado	Fraca
Sonar (SN)	2,61	2,38	1,64	0,00	Batido	Forte

Essa configuração espacial fornece um gradiente ambiental ideal para a comparação entre *habitats* abrigados e expostos, sob diferentes intensidades de ressurgência, permitindo compreender como essas variáveis modulam a morfologia e a ecologia de bivalves (Granthom-Costa *et al.,* 2025; López *et al.,* 2014).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

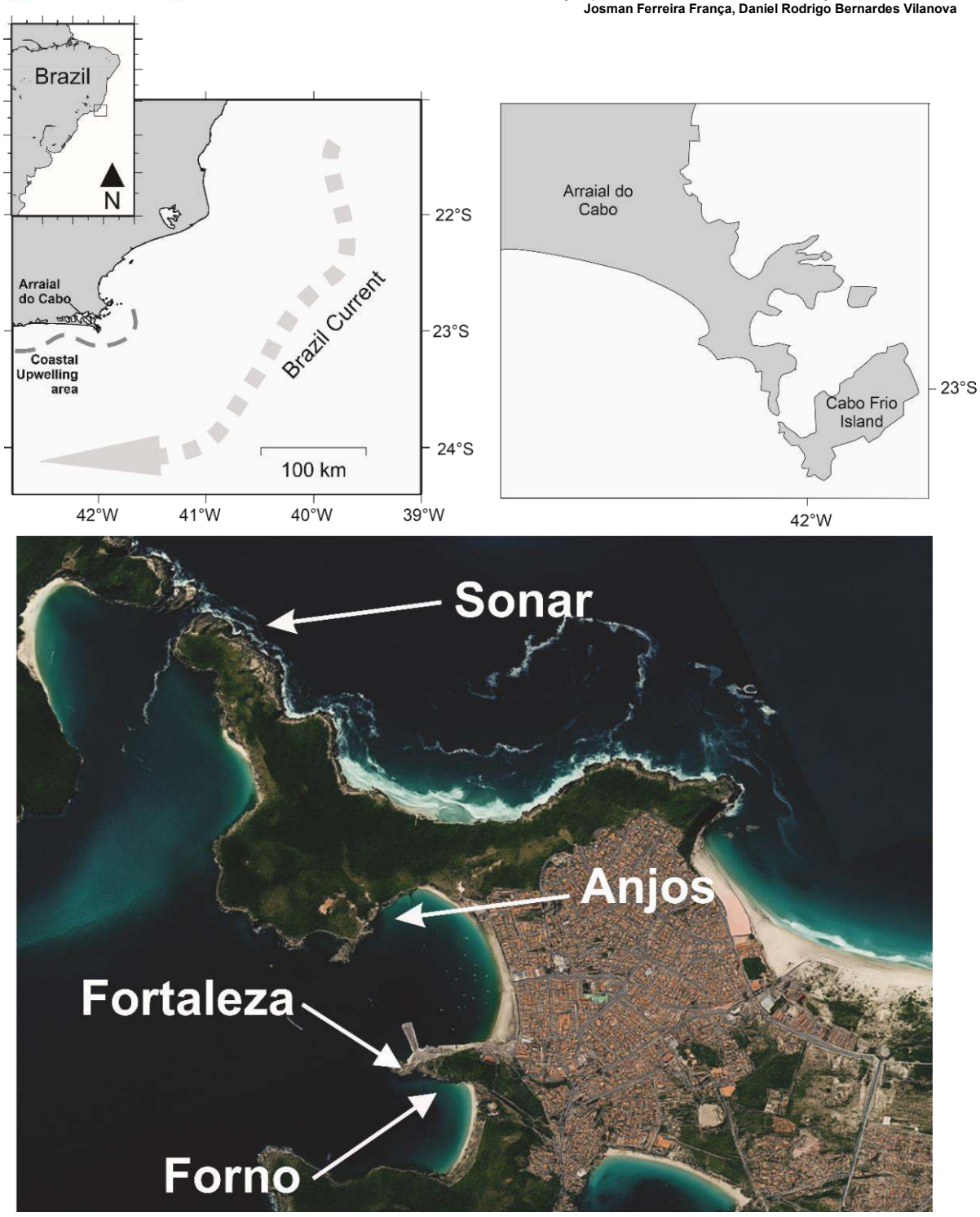

Figura 1. Área de estudo no município de Arraial do Cabo (RJ), destacando os costões rochosos amostrados: Forno (FN) e Anjos (AN), caracterizados como abrigados e de ressurgência fraca; Fortaleza (FT), classificado como exposto e de ressurgência fraca; e Sonar (SN), ambiente exposto e sujeito à ressurgência intensa

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

2.2. Espécies Estudadas

2.2.1.*Isognomon bicolor* (C.B. Adams, 1845)

O bivalve *Isognomon bicolor*, da família *Isognomonidae*, é originário do Atlântico Ocidental e Caribe, sendo reconhecido como uma espécie invasora no Brasil. Primeiramente registrado no país em meados da década de 1990, rapidamente expandiu sua ocorrência em costões rochosos do Sudeste, formando agregados densos que alteram a estrutura das comunidades intertidais (Breves-Ramos *et al.,* 2010; Domaneschi; Martins, 2002; López *et al.,* 2014). Suas conchas são achatadas, irregulares, variando do branco ao amarelo, atingindo cerca de 60 mm. Destaca-se por sua plasticidade morfológica e pela capacidade de ocupar áreas de alta energia hidrodinâmica, muitas vezes em detrimento de espécies nativas (Domaneschi; Martins, 2002).

