



A Genética e as invasões biológicas: dois estudos de caso de bivalves invasores do Brasil

Ramon Pereira Lopes¹, Michelle Rezende Duarte², Edson Pereira da Silva³

¹ Mestrando em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense

² Doutoranda em Biologia Marinha, Universidade Federal Fluminense

³ Laboratório de Genética Marinha e Evolução, Departamento de Biologia Marinha, Universidade Fluminense, Niterói, RJ

Autor para correspondência: gbmedson@vm.uff.br

Palavras-chave: bioinvasões, espécies invasoras, mudanças evolutivas, bivalves

As bioinvasões têm causado prejuízos econômicos e ambientais em todo mundo e já começam a trazer os mesmos danos ao Brasil. Uma característica interessante das espécies invasoras é que elas não compartilham um passado evolutivo com a comunidade invadida. Quando são introduzidas em um novo ambiente, as espécies invasoras ficam sujeitas a mudanças evolutivas que podem nos trazer informações importantes sobre a genética das populações.

BIOINVASÃO E SEUS IMPACTOS

Invasão biológica, ou simplesmente bioinvasão, é o termo utilizado para definir a presença de determinada espécie em uma região onde ela não foi registrada anteriormente. Existem dois tipos de invasões: expansões e introduções. Enquanto as expansões consistem na dispersão de organismos por mecanismo natural, as introduções ocorrem quando as espécies são transportadas por atividades humanas, intencionalmente ou não, para uma área onde não ocorriam.

O veículo ou atividade pela qual uma espécie é transportada e introduzida em um novo *hábitat* é denominado vetor. No meio aquático, podem ser identificados àqueles que resultam em introduções consideradas intencionais, como a aquicultura e a aquariorfilia. Vetores considerados acidentais ou não intencionais incluem a água e o sedimento dos tanques de lastro, equipamentos de recreação, as incrustações nos cascos de navios, plataformas de petróleo, boias de navegação, flutuantes e os detritos sólidos flutuantes. Também merecem atenção organismos epibiontes, simbiontes ou parasitas que podem estar associados à introdução via aquicultura e aquariorfilia, bem como os canais (de nível, comportas, irrigação).

De certa forma é surpreendente que espécies invasoras se estabeleçam em novos *hábitat*. Isto porque, para que uma introdução seja bem sucedida, a espécie invasora deve ser compatível com o novo ambiente. Por exemplo, pequenas mudanças de tempera-

tura, hora do dia ou número de indivíduos introduzidos podem representar a diferença entre o sucesso ou o fracasso de uma bioinvasão. Ou seja, há um conjunto de variáveis que fazem o fenômeno da bioinvasão um sistema complexo de difícil previsão. A despeito disso, é possível identificar algumas características que tornam maiores as chances de sucesso desse jogo. Espécies generalistas, ou seja, com uma maior amplitude de tolerância a fatores ambientais (temperatura, salinidade, luminosidade etc.) apresentam vantagens em relação àquelas que apresentam menor amplitude. O caranguejo verde europeu *Carcinus maenas*, por exemplo, é capaz de viver e se reproduzir numa ampla gama de temperaturas, salinidades e *hábitat*, bem como apresenta hábito alimentar onívoro, alimentando-se de diversas plantas e animais. A espécie apresenta, ainda, grande fecundidade e é extremamente agressiva na competição com outras espécies de crustáceos e bivalves do ambiente. Por outro lado, o sucesso de uma espécie como invasora também depende do ambiente e da comunidade invadida, que pode apresentar poucos competidores ou predadores ou, ainda, recursos disponíveis para serem explorados. Este foi o caso, por exemplo, da alga do gênero *Spartina* que invadiu bancos de lama na Baía de Willapa, Estados Unidos.

As invasões biológicas são desafios complexos e de grande extensão ao bem-estar das populações humanas. Espécies invasoras podem diminuir o rendimento dos cultivos no setor de maricultura, trazer prejuízos operacionais e financeiros para indústrias,

usinas e transportes marítimos em função de incrustações em larga escala, provocar a perda do potencial pesqueiro nos ambientes em que foram introduzidas e, até, desencadear epidemias ou ondas de intoxicação capazes de matar ou incapacitar milhões de pessoas a cada ano. Se alguma ameaça ambiental pode ser considerada irremediável esta é a bioinvasão. Ao contrário da poluição física ou química, agentes biológicos se reproduzem e se espalham autonomamente por muito tempo e longas distâncias. Apenas uma pequena fração das invasões biológicas é passível de erradicação e, mesmo assim, com custos imensos. A despeito das suas consequências adversas, existem muitas dificuldades políticas em se lidar com o problema devido ao fato de que os seus custos econômicos, ambientais e sociais se contrapõem aos benefícios sociais e econômicos advindos do livre comércio.

