

DIOGO BARBALHO HUNGRIA



ESTUDOS VOLTADOS AO AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO
PROCESSO PRODUTIVO DE SIRI-MOLE

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná, como requisito a obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Ostrensky

Co-orientador: Prof. Dr. Leandro A. Pereira

CURITIBA

2017

DIOGO BARBALHO HUNGRIA

ESTUDOS VOLTADOS AO AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO
PROCESSO PRODUTIVO DE SIRI-MOLE

CURITIBA

2017

H936 Hungria Diogo Barbalho
Estudos voltados ao aumento da eficiencia no processo produtivo
de sirri mole / Diogo Barbalho Hungria Curitiba 2017
86 f il

Orientador Antonio Ostrensky
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias Programa de Pós Graduação em
Zootecnia

1 Sirri 2 Sirri – Morfologia 3 Crustáceo 4 Aquicultura –
Produtividade I Ostrensky Antonio II Universidade Federal
do Paraná Setor de Ciências Agrárias Programa de Pós Graduação
em Zootecnia III Titulo

CDU 594 58



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação ZOOTECNIA

TERMO DE APROVAÇÃO


Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DIOGO BARBALHO HUNGRIA** intitulada: "**Estudos voltados ao aumento da eficiência no processo produtivo de Siri-mole**", após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

Curitiba, 31 de Março de 2017.



LEANDRO ANGELO PEREIRA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



EDUARDO LUIS CUPERTINO BALLESTER

Avaliador Externo (UFPR)



WAGNER COTRONI VALENTI

Avaliador Externo (UNESP)

“Hay que endurecerse, p ero sin perder la ternura jam as.”
Che Guevara

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antonio, por ter me dado a oportunidade de trabalhar em sua equipe, e por ter me orientado.

Ao professor Leandro, pela coorientação, amizade e por compartilhar suas experiências durante todo o período de trabalho.

Ao professor Ubiratã, pela amizade e por compartilhar suas experiências durante todo o período de trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de ser aluno do programa.

Aos professores que atenderam ao convite de compor a banca de defesa, compartilhando seus conhecimentos e experiências para avaliação deste trabalho.

Aos pescadores Zeca Tavares, Tulio e Andréa pela amizade, pela coleta dos siris e pela motivação para realizar o presente estudo.

Ao GIA por ceder toda a sua estrutura para a realização do trabalho. E a todos os alunos e estagiários que durante o período de realização deste trabalho passaram pelos laboratórios do GIA e pelo CAMAR, agradeço pelos auxílios nas coletas e nos experimentos de laboratório, mas principalmente pela amizade, companheirismo e por compartilhar momentos bons e principalmente os momentos difíceis.

À minha família, pelo apoio, amor, por sempre me motivar e me ajudar nos momentos mais difíceis.

A Ariana C. Ribeiro, por estar sempre ao meu lado me apoiando, me suportando e aguentando exaustivas horas de trabalho no laboratório.

APRESENTAÇÃO

O trabalho denominado “ESTUDOS VOLTADOS AO AUMENTO DA EFICIÊNCIA NO PROCESSO PRODUTIVO DE SIRI-MOLE” faz parte de uma linha de pesquisa do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais - GIA, que visa o desenvolvimento de tecnologias para a produção comercial de siri-mole no Brasil.

A motivação para a realização deste trabalho surgiu, de um lado, pelo alto potencial gerador de renda e empregos apresentado pela produção e comercialização de siri-mole e, por outro, pela alta suscetibilidade ambiental e pela ainda baixa eficiência do processo produtivo desse produto no Brasil e no mundo.

Comercializado inteiro ou descarnado, o siri é um produto culinário muito apreciado na gastronomia nacional e internacional. Entretanto, a obtenção de sua carne é geralmente trabalhosa e pouco rentável. No Brasil o processamento da carne de siri é realizado basicamente de forma manual. As "descarnadeiras", como são conhecidas as pessoas que realizam esse serviço, levam aproximadamente 8 horas para obter cerca de 6 kg do produto. Em média, são necessários 60 siris para obtenção de 1 kg carne (rendimento de aproximadamente 24%). Por outro lado, quando comercializado inteiro, como siri-mole, o rendimento chega a quase 100% e não demanda nenhum trabalho para o beneficiamento da carne. Além do maior rendimento, um quilo de carne de siri-mole pode chegar a valer mais de R\$ 100,00, enquanto o quilo da carne de siri é comercializado por cerca de R\$ 40,00. Em todo o mundo, a comercialização de siri-mole envolve anualmente cifras da ordem de centenas de milhões de dólares.