2.2.2.*Perna perna* (Linnaeus, 1758)

O mexilhão *Perna perna*, pertencente à família MYTILIDAE, distribui-se amplamente ao longo do litoral brasileiro, com maior abundância entre o Rio de Janeiro e Santa Catarina. É um típico habitante de costões rochosos expostos, fixando-se por meio de filamentos bissais resistentes (Pierri *et al.,* 2016). Sua concha é alongada, com coloração castanha a marrom-avermelhada, podendo ultrapassar 100 mm. A morfologia varia em função do hidrodinamismo e da disponibilidade de nutrientes, como demonstrado em estudos populacionais no litoral de São Paulo. Além de sua importância ecológica*, P. perna* tem grande valor econômico como recurso alimentar e de cultivo marinho (de Souza *et al.,* 2003; Panini, 2013).

2.2.3. Pinctada imbricata Röding, 1798

A ostra *Pinctada imbricata,* da família *Pteriidae*, ocorre amplamente no Atlântico Ocidental, do Sudeste dos EUA até a Argentina, incluindo toda a costa brasileira. Apresenta conchas de formato subcircular a ovalado, com superfície externa lisa ou levemente ondulada, e interior recoberto por nácar, utilizado na formação de pérolas. Essa espécie habita substratos consolidados, recifes e costões de baixa energia hidrodinâmica. Historicamente, desempenhou papel importante para populações pré-históricas costeiras, sendo registrada em sambaquis e sítios arqueológicos do litoral fluminense (de Souza Faria; Corrêa Luz de Souza, 2014; de Souza *et al.,* 2003; 2010)

2.3. Coleta e Análise dos Dados

Para a análise da variação morfológica, foram coletados 50 indivíduos de cada uma das três espécies em estudo, totalizando 150 amostras, nos costões rochosos do mediolitoral e do infralitoral, ao longo de três campanhas amostrais realizadas entre 2002 e 2003. As coletas ocorreram durante os períodos de primavera/verão de 2002 (PV02) e 2003 (PV03), marcados por

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

alta intensidade do fenômeno da ressurgência, e no outono/inverno de 2003 (OI03), caracterizado por uma menor atividade de afloramento de águas profundas. Os indivíduos foram selecionados preferencialmente nas áreas de maior densidade de ocorrência de cada espécie, assegurando a representatividade das populações locais. Todo o material biológico analisado encontra-se depositado como material testemunho no acervo do Laboratório de Biologia da Faculdade Unilagos, garantindo sua preservação e rastreabilidade científica.

As variáveis morfométricas aferidas encontram-se detalhadas na Tabela 2 e ilustradas esquematicamente na Figura 2. As análises estatísticas foram conduzidas no *software* R, utilizando Análise de Componentes Principais (PCA) e Análise Discriminante (DA). Os dados foram previamente log-transformados e corrigidos alometricamente conforme o método proposto por Lleonart *et al.,* (2000), com o objetivo de atenuar o efeito do tamanho e isolar os padrões de variação atribuíveis à forma entre as populações.

Tabela 2. Variáveis morfométricas mensuradas das espécies *Pinctada imbricata, P. perna* e *Isognomon bicolor*

Abrev.	Variável	Unidade	*I. bicolor*	*P. perna*	*P. imbricata*
Ls	Comprimento total da concha	mm	✓	✓	✓
Hei	Altura da concha	mm	✓	✓	✓
Wid	Largura da concha	mm	✓	✓	✓
Hp	Medida do umbo	mm	✓	✓	✓
Dpr	Distância entre a margem anterior da cicatriz do músculo retrator posterior e a margem dorsal da concha	mm	✓	✓	✓
Pap	Distância da cicatriz do músculo retrator posterior à margem posterior da concha	mm	✓	✓	✓
Crp	Comprimento do músculo adutor posterior	mm	✓	✓	✓
Can	Comprimento da área não nacarada	mm	✓		
Chr	Comprimento/medida da charneira	mm	✓		
Ech	Espessura da charneira	mm	✓		
Rcw	Peso da valva esquerda	g	✓	✓	
Lar	Largura da cicatriz do músculo retrator anterior	mm		✓	
Lig	Distância entre o umbo e o final do ligamento	mm		✓	
Pav	Distância do músculo adutor posterior à margem ventral da concha	mm		✓	
Pal	Distância da linha palial à margem ventral da concha	mm		✓	✓
Hl	Altura do ligamento	mm			✓
Hd	Profundidade do ligamento	mm			✓
Rvt	Raio ventral da concha	mm			✓

