



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA

**O MEXILHÃO *PERNA PERNA* NO BRASIL:
NATIVO OU EXÓTICO?**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do Grau de Mestre em Aquicultura.

Orientadora: Aimê Rachel Magenta Magalhães.

Bruno da Silva Pierri

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pierri, Bruno da Silva

O mexilhão Perna perna no Brasil : nativo ou exótico? /
Bruno da Silva Pierri ; orientadora, Aimê Rachel Magenta
Magalhães - Florianópolis, SC, 2013.

62 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-
Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Bioinvasão. 3. Mitilicultura. 4.
Biologia Molecular. 5. Brasil. I. Magalhães, Aimê Rachel
Magenta . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

O mexilhão *Perna perna* no Brasil: nativo ou exótico

Por

BRUNO DA SILVA PIERRI

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de
Pós-Graduação em Aqüicultura.

Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Dra. Aimê Rachel Magenta Magalhães – *Orientadora*

Dr. Cláudio Manoel Rodrigues de Melo

Dra. Simone Sühnel

Dra. Teresa Domitila Fossari

Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades a mim oferecidas.

Agradeço aos meus pais e família por todo amor e apoio ao longo de minha vida. Amo vocês!!!!

À minha namorada, Heloisa, agradeço de todo o coração por todo apoio, amor e por estar sempre ao meu lado. Te amo!!

Agradeço aos membros da banca, Dr. Cláudio Manuel Rodrigues de Melo, Dra. Teresa Domitila Fossari, Dra. Simone Suhnel, Dra. Maria Risoleta Freire Marques e Dr. Marcos Caivano Pedroso de Albuquerque por terem aceitado prontamente nosso convite e por estarem dispostos a contribuir com nosso trabalho, certamente agregando muita qualidade. Muito Obrigado!

Agradeço, com muito carinho, à minha orientadora, Dra. Aimê Rachel Magenta Magalhães pela maravilhosa oportunidade de poder desenvolver este trabalho e pela generosidade em sempre dividir comigo os conselhos valiosíssimos, que, certamente, levarei comigo para o resto da vida!

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura por fornecer ensino e estrutura sempre com excelência.

Agradeço ao competentíssimo Carlito por estar sempre disposto a ajudar e tirar as infundáveis dúvidas.

Obrigado à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Obrigado aos amigos do LAMEX pelas sempre maravilhosas companhias e pela incessante troca de conhecimento.

Um grande obrigado a todos os queridos amigos, especialmente ao Krause e ao Bybas, amigos na verdadeira concepção da palavra.

Obrigado ao *Perna perna* por fornecer fonte de estudo e pela grande importância que teve na minha formação acadêmica.

RESUMO

A mitilicultura no Brasil se baseia no cultivo do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), que é encontrado em todo o litoral brasileiro, sendo especialmente abundante do Espírito Santo a Santa Catarina. Nos últimos anos foi lançada a hipótese de que *P. perna* seja uma espécie exótica no litoral brasileiro. A hipótese baseia-se na análise da malacofauna de sítios arqueológicos. Todas as contestações levantadas não remetem a uma conclusão, pois precisam de estudos específicos, com metodologias claras, aliando arqueologia, ecologia e biologia molecular. O objetivo deste trabalho foi estudar a condição de nativo ou exótico do mexilhão *Perna perna* no Brasil, a partir de levantamento dos resultados em sítios arqueológicos, de técnicas moleculares e de datação de conchas com C^{14} . A datação de conchas de *P. perna* do sítio arqueológico do Rio do Meio/Jurerê, Florianópolis/SC, indicou que as amostras têm a idade de 720 ± 30 e 780 ± 30 anos. O cálculo do tempo de divergência indicou que a separação das populações brasileiras e africanas ocorreu por volta de 200 mil anos. Os resultados apontam a presença da espécie no território brasileiro muito antes do descobrimento do Brasil pelos portugueses no ano de 1500, indicando que *Perna perna* é de fato uma espécie nativa.

Palavras-chaves: Aquicultura, cultivo, moluscos, mitilicultura, mexilhão.

ABSTRACT

The mussel farming in Brazil is based on brown mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758), which is found throughout the Brazilian coast, with especial abundance from Espírito Santo to Santa Catarina state. In recent years, it was suggested that *Perna perna* is an exotic species for the Brazilian coast. The hypothesis is based on the analysis of the zooarchaeology studies in archaeological sites of Brazil. All objections raised do not offer to a conclusion, because they need specific studies with clear methodology, combining archeology, ecology and molecular biology. The objective of this work was to study the condition of the brown mussel *Perna perna* in Brazil if native or exotic, from survey results in archaeological sites, molecular techniques and dating of shells with C¹⁴. The dating indicated that the shells were 720±30 and 780±30 years old, respectively. The calculation of divergence time indicated that the separation of the African and Brazilian mussel populations occurred around 200 thousand years ago. The results indicate the presence of the *P. perna* species in Brazilian territory long before the discovery of Brazil by the Portuguese in 1500, indicating that *P. perna* is actually a native species of Brazil.

Keywords: aquaculture, seafarm, mollusc, mussel farm, brown mussel.

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

- Figura 1 - Aspecto externo do mexilhão *Perna perna* 23
- Figura 2 - Distribuição geográfica do mexilhão *Perna perna*..... 23

Artigo Científico

- Figura 1 - Distribuição mundial do mexilhão *Perna perna*..... 33
- Figura 2 – Exemplos de conchas coletadas para datação 34
- Figura 3 - Localização do sítio arqueológico Rio do Meio (A) e da praia do Sambaqui (B) em Florianópolis/SC, Brasil 36
- Figura 4 - Árvores filogenéticas geradas 42
- Figura 5 - Cladograma do cálculo do tempo de divergência entre as populações 43

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Caracterização das sequências utilizadas | 37 |
| Tabela 2 - Trabalhos que citam a presença de <i>Perna perna</i> em sítios não datados do litoral brasileiro | 39 |
| Tabela 3 – Resultados da datação por C ¹⁴ | 40 |
| Tabela 4 - Trabalhos que citam a presença de <i>Perna perna</i> em sítios datados do litoral brasileiro | 41 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo I – Lista de espécies exóticas da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB). | 53 |
| Anexo II - Portaria Nº 125, de 07 de agosto de 2009 do IAP..... | 58 |
| Anexo III - Detalhe da lista das espécies exóticas invasoras na Região Nordeste do Brasil..... | 60 |
| Anexo IV - Detalhe da lista anexa à portaria que define as espécies exóticas invasoras no Rio Grande do Sul..... | 61 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. - Antes de Cristo

AMS - (Accelerator Mass Spesctrometry) - Espectrometria de Massas com Aceleradores

BP - (Before Present) - Antes do Presente

C¹⁴ - Carbono 14

C¹⁴O₂ - Dióxido de cabono

CDB - Convenção sobre Diversidade Biológica

COI - (Citocrome Oxidase Subunit I) - Subunidade I da Citocromo Oxidase

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

IAP - Instituto Ambiental do Paraná

LMM-UFSC - Laboratório de Moluscos Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina

MEGA - Molecular Evolutionary Genetics Analysis

ML - Maximum-Likelihood

MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura

NCBI - National Center for Biotechnology Information - Centro Nacional de Informações sobre Biotecnologia

NJ - Neighbor-Joining

PCR - (Polimerase Chain Reaction) Reação em Cadeia da Polimerase

SEAP - Secretaria Especial da Aquicultura e Pesca

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Introdução..... | 21 |
| Objetivo..... | 27 |
| Objetivos Específicos | 27 |
| Artigo Científico..... | 29 |
| Resumo..... | 30 |
| Abstract | 31 |
| 1. Introdução | 32 |
| 2. Materiais e Métodos | 34 |
| 2.1. Presença de <i>Perna perna</i> em sítios arqueológicos..... | 34 |
| 2.2. Datação com C ¹⁴ de fragmentos de conchas..... | 34 |
| 2.3. Análise Molecular..... | 35 |
| 2.3.1. PCR, clonagem e sequenciamento das amostras | 36 |
| 2.3.2. Inferência filogenética..... | 37 |
| 2.3.3. Cálculo da divergência genética..... | 38 |
| 3. Resultados e Discussão..... | 38 |
| 3.1. Bibliografia arqueológica..... | 38 |
| 3.2. Datação com C ¹⁴ | 39 |
| 3.3. Inferência filogenética..... | 42 |
| 3.4. Tempo de divergência..... | 43 |
| 4. Conclusão..... | 44 |
| 5. Referências bibliográficas do artigo científico..... | 45 |
| 6. Referências bibliográficas da introdução geral..... | 49 |

Introdução

A aquicultura como atividade humana vem crescendo acentuadamente nas últimas décadas e já se apresenta como uma solução para diminuir a carência por alimentos no mundo (ROCZANSKI *et al.*, 2000). Segundo a FAO (2012), mais de 41% de todo o pescado consumido no mundo no ano de 2011 teve como origem a produção aquícola. Esse setor produziu no ano de 2010 um total de 59,9 milhões de toneladas, movimentando aproximadamente 120 bilhões de dólares.

No Brasil, a aquicultura vem se consolidando como importante atividade para o setor de produção de alimentos, tendo seu crescimento constatado no País nos últimos anos. A comercialização de organismos aquáticos provenientes da aquicultura brasileira alcançou a marca de 479.397 toneladas no ano de 2010 (FAO, 2012).

Dentro das modalidades importantes de cultivo dos organismos aquáticos praticadas no Brasil, pode-se citar o cultivo de moluscos bivalves. A malacocultura é responsável pela geração de muitos empregos diretos e indiretos e vem se mostrando como uma atividade rentável e que proporciona um impacto social positivo em todas as comunidades em que está estabelecida. Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2012), somente no ano de 2010 o Brasil produziu aproximadamente 15.636,20 toneladas de moluscos, o equivalente a 3% de toda a produção aquícola do País no mesmo período.

Estudo realizado em São Paulo por Fagundes e colaboradores (1997), sobre custos e benefícios do cultivo de mexilhões em espinhel nos sistemas familiar e empresarial, concluiu que no sistema familiar a mitilicultura, como é denominada a produção de mexilhões, mostrou-se viável economicamente, com um investimento e um custo operacional considerado baixo. A atividade visa conter o empobrecimento das comunidades de pescadores artesanais, que com o declínio dos estoques pesqueiros, em decorrência, principalmente, da poluição e da pesca predatória, ficaram com poucas alternativas de renda para permanecer em seu local de origem.

Dados divulgados em 2001 pela Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP, 2005), já apontavam a importância da atividade para as comunidades produtoras de mexilhão. Segundo a Entidade, naquele ano cerca de 1.400 famílias já estavam envolvidas com o cultivo de mexilhões no Brasil.

O estado de Santa Catarina possui um papel muito importante dentro do cenário da aquicultura nacional. Com uma produção de 72.263,3

toneladas no ano de 2011, o Estado produziu o equivalente a 8,5% da produção brasileira (MPA, 2012). Dentro da produção do Estado, cerca de 27% são provenientes da malacocultura (MPA, 2012; EPAGRI, 2013).

O cultivo de moluscos no estado de Santa Catarina teve início em 1989, com a mitilicultura e a ostreicultura na Ilha de Santa Catarina (ROZANSKI *et al.*, 2000), com grande participação da Universidade Federal da Santa Catarina-UFSC (PAULILO, 2002).

Os mexilhões, ostras e vieiras cultivados em Santa Catarina atualmente representam cerca de 95% de toda a produção de moluscos brasileira. Segundo a EPAGRI (2013), a malacocultura em Santa Catarina, no ano de 2012, produziu 23.495 toneladas de moluscos bivalves marinhos, gerando cerca de 45 milhões de reais, dos quais mais de 31 milhões de reais foram provenientes da produção de mexilhões, com 21.027 toneladas.