Mas, se, por um lado, o beneficiamento do siri-mole praticamente não exige mão-de-obra, por outro, a obtenção do animal em fase de pós-muda é bastante trabalhosa e complexa. Para começar, os siris precisam ser identificados ainda durante a sua captura em relação à fase de muda em que cada indivíduo se encontra. Apenas animais em pré-muda costumam ser aproveitados. Em seguida, esses animais são transportados até estruturas específicas de manutenção (individuais ou coletivas), onde permanecem até que ocorra a muda. Assim que os siris realizam a muda eles precisam ser identificados e abatidos no menor tempo possível, pois quase que imediatamente após a muda começa a ocorrer o endurecimento do exoesqueleto dos animais. Cerca de três horas após a muda não há mais condições para a venda dos animais na forma de siri-mole.

Esse processo implica na necessidade de muita mão-de-obra e, não raro, leva a uma baixa eficiência produtiva e, indiretamente, ambiental. Em locais de intensa exploração comercial, as populações de siris já apresentam evidentes sinais de colapso. A obtenção de siri-mole a partir de animais criados e cultivados durante todo o seu ciclo de vida em cativeiro (aquicultura) ainda é bastante rara.

Por outro lado, no Brasil a cadeia produtiva de siri-mole praticamente ainda inexistente. Aqui frequentemente o siri é considerado um produto de menor valor comercial, um organismo da fauna acompanhante e até mesmo um rejeito da pesca de arrasto de camarão. Grande parte dos siris capturados pelos pescadores brasileiros acabam sendo mortos e descartados no ambiente.

Atualmente, empresários e pesquisadores do mundo todo buscam formas de aumentar a eficiência do processo produtivo de siris-moles, diminuindo perdas, aproveitando o maior número possível de animais que realizaram a muda, diminuindo a necessidade de mão-de-obra nesse processo.

Uma das formas de se alcançar isso é através do aumento do tempo em que os animais permanecem com o exoesqueleto suficientemente não calcificado para serem comercializados na forma de "siri-mole".

A presente dissertação foi dividida em dois capítulos. O primeiro, intitulado "Global status of production and commercialization of soft-shell crabs", visou contextualizar o processo produtivo e a comercialização de siris-moles no mundo. Os principais países produtores de siri-mole, as formas de produção utilizadas e as atuais limitações deste processo produtivo são apresentadas e discutidas. O segundo, intitulado "É possível manter o exoesqueleto de siri, *Callinectes ornatus*, mole por vários dias?" apresenta o resultado de três experimentos que foram realizados em condições controladas de laboratório.

RESUMO GERAL

Os siris, crustáceos Decapoda Brachyura da família Portunidae, são consumidos e explorados há centenas de anos em todo o mundo. Uma das formas mais lucrativas de comercialização desse recurso é na forma de "siri-mole". Considerado uma iguaria gastronômica, esse produto atinge altos preços no mercado internacional. Como a maioria dos artrópodes, os siris possuem um exoesqueleto que, quando rígido, impossibilita seu crescimento, exigindo a realização de trocas periódicas, em processo conhecido como "ciclo da muda". Imediatamente após a muda, o exoesqueleto do animal encontra-se muito hidratado e não calcificado, conferindo-lhe uma consistência suave e macia. É nessa fase do ciclo da muda que o siri é conhecido como "siri-mole". O processo de enrijecimento do exoesqueleto se dá principalmente pela deposição de CaCO_3 sobre a matriz proteica do novo exoesqueleto, proporcionando um rápido enrijecimento ao frágil exoesqueleto, conferindo novamente rigidez e proteção mecânica ao animal. Embora esse completo enrijecimento só ocorra cerca de dois dias após a muda, os organismos permanecem apenas 3 horas, em média, nas consistências de alto valor comercial ("mole" e "couro"), antes de assumir uma consistência classificada como "papel" e, a seguir, "dura" novamente. Empreendimentos de produção em escala comercial de siris-mole exigem elevados gastos com mão-de-obra, uma vez que os animais estocados precisam ser continuamente checados (a cada quatro horas, no máximo), em relação à sua fase de muda e ao estágio de enrijecimento do exoesqueleto. O presente trabalho teve por objetivos contextualizar o atual "estado da arte" em relação à produção e à comercialização de siris-moles no mundo e testar um método para aumentar o tempo de permanência dos siris nas consistências de alto valor comercial. O trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro, intitulado "Global status of production and commercialization of soft-shell crabs", foi elaborado a partir de uma ampla revisão bibliográfica, que apontou que a comercialização mundial desse produto é realizada principalmente pela internet, por empresas certificadas em relação aos requerimentos de gestão da segurança alimentar. Além disso, foi verificado que esse mercado movimenta mais de U\$ 940 milhões anualmente. Um dos maiores desafios dos produtores de siri-mole é a obtenção da matéria prima, proveniente principalmente da captura direta na natureza. A intensa exploração e as alterações ambientais e climáticas vêm provocando contínuas reduções dos estoques pesqueiros das principais espécies de siris de interesse comercial. Uma das formas de contornar o problema seria o fechamento do ciclo de produção em condições ambientais controladas (aquicultura). Porém, o ciclo completo de produção ainda é restrito à poucas espécies, das quais destacam-se as do gênero *Scylla*, cultivadas principalmente no Sudeste Asiático. Outra forma de garantir a oferta de siris-moles no mercado envolve o aumento da eficiência e da produtividade dos empreendimentos já existentes e a redução de perdas e de desperdícios. Isso poderia ser alcançado aumentando o período no qual os animais permanecem moles. No segundo capítulo, intitulado "É possível manter o exoesqueleto de siri, *Callinectes ornatus*, mole por vários dias?", foram realizados três experimentos com o objetivo de avaliar o prolongamento do tempo de permanência do exoesqueleto de *Callinectes ornatus* nas consistências valorizadas pelo mercado (mole e couro). Tal prolongamento foi induzido a partir de alterações das características químicas da água provocadas pelos próprios animais mantidos em cativeiro. Foi observado um efeito direto do pH (< 7,3) e da concentração de amônia total (> 6,0 mg/L) no retardamento do enrijecimento do exoesqueleto. Nessas condições, os animais testados permaneceram mole de 2,5 a