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

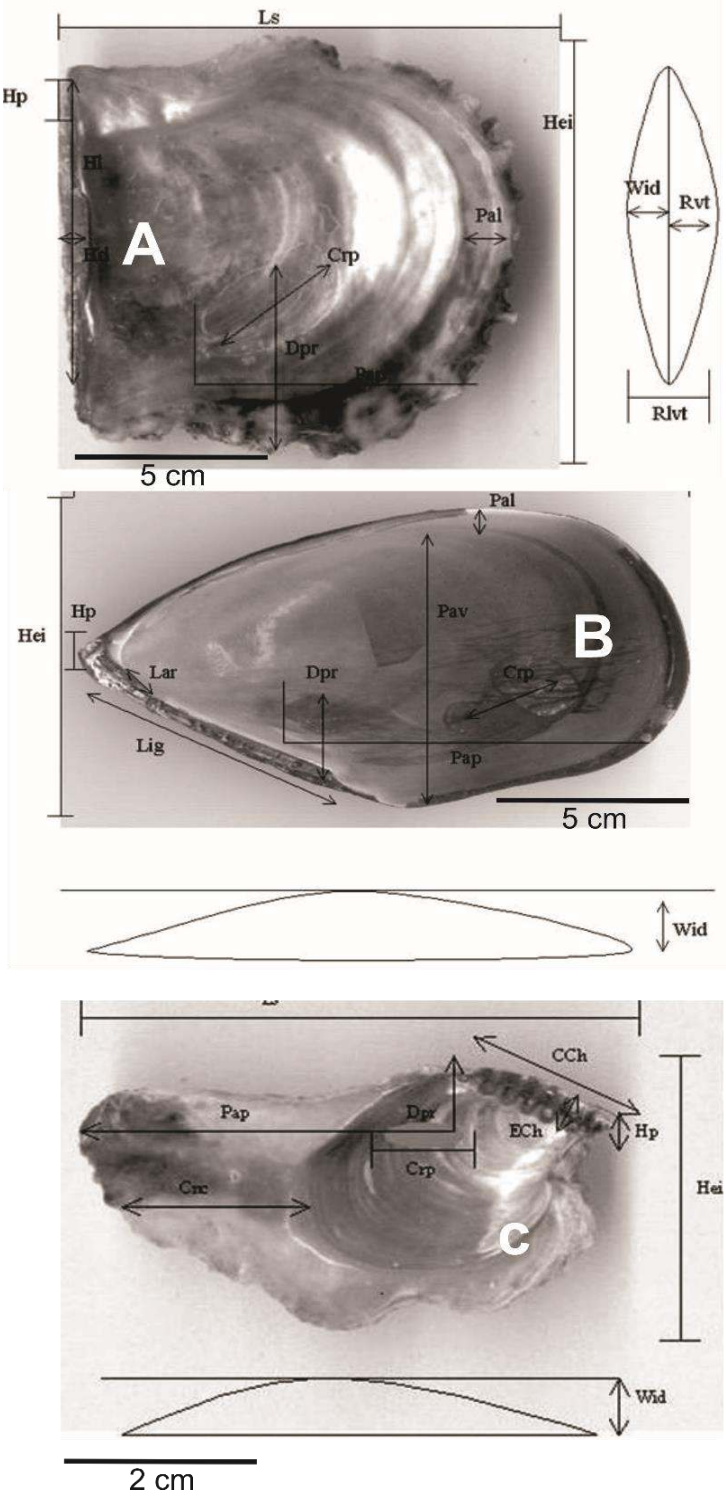

Figura 2. Representação esquemática das variáveis morfométricas mensuradas espécies *Pinctada imbricata* (A)*, Perna perna* (B) e *Isognomon bicolor (C).* Escala em centímetros. Fonte: acervo pessoal do autor.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Padrões gerais de variação morfométrica

Os resultados apresentados na Tabela 3 apontam padrões contrastantes de resposta morfométrica entre as três espécies estudadas. Em *Isognomon bicolor* e *P. perna*, o predomínio do tamanho corporal como principal eixo de variação sugere forte influência de fatores ambientais, como hidrodinamismo e disponibilidade de nutrientes, na determinação do crescimento somático. Esse padrão é consistente com observações em populações de MITILÍDEOS sob diferentes regimes de exposição às ondas, em que a plasticidade fenotípica reflete adaptações funcionais ao estresse físico do ambiente (Telesca *et al.,* 2018).

Estudos recentes em *P. perna* reforçam essa interpretação ao demonstrar que variações nas condições ambientais, incluindo a acidificação oceânica, afetam significativamente o crescimento e a sobrevivência da espécie (Machado *et al.,* 2025). De forma complementar, análises baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo mostraram que indivíduos de *P. perna* provenientes de diferentes localidades apresentam diferenças marcantes em sua composição química, o que evidencia a influência direta do ambiente nas características fenotípicas (de Oliveira *et al.,* 2023).

No caso de *I. bicolor*, observou-se maior abundância em áreas protegidas e menor sucesso em locais expostos. É importante salientar que tais registros de abundância correspondem apenas a observações de campo do autor, sem caráter quantitativo. Ainda assim, o padrão reforça que o ambiente atua como modulador tanto da distribuição quanto da variação morfológica da espécie (Granthom-Costa *et al.,* 2025).

Em contraste, na espécie *Pinctada imbricata* a forma destacou-se como principal eixo de variação após a correção alométrica, sugerindo a atuação de fatores adicionais, como condições micro ambientais e variação genética. Em estudos com PTERIÍDEOS, Dang *et al.* (2024) e Li *et al.* (2024) demonstraram que estresses ambientais podem modular a expressão gênica e, consequentemente, influenciar a morfologia das espécies. Além disso, análises comparativas em *Pinctada maxima* reforçam que a variação morfológica resulta da interação entre plasticidade fenotípica e adaptações locais (Mu *et al.,* 2025).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre variáveis e componentes principais

Espécie	Transformação dos dados	PC1 (%)	PC2 (%)	PC3 (%)	Total (%)
I. bicolor	Logaritmizado	69,07	10,75	6,59	86,41
	Lleonart et al. (2000)	65,58	12,73	7,04	85,35
P. perna	Logaritmizado	63,39	9,40	8,06	80,85
	Lleonart et al. (2000)	57,16	11,35	9,41	77,91
P. imbricata	Logaritmizado	69,80	8,48	6,24	84,51
	Lleonart et al. (2000)	94,46	1,35	1,03	96,84

3.2. Respostas espécie-específicas

Para a espécie *Isognomon bicolor*, o primeiro componente principal (PC1) explicou entre 65% e 69% da variação total, mesmo após a correção alométrica (Tabela 3). A análise discriminante (Figura 3) mostrou uma separação evidente da população do costão do Sonar (SN) em relação às demais localidades (Forno, Fortaleza e Anjos). Esse padrão sugere que o intenso hidrodinamismo, associado à forte atividade de ressurgência característica do Sonar, funciona como um filtro ambiental, restringindo o recrutamento e influenciando diretamente o crescimento da espécie. Em ambientes de alta energia, a pressão seletiva sobre a morfologia limita a fixação e pode comprometer a sobrevivência de *I. bicolor*, explicando sua baixa abundância em áreas mais expostas (Seabra *et al.,* 2015; Tomanek, 2011).