A produção de mexilhões no Brasil utiliza como animal base nos cultivos a espécie *Perna perna* (LINNAEUS, 1758) (Figura 1), que popularmente é chamado de marisco, marisco-preto, marisco-da-pedra e ostra-de-pobre (FERREIRA & MAGALHÃES, 2004).

O mexilhão *Perna perna* possui uma distribuição geográfica ampla (Figura 2). A espécie ocorre na Venezuela e ao longo da costa Atlântica, de Recife (Brasil) até o Uruguai (SIDALL, 1980; CHUNG & ACUÑA, 1981; RIOS, 2009; WOOD *et al.*, 2007; FERNANDES *et al.*, 2008) e é especialmente abundante do Rio de Janeiro a Santa Catarina (KLAPPENBACH, 1965). Segundo Wood e colaboradores (2007), a espécie também é encontrada na África do Sul, Marrocos, Angola, Namíbia, nas ilhas de Cabo Verde, na costa índica de Moçambique e costa oeste de Madagascar.

A escolha do mexilhão *Perna perna* na mitilicultura brasileira se deve às características da espécie. Apresenta altos níveis de crescimento (FERREIRA *et al.*, 1991; MARENZI & BRANCO, 2006), é resistente às variações nos parâmetros físico-químicos da água, como salinidade (SALOMÃO, MAGALHÃES & LUNETTA, 1980) e temperatura (VELEZ & EPIFÂNIO, 1981; HICKS & McMAHON, 2002).

No entanto, nos últimos anos vem sendo discutida a hipótese de que *P. perna* seja uma espécie exótica, introduzida no Brasil há pouco mais de 400 anos, devido ao tráfego de navios negreiros no País, oriundos do continente africano, que seria o berço desta espécie. Esta hipótese foi lançada por Fernandes e colaboradores (2008) e rapidamente foi absorvida como válida pela comunidade científica brasileira e divulgado para a sociedade.



Figura 1 - Aspecto externo do mexilhão *Perna perna*.

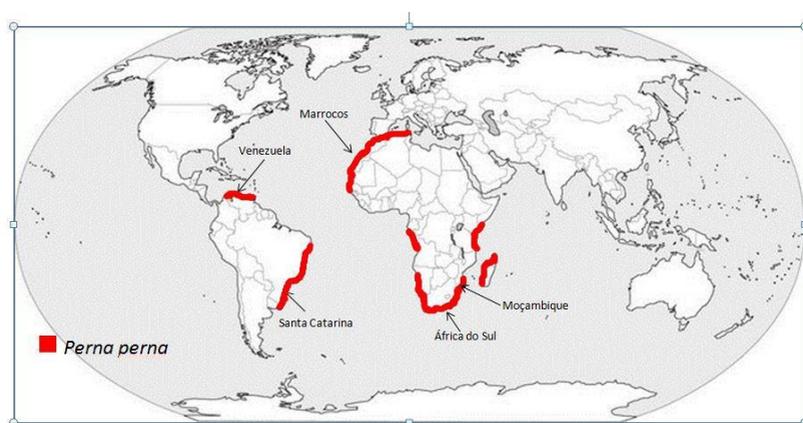


Figura 2- Distribuição geográfica do mexilhão *Perna perna*.

De acordo com a Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB, "espécie exótica" é toda espécie que se encontra fora de sua área de distribuição natural. "Espécie Exótica Invasora", por sua vez, é definida como sendo aquela que ameaça ecossistemas, habitats ou espécies. Essas espécies, por suas vantagens competitivas e favorecidas pela ausência de predadores e pela degradação do ambiente natural, dominam os nichos ocupados pelas espécies nativas, notadamente em ambientes frágeis e degradados (MMA, 2000).

Mesmo com a ausência de trabalhos que certifiquem a origem africana recente, a espécie *Perna perna* foi introduzida na lista de espécies exóticas invasoras (MMA, 2009 – anexo I), trazendo implicações quanto ao uso da espécie em águas nacionais.

Exemplo que pode ser citado das consequências da colocação do *Perna perna* na lista de espécies exóticas invasoras é o caso do Estado do Paraná, onde, através da Portaria nº 125 do Instituto Ambiental do Paraná – IAP (anexo II), foi proibido o uso da espécie para fins como pesquisa, comercialização e principalmente o cultivo da espécie em seus territórios. Isto acarretou em um impacto social para essas regiões, uma vez que muitas famílias dependiam do cultivo do mexilhão para sua subsistência.

Outro exemplo que pode ser citado aconteceu na Região Nordeste do País, onde uma cartilha foi criada contendo uma lista de espécies exóticas invasoras (anexo III), na qual o *P. perna* também consta.

Mais recentemente, em outubro de 2013 o governo do Rio Grande do Sul assinou uma portaria que reconhece a lista de espécies exóticas invasoras no Estado (anexo IV). Entre as espécies citadas no arquivo anexo do documento, o mexilhão *P. perna* encontra-se presente. O texto menciona que, futuramente, ações serão realizadas para mitigar os supostos impactos causados pelas populações da espécie.

Além dos impactos sociais já causados pela proibição do cultivo do mexilhão *P. perna*, impactos ainda maiores podem ocorrer caso estados como Santa Catarina, o maior produtor da espécie no Brasil, também resolva acatar a lista de espécies exóticas invasoras criada pelo Ministério do Meio Ambiente. Neste caso, mais de 600 famílias produtoras (EPAGRI, 2013) estariam impossibilitadas de gerar o capital necessário para sua subsistência, além dos milhares de empregos diretos que deixariam de existir somente na região da grande Florianópolis, gerando um impacto social de considerável grandeza.

Outra implicação gerada pelo ocorrido fato foi que estudos científicos realizados com a espécie passam a encontrar muitas

dificuldades quanto ao financiamento de projetos de pesquisa, já que muitas entidades não financiam trabalhos com espécies exóticas.

Tão ou mais importante do que as questões já citadas, de cunho social, econômico, científico e ambiental, há o compromisso com a verdade. As hipóteses precisam ser comprovadas através de experimentação e toda informação pretérita sobre a espécie precisa ser levantada e discutida, antes de qualquer conclusão.

A hipótese de que a espécie seja exótica é baseada principalmente em estudos de análise da malacofauna presente em sambaquis no litoral sudeste do Brasil. Souza e colaboradores (2003, 2004, 2005, 2010) argumentam que a ausência destes bivalves em sítios arqueológicos seja uma comprovação de sua condição invasora.

Os sambaquis são sítios arqueológicos encontrados ao longo de quase toda a costa brasileira. Apresentando-se em forma de elevação, estes sítios foram construídos por populações que antecederam à chegada dos europeus nas Américas. Por suas localizações, pode-se dizer que seus ocupantes viviam em grandes planícies sedimentares litorâneas junto a lagoas, lagunas e desembocadura dos rios, onde pescavam e coletavam moluscos, além de caçarem. Os sambaquis apresentam em suas camadas carvão, cinza e restos de grandes fogueiras; além de considerável quantidade de ossos de peixes, aves e mamíferos; pinças de crustáceos, cascas de tartarugas, espinhos de ouriço do mar. Ao consumirem os moluscos, amontoavam as cascas nas áreas de suas moradias, deixando o local seco na planície úmida. Quando o casqueiro ganhava altura servia de ponto estratégico para vigiar a aproximação dos inimigos e dos cardumes de peixes. Comumente sepultavam seus mortos no chão da própria casa. Os maiores sambaquis do mundo situam-se no Estado de Santa Catarina, principalmente no litoral de Laguna e de São Francisco do Sul, atingindo até 30 metros de altura e centenas de diâmetro (cf. ROHR, 1984).

Em 2009, Schaeffer e colaboradores divulgaram a informação de que o mexilhão *Perna perna* ocorre em sítios arqueológicos da região sul e sudeste do Brasil, mas Souza (comunicação pessoal) sustenta a condição de exótico, argumentando que seriam depósitos recentes de conchas no local.

Para auxiliar na questão sobre ser ou não recente (posterior ao século XVI) a presença do mexilhão *Perna perna* em sítios arqueológicos, a datação com C¹⁴ pode ser utilizada.

Segundo Farias (2002), a datação com radiocarbono vem se mostrando uma ferramenta importantíssima para a compreensão do

passado do Planeta. O carbono-14, C^{14} , ou radiocarbono, é um isótopo radioativo natural do elemento carbono. Justifica-se o estudo do tema pelo fato do C^{14} ser o grande responsável na determinação da idade de fósseis e artefatos de diversos tipos. O C^{14} é utilizado por apresentar um prazo de meia-vida de aproximadamente 5.730 anos. Ele é formado nas camadas superiores da atmosfera onde os átomos de nitrogênio-14 são bombardeados por nêutrons contidos nos raios cósmicos, reagindo com o oxigênio do ar formando dióxido de carbono ($C^{14}O_2$), que é absorvido por vegetais e seres vivos (FARIAS, 2002).

Segundo Kotz e colaboradores (2011), a quantidade de C^{14} manteve-se constante nos últimos 20.000 anos. Esse teor também é constante nos vegetais e animais. Quando o vegetal ou animal morre, cessa a absorção de CO_2 com C^{14} e começa o decaimento beta do C^{14} . Nesse decaimento, após 5.730 anos, a radioatividade cairá para a metade. Desse modo, medindo a radioatividade residual do fóssil, pode-se calcular a sua idade.

Estudos comprovam que a técnica de datação através do C^{14} tem, contudo, suas limitações. Uma delas é a consideração de que a quantidade total de C^{14} na atmosfera permaneceu constante ao longo do tempo (acima de 20.000 anos), o que pode não ser totalmente verdadeiro. Além disso, para um objeto com apenas cem anos de idade, a quantidade de radiação emitida não terá diminuído o suficiente para que seja detectada alguma diferença. Assim, a incerteza na medida efetuada será de 100 anos. Além disso, objetos com mais de 40.000 anos (ou seja, aproximadamente sete “meias-vidas”), também não podem ser datados com grande segurança, uma vez que após esse tempo a radiação emitida terá sido reduzida a praticamente zero. Logo, a técnica pode ser aplicada com boa margem de segurança para objetos que tenham entre 100 e 40.000 anos de idade (PEZZO, 2002), que é o caso das conchas do mexilhão.

Outra ferramenta que vem se mostrando importante na compreensão de diversos temas ligados à origem e parentesco de espécies é a biologia molecular.

Todos os organismos estão sujeitos a mutações como resultado de operações celulares normais ou interações com o meio ambiente, levando-os à variação genética (polimorfismo). Em conjunto com a deriva genética e seleção, surge a variação genética dentro e entre indivíduos, espécies e grupos taxonômicos de ordens superiores (LIU & CORDES, 2004).

Estudos de espécies de vertebrados, em geral, têm mostrado que a divergência de sequência acumula mais rapidamente no DNA mitocondrial do que no DNA nuclear (BROWN, 1985). Isto tem sido atribuído a uma taxa mais rápida de mutação no DNA mitocondrial que pode ser resultado de uma falta de mecanismos de reparação durante o processo de replicação (WILSON *et al.*, 1985) e menor tamanho de população efetiva devido à herança estritamente materna do genoma haplóide mitocondrial (BIRKY *et al.*, 1989).