8 dias, ou seja, pelo menos por um tempo mais de 20 vezes superior ao que é normalmente observado em condições comerciais. A metodologia aqui empregada apresenta elevado potencial para ser adaptada a empreendimentos comerciais de produção de siri-mole. Nesse caso, se os resultados obtidos puderem ser replicados em escala comercial, isso implicará em uma drástica redução da carga laboral e dos custos operacionais, aumentando a produtividade e a eficiência desses empreendimentos destinados à produção e à comercialização de siris-moles.

Palavras chaves: Portunidae, *Callinectes ornatus*, Ecdise, Cultivo, Pesca, Mercado, Calcificação, Cálcio, Amonificação, Acidificação.

ABSTRACT

The crabs (Decapoda: Brachyura: Portunidae) have been consumed and exploited for hundreds of years from across the world. One of the most profitable ways to market this resource is the "soft-shell crab". Soft-shell crabs are considered a gastronomic delicacy and sold at high prices in the international market. Like most arthropods, the crab have an exoskeleton that, when rigid, makes it impossible to grow, requiring periodic changes, in a process known as the "moult cycle". Immediately after molting, the animal's exoskeleton is heavily hydrated and not calcified, giving it a smooth and soft consistency. It is at this stage of the seedling cycle that the crab is known as "soft-shell crab". The exoskeleton stiffening process occurs mainly by the deposition of CaCO_3 on the protein matrix of the new exoskeleton, providing a rapid stiffening to the fragile exoskeleton, again giving rigidity and mechanical protection to the animal. Although this complete stiffening only takes place about two days after the molt, the organisms remain only 3 hours, on average, in the consistencies of high commercial value ("mole" and "leather") before assuming a consistency classified as "paper", and then "hard" again. Commercial-scale breeding operations of soft-shell crab require high labor costs, since stocked animals need to be continuously checked (every four hours at least), in relation to their moulting stage and to the stage of exoskeleton stiffening. The main objective of the present study was analyze the current state of the art of the production and commercialization of soft-shell crab in the world, and to test a method to increase the time of permanence of the crab in consistencies of high commercial value. This study was divided into two chapters. The first chapter, entitled "Global status of production and commercialization of soft-shell crabs" is a literature review, which pointed out that the worldwide commercialization of this product is carried out mainly by the Internet, by companies certified in relation to the requirements of Management of food safety. In addition, it was verified that this market handles more than US \$ 940 million annually. One of the biggest challenges for crab producers is obtaining the raw material, mainly from direct capture in nature. The intense exploitation and the environmental and climatic changes have been provoking continuous reductions on the main commercial crabs stocks. One way to overcome this problem would be to close the production cycle under controlled environmental conditions (aquaculture). However, the complete production cycle is still restricted to a few species, most notably those of the genus *Scylla*, grown mainly in Southeast Asia. Another way to guarantee the supply of soft-shell crabs in the market involves increasing the efficiency and productivity of existing enterprises and reducing losses and waste. This could be achieved by increasing the period in which the animals remain soft. The second chapter, entitled "Is it possible to keep the crab exoskeleton, *Callinectes ornatus*, mole for several days?", three experiments were carried out with the objective of evaluate the prolongation of the *Callinectes ornatus* exoskeleton time in the consistencies valued by the market (mole and leather). Such prolongation was induced by changes in the chemical characteristics of the water caused by the animals kept in captivity. A direct effect of pH (<7.3) and total ammonia concentration (> 6.0 mg / L) on the exoskeleton stiffening delay was observed. Under these conditions, the tested animals remained soft for 2.5 to 8 days, that is, at least for a time more than 20 times higher than is usually observed under commercial conditions. The methodology used here presents a high potential to be adapted to commercial ventures producing soft-shell crab. In this case, if the results obtained can be replicated on a commercial

scale, this will lead to a drastic reduction in workload and operational costs, increasing the productivity and efficiency of these enterprises for the production and marketing of soft-shell crab.