É importante destacar que a menção à menor abundância da espécie no Sonar corresponde a uma observação qualitativa do autor em campo, não a dados quantitativos padronizados. Esses resultados são compatíveis com observações feitas em outros costões do Sudeste brasileiro, onde a espécie apresenta maior densidade em ambientes protegidos, nos quais a menor turbulência favorece o estabelecimento e a formação de agregados densos (Breves-Ramos *et al.,* 2010; López *et al.,* 2014).

Após a correção alométrica, a separação entre populações foi parcialmente atenuada, indicando que parte da variação está relacionada a diferenças de forma, e não apenas de tamanho. Esse padrão reforça a elevada plasticidade morfológica de *I. bicolor*, que tende a colonizar com sucesso ambientes abrigados, mas encontra limitações sob condições de maior estresse físico.

Para *P. perna*, o primeiro componente principal (PC1) explicou entre 57% e 63% da variância, confirmando o tamanho como a principal fonte de variação morfométrica entre os indivíduos (Tabela 3). A análise discriminante (Figura 3) revelou uma separação gradual entre populações de áreas expostas e abrigadas, sugerindo que o batimento das ondas atua como força

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

seletiva fundamental sobre a concha da espécie. Esse padrão é compatível com a plasticidade fenotípica observada em *Mitilídeos*, em que o hidrodinamismo favorece conchas mais robustas e alongadas em ambientes de alta energia, enquanto conchas mais delgadas predominam em áreas protegidas (Telesca *et al.,* 2018)

Resultados semelhantes também foram evidenciados em estudos recentes, que demonstram como variáveis ambientais modulam o crescimento e a fisiologia de *P. perna*. Modelos ecofisiológicos desenvolvidos para águas subtropicais confirmam que fatores como hidrodinamismo, disponibilidade de nutrientes e temperatura regulam diretamente o crescimento do mexilhão (Suplicy; Moltschaniwskyj, 2024). Além disso, estudos de estresse ambiental no Brasil mostraram que mudanças nas condições físico-químicas, como acidificação oceânica e presença de microrganismos associados, afetam a sobrevivência e a integridade estrutural de *P. perna*, reforçando a sensibilidade da espécie a pressões ambientais múltiplas (Machado *et al.,* 2025).