MUDANÇAS EVOLUTIVAS EM ESPÉCIES INVASORAS

As espécies invasoras não compartilham um passado evolutivo com a comunidade invadida e esse fato faz das invasões biológicas um modelo interessante para compreensão dos processos que atuam na evolução dessas espécies e suas populações. As espécies invasoras estão sujeitas a cinco tipos de mudanças evolutivas:

- 1. Híbridação** – Cruzamento entre espécies de bioinvasores com espécies nativas ou com outras espécies invasoras.
- 2. Rearranjos genômicos** – Fenômeno que pode determinar a rápida adaptação das

populações invasoras. A poliploidia (duplicação do genoma) e a alopoliploidia (hibridização seguida de duplicação do genoma) são processos de reconhecida importância na evolução das plantas.

- 3. Modificação do genoma induzida pelo estresse** – A exposição às condições bióticas e abióticas do novo ambiente pode causar uma instabilidade no genoma, nesse caso, mediada pelo estresse ambiental e tais modificações facilitam a adaptação.

Essas três primeiras mudanças, de um modo geral, trazem aumento da variação genética populacional.

- 4. Efeito de determinados genes** – De forma semelhante, o efeito de determinados genes e não obrigatoriamente o seu número, pode auxiliar a habilidade de colonização das espécies invasoras.

- 5. Bottleneck** – O efeito gargalo (em português), por outro lado, é um caso extremo de deriva genética (quando o acaso tem papel importante na determinação de quais genes estarão presentes na próxima geração) que ocorre pela redução drástica do tamanho populacional (ver Figura 1), tendo como consequência a redução dos níveis de variação genética da população. A chegada acidental de um ou poucos indivíduos de uma espécie em um novo ambiente, como se dá no caso das bioinvasões, é um exemplo de *bottleneck* (conhecido, nesse caso, como efeito fundador). Nesses casos, os baixos níveis de variação genética podem afetar a capacidade das populações de se adaptarem ao novo ambiente.

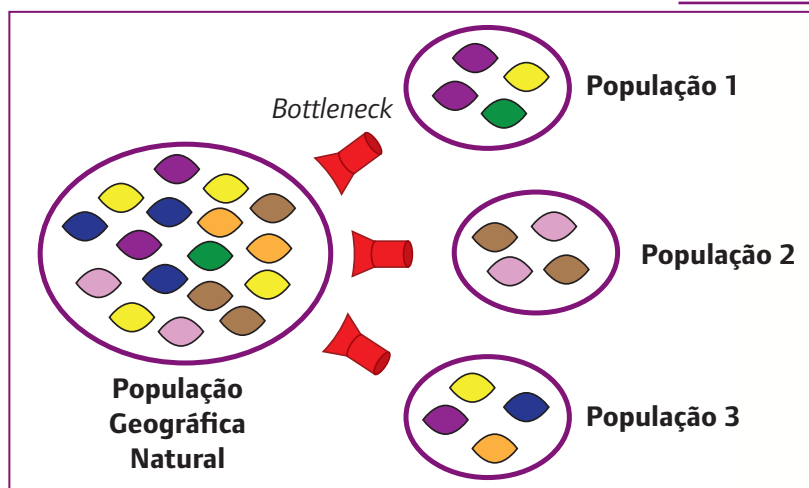


Figura 1. Representação gráfica do efeito *bottleneck* ou gargalo no qual uma população geográfica natural dá origem a várias populações menores, cada uma com apenas parte da variação genética original.





Outro fator importante para o sucesso das espécies invasoras é a qualidade do ambiente invadido: sabe-se, por exemplo, que ambientes poluídos podem facilitar o crescimento de algumas espécies invasoras, provavelmente, pela diminuição da competição.

BIVALVES INVASORES NO BRASIL

Os bivalves são organismos exclusivamente aquáticos pertencentes ao filo dos moluscos. Eles formam um grupo extremamente bem sucedido e diversificado, podendo ocorrer em ambientes de salinidade diversa como água salgada, doce ou salobra.

Existem registros de bivalves exóticos introduzidos em várias partes do mundo, sendo que no Brasil, até o momento, foram identificadas nove espécies: *Myoforceps aristatus*; *Mytilopsis leucophaeta*; *Perna perna*; *Corbicula fluminea*; *Corbicula manilensis*; *Corbicula largillierti*; *Limonperna fortunei*; *Crassostrea gigas* e *Isognomon bicolor*.