Utilizando a banco de Dados GenBank, é possível selecionar sequências de genes já estudados para realizar as análises desejadas. Wood e colaboradores (2007) realizaram um estudo filogenético com o gênero *Perna* utilizando sequências de genes mitocondriais encontrados por Folmer e colaboradores (1994). Trata-se de uma região de aproximadamente 650 pares de base (conhecida como região Folmer) da subunidade I da Citocromo C Oxidase (COI).

Utilizando o sequenciamento genético pode-se encontrar diferenças importantes, que possibilitem, por exemplo, calcular a divergência entre populações de uma mesma espécie. Utilizando a técnica conhecida por Relógio Molecular, é possível calcular, em escala temporal, o tempo necessário para que duas populações tenham se separado, ajudando a compreender como ocorreu a distribuição genética de determinada espécie.

A partir dos resultados deste trabalho espera-se esclarecer essa questão, para que caso seja confirmada a condição de espécie nativa, as populações naturais passem a ter um apoio do código ambiental para sua proteção. Do contrário, se a espécie for confirmada como exótica, poder-se-á discutir a condição de invasora ou não e as implicações para a aquicultura.

Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo, através de levantamento malacológico, datação de conchas com C^{14} e análise molecular, trazer informações para fundamentar a discussão sobre a origem do mexilhão *Perna perna* no litoral brasileiro.

Objetivos específicos

- Sequenciar o gene COI de mexilhões *Perna perna* coletados no cultivo experimental do Sambaqui.
- Coletar e datar conchas de mexilhão *Perna perna* de sítio arqueológico, utilizando o método do radiocarbono.

- Realizar levantamento bibliográfico sobre a malacofauna de sítios arqueológicos.

ARTIGO CIENTÍFICO

Redigido segundo as normas do periódico Biological Conservation, disponíveis em <http://www.elsevier.com/journals/biological-conservation/0006-3207/guide-for-authors#68000>.

O mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) no Brasil: nativo ou exótico?

Bruno da Silva Pierri, Teresa Domitila Fossari, Aimê Rachel Magenta Magalhães.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Departamento de Aquicultura, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, CEP: 88034-001, Florianópolis, SC, Brasil. Fone: 55 – 48 – 33343441.
E-mail de contato: pierri.bruno@hotmail.com

RESUMO

A mitilicultura no Brasil se baseia no mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758), que é encontrado em todo o litoral brasileiro, sendo especialmente abundante do Espírito Santo a Santa Catarina. Nos últimos anos foi lançada a hipótese de que *P. perna* seja uma espécie exótica no litoral brasileiro. A hipótese baseia-se na análise da malacofauna presente em sítios arqueológicos. Todas as contestações levantadas não remetem a uma conclusão, pois precisam de estudos específicos, com metodologias claras, aliando arqueologia, ecologia e biologia molecular. O objetivo deste trabalho foi estudar a condição de nativo ou exótico do mexilhão *Perna perna* no Brasil, a partir de levantamento dos resultados em sítios arqueológicos, de técnicas moleculares e de datação de conchas com C^{14} . A datação indicou que as amostras de *Perna perna* do sítio arqueológico Rio do Meio/Jurerê, Florianópolis/SC, têm idade de 720 ± 30 e 780 ± 39 anos. O cálculo do tempo de divergência indicou que a separação das populações brasileiras e africanas ocorreu por volta de 200 mil anos. Os resultados apontam a presença da espécie no território brasileiro muito antes do descobrimento do Brasil pelos portugueses no ano de 1500, indicando que *P. perna* é de fato uma espécie nativa.

Palavras-chaves: Aquicultura, cultivo, moluscos, mitilicultura, nativo.

ABSTRACT

The mussel farming in Brazil is based on brown mussel *Perna perna* (Linnaeus, 1758), which is found throughout the Brazilian coast, especially abundant at Espírito Santo till Santa Catarina littoral. In recent years, it was suggested that *Perna perna* is an exotic species for the Brazilian coast. The hypothesis is based on the analysis of the zooarchaeology studies in archaeological sites of Brazil. All objections raised do not offer to a conclusion, because they need specific studies with clear methodology, combining archeology, ecology and molecular biology. The objective of this work was to study the condition of the brown mussel *Perna perna* in Brazil if native or exotic, from survey results in archaeological sites, molecular techniques and dating of shells with C¹⁴. The dating indicated that the shells were 720±30 and 780±30 years, respectively. The calculation of divergence time indicated that the separation of the African and Brazilian mussel populations occurred around 200 thousand years ago. The results indicate the presence of the *P. perna* species in Brazilian territory long before the discovery of Brazil by the Portuguese in 1500, indicating that *P. perna* is actually a native species of Brazil.

Keywords: aquaculture, seafarm, mollusc, mussel farm, brown mussel.

1. Introdução

Nos últimos séculos, milhares de espécies têm sido dispersas para locais fora de sua distribuição geográfica natural e têm transformado o ecossistema marinho no mundo (Ruiz et al., 1997; Mack et al., 2000). Mesmo que as espécies exóticas sejam hoje reconhecidas como importantes causadoras de impacto à biodiversidade mundial (McGeoch et al., 2010), pouco se sabe sobre a dispersão destas espécies em escala global (Hulme, 2009). Tida como uma grande causadora da dispersão de espécies exóticas no planeta (Ruiz et al., 1997), a água de lastro de navios vem se tornando fonte de estudos científicos.

Atualmente, vem sendo discutida a hipótese de que o mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) seja uma espécie exótica do litoral do Brasil, tendo sido introduzida no País há pouco mais de 400 anos, devido ao tráfego de navios negreiros oriundos do continente africano que, de acordo com Fernandes (2008), é tido como o berço desta espécie. A hipótese é baseada principalmente em estudos de análise da malacofauna presente em sambaquis no litoral sudeste do Brasil. Souza et al. (2003, 2004, 2010) argumentam que a ausência destes bivalves em sítios arqueológicos seja uma comprovação de sua condição invasora.

A espécie *Perna perna* apresenta grande importância para os ambientes em que habita, estruturando a comunidade em litorais rochosos e sendo bioatratora de diversidade (Freitas e Velastin, 2010). Apresenta também características desejadas para a aquicultura, como rápido crescimento (Ferreira e Magalhães, 2004; Marenzi e Branco, 2006) e resistência a variações nos parâmetros físico-químicos da água, entre eles salinidade (Salomão et al., 1980) e temperatura (Velez e Epifânio, 1981; Hicks e McMahon, 2002).

O mexilhão é uma relevante fonte de renda para as famílias que realizam seu cultivo. A mitilicultura no Brasil se baseia na produção desta espécie, que apresenta ampla distribuição geográfica (Figura 1) e é encontrada com abundância em quase toda extensão do litoral brasileiro (Rios, 2009). Porém, sua condição de espécie exótica foi responsável pela proibição do cultivo em alguns estados do País. Neste contexto, o conhecimento da origem da espécie no território brasileiro, através de métodos científicos, faz-se necessária e, para tanto, técnicas moleculares e arqueológicas são ferramentas aplicáveis na tentativa de esclarecer esta questão.

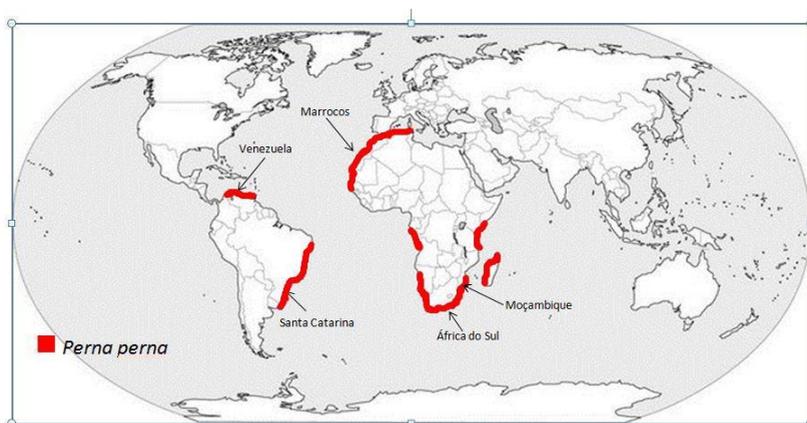


Figura 1 - Distribuição mundial do mexilhão *Perna perna*.

Todos os organismos estão sujeitos a mutações como resultado de operações celulares normais ou interações com o meio ambiente, levando-os à variação genética (Liu e Cordes, 2004). Genes mitocondriais possuem taxas de mutação elevadas. Isto é atribuído a uma taxa mais rápida de mutação no DNA mitocondrial, que pode ser resultado de uma falta de mecanismos de reparação durante o processo de replicação (Wilson et al., 1985) e menor tamanho de população efetiva, devido à herança estritamente materna do genoma haplóide mitocondrial (Birk et al., 1989). Utilizando bancos de dados, é possível selecionar sequências de genes para comparar com as análises moleculares realizadas experimentalmente. Em estudo com o gênero *Perna*, Folmer et al. (1994) encontraram genes mitocondriais de aproximadamente 650 pares de base da subunidade I da Citocromo C Oxidase (COI). Este gene tem permitido realizar estudos filogenéticos comparativos.

Outra ferramenta que pode auxiliar na discussão sobre a condição de invasora da espécie é a datação com C^{14} . Muitos trabalhos, como os de Vellanoweth, 2001; Takada et al., 2003; Rick et al., 2005; Wanamaker Jr et al., 2008; Kilada et al., 2009; Cooper e Thomas, 2011, vêm aplicando esta técnica em conchas de moluscos ao redor do planeta. Na datação com radiocarbono, a espectrometria de massa com aceleradores (AMS) vem ganhando destaque no mundo da pesquisa, por se tratar de uma metodologia mais atual e apresentar resultados com níveis de confiança mais elevados. A aplicação desta técnica em conchas de

Perna perna, encontradas em sítios arqueológicos do Brasil pode auxiliar na pesquisa sobre a condição de nativa ou exótica desta espécie.

Este trabalho teve como objetivo contribuir para a compreensão da origem da espécie *Perna perna* no litoral brasileiro, utilizando técnicas moleculares e datação com C^{14} em conchas coletadas em sítio arqueológico, além da consulta à bibliografia existente sobre malacofauna arqueológica brasileira.

2. Materiais e Métodos

2.1 Presença de *Perna perna* em sítios arqueológicos

Foi realizado levantamento bibliográfico a fim de encontrar citações da espécie *Perna perna* ou sinonímias em registros arqueológicos ao longo do território brasileiro que tenham sido ou não datados com C^{14} .

2.2 Datação com C^{14} de fragmentos de conchas

Foi realizado um levantamento da reserva técnica do Museu de Arqueologia e Etnologia Oswaldo Rodrigues Cabral (MARQUE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Após estudar o material contido no acervo, foram coletados fragmentos e conchas do mexilhão *Perna perna* do Sítio Arqueológico Rio do Meio (Figura 2).



Figura 2 - Coleta do material malacológico. Legenda: a- bloco coletado em sua condição original de compactação; b – bloco de conchas de *Perna perna* fragmentadas parcialmente separado; c – conchas em estágio avançado de separação; d – conchas selecionadas e pré-tratadas.

O sítio Rio do Meio (Figura 3-A) localizava-se na região noroeste de Florianópolis/Santa Catarina – Brasil, junto à parte média da praia de Jurerê, em terreno pertencente à Marinha do Brasil. O sítio recebeu este nome da população local em alusão a um rio que cortava a região, hoje aterrado. O acervo malacológico do sítio Rio do Meio foi reunido a partir das escavações sistemáticas realizadas entre os anos de 1986 e 1989, coordenadas pela arqueóloga do MARquE, Teresa Domitila Fossari.