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

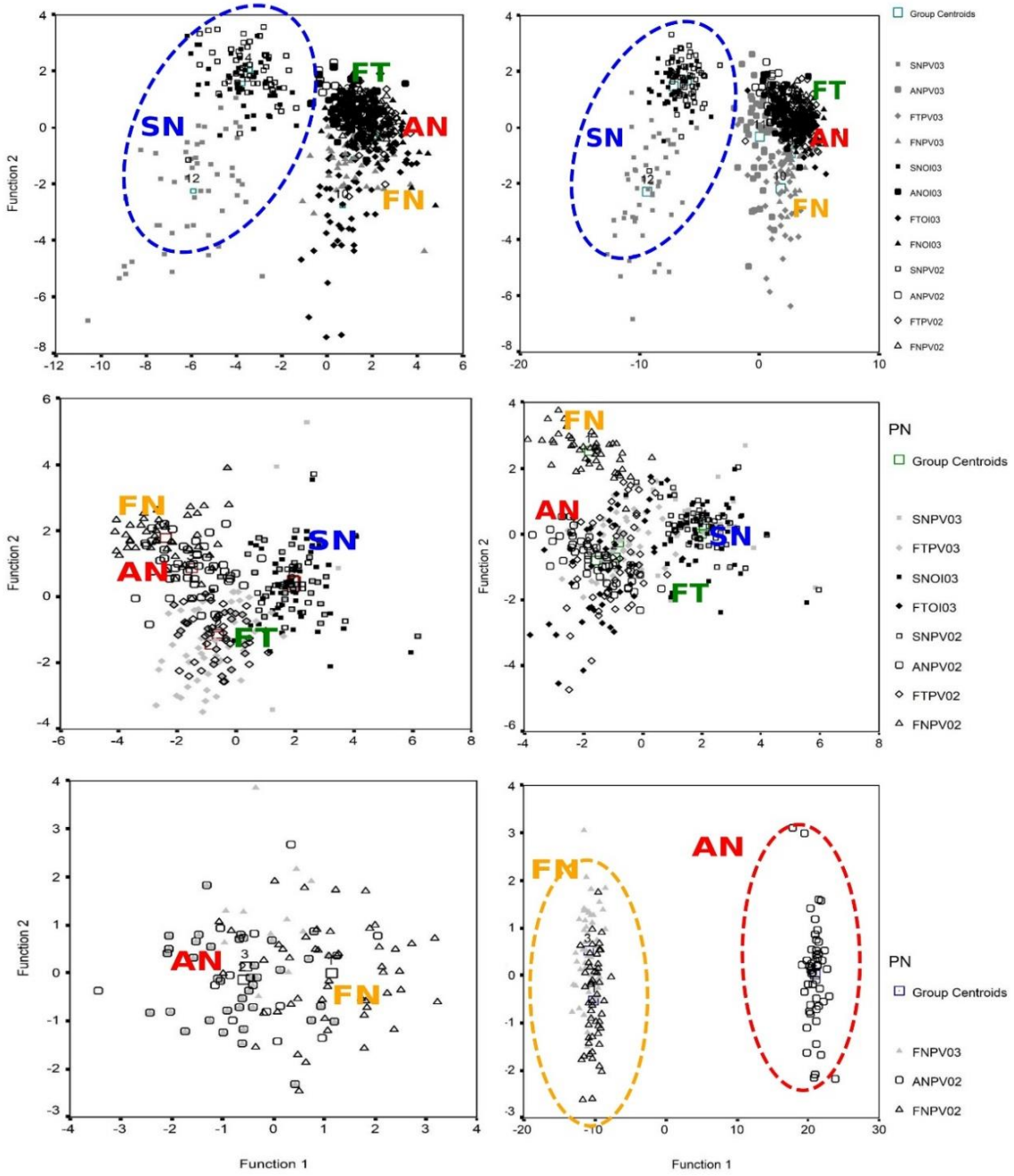

Figura 3. Representação das populações de *Isognomon bicolor*, *Perna perna* e *Pinctada imbricata* nas duas primeiras funções canônicas da análise discriminante, realizada separadamente por espécie. Foram usados dados morfométricos logaritmizados (painéis A, C e E) e corrigidos segundo Lleonart *et al*. (2000) (painéis B, D e F). Siglas indicam localidades e períodos: FN = Forno, FT = Fortaleza, AN = Anjos, SN = Sonar, PV02 = Primavera/Verão 2002, OI03 = Outono/Inverno 2003, PV03 = Primavera/Verão 2003

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Já *Pinctada imbricata,* que somente ocorreu nos costões dos Anjos (AN) e do Forno (FN), não sendo encontrada em Fortaleza (FT) e Sonar (SN), padrão que possivelmente esteja relacionado a uma preferência por ambientes abrigados, apresentou um comportamento distinto. O PC1 explicou 94,46% da variação nos dados corrigidos, destacando a forma como principal eixo de variação intraespecífica (Tabela 3). A análise discriminante revelou uma separação nítida entre as populações dos Anjos (AN) e Forno (FN), com maior taxa de acerto após a correção alométrica. Esse resultado indica que, embora o ambiente exerça influência, fatores adicionais, como características de micro-habitat e variação genética, podem ter papel decisivo na diferenciação morfológica. Estudos prévios já demonstraram que populações amplamente distribuídas de bivalves podem apresentar diversidade genética associada a padrões morfológicos distintos (Gradel *et al.,* 2025; Lemer; Planes, 2014) Mais recentemente, análises genômicas reforçaram que diferenças morfológicas em ostras e outros *Pteriídeos* estão frequentemente relacionadas a adaptações locais e à plasticidade fenotípica frente a estresses ambientais (Hmida *et al.,* 2021).

A análise comparativa das três espécies revela padrões contrastantes de resposta morfológica aos gradientes ambientais dos costões de Arraial do Cabo. Em *Isognomon bicolor*, a variação foi dominada pelo tamanho corporal, com forte limitação em ambientes de elevado hidrodinamismo e intensa ressurgência, o que restringe seu estabelecimento em áreas expostas e confirma sua afinidade por habitats mais abrigados (Breves-Ramos *et al.,* 2010; López *et al.,* 2014). Já *P. perna* demonstrou plasticidade morfológica modulada pelo batimento das ondas, com conchas mais robustas em zonas expostas e formas mais delgadas em regiões protegidas, padrão típico de *Mitilídeos* e consistente com a literatura sobre plasticidade fenotípica induzida pelo hidrodinamismo (Suplicy; Moltschaniwskyj, 2024; Telesca *et al.,* 2018). Em contraste, *Pinctada imbricata* apresentou a forma como principal eixo de variação após a correção alométrica, sugerindo influência significativa de fatores microambientais e genéticos, corroborando evidências de que populações de PTERIÍDEOS podem apresentar adaptações locais associadas a diversidade genômica e pressões ambientais sutis (Lemer; Planes, 2014). Em conjunto, esses resultados demonstram que, embora compartilhem o mesmo ambiente, as espécies diferem em sua sensibilidade às forças seletivas: *I. bicolor* é limitada pelo estresse físico, *P. perna* responde plasticamente ao hidrodinamismo, e *P. imbricata* reflete interações complexas entre genética e ambiente. Tais padrões destacam a importância de integrar abordagens morfométricas e genéticas para compreender a estruturação e a resiliência das comunidades bentônicas em regiões sujeitas a intensos processos oceanográficos.

3.3. Integração ecológica e bioinvasão

A análise comparativa evidencia padrões complementares de resposta às condições ambientais: *Pinctada imbricata* tende a se estabelecer em ambientes mais estáveis e abrigados;

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

Perna perna prospera em regiões expostas ao hidrodinamismo; e *Isognomon bicolor* apresenta maior abundância em costões protegidos, mas reduzido sucesso em áreas de forte ressurgência. É necessário salientar que as menções à abundância refletem observações qualitativas realizadas pelo autor em campo, não correspondendo a dados quantitativos. Ainda assim, esses padrões qualitativos são consistentes com a literatura e ajudam a explicar a dinâmica de substituição entre espécies.