Os bivalves *Myoforceps aristatus* e *Mytilopsis leucophaeta* são classificados como **espécies detectadas**: classificação dada para as espécies que tiveram registros isolados no ambiente natural, não tendo registros posteriores do aumento de abundância ou dispersão. Caso a espécie detectada volte a aparecer, sendo encontrada de forma recorrente e apresentando indícios de aumento populacional, ela passa a ser classificada como **espécie estabelecida ou naturalizada**, porque já mantém interações com as demais espécies. Essa é a situação em que se enquadra o bivalve *Perna perna*, que foi introduzido entre os séculos XVIII e XIX e é encontrado hoje em grande parte do litoral brasileiro.

Quando as espécies exóticas vencem as pressões ecológicas e conseguem se dispersar para outras regiões são chamadas de **espécies invasoras**, atual classificação de *Corbicula fluminea*, *Corbicula manilensis*, *Corbicula largillierti*, *Crassostrea gigas*, *Limonperna fortunei* e *Isognomon bicolor*.

A ABORDAGEM GENÉTICA

É possível afirmar que as invasões biológicas são, geralmente, constituídas de rápidos eventos evolutivos, resultando em populações

geneticamente dinâmicas, tanto no espaço, quanto no tempo. Assim, a abordagem genética constitui-se numa importante alternativa no esforço para entender o processo de estabelecimento dessas espécies nos ecossistemas aquáticos do Brasil.

Como já foi discutido antes, o sucesso no estabelecimento de uma população bioinvasora pode estar relacionado com o seu nível de variação genética, pois ela oferece às populações invasoras uma maior flexibilidade nas respostas às pressões do novo ambiente. Uma técnica molecular muito utilizada para mensuração da variação genética e que já teve grande impacto nos estudos populacionais é a eletroforese de aloenzimas. De uma forma bem resumida, essa técnica pode ser definida como a migração de partículas sob a ação de uma corrente elétrica. Ela se baseia nas características físico-químicas das proteínas, ou seja, suas diferentes formas, tamanhos, mas, principalmente, suas cargas elétricas. Proteínas diferentes apresentam cargas elétricas também diferentes, fato que se manifestará em diferentes mobilidades eletroforéticas.

A aplicação da técnica de eletroforese de aloenzimas para o estudo de espécies invasoras apresenta como vantagens a fácil preparação de extratos, o preço relativamente barato e sua objetividade. No entanto, seu uso também apresenta algumas limitações, como por exemplo, a subestimativa da variação genética total. Mas, talvez, a maior limitação do método esteja no fato de que a variação amostrada por eletroforese seja, na realidade, uma variação fenotípica, ou seja, dos produtos diretos dos genes e não dos genes ou DNA em si.

A eletroforese de aloenzimas já auxiliou com sucesso alguns trabalhos com bioinvasores no Brasil e em outros países, por exemplo, bivalves do gênero *Mytilus* no Chile, o mexilhão zebra *Dreissena polymorpha* no Canadá, a lagosta *Orconectes limosus* na França e, no Brasil, a mosca *Zaprionus indianus*. Em todos estes casos, a eletroforese de aloenzimas se mostrou uma boa aliada no estudo das bioinvasões. A seguir, são apresentados dois estudos de caso com os bivalves invasores *Isognomon bicolor* e *Limonperna fortunei* que demonstram como a abordagem genética pode ajudar a entender o processo de invasão biológica em meio aquático.