As escavações revelaram que este sítio apresentou duas unidades arqueológicas espacialmente isoladas por um intervalo de 58 metros que foram denominadas Área I (27°26'23''S e 48°29'56''W) e Área II (27°26'26''S e 48°29'58'' W). Morfologicamente, ambas as Áreas estavam estruturadas por sucessivas camadas de sedimentos arenosos, intercalados por estratos de conchas associadas a outros vestígios arqueológicos, como fragmentos de cerâmica, cinza e carvão. Em termos culturais, ambas as unidades preservaram vestígios cerâmicos produzidos por grupos vinculados a uma mesma tradição cultural, ou seja, a pré-colonial Jê. Os grupos pré-coloniais Jê, provavelmente, passaram a ocupar terras do litoral catarinense a partir de 1.000 anos B.P.

Duas amostras (I e II) de conchas, uma de cada área, foram coletadas para análise. A amostra I foi coletada da base da área I, ou seja, da parte mais profunda do sítio e a amostra II foi coletada no nível 3 da área II. Após a coleta, as amostras foram analisadas pela empresa Beta Analytic Inc. (Miami, EUA) utilizando a técnica de Acelerador de Espectrometria de Massa (AMS) para a datação por C^{14} . O ponto de calibração (ΔR) para as duas amostras foi de 117. Diferentemente dos demais trabalhos que realizaram a datação de sítios arqueológicos brasileiros, este trabalho utilizou conchas da espécie *Perna perna* ao invés de carvão, para a datação por radiocarbono.

2.3 Análise Molecular

Mexilhões da espécie *Perna perna* foram coletados junto ao cultivo experimental do Laboratório de Moluscos Marinhos (Figura 3-B) da Universidade Federal de Santa Catarina (LMM-UFSC), na praia do Sambaqui-Florianópolis/SC (27°49'23''S e 48°53'47''W), para ser realizado o sequenciamento do gene mitocondrial Citocromo Oxidase subunidade I (COI).

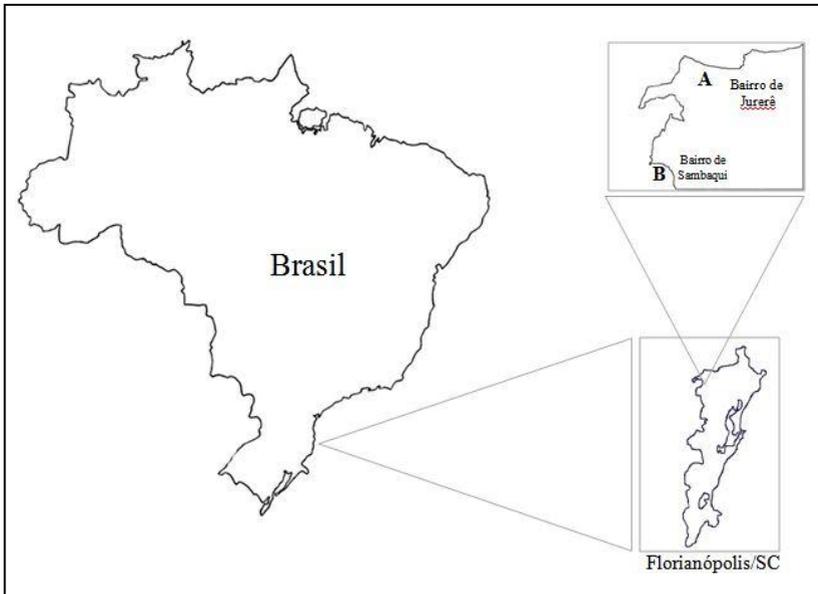


Figura 3 - Localização do sítio arqueológico Rio do Meio (A) e da praia do Sambaqui (B) em Florianópolis/SC, Brasil.

2.3.1 PCR, clonagem e sequenciamentos das amostras

O DNA total dos animais foi extraído, a partir da glândula digestiva, utilizando o Kit DNeasy Tissue Kit (Quiagen, Austrália). Aproximadamente 620pb do gene foram amplificadas utilizando os primers LCO1490, 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3' e HCO2198, 5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3'.

As reações de PCR foram realizadas contendo 20ng de DNA total, 0,5μM de cada primer, 200μM de cada dNTP, 5μl de solução-Q (Quiagen, Austrália), 1x Qiagen PCR buffer em 25μl de volume de reação. A desnaturação inicial de 2 minutos a 94°C foi seguida por 35 ciclos de 94°C por 30 segundos, 50°C por 30 segundos, 72°C por 1 minuto e uma extensão final a 72°C por 5 minutos.

Os produtos de PCR foram separados em gel de agarose 2% e purificados utilizando o kit MinElute Gel Extraction Kit (Quiagen, Austrália). Após a purificação o inserto foi ligado ao vetor pGEM-TM Easy (Promega, Estados Unidos), com posterior transformação em bactérias cálcio competentes DH5α. As bactérias transformadas foram aplicadas em placa de ágar 35g/L (LB Agar- Sigma) contendo

ampicilina (100mM), IPTG (0,5mM) e X-GAL (50mM) por um período de 18 horas a 37° C para o crescimento das colônias. As colônias de cor branca foram repicadas para meio de cultura líquido 20g/L (LB Broth - Sigma) contendo 100mM de ampicilina e mantidas durante 18 horas a 37° C em agitação constante (140rpm). A extração plasmidial para sequenciamento foi realizada através de lise alcalina das colônias crescidas em 1mL de meio líquido nas mesmas condições descritas anteriormente, utilizando o kit QIAprep® Spin Miniprep Kit (QIAGEN, Alemanha). As amostras foram sequenciadas no sequenciador 3130 Genetic Analyzer® (Applied Biosystem, HITACHI). Todas as análises moleculares foram realizadas no Laboratório de Biomarcadores de Contaminação Aquática e Imunoquímica (LABICAI-UFSC).

2.3.2 Inferência filogenética

Para comparação, sequências do gene COI de *P. perna* de outras regiões do planeta foram coletadas no NCBI. As sequências selecionadas (Tabela 1) foram alinhadas usando o Clustal W, implementado no programa MEGA v. 4.0 (Tamura et al., 2007) utilizando as configurações padrão do software. O alinhamento ocorreu de forma simples e nenhum par de bases foi excluído das sequências.

Tabela 1- Caracterização das sequências utilizadas.

| Espécie | Localização | Código | GenBank# |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|
| <i>Perna perna</i> | Leste da África do Sul | AF1 | DQ917618 |
| | Leste da África do Sul | AF2 | DQ917617 |
| | Leste da África do Sul | AF3 | DQ917616 |
| | Cumaná, Venezuela | VZL1 | DQ917588 |
| | Cumaná, Venezuela | VZL2 | DQ917587 |
| | São Paulo, Brasil | SP1 | DQ917592 |
| | São Paulo, Brasil | SP2 | DQ917592 |
| | Santa Catarina, Brasil | SC1 | - |
| | Santa Catarina, Brasil | SC2 | - |
| <i>Mytilus edulis</i> | Reino Unido | Myt1 | DQ917606 |
| | Reino Unido | Myt2 | DQ917605 |
| | Wellington, Nova Zelândia | Aul1 | DQ917614 |
| <i>Aulacomya atra maoriana</i> | Wellington, Nova Zelândia | Aul2 | DQ917615 |

A inferência filogenética das sequências foi realizada por análises de neighbor-joining (NJ) e maximum-likelihood (ML) utilizando o software MEGA v. 5.0 (Tamura et al., 2011). Na análise NJ foi utilizado o modelo Kimura 2-parameter. O teste para a presença de relógio molecular foi executada (Ho: há presença de relógio molecular) usando o método ML. Todas as posições que continham “gaps” ou dados faltantes foram excluídas.

Valores de bootstrap foram calculados com 1000 replicações em todas as análises.

2.3.3 Cálculo da divergência genética

A divergência genética foi realizada utilizando o pacote de softwares BEAST (Drummond et al., 2012). O estudo foi baseado em arquivo gerado utilizando com a interface 'BEAUTI' e as configurações usadas foram as padrões, exceto para os valores dos seguintes parâmetros: menu Data - datas especificadas como anos antes do presente (BP); menu Modelo - frequência de bases estimada, local de heterogeneidade como modelo gama. Taxa média de substituição, modelo de relógio molecular estrito; menu de Priors - árvore antes: especiação Yule.

Na análise de Monte Carlo em cadeias de Markov após a geração de 1.000.000 gerações, 10.000 amostras foram coletadas a cada 100 gerações. O ponto de calibração usado foi de 3.5 milhões de anos (MY) baseado no ponto de divergência entre populações do atlântico norte de *Mytilus trossulus* e *Mytilus edulis* de acordo com Wares e Cunningham (2001) e Riginos et al. (2004).

A convergência posterior foi avaliada utilizando o software Tracer 1.4, concatenando-se as quatro corridas em uma árvore final com as idades dos nós estimadas como a média do valor de densidade mais elevada posterior a 95% (HPD).

3. Resultados e Discussão

3.1 Bibliografia arqueológica

O levantamento bibliográfico revelou a citação da espécie *Perna perna* e suas sinônimas em diversos sítios arqueológicos da costa brasileira, sendo que muitos desses estudos não fazem referência à idade dos sítios (Tabela 2).

Tabela 2 - Trabalhos que citam a presença de *Perna perna* em sítios arqueológicos não datados do litoral brasileiro.

| Referência | Espécie | Sítio | Região |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------|
| Leonardos, 1938 | <i>Mytilus perna</i> | Cotia-Pará | Cubatão/SP |
| Leonardos, 1938 | <i>M. perna</i> | Vila | Torres/RS |
| Leonardos, 1938 | <i>M. perna</i> | Mampituba | Torres/RS |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Lagoa da Figueirinha | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Campo Bom | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Arroio da Cruz | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Morro Grande | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Olho d'Água | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Ponta do Morro | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Arroio da Cruz de Dentro | Jaguaruna/SC |
| Rohr, 1969 | <i>M. perna</i> | Ilhota da Ponta do Morro | Jaguaruna/SC |
| Kneip, 1977 | <i>Perna perna</i> | Forte | Cabo Frio/RJ |

Entre os trabalhos encontrados, Kneip (1977) cita a presença de grande quantidade da espécie *Perna perna* no Sambaqui do Forte, município de Cabo Frio/RJ. A autora ainda relata que a presença das conchas da espécie, apesar de muito fragmentadas, provam a grande importância desse mexilhão na alimentação das populações humanas nativas daquele Sambaqui.

Mytilus perna, hoje *P. perna* (Siddall, 1980) foi encontrado nos Sambaquis de Cotia-Pará, Cubatão-SP e sambaqui da Vila, na cidade de Torres/RS (Leonardos, 1938). Na região de Santa Catarina são vários os sambaquis em que *Mytilus* foram encontrados, dentre eles, pode-se citar os sambaquis nas localidades de Lagoa da Figueirinha, Campo Bom, Arroio da Cruz, Morro Grande, Arroio da Cruz de Dentro, Olho d'Água e Ponta do Morro (Rohr, 1969).

3.2 Datação com C^{14}

A datação das conchas do sítio arqueológico do norte da Ilha de Santa Catarina por C^{14} via AMS revelou idade dos fragmentos das

conchas da área I de 780 ± 30 BP e área II de 720 ± 30 BP, respectivamente (Tabela 3). Os resultados apontam a presença de *Perna perna* no litoral brasileiro antes mesmo do descobrimento do País no ano de 1500, indicando que estes animais faziam parte da dieta das populações humanas nativas do Brasil.