Esse arranjo confirma que fatores oceanográficos, como hidrodinâmica, intensidade da ressurgência e grau de exposição física, modulam de forma diferenciada a morfologia e a distribuição dessas espécies. Enquanto *P. perna* responde plasticamente ao batimento das ondas com conchas mais robustas, *P. imbricata* revela uma maior sensibilidade a *micro-habitats* estáveis, e *I. bicolor*, embora invasora bem-sucedida, mostra limitações em ambientes de alta energia, o que explica sua dominância em áreas protegidas, mas não em costões batidos.

Sob uma perspectiva histórica, registros arqueológicos indicam que *P. imbricata* foi dominante nos costões de Arraial do Cabo durante o Holoceno, sendo gradualmente substituída por *P. perna*, introduzida possivelmente a partir da costa atlântica africana (de Souza Faria & Corrêa Luz de Souza, 2014; de Souza *et al.,* 2003, 2010; Nunes, 2022). Mais recentemente, *I. bicolor* emergiu como espécie invasora, expandindo-se em costões do Sudeste brasileiro e competindo diretamente com *P. perna* em diversas localidades (López *et al.,* 2014; Nunes, 2022). Estudos recentes confirmam sua presença também no Nordeste, como nos estados da Paraíba e Alagoas, além de registros em estuários hipersalinos e substratos artificiais, evidenciando sua elevada plasticidade ecológica (Lima; Passos, 2021).

Outro caso de crescente relevância é a introdução do mexilhão-verde asiático (*Perna viridis*), já registrado no litoral brasileiro, incluindo o Sul e o Sudeste, onde tem potencial de competir com espécies nativas e alterar significativamente a estrutura das comunidades bentônicas (Beltrão *et al.,* 2024).

Esses eventos reforçam que as bioinvasões constituem vetores poderosos de transformação ecológica, promovendo substituição faunística, exclusão competitiva e impactos na resiliência dos ecossistemas costeiros. Nesse contexto, *P. imbricata*, *P. perna* e *I. bicolor* representam um modelo histórico e contemporâneo da interação entre fatores ambientais, plasticidade morfológica e processos de bioinvasão no Brasil, com implicações diretas para estratégias de monitoramento, manejo de espécies invasoras e conservação marinha.

4. CONSIDERAÇÕES

As três espécies analisadas apresentaram respostas distintas aos gradientes ambientais de Arraial do Cabo-RJ: *Pinctada imbricata* restrita a ambientes abrigados, *Perna perna* favorecida em áreas de forte hidrodinâmica e *Isognomon bicolor* associada a locais protegidos, mas limitada em

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

regiões de ressurgência intensa. Esses padrões refletem tanto processos históricos de substituição faunística quanto a influência atual das bioinvasões, evidenciando que fatores oceanográficos e pressões ambientais moldam a morfologia, a distribuição e a resiliência das comunidades bentônicas costeiras.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. L. S.; BELEM, A. L.; ZULUAGA, F. J. B.; CORDEIRO, L. G. M.; MENDOZA, U.; KNOPPERS, B. A.; GURGEL, M. H. C.; MEYERS, P. A.; CAPILLA, R. Particle fluxes and bulk geochemical characterization of the Cabo Frio upwelling system in Southeastern Brazil: sediment trap experiments between spring 2010 and summer 2012. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, p. 601–620, 2014.

BELEM, A. L.; CASTELAO, R. M.; ALBUQUERQUE, A. L. Controls of subsurface temperature variability in a western boundary upwelling system. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 7, p. 1362–1366, 2013.

BELTRÃO, M. C.; DA CUNHA, N. J. R.; DE OLIVEIRA LAAF, Y.; DIEHL, F. L.; DOS SANTOS, T. D. Molecular methods confirm the first report of the non-indigenous Perna viridis Linnaeus, 1758 (Mytilida, Mytilidae) in southern Brazil. **Check List**, v. 20, n. 4, p. 859–867, 2024.

BREVES-RAMOS, A.; JUNQUEIRA, A. O. R.; LAVRADO, H. P.; SILVA, S. H. G.; FERREIRA-SILVA, M. A. G. Population structure of the invasive bivalve Isognomon bicolor on rocky shores of Rio de Janeiro State (Brazil). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 3, p. 453–459, 2010.

BUMBEER, J.; ROCHA, R. M. da. Invading the natural marine substrates: a case study with invertebrates in South Brazil. **Zoologia** (Curitiba), v. 33, n. 03, e20150211, 2016.

CONNELL, S. D. Assembly and maintenance of subtidal habitat heterogeneity: synergistic effects of light penetration and sedimentation. **Marine Ecology Progress Series**, v. 289, p. 53–61, 2016.

CORRÊA, T. R.; CALDERON, E.; DA SILVA LIMA, L.; DE FREITAS DELGADO, J.; NETO, J. A. B.; DE CARVALHO AGUIAR, V. M.; DA FONSECO, E. M. Bioinvasion of benthic invertebrates in a eutrophicated tropical estuarine system in South America (Santos, Brazil). **Environmental Protection Research**, p. 38–55, 2023.

CREED, J. C.; FENNER, D.; SAMMARCO, P.; CAIRNS, S.; CAPEL, K.; JUNQUEIRA, A. O. R.; CRUZ, I.; MIRANDA, R. J.; CARLOS-JUNIOR, L.; MANTELATTO, M. C. The invasion of the azooxanthellate coral Tubastraea (Scleractinia: Dendrophylliidae) throughout the world: history, pathways and vectors. **Biological Invasions**, v. 19, n. 1, p. 283–305, 2017.