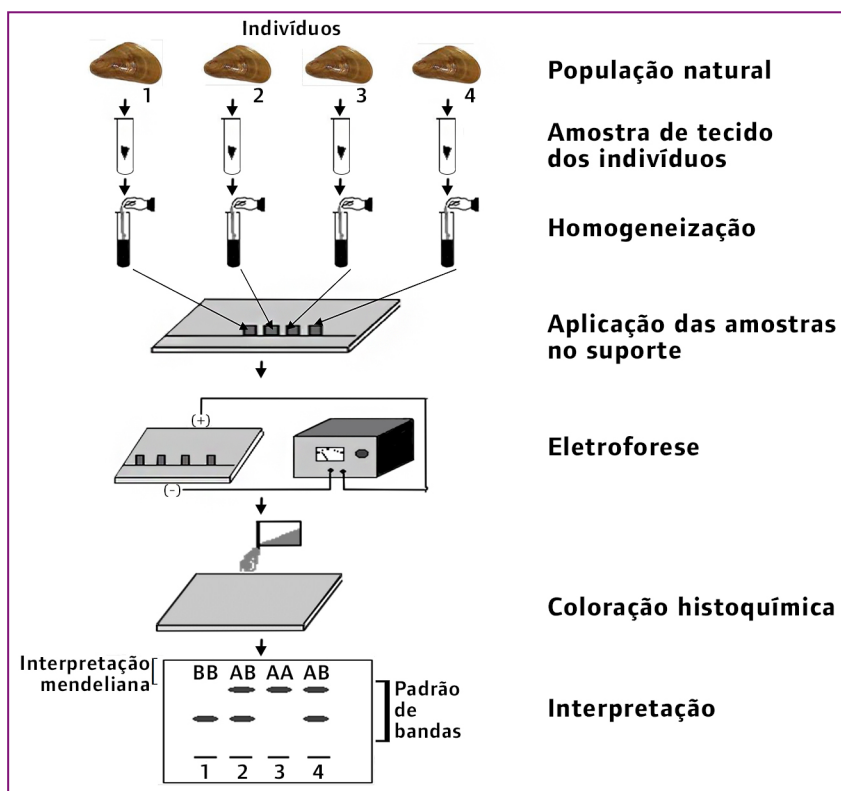


Figura 2. Resumo gráfico do método de eletroforese de aloenzimas empregada para análise da variação genética em populações.



Isognomon bicolor

Bivalve marinho pertencente à família Isognomonidae, endêmico do mar do Caribe. Possui rápido crescimento, sendo encontrado em altas densidades nos costões rochosos, ocorrendo desde a faixa superior do médio litoral até sete metros de profundidade. Suas conchas adotam as mais diversas formas e isso permite que este bivalve possa se expandir entre e sobre os demais organismos incrustantes do costão rochoso, limitando a habilidade que esses organismos poderiam ter para obtenção de alimento. *I. bicolor* está presente no litoral brasileiro desde meados da década de 1980, quando foi registrado em Atol das Rocas (Natal, RN). Atualmente, este bivalve está presente em grande parte da costa brasileira, incluindo as regiões Nordeste (RN, PE e BA), Sudeste (SP e RJ) e Sul (PR e SC).

Investigando os padrões de variação genética do *Isognomon bicolor* na Praia de Itaipu (Niterói, RJ), em três momentos no tempo (2005, 2009 e 2013), foram encontrados altos níveis de variação genética, bem como sua estabilidade nos três anos estudados. De certa forma, o resultado é surpreendente, uma

vez que se esperava que essas populações invasoras estivessem sob o efeito do *bottleneck* (gargalo) e, portanto, apresentassem níveis de variação genética (polimorfismo, número de alelos, heterozigosidade etc.) baixos. Mas não é caso de *Isognomon bicolor* quando comparada com outras espécies de bivalves invasores (ver Figura 3).

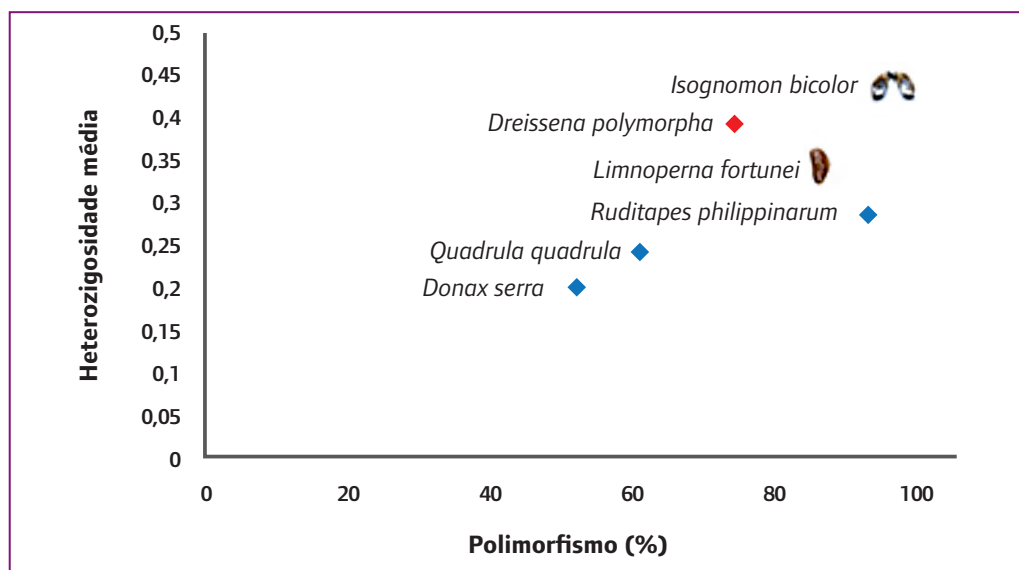
Altos níveis de variação genética em bioinvasores podem ser explicados como consequência de múltiplas invasões, uma hipótese plausível considerando que embarcações de grande porte, como as que fazem transportes intercontinentais, são muito frequentes em nosso litoral.