Tabela 3 - Resultados da datação por C¹⁴.

| Amostra | Pré-tratamento | Idade | ΔR | Idade convencional |
|---------|----------------|----------------|------------|--------------------|
| I | Ácido | 450 ± 30 BP | 117 | 780 ± 30 BP |
| II | Ácido | 350 ± 30 BP | 117 | 720 ± 30 BP |

Estudos realizados por renomados arqueólogos brasileiros suportam os resultados encontrados (Tabela 4). Estes trabalhos (PIAZZA, 1966; HURT, 1974; ROHR, 1977; KNEIP, 1994) citam que o marisco estava presente em sambaquis do sul e sudeste do Brasil no período pré-descobrimto.

Os sítios, alguns inclusive sem interferência antrópica recente, apontaram representativa presença de conchas de mariscos. Nesta linha é possível relacionar o Sambaqui de Ponta das Almas (Leste da ilha de Santa Catarina/Santa Catarina - Brasil) estudado em 1966 por Hurt (1974) em que conchas de *Mytilus perna*, hoje *Perna perna* (Siddall, 1980), foram encontradas em um estrato de 0,60 m datado por radiocarbono em 3620 ± 100 BP ou seja, 1627 a.C.. Piazza (1966) encontrou quantidades relevantes de *Mytilus*, hoje *Perna* (Siddall, 1980), no sambaqui de Espinheiros I (Joinville/Santa Catarina - Brasil), que foi datado em 970 a.C.

Tabela 4 – Trabalhos que citam a presença de *Perna perna* em sítios arqueológicos datados do litoral brasileiro.

| Referência | Espécie | Sítio | Região | Material datado | Datação |
|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------------------|----------------|
| Trabalho atual | <i>Perna perna</i> | Rio do Meio I | Florianópolis/SC | Concha | 720 ± 30BP |
| Trabalho atual | <i>P. perna</i> | Rio do Meio I | Florianópolis/SC | Concha | 780 ± 30BP |
| Piazza, 1966 | <i>Mytilus perna</i> | Espinheiros I | Joinville/SC | Carvão | 970 a.C. |
| Hurt, 1974 | <i>M. perna</i> | Ponta das Almas | Florianópolis/SC | Carvão | 1627 a.C. |
| Rohr, 1977 | <i>M. perna</i> | Pântano do Sul | Florianópolis/SC | Carvão | 1722 a.C. |
| Rohr, 1977 | <i>M. perna</i> | Pântano do Sul | Florianópolis/SC | Carvão | 1837 a.C. |
| Rohr, 1977 | <i>M. perna</i> | Pântano do Sul | Florianópolis/SC | Carvão | 2447 a.C. |
| Kneip, 1994 | <i>Perna perna</i> | Moa | Saquarema/RJ | Carvão | 1597 a.C. |
| Kneip, 1994 | <i>P. perna</i> | Moa | Saquarema/RJ | Carvão | 1947 a.C. |

No Sambaqui do Moa (Saquarema/RJ-Brasil) foram encontradas conchas de *Perna perna* nas duas camadas estudadas, datadas por radiocarbono: Camada I, 1597 a.C., camada II, 1947 a.C. (Kneip, 1994). A autora ainda completa que evidências demonstram que os habitantes do sambaqui de Moa, coletavam *P. perna* de maior porte em pequenas quantidades e também explica que devido à fragilidade da concha de *P. perna*, esta normalmente se encontra fragmentada, fato que dificulta sua identificação e que talvez explique a ausência de mais citações da espécie em outros trabalhos. A concha de *Perna perna* é muito menos resistente à compactação do que conchas de ostras e berbigões.

Considerado como “maior escavador brasileiro”, o padre João Alfredo Rohr cita em 1977 a presença de *Mytilus perna* (hoje *P. perna*) no sítio Pântano do Sul (Florianópolis), que teve algumas faixas datadas naquela época em 3.735, 3.850 e 4.460 anos.

3.3 Inferência filogenética

Os resultados apontam uma clara distinção das populações estudadas, ficando evidente a diferenciação dos táxons africanos e sul-americanos nos cladogramas originados pelos três métodos (Figura 5).

Os valores de bootstraps variaram bastante nos três modelos. Valores altos de bootstraps (91-100) foram encontrados na árvore de ML, exceto pelo valor 68 encontrado no modelo. Já no modelo NJ os valores de bootstraps ficaram em uma faixa alta (98-100) exceto pelo ponto de divergência entre os ramos das populações venezuelanas e africanas, onde o valor foi 52.

A hipótese de presença de relógio molecular foi comprovada ($p > 0,05$). Isto significa que a metodologia prevista pode ser aplicada.

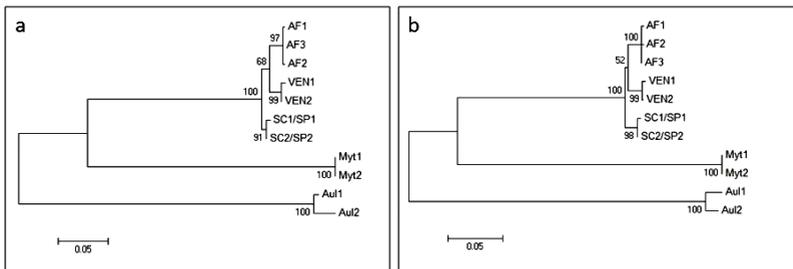


Figura 4 - Árvores filogenéticas geradas: a - Maximum Likelihood, b - Neighbor Joining. Legenda: AF1, AF2 e AF3 – Sequências africanas, VEN1 E VEN2 – Sequências venezuelanas, SC1/SP1, SC2/SP2 – Sequências brasileiras, Myt1 e Myt2 – Sequências do gênero *Mytilus*, Aul1 e Aul2 – Sequências de *Aulacomya atra* amoriana. Valores de Bootstrap foram calculados com 1000 repetições.

3.4 Tempo de divergência

O tempo de divergência encontrado entre as populações africanas e populações sul-americanas foi de aproximadamente 200 mil anos (Figura 5). Os resultados encontrados estão de acordo com os encontrados por Wood et al. (2007) em que o tempo de divergência entre populações brasileiras e africanas do mexilhão *Perna perna* estaria entre 0,17 e 0,57 milhões de anos.

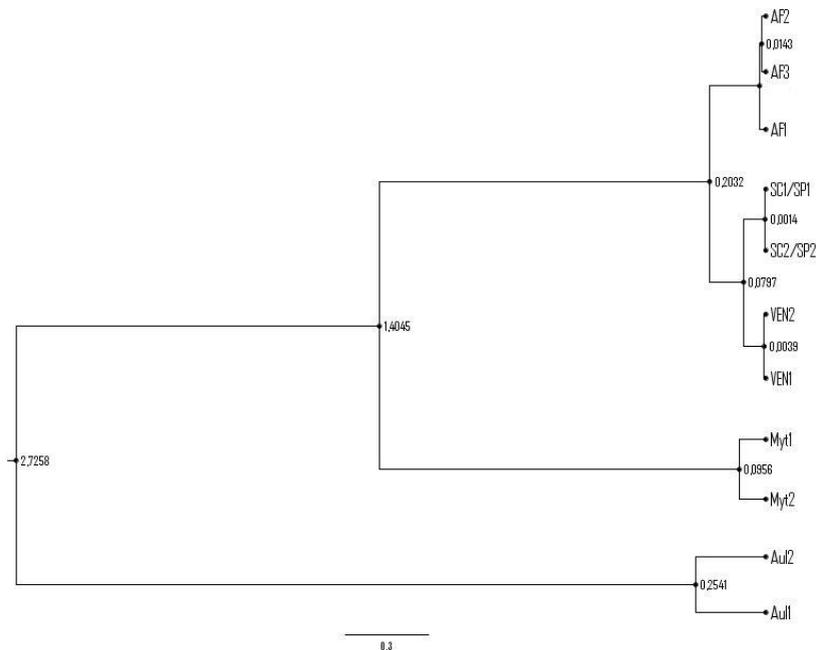


Figura 5 - Cladograma do cálculo do tempo de divergência entre as populações. Legenda: AF1, AF2 e AF3 – Sequências africanas, VEN1 E VEN2 – Sequências venezuelanas, SC1/SP1, SC2/SP2 – Sequências brasileiras, Myt1 e Myt2 – Sequências do gênero *Mytilus*, Aul1 e Aul2 – Sequências de *Aulocomya atra* amoriana. Valores dados em milhões de anos.

Holland (2001) avaliando populações de *P. perna* no Golfo do México utilizando microsatélites verificou que a população de mexilhões brasileira apresentou diferenças significativas das populações africanas, sendo colocada filogeneticamente próxima de populações

americanas, como a mexicana e venezuelana, e distante das populações africanas.

Estudo realizado por Rius e McQuaid (2009) indica que a sobrevivência da espécie *P. perna* em zonas médias está fortemente relacionada com a densidade dos animais. O estudo aponta que em densidades abaixo de 25 animais por metro quadrado, a sobrevivência de mexilhões adultos cai se comparada com áreas com o dobro da densidade. Estes resultados fragilizam a hipótese de que a colonização da espécie no Brasil tenha se dado a partir de poucos animais incrustados em cascos de navios negreiros durante o século XVI, uma vez que a densidade seria baixa.

Outro fator importante é a baixa presença de outros mitilídeos exclusivamente marinhos na costa brasileira. Os mitilídeos são importantes componentes, estruturando o litoral rochoso em todos os continentes. Mesmo que tivesse ocorrido uma colonização tardia de *Perna perna* no litoral brasileiro, seria comum encontrar outros mitilídeos marinhos ao longo da costa, uma vez que *P. perna* apresenta dificuldades de habitar zonas rochosas mais profundas, (Bownes e McQuaid, 2006; Rius e McQuaid, 2009) o que diminuiria a pressão competitiva sobre outras possíveis espécies nativa.

Além dos argumentos supracitados, outros pontos ainda podem ser abordados na discussão para se compreender a origem do mexilhão no Brasil. Entre estes pontos, as relações da fauna nativa associada e dependente do microambiente fornecido pelas populações naturais de mexilhão, reconhecido bioatrator de diversidade, devem ser citadas. Outro ponto importante é a relação hospedeiro-parasita que ocorre entre o *Perna perna* e seus patógenos nativos. Estas relações não se estabelecem em períodos de tempo curto como o sugerido e sim ao longo de milhares de anos de coexistência.

4. Conclusão

Baseado nos resultados arqueológicos encontrados, datação de C¹⁴ e biologia molecular, suportados pela literatura científica clássica e recente, fica clara a condição de nativa da espécie *Perna perna* no litoral brasileiro, estando presente antes do descobrimento do País pelos europeus.

5. Referências bibliográficas do artigo científico.

- Birky, C.W.; Fuerst, P.; Maruyama, T., 1989. Organelle gene diversity under migration, mutation, and drift: equilibrium expectations, approach to equilibrium, effect of heteroplasmic cells, and comparison to nuclear genes. *Genetics* 121, 613-627.
- Ferreira, J.F.; Magalhães, A.R.M., 2004. Cultivo de mexilhões. In: Poli, A.T.B.; Andreatta, E.; Beltrame, E. (Eds.), *Aquicultura - Experiências Brasileiras*. Multitarefa., Florianópolis, pp. 221-250.
- Fernandes, F.C., 2008. Distribuição mundial e o impacto de sua introdução no Brasil, In: Resgalla-Junior, C., Weber, L.I. Conceição, M.B. (Eds.), *O mexilhão *Perna perna* (L.)*. Interciência., Rio de Janeiro, pp. 27-30.
- Bownes, S.J., McQuaid, C.D., 2006. Will the invasive mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamarck replace the indigenous *Perna perna* L. on the south coast of South Africa? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 338, 140–151.
- Cooper, J., Thomas, K.D., 2012. Constructing Caribbean Chronologies: Comparative Radiocarbon Dating of Shell and Wood Artefacts From Pre-Columbian Sites in Cuba. *Archaeometry* 54, 401–425.
- Drummond, A.J., Suchard, M. a, Xie, D., Rambaut, A., 2012. Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. *Molecular Biology and Evolution* 29, 1969–73.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., Vrijenhoek, R., 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology* 3, 294–9.
- Freitas, M.O., Velastin, R., 2010. Ictiofauna associada a um cultivo de mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) Norte Catarinense, Sul do Brasil. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 32, 31–37.
- Hicks, D.W., McMahon, R.F., 2002. Respiratory responses to temperature and hypoxia in the nonindigenous Brown Mussel, *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae), from the Gulf of Mexico. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 277, 61–78.