DANG, C.; SEVERN-ELLIS, A. A.; BAYER, P.; ANDERSON, N.; GHOLIPOUR-KANANI, H.; BATLEY, J.; MCCAULEY, R. D.; DAY, R. D.; SEMMENS, J. M.; SPEED, C.; MEEKAN, M. G.; PARSONS, M. J. G. Insights into the transcriptomic responses of silver-lipped pearl oysters Pinctada maxima exposed to a simulated large-scale seismic survey. **BMC Genomics**, v. 25, n. 1, 1188, 2024. https://doi.org/10.1186/s12864-024-11091-7

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DE OLIVEIRA, A. G. L.; VALLADARES, V.; SANTOS, C. P.; MELLO-SILVA, C. C. Near infrared spectroscopy: a method for the monitoring and management of the commercial exploitation of the brown mussel (Perna perna) in southeastern Brazil. **Frontiers in Marine Science**, v. 10, 08 june 2023. https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1192024

DE SOUZA FARIA, R. G.; CORRÊA LUZ DE SOUZA, R. C. Biodiversity of Marine Molluscs from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro (Brazil). **Revista Chilena de Antropología**, v. 29, 2014.

DE SOUZA, R. C. C. L.; DA COSTA FERNANDES, F.; DA SILVA, E. P. A study on the occurrence of the brown mussel Perna perna on the sambaquis of the Brazilian coast. **Revista Do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 13, p. 3–24, 2003.

DE SOUZA, R. C. C. L.; LIMA, T. A.; SILVA, E. P. Holocene molluscs from Rio de Janeiro state coast, Brazil. **Check List**, v. 6, n. 2, p. 301–308, 2010.

DOMANESCHI, O.; MARTINS, C. M. Isognomon bicolor (CB Adams)(Bivalvia, Isognomonidae): primeiro registro para o Brasil, redescrição da espécie e considerações sobre a ocorrência e distribuição de Isognomon na costa brasileira. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, p. 611–627, 2010.

FERREIRA, Carlos Eduardo Leite; DE OLIVEIRA Ribeiro Junqueira. Marine Bioinvasions in the Brazilian Coast: Brief Report on History of Events, Vectors, Ecology, Impacts and Management of Non-indigenous Species. *In*: RILOV, J. A. (Ed.), **Biological Invasions in Marine Ecosystems:** Ecological, Management, and Geographic Perspec*tives*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. p. 459–477. https://doi.org/10.1007/978-3-540-79236-9_27

GLASBY, T. M.; CONNELL, S. D.; HOLLOWAY, M. G.; HEWITT, C. L. Nonindigenous biota on artificial structures: could habitat creation facilitate biological invasions? **Marine Biology**, v. 151, n. 3, p. 887–895, 2007.

GOSLING, E. **Marine bivalve molluscs**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2007.

GRADEL, A.; BENESTAN, L.; LEGRAND, T.; LE LUYER, J.; PLANES, S.; REISSER, C. M. O. Combining population genomics, larval dispersal modelling and graph theory to reveal connectivity patterns of the black-lipped pearl oyster in French Polynesia. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 24611, 2025.

GRANTHOM-COSTA, L. V.; MESSANO, L. V. R.; DE ALTVATER, L.; SPOTORNO, P.; COUTINHO, R. Non-native marine sessile benthic species from the coastal upwelling ecosystem of Arraial do Cabo, Brazil. **Aquatic Invasions**, v. 20, n. 2, p. 181–198, 2025. https://doi.org/10.3391/ai.2025.20.2.147751

HENRIQUES, M. B.; CASARINI, L. M. Avaliação do crescimento do mexilhão Perna perna e da espécie invasora Isognomon bicolor em banco natural da Ilha das Palmas, Baía de Santos, estado de São Paulo, Brasil. **Boletim Do Instituto de Pesca**, v. 35, n. 4, p. 577–586, 2025.

HMIDA, L.; FASSATOUI, C.; MISSAOUI, S.; ZAGHAB, J.; ROMDHANE, M. S.; LE LOC'H, F.; BEN RAIS LASRAM, F. Morphological and genetic characterization of the invasive rayed pearl oyster Pinctada imbricata radiata (Mollusca: Bivalvia: Pteriidae) populations from contrasting environments along the Tunisian coast. **Marine Biology Research**, v. 17, n. 2, p. 200–214, 2021.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

HUHN, M.; HATTICH, G. S. I.; ZAMANI, N. P.; VON JUTERZENKA, K.; LENZ, M. Tolerance to stress differs between Asian green mussels Perna viridis from the impacted Jakarta Bay and from natural habitats along the coast of West Java. **Marine Pollution Bulletin**, v. 110, n. 2, p. 757–766, 2016.

LEMER, S.; PLANES, S. Effects of habitat fragmentation on the genetic structure and connectivity of the black-lipped pearl oyster Pinctada margaritifera populations in French Polynesia. **Marine Biology**, v. 161, n. 9, p. 2035–2049, 2014.

LESSA, D. V. O.; VENANCIO, I. M.; DOS SANTOS, T. P.; BELEM, A. L.; TURCQ, B. J.; SIFEDDINE, A.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Holocene oscillations of Southwest Atlantic shelf circulation based on planktonic foraminifera from an upwelling system (off Cabo Frio, Southeastern Brazil). **The Holocene**, v. 26, n. 8, p. 1175–1187, 2016a.