Limnoperna fortunei

Mais conhecido como mexilhão dourado, é um bivalve de água doce pertencente à família Mytilidae, endêmico do sul da Ásia. É capaz de se fixar em uma grande variedade de substratos e possui grande capacidade adaptativa, atingindo densidades de até 150.000 indivíduos/m². Com 30 dias e aproximadamente 0,5 cm de comprimento já começam a se reproduzir. No Brasil, esta espécie foi registrada em 1998 no Pantanal Mato-Grossense e no sistema da Lagoa dos Pa-

Figura 3.

Níveis de variação genética em populações de *I. bicolor* em comparação com outras espécies invasoras (*Dreissena polymorpha*, *Limnoperna fortunei*) e Bivalves (*Donax serra*, *Quadrula quadrula*, *Ruditapes philippinarum*).



tos. Tornou-se uma praga nas bacias dos rios Paraná, Paraguai, Uruguai e Jacuí/Patos. Os impactos ambientais causados pelo mexilhão dourado envolvem danos ao abastecimento público de água, destruição de habitats e a diminuição da fauna nativa.

As populações invasoras de *Limnoperna fortunei*, tanto no Brasil (Lago Guaíba, RS; Porto Esperança, MS e Usina de Itaipu, PR, Praia de Itaipu, RJ) quanto na Argentina (Balneário Bagliardi e Usina de Yaciretá), apresentaram altos níveis de variação genética. Este padrão é semelhante àquele encontrado para *Isognomon bicolor* e, do mesmo modo, indica que o efeito *bottleneck* parece não ter atuado em nenhuma das cinco populações estudadas.

Embora surpreendente, a variação genética alta em espécies invasoras não é uma exceção. As bioinvasões mediadas por água de lastro, como é, provavelmente, o caso de *Limnoperna fortunei*, podem ser o resultado de um único evento de bioinvasão a partir de tamanhos populacionais muito grandes dos invasores ou, ainda, de múltiplas invasões.

Os estudos com o *Isognomon bicolor* e *Limnoperna fortunei* indicam que vários episódios de introdução podem ter facilitado a instalação e a permanência desses bivalves no novo habitat. Caso nenhuma medida seja tomada para prevenir episódios de introdução de espécies exóticas nas águas brasileiras, a bioinvasão pode se tornar uma ameaça importante à biodiversidade local pela possibilidade de extinção de espécies nativas.

PARA SABER MAIS

FERNADES, F. C.; SOUZA, R. C. C. L.; SILVA, E. P. In: FERNANDEZ, M. A.; SANTOS, S. B.; PIMENTA, A.; THIENGO, S. C. (ORGS). *Bivalves marinhos introduzidos no Brasil. Tópicos em Malacologia: Ecos do XIX Encontro Brasileiro de Malacologia*, Sociedade Brasileira de Malacologia – SBMa. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2011. p. 300-307.

MACHADO, C. J. S.; OLIVEIRA, A. E. S.; MATOS, D. M. S.; PIVELLO, V.; CHAME, M.; SOUZA, R. C. C. L.; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Recomendações para elaboração e consolidação de uma estratégia nacional de prevenção e controle das espécies exóticas no Brasil. *Ciência e Cultura*, v. 61, n.1, p. 42-45, 2009.

SILVA, E. P. Marcadores moleculares no rastreamento da bioinvasão. In: SILVA, J. S. V.; SOUZA, R. C. C. L. (ORGS). *Água de Lastro e Bioinvasão*, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004. p. 191-203.

SILVA, E. P. Genética Marinha. In: SOARES-GOMES, A.; PEREIRA, R. C. (EDS). *Biologia Marinha*, 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009. p. 333-351.

SILVA, E. P. Genética da bioinvasão do mexilhão-dourado. In: MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A. (ORGS). *Moluscos Límnicos Invasores do Brasil: Biologia, Prevenção, Controle*. Porto Alegre: Redes Editora, 2012. p. 51-57.

SOUZA, R. C. C. L.; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Impactos das espécies invasoras no ambiente aquático. *Ciência e Cultura*, v. 61, n.1, p. 35-41, 2009.