- Holland, B., 2001. Invasion without a bottleneck: microsatellite variation in natural and invasive populations of the brown mussel *Perna perna* (L). *Marine Biotechnology* 3, 407–415.
- Hulme, P.E., 2009. Trade, transport and trouble: managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46, 10–18.
- Kilada, R., Campana, S., Roddick, D., 2009. Growth and sexual maturity of the northern propellerclam (*Cyrtodaria siliqua*) in Eastern Canada , with bomb radiocarbon age validation. *Marine Biology* 156, 1029–1037.
- Liu, Z.J., Cordes, J.F., 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. *Aquaculture* 238, 1–37.
- Mack, R., Simberloff, D., Lonsdale, W., Evans, H., Clout, M., Bazzaz, F., 2000. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10, 689–710.
- McGeoch, M. a., Butchart, S.H.M., Spear, D., Marais, E., Kleynhans, E.J., Symes, A., Chanson, J., Hoffmann, M., 2010. Global indicators of biological invasion: species numbers, biodiversity impact and policy responses. *Diversity and Distributions* 16, 95–108.
- Rick, T.C., Vellanoweth, R.L., Erlandson, J.M., 2005. Radiocarbon dating and the “old shell” problem: direct dating of artifacts and cultural chronologies in coastal and other aquatic regions. *Journal of Archaeological Science* 32, 1641–1648.
- Riginos, C., Hickerson, M.J., Henzler, C.M., Cunningham, C.W., 2004. Differential patterns of male and female mtDNA exchange across the atlantic ocean in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Evolution* 58, 2438–2451.
- Rius, M., McQuaid, C.D., 2009. Facilitation and competition between invasive and indigenous mussels over a gradient of physical stress. *Basic and Applied Ecology* 10, 607–613.
- Ruiz, G., Carlton, J., Grosholz, E., Hines, A., 1997. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. *Am. Zool.* 37, 621–632.

- Salomão, L.C., Magalhães, A.R.M., Luneta, J.E., 1980. Influência da salinidade na sobrevivência de *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). *Boletim de Fisiologia Animal* 4, 143–152.
- Siddall, S.E., 1980. A clarification of the genus *Perna* (mytilidae). *Bulletin of Marine Science* 30, 858–870.
- Souza, R.C.C.L. De, Fernandes, F.C., Silva, E.P., 2003. 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* 3–24.
- Souza, R.C.C.L. De, Trindade, D.C., Decco, J. De, Lima, T. a., Silva, E.P., 2010. Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil. *Zoologia (Curitiba, Impresso)* 27, 363–371.
- Takada, M., Tani, A., Miura, H., Moriwaki, K., Nagatomo, T., 2003. ESR dating of fossil shells in the L utzow-Holm Bay region , East. *Quaternary Science Reviews* 22, 1323–1328.
- Tamura, K., Dudley, J., Nei, M., Kumar, S., 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Molecular Biology and Evolution* 24, 1596–1599.
- Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Nei, M., Kumar, S., 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. *Molecular Biology and Evolution* 28, 2731–2739.
- Vellanoweth, R.L., 2001. AMS Radiocarbon Dating and Shell Bead Chronologies : Middle Holocene Trade and Interaction in Western North America. *Journal of Archaeological Science* 28, 941–950.
- Wanamaker Jr, A.D., Heinemeier, J., Scourse, J.D., Richardson, C.A., Butler, P.G., Eiríksson, J., Luise, K., 2008. Very long-lived mollusks confirm 17th century ad tephra-based radiocarbon reservoir ages for north icelandic shelf waters. *Radiocarbon* 50, 399–412.
- Wares, J.P., Cunningham, C.W., 2001. Phylogeography and historical ecology of the north atlantic intertida. *Evolution* 55, 2455–2469.

Wood, A.R., Apte, S., MacAvoy, E.S., Gardner, J.P. a, 2007. A molecular phylogeny of the marine mussel genus *Perna* (Bivalvia: Mytilidae) based on nuclear (ITS1&2) and mitochondrial (COI) DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 44, 685–98.

6. Referências bibliográficas da introdução geral

BIRKY, C.W.; FUERST, P.; MARUYAMA, T. Organelle gene diversity under migration, mutation, and drift: equilibrium expectations, approach to equilibrium, effect of heteroplasmic cells, and comparison to nuclear genes. **Genetics**, v. 121, p. 613-627, 1989.

BROWN, W.M. The mitochondrial genome of animals. In: MACINTYRE, R. J. **Molecular Evolutionary Genetics**, Michigan: Plenum Press, 1985, p. 95-130.

CHUNG, K.S.; ACUÑA, A. Upper temperature tolerance limit of Mussel *Perna perna*. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries**, v. 3, n. 47, p.441, 1981.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Síntese Informativa da Maricultura 2012. Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em julho de 2013.

FAGUNDES, L.; HENRIQUES, M. B.; OSTINI, S.; GELLI, V. C. Custos e benefícios da mitilicultura em espinhel no sistema empresarial e familiar. **Informações Econômicas**, v. 27, n. 2, p. 33-47, 1997.

FAO - Food and Agriculture Organization. The State of world Fisheries and Aquaculture 2012. Acesso em março de 2013.

FARIAS, R.F. A química do tempo: carbono-14. **Química nova na Escola**, v. 16, p. 6-8, 2002.

FERNANDES, F.C.; SOUZA, R. C. C. L.; JUNQUEIRA, A. O. R.; RAPAGNÃ, L. C.; RAMOS, A. B. Distribuição mundial e o impacto de sua introdução no Brasil. In: RESGALLA JUNIOR, C.; WEBER, L. I.; CONCEIÇÃO, M. B. **O Mexilhão *Perna perna***. Rio de Janeiro: Interciência, p. 27-30, 2008.

FERREIRA, J.F.; MAGALHÃES, A.R.M. Cultivo de mexilhões. In: POLI, A.T.B.; ANDREATTA, E.; BELTRAME, E. (Org.). **AQUICULTURA - Experiências Brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa, 2004, p. 221-250.

- FERREIRA, J. F.; FERNANDES, W.M.; MAGALHÃES, A.R.M. Crescimento do mexilhão *Perna perna* (Linné, 1758) em sistemas de cultivo em Santa Catarina. In: XII EBRAM – ENCONTRO BRASILEIRO DE MALACOLOGIA. **Anais**. p. 32, 1991.
- FOLMER, O.; BLACK, M.; HOEH, W.; LUTZ, R.; VRIJENHOEK, R. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase sub-unit I from diverse metazoan invertebrates. **Molecular Marine Biology and Biotechnology**, v. 3, p. 294-299, 1994.
- HICKS, D.W.; MCMAHON, R.F. Respiratory responses to temperature and hypoxia in the nonindigenous brown mussel, *Perna perna* (Bivalvia: Mytilidae), from the Gulf of Mexico. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 277, p. 61-78, 2002.
- KLAPPENBACH, M.A. Lista Preliminar de los Mytilidae Brasileños com claves para su determinación y notas sobre su distribución. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIA. **Anais**. v. 37, p. 327-352, 1965.
- KOTZ, J.C.; TREICHEL JUNIOR, P.; TOWNSEND, J. **Chemistry & chemical reactivity**. 8. ed. Stamford: Saunders College Publishing, 2011. 1296 p.
- ROHR, J.A. Sítios arqueológicos de Santa Catarina. **Anais do Museu de Antropologia**, UFSC, Florianópolis. v.17, p. 77-168, 1984.
- LIU, Z.J.; CORDES, J.F. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics. **Aquaculture**, v. 238, n. 1-4, p. 1-37, 2004.
- MARENZI, A.W.C.; BRANCO, J.O. O cultivo do mexilhão *Perna perna* no município de Penha, SC. In: BRANCO, J. O.; MARENZI, A. W. C. (Org.). **Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável**: estudos de caso em Penha, SC. Itajaí: Editora da UNIVALI, 2006. p. 227-244.
- MMA - Ministério Do Meio Ambiente. **A Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB**. Brasília – DF. MMA, 2000.

- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil / Ministério do Meio Ambiente**: LOPES, R. M./IO-USP- Brasília: MMA/SBF, 2009. 440 p.
- MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura 2010. 2012. Disponível em <<http://www.mpa.gov.br>>. Acesso em junho de 2013.
- PAULILO, M.I.S. Maricultura e território em Santa Catarina – Brasil. **Cadernos de Pesquisa – PPGSP – UFSC**, v. 31, p. 1-19, 2002.
- PEZZO, M. Datação por carbono-14. **Univerciência**, v. 2, p. 4-6, 2002.
- RIOS, E C. **Compendium of Brazilian Sea Shells**. Rio Grande: Editora EVANGRAF, 2009. 676p.
- ROCZANSKI, M.; COSTA, S.W.; BOLL, M.G.; OLIVEIRA NETO, F.M. A evolução da aquicultura no estado de Santa Catarina - Brasil. In: AQUICULTURA BRASIL 2000: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA; IV ENCONTRO SULBRASILEIRO DE AQUICULTURA; V ENCONTRO CATARINENSE DE AQUICULTURA; II FESTIVAL NACIONAL DA OSTRÁ E DA CULTURA AÇORIANA. 2000, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: ABRAq, 2000. CD-ROM.
- SALOMÃO, L.C., MAGALHÃES, A.R.M. & LUNETTA, J.E. Influência da salinidade na sobrevivência de *Perna perna* (Mollusca: Bivalvia). **Boletim de Fisiologia Animal**, v. 4, p. 143-152, 1980.
- SCHAEFER, A.L.C.; MAGALHÃES, A.R.M.; FOSSARI, T. Evidências da presença do mexilhão *Perna perna* (Linnaeus, 1758) em Sambaquis pré-coloniais brasileiros. In: XXI ENCONTRO BRASILEIRO DE MALACOLOGIA. **Anais**. Rio de Janeiro, 2009.
- SEAP (Secretaria Aquicultura e Pesca). **Estatística da Aquicultura e Pesca no Brasil -Ano 2005**.
- Disponível em: <<http://www.mpa.gov.br/>>. Acesso em: janeiro de 2013.
- SIDALL, S.E.A. Clarification of the genus *Perna* (Mytilidae). **Bulletin of Marine Science**, v. 4, n. 30, p. 858-870, 1980.

SOUZA, R.C.C.L.; FERNANDES, F.C.; 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.

SOUZA, R.C.C.L.; FERNANDES, F.C.; SILVA, E.P. Distribuição atual do mexilhão *Perna perna* no mundo: um caso recente de bioinvasão. In: SILVA, J.S.V.; SOUZA, R.C.C.L. (Eds.). **Água de lastro e bioinvasão**. Rio de Janeiro: Interciência. 2004. p. 157-172.