LESSA, D. V. O.; VENANCIO, I. M.; DOS SANTOS, T. P.; BELEM, A. L.; TURCQ, B. J.; SIFEDDINE, A.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Holocene oscillations of Southwest Atlantic shelf circulation based on planktonic foraminifera from an upwelling system (off Cabo Frio, Southeastern Brazil). **The Holocene**, v. 26, n. 8, p. 1175–1187, 2016b.

LI, F.; LIU, J.; GAO, Z.; YANG, C.; SUN, L.; LIAO, Y.; DENG, Y. Transcriptomic analyses of Pinctada fucata martensii responses under stress of titanium dioxide nanoparticles. **Frontiers in Marine Science**, v. 11, 2024. https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1462589

LIMA, L. L. C.; PASSOS, F. D. Marine bioinvasions: bivalve molluscs introduced in northeast Brazil. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 1, p. 507–526, 2021.

LÓPEZ, M. S.; LAVRADO, H. P.; COUTINHO, R. Structure of intertidal sessile communities before and after the invasion of Isognomon bicolor (CB Adams, 1845)(Bivalvia, Isognomonidae) in southeastern Brazil. **Aquatic Invasions**, v. 9, n. 4, 2014.

MACHADO, N.; RUFINO, D.; BARBARINO, E.; DUPONT, S.; ROMARIZ, A.; LAMEGO, F. Impacts of Ocean Acidification on Survival of the Brown Mussel (Perna perna) in Brazil. **Journal of Shellfish Research**, v. 44, n. 2, p. 231–242, 2014.

MIRANDA, R. J.; TAGLIAFICO, A.; KELAHER, B. P.; MARIANO-NETO, E.; BARROS, F. Impact of invasive corals Tubastrea spp. on native coral recruitment. **Marine Ecology Progress Series**, v. 605, p. 125–133, 2018.

MU, Q.; LI, Z.; LIU, M.; ZHAO, B.; YANG, Z.; BAO, Z.; HU, J.; LIU, P. The chromosome-level genome assembly and annotation of the silver-lipped pearl oyster, Pinctada maxima. **Scientific Data**, v. 12, n. 1, 1301, 2025. https://doi.org/10.1038/s41597-025-05607-3

NATÁLIO, L. F.; CHERNIESKI, D.; TOMIDA, L.; CAPEL, K. C. C. Alien corals in a Brazilian seaport and perspectives for improving marine bioinvasion detection and management in commercial ports. **Ocean & Coastal Management**, v. 218, 106021, 2022.

NUNES, L. M. de S. **Ecologia populacional do bivalve Isognomon bicolor (CB ADAMS, 1945) no litoral do semiárido brasileiro**. [*S. l.: s. n*,], 2022.

PANINI, R. L. **Caracterização morfológica, extração e identificação das proteínas do pé do mexilhão Perna perna responsáveis pela formação do bisso**. [*S. l.: s. n*,], 2013.

PIERRI, B. S.; FOSSARI, T. D.; MAGALHÃES, A. R. M. O mexilhão Perna perna no Brasil: nativo ou exótico? **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 404–414, 2016.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SEABRA, R.; WETHEY, D. S.; SANTOS, A. M.; LIMA, F. P. Understanding complex biogeographic responses to climate change. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, 12930, 2015. https://doi.org/10.1038/srep12930

SHIMABUKURO, M.; CARRERETTE, O.; GÜTH, A. Z.; BERGAMO, G.; SUMIDA, P. Y. G. Soft-Bottom Communities Along the SE Brazilian Continental Shelf. *In:* **Oceanography, Biodiversity, Fisheries and Conservation of Brazilian Continental Shelf Habitats.** [S. l.]: Springer, 2025. p. 67–86.

SOARES, M. O.; DE LIMA XAVIER, F. R.; DIAS, N. M.; DA SILVA, M. Q. M.; DE LIMA, J. P.; BARROSO, C. X.; VIEIRA, L. M.; PAIVA, S. V.; MATTHEWS-CASCON, H.; BEZERRA, L. E. A. Alien hotspot: Benthic marine species introduced in the Brazilian semiarid coast. **Marine Pollution Bulletin**, v. 174, 113250, 2022.

SUPLICY, F. M.; MOLTSCHANIWSKYJ, N. Estimating growth using an ecophysiological and scope for growth model for the mussel Perna perna grown under suspended culture in Santa Catarina, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 74, 103540, 2024.

TELESCA, L.; MICHALEK, K.; SANDERS, T.; PECK, L. S.; THYRRING, J.; HARPER, E. M. Blue mussel shell shape plasticity and natural environments: a quantitative approach. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 2865, 2018.

TOMANEK, L. Environmental Proteomics: Changes in the Proteome of Marine Organisms in Response to Environmental Stress, Pollutants, Infection, Symbiosis, and Development. **Annual Review of Marine Science**, v. 3, p. 373–399, 2011. https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120709-142729

ÜNLÜ, A. G.; TERLAU, J. F.; BUCHER, R. Predation and avoidance behavior of the pea aphid Acyrthosiphon pisum confronted with native and invasive lady beetles in Europe. **Biological Invasions**, v. 22, n. 5, p. 1647–1656, 2020.

VALENTIN, J. L. The cabo frio upwelling system, Brazil. *In*: **Coastal marine ecosystems of Latin America**. [S. l.]: Springer, 2001. p. 97–105

VENANCIO, I. M.; GOMES, V. P.; BELEM, A. L.; ALBUQUERQUE, A. L. S. Surface-to-subsurface temperature variations during the last century in a western boundary upwelling system (Southeastern, Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 125, p. 97–106, 2016.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.