SOUZA, R.C.C.L.; FERNANDES, F.C.; SILVA, E.P. Sambaquis: Baú de preciosas informações. **Ciência Hoje**, v. 36, n. 214, p. 72-74, 2005.

SOUZA, R.C.C.L.; TRINDADE, D. T.; DECCO, J.; LIMA, T. A.; SILVA, E. P. Archaeozoology of marine mollusks from Sambaqui da Tarioba, Rio das Ostras, Rio de Janeiro, Brazil. **Zoologia**, v. 27, n. 3, p. 363–371, 2010.

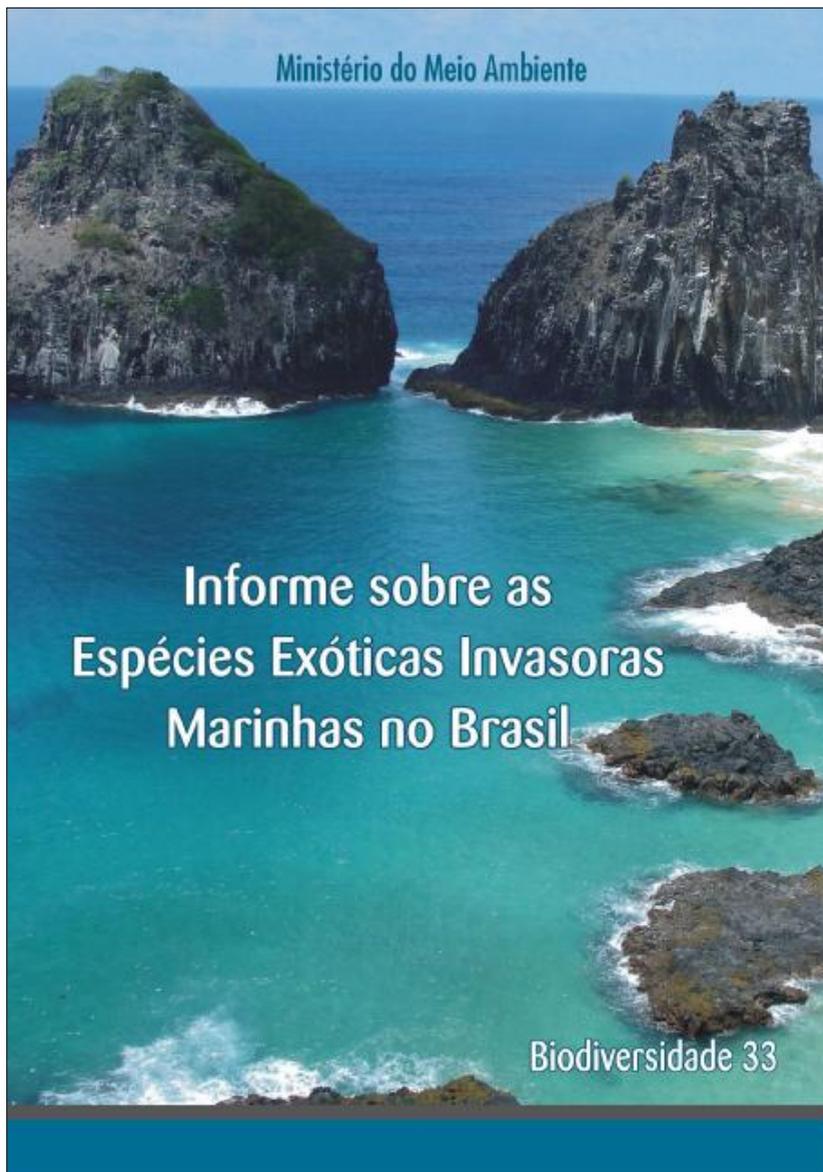
VELEZ, A.; EPIFÂNIO, C.E. Effects of temperature and ratio on gametogenesis and growth in the tropical mussel *Perna perna*. **Aquaculture**, v. 22, p. 21-26, 1981

WILSON, A.C; CANN, R.L; CARR, S.M; GEORGE, M; GYLLENSTEN, U.B; HELM-BYCHOWSKI, K M; HIGUCHI, R.G; PALUMBI, S.R; PRAGER, E.M. Mitochondrial DNA and two perspectives on evolutionary genetics. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 26, p. 375–400, 1985.

WOOD, A.R; APTE, S; MACAVOY, E.S; GARDNER, J.P.A.A Molecular phylogeny of the marine mussel genus *Perna* (Bivalvia: Mytilidae) based on nuclear (ITS1&2) and mitochondrial (COI) DNA sequences. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 44, n. 2, p. 685-698, 2007.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I - Lista de espécies exóticas da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB).



PERNA PERNA (LINNAEUS, 1758)

Foto: Maria Augusta G. Pereira-Silva

Reino: Animalia**Filo:** Mollusca**Classe:** Bivalvia**Ordem:** Mytiloidea**Família:** Mytilidae**Gênero:** Perna**Espécie:** *P. perna*

Sinonímia: *Chloromya perna*, *Mya perna*, *Mytilus afe* Gmelin 1791.
Mytilus africanus Chemnitz 1785.
Mytilus elongatus Lamarck 1817.
Mytilus perna, *Mytilus pictus* Born 1780.
Mytilus venezolanus Andreu 1965.
Perna indicata Kuriakose and Nair.
Perna picta, *Perna indica* (Born).
 Fonte: <http://www.invasivespecies.net/>

Nome popular

Mexilhão
 Mexilhão marrom
 Marisco
 Brown mussel
 Mussel

Idioma

Português
 Português
 Português
 Inglês
 Inglês

Forma biológica: Molusco; bivalve.**Situação populacional:** Estabelecida.

DESCRIÇÃO DA INTRODUÇÃO

O tráfico negreiro realizado entre os séculos XVIII e XIX pode ter sido o vetor de introdução de *Perna perna* na costa brasileira, que teria chegado incrustado no casco dos navios. Muitos navios negreiros que aportaram na Bahia e Rio de Janeiro vinham de locais da África onde se registra a presença de *P. perna* (Congo, Angola, Moçambique e Tanzânia). No Brasil não foram encontrados registros fósseis consistentes que atestem a existência de *P. perna*. (Souza, 2003; Souza, et. al. 2004).

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Perna perna é um dos maiores mexilhões chegando a atingir 170 mm de comprimento. Apresenta superfície lisa com linhas de crescimento concêntricas, margem ventral estreita e chameira com 1 ou 2 dentes. Periostraco marrom escuro com bandas verde-amareladas próximas a margem ventral. Face interna nacarada de cor roxa (Rios, 1994).

LUGAR DE ORIGEM

Esta espécie é originária da África (Atlântico Oriental), possivelmente Congo, Angola, Moçambique, Tanzânia (Souza, 2003; Souza, et. al. 2004).

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Regiões tropicais e subtropicais dos Oceanos Atlântico e Índico e Mar Mediterrâneo. Esta espécie é reportada como introduzida no Caribe, Golfo do México, Venezuela, Mar Mediterrâneo e Brasil (Grant et al., 1992; Hicks & Tunnel, 1993; Holland et al., 1999; Hicks et al., 2001; Hayes & Silwa, 2003; Souza, 2003; Souza, et. al. 2004).

ECOLOGIA

HABITAT

Esta espécie é encontrada em substratos consolidados naturais e artificiais. *Perna perna* é um bivalve encontrado, habitualmente em substratos consolidados de águas litorais e sublitorais rasas de oceanos subtropicais. Esta espécie forma densas populações ao longo dos costões desde as regiões entre-marés até uma profundidade de 10 metros, podendo ser encontrada aderida aos cascos de embarcações, plataformas de petróleo, bóias de navegação, ancoradouros ou em qualquer outro local que lhe sirva de substrato. (Fernandes, 1981; Fernandes, 1985; Souza, 2003; Rapagnã, 2004; <http://nis.gsmfc.org/>; <http://www.serc.si.edu/>).

ABUNDÂNCIA

Esta espécie pode atingir altas densidades em costões rochosos e em substratos artificiais. Na década de oitenta foram encontradas densidades de 769 ind./225 cm² na Baía de Guanabara (RJ) (Torres 1983). Também na década de oitenta, em Arralal do Cabo (RJ), a espécie apresentava densidade máxima de 100 ind./900cm² (Fernandes, 1981), enquanto que, no mesmo local, na década atual, apresenta densidade máxima de 862 indivíduos 900cm² (Rapagnã, 2004).

COMPORTAMENTO/ECOFISIOLOGIA

Como outras espécies da família, este mexilhão também é eurihalino e euritérmico, suportando salinidades que variam numa faixa de 19 a 44 e temperatura de 21 a 28°C (Velez & Epifânio, 1981; Hicks & McMahon, 2002). Na fase inicial da metamorfose, a temperatura e salinidade ótima variam entre 10-30°C e 30,9-32,1 respectivamente (<http://www.invasivespecies.net/>).

REPRODUÇÃO E DISPERSÃO

Reprodução sexuada. Esta espécie possui sexos separados, mas não há dimorfismo sexual. É possível fazer distinção de machos e fêmeas durante a fase reprodutiva pela cor diferenciada das gônadas. A coloração das gônadas masculinas é esbranquiçada ou creme e as gônadas femininas possuem uma tonalidade mais alaranjada-avermelhada. A reprodução deste bivalve é por fecundação externa com liberação de óvulos e espermatozoides na coluna de água. Após a fertilização, uma larva veliger é formada (esta fase não dura mais que 1 mês). O período crítico de desenvolvimento se dá durante e após a metamorfose. (Fernandes, 1981; Fernandes, 1985; <http://www.ostras-gigas.com.br/>). Esta espécie apresenta fases larvais planctônicas podendo o processo de dispersão natural se dar através de correntes.

DIETA/MODO DE DISPERSÃO

Suspensívoro.

AMBIENTES PREFERENCIAIS PARA INVASÃO

Marinho costeiro. Estuarino. Substratos consolidados naturais e artificiais.

CONDIÇÕES AMBIENTAIS NO LOCAL DE ORIGEM

Desconhecidas.

PRIMEIRO REGISTRO NO BRASIL

TIPO DE INTRODUÇÃO: Não intencional.

LOCAL: Possivelmente Rio de Janeiro.

DATA: Possivelmente entre os séculos XVIII e XIX.

FONTE: Souza, 2003; Souza *et al.* 2004.

MEIOS DE DISPERSÃO - POTENCIAIS E ATUAIS**ROTAS DE DISPERSÃO**

Potenciais: Desconhecidos.

Atuais: Navegação; aquicultura.

VETORES DE DISPERSÃO

Potenciais: Água de lastro.

Atuais: Aquicultura; correntes marinhas; incrustação.

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA NO BRASIL

LOCAL: Espécie detectada no Rio Grande do Norte (Silveira, 2005) e considerada estabelecida do Espírito Santo ao Rio Grande do Sul (Clarke *et al.*, 2004; Souza *et al.* 2004).

CONTATOS: Rosa Cristina Correla Luz de Souza – rcdsouza@yahoo.com.br; Flávio da Costa Fernandes – flavio@leapm.mar.mil.br

USOS ECONÔMICOS POTENCIAIS E ATUAIS

Esta espécie é largamente utilizada na alimentação humana. O mexilhão tem sido muito coletado na África e na América do Sul, sendo o estado de Santa Catarina o maior produtor de mexilhões do Brasil e da América Latina. Nas décadas de oitenta/noventa eram extraídos da Baía de Guanabara (RJ) cerca de 20 toneladas por mês de mexilhão. Este bivalve é uma boa espécie para cultivo, principalmente, por possuir rápida taxa de crescimento, atingindo o tamanho comercial de 60-80 mm em 6-7 meses. (FEEMA, 1990; Pezzato & Filho, 2000; Poli *et al.*, 2000; <http://nls.gsmfc.org/>; <http://www.ostras-gigas.com.br/>).

IMPACTOS

ECOLÓGICOS

Esta espécie pode ter causado alterações na estrutura das comunidades nativas brasileiras de costões rochosos no passado.

ECONÔMICOS

Esta espécie incrusta em substratos consolidados artificiais sendo um componente importante das bioincrustações. Cascos de navios, plataformas de petróleo, entre outros substratos consolidados disponíveis no ambiente marinho, podem ficar totalmente cobertos por mexilhões o que causa a corrosão dos metais e um aumento nos custos de manutenção.

Podem acarretar prejuízos às atividades marítimas, aumentando o arrasto de embarcações e conseqüentemente os gastos com combustível. (Whoi, 1952). Em instalações fixas, tais como plataformas, a incrustação estimula a corrosão, aumenta a massa da instalação e confere uma distorção da configuração inicial da estrutura. Em instalações flutuantes e bóias de navegação, a bioincrustação atua aumentando o peso e reduzindo a flutuabilidade, entupindo orifícios ou tubulações (Champ & Lowenstein, 1987, Hicks and Tunnel, 1995).

NA SAÚDE

Há a possibilidade de uma toxinfecção humana através da ingestão de mexilhões contaminados por microorganismos patógenos (Archer & Moretto, 1994) e metais pesados (Rezende & Lacerda, 1986).

SOCIAIS E CULTURAIS

Desconhecidos no mundo e no Brasil.

ANÁLISE DE RISCO DA INTRODUÇÃO

Desconhecida no mundo e no Brasil.

ANÁLISE DE RISCO DA INVASÃO

Desconhecida no mundo e no Brasil.

PREVENÇÃO

EM ÂMBITO MUNDIAL: Implantar medidas de gestão e controle conforme preconizado na Convenção de Água de Lastro da IMO (Organização Marítima Internacional); Seguir regulamentação que rege a importação de organismos para maricultura (quarentena).

NO BRASIL: Cumprir a NORMAM 20, incluindo a troca de água de lastro pelos navios e a inspeção nos portos; Implantar programas de monitoramento ambiental.

Prevenção, controle e fiscalização de atividades de maricultura.

Não existem, entretanto, diretrizes internacionais para prevenção da introdução através de bioincrustação.

CONTROLE

MECÂNICO: Temperatura: exposição de mexilhões de 9 mm de tamanho a temperaturas de 38°C causou 100% de mortalidade em 120 minutos. A mortalidade é dependente do tamanho/idade, com os mais jovens sendo mais susceptíveis. O aumento da temperatura (até 30°C) afeta diversas atividades fisiológicas como taxa de filtração, atividade do pé e produção do bisco. Esses resultados sugerem que tratamento com calor é uma boa alternativa para a cloração (Rajagopal *et al.*, 1995).

QUÍMICO: Uso de tintas anti-incrustantes.

Mexilhões de 9 mm expostos a uma concentração de cloro residual levaram 384 horas (16 dias) para atingir 100% de mortalidade. Quando expostos a 5 mg/L levaram 84 horas (4 dias). Mexilhões maiores apresentaram maior resistência que os menores (em concentrações de 2 mg/L). Os grupos de tamanhos entre 9 e 34 mm levaram 228 horas (10 dias) e 304 horas (13 dias) respectivamente para atingir 100% de mortalidade (Rajagopal *et al.*, 2003).

BIOLÓGICO: Desconhecido no mundo e no Brasil.

Anexo II - Portaria Nº 125, de 07 de agosto de 2009 do IAP.**PORTARIA Nº 125, DE 07 DE AGOSTO DE 2009.**

Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras para o Estado do Paraná, estabelece normas de controle e dá outras providências.

O Diretor Presidente do Instituto Ambiental do Paraná – IAP, nomeado pelo Decreto nº 077 de 12 de fevereiro de 2007, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei Estadual nº 10.066, de 27 de julho de 1992, com as alterações trazidas pelas Leis nº 11.352, de 13 de fevereiro de 1996 e nº 13.425, de 07 de janeiro de 2002 e de acordo com o seu Regulamento, aprovado pelo Decreto nº 1.502, de 04 de agosto de 1992, e considerando:

- o Artigo 8º da Convenção Internacional sobre Diversidade Biológica, da qual o Brasil é signatário, determina aos países participantes a adoção de medidas preventivas, e medidas de erradicação e controle de espécies exóticas invasoras;
- a Lei Federal nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006 que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, em seu Artigo 3º inciso VIII alínea a, considera de interesse social as atividades imprescindíveis à proteção da integridade da vegetação nativa entre essas a erradicação de espécies exóticas invasoras;
- a Lei Federal nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 - Lei de Crimes Ambientais, em seu Artigo 61, prevê punição para quem “disseminar doença ou praga ou espécies que possam causar dano à agricultura, à pecuária, à fauna, à flora ou aos ecossistemas”;
- o Decreto Federal nº 6.514 de 22 de julho de 2008, em seu Artigo 67, com nova redação no Decreto Federal 6.686 de 10 de dezembro de 2008, prevê multa de cinco mil reais a cinco milhões de reais para os crimes descritos no Artigo 61 da Lei nº 9.605/98;
- a alínea b do Artigo 4º da Lei Federal 4771/65 – Código Florestal considera de interesse público as medidas com o fim de prevenir ou erradicar pragas e doenças que afetam a vegetação florestal;
- a resolução nº 369 de 28 de março de 2006, em seu artigo 2º, inciso II alínea “a”, considera de interesse social a erradicação de invasoras para assegurar a proteção da integridade da vegetação nativa;

Artigo 3º - As espécies exóticas invasoras constantes nos Anexos 1 e 2 foram enquadradas nas seguintes categorias:

Categoria I – espécies que não devem ser cultivadas ou criadas ficando seu uso em qualquer uma das formas não permitidas;

Categoria II - espécies utilizadas em sistema de produção e com valor comercial, que podem ser criadas ou cultivadas em condições controladas sob regulamentação específica;

Parágrafo único – O IAP poderá permitir a criação ou cultivo de espécies exóticas invasoras constantes dos Anexos 1, 2 e 3 para fins de pesquisa científica, mediante autorização ambiental.

Artigo 4º - Não é permitido a produção de mudas de espécies exóticas invasoras nos viveiros do IAP e nos viveiros conveniados com o IAP.

Artigo 5º - Não é permitido a utilização, doação e o estímulo ao uso de espécies exóticas invasoras em campanhas públicas e educativas e em eventos públicos comemorativos;

| Ordem | Família | Nome científico | Nome popular | Ambiente | Categoria |
|-----------------|--------------|---|----------------------------|---|-----------|
| Calanóida | Temoridae | <i>Temora turbinata</i> Dana | copépode | Estuarino | I |
| Decapoda | Palaemonidae | <i>Macrobrachium rosenbergii</i> De Man | camarão-gigante-da-malásia | Água doce | II |
| Decapoda | Portunidae | <i>Charybdis hellerii</i> Milne Edward | siri-de-espinho | Estuarino | I |
| Decapoda | Penaeidae | <i>Litopenaeus vannamei</i> Boone | camarão-cinza | Marinho - Estuarino | II |
| Enterogona | Asciidae | <i>Ascidia sydneiensis</i> Stimpson | ascídia | Marinho - costão rochoso | I |
| Enterogona | Cionidae | <i>Ciona intestinalis</i> L. | ascídia solitária | Marinho - costão rochoso | I |
| Filifera | Clavidae | <i>Cordylophora caspia</i> Pallas | hidróide | Água doce | I |
| Hymenoptera | Apidae | <i>Apis mellifera</i> Lepeletier | abelha africanizada | Todos os ambientes terrestres | II |
| Hymenoptera | Megachilidae | <i>Anthidium manicatum</i> L. | abelha | Estepe Gramíneo-Lenhosa; Floresta Ombrófila Mista | I |
| Mytiloída | Mytilidae | <i>Limnoperna fortunei</i> Dunker | mexilhão-dourado | Água doce | I |
| Mytiloída | Mytilidae | <i>Perna perna</i> L. | mexilhão, marisco | Marinho - costão rochoso | II |
| Neotaenioglossa | Thiaridae | <i>Melanoides tuberculatus</i> Muller | melanóide | Água doce | I |
| Pleurogona | Molgulidae | <i>Bostricobranchus digonas</i> Abbott | ascídia | Estuarino | I |
| Pleurogona | Styelidae | <i>Styela plicata</i> Lesuer | ascídia solitária | Marinho - costão rochoso | I |

Anexo III - Detalhe da lista das espécies exóticas invasoras na Região Nordeste do Brasil.

Perna perna

Mexilhão, mexilhão marrom

Distribuição natural: Atlântico Oriental, costa oeste da África

Impactos: Pode ter causado alterações na estrutura de comunidades nativas brasileiras de costões rochosos no passado. Incrusta em substratos consolidados naturais (costões rochosos) e artificiais. Cascos de navios e plataformas de petróleo podem ficar completamente cobertos por indivíduos dessa espécie, o que causa a corrosão dos metais e o aumento no custo de manutenção.

Observações: Possivelmente, foi introduzida de forma acidental na costa brasileira, entre os séculos XVIII e XIX, pelos navios negreiros, que poderiam apresentar cascos incrustados com indivíduos da espécie. É um dos maiores mexilhões, podendo atingir 170 milímetros de comprimento. Muito utilizado na alimentação humana.

Introduzido também no Caribe, no Golfo do México, na Venezuela e no Mar Mediterrâneo.

Referências: Instituto Hórus (2009), Souza *et al.* (2004).

Anexo IV - da lista anexa à portaria que define as espécies exóticas invasoras no Rio Grande do Sul.

| | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------------|--------------|---|--|
| <i>Limnoperna fortunei</i> | Mexilhão-dourado | Mytilidae | Bivalvia | 1 | Água doce. |
| <i>Perna perna</i> | Marisco | Mytilidae | Bivalvia | 2 | Marinho costeiro. |
| <i>Achatina fulica</i> | Caracol-gigante-africano | Achatinidae | Gastropoda | 1 | Áreas urbanas e periurbanas, florestas. |
| <i>Deroceras laeve</i> | Babosa, lesma | Agriolimacidae | Gastropoda | 1 | Ambientes úmidos. |
| <i>Bradybaena similaris</i> | Caracol | Bradybaenidae | Gastropoda | 1 | Áreas urbanas e periurbanas. |
| <i>Meghimatium pictum</i> | Lesma | Philomycidae | Gastropoda | 1 | Áreas urbanas e periurbanas, florestas. |
| <i>Paralaoma servilis</i> | Micromolusco | Punctidae | Gastropoda | 1 | Florestas. |
| <i>Zonitoides arboreus</i> | | Zonitidae | Gastropoda | 1 | Florestas. |
| <i>Aedes aegyptii</i> | Mosquito-da-dengue | Culicidae | Insecta | 1 | Áreas urbanas e periurbanas, florestas. |
| <i>Rhithropanopeus harrisi</i> | Caranguejo | Panopeidae | Malacostrata | 1 | Água doce a água salobra (lagoas e estuários). |
| <i>Megabalanus coccopoma</i> | Craça | Balanidae | Maxillopoda | 1 | Marinho costeiro. |
| <i>Temora turbinata</i> | Copépode | Temoridae | Maxillopoda | 1 | Marinho costeiro, estuários. |