Key words: Portunidae, *Callinectes ornatus*, Ecdise, Cultivation, Fishing, Market, Calcification, Calcium, Ammonification, Acidification.

LISTA DE FIGURAS

- Figure 1. Worldwide fisheries captures (in thousands of ton) of *Portunus* and *Scylla* swimming crabs between 1990 and 2013. Font: FAO (2016)5
- Figure 2. Worldwide aquaculture production (in thousands of ton) and values (in thousands of USD) of *Portunus* and *Scylla* swimming crabs between 1990 and 2015 Font: FAO (2016)6
- Figure 3. 1- Fifth pereopod of a pre-moult individual (*Callinectes ornatus*). A) Hyaline line shows the old exoskeleton detaching from the new. B) The darker band stems from the folding of new exoskeleton bristles. C) Old exoskeleton bristles. 2 – Details of the pereopod of the same individual in the post-moult stage (by Diogo Barbalho Hungria)..... 18
- Figura 4. Representação esquemática dos sistemas experimentais utilizados. Experimento 1 (Exp. 1): manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e renovação parcial diária da água. Experimento 2 (Exp. 2): manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e sem renovação de água. A = Aporte de água externo; D = desnatador de proteínas (Skimmer); FB = filtro mecânico/biológico. BA = Controle de água38
- Figura 5. 01-02-03: Variação mediana de pH, amônia total (NH_4^+) (em mg/L) e nitrito (NO_2^-) (em mg/L) ao longo do tempo (em dias) no Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água) e no Experimento 2 (tratamentos coletivos com filtração, mas sem renovação de água). Grupos A1 e B1: organismos em pré-ecdise; Grupo B2: organismos em pré-ecdise mantido na água reutilizada do Grupo B1. 04-05-06: Variação temporal da consistência da carapaça mediana dos indivíduos. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos, pelo teste de Kruskal-Wallis. Os siris que realizaram a muda nos experimentos 1 (A1) e nas 36 primeiras horas do Experimento 2 (M1) apresentaram tempo de permanência em Co-2 e CO-3 significativamente menor que os animais que realizaram a muda após as 36 primeiras horas (M2) no grupo B1 e que os animais do grupo B2.....46

LISTA DE TABELAS

Table 1. Main crab-producing countries and produced species (Fao, 2016).....	6
Table 2. Summary of percentage soft-shell swimming crab species marketed worldwide, different forms of commercialization and application of international quality certificates by trading companies, based on data (85 references) from soft-shell swimming crab trad	9
Tabela 3. Síntese das condições gerais empregadas nos experimentos realizados para avaliação dos efeitos da qualidade da água sobre o tempo de enrijecimento da carapaça de <i>Callinectes ornatus</i> , e dados biométricos dos animais utilizados (média ± dp). NA – Não se aplica.	38
Tabela 4. Quadro geral dos resultados obtidos nos experimentos de avaliação do processo de ecdise de <i>Callinectes ornatus</i> em condições laboratoriais.....	41
Tabela 5. Mediana (1 ^o e 3 ^o quartis) dos parâmetros de qualidade da água no Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água).	42
Tabela 6. Mediana e a variação dos parâmetros mensurados na água do Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água).	42
Tabela 7. Resultados gerais das análises de regressão linear múltipla relacionando a influência das variáveis físicas e químicas sobre o tempo que cada organismo se manteve vivo ao longo do experimento.....	43
Tabela 8. Resultados gerais das análises de regressão linear múltipla relacionando a influência das variáveis físicas e químicas sobre o tempo que o organismo levou para enrijecer ou morrer após a ecdise.....	44
Tabela 9. Comparação entre o tempo de permanência de <i>Callinectes ornatus</i> nas consistências 2 e 3 (Co-2 e Co-3) entre os indivíduos que realizaram a ecdise antes de 36 horas (grupo M1) com os que a realizaram após 36 horas (grupo M2) no Grupo B1 (organismos inicialmente em pré-ecdise) do Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água). Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (nas colunas) pelos testes de Kruskal-Wallis ou de Mann-Whitney.	44
Tabela 10. Diferenças entre os experimentos (Exp.), grupos e entre as consistências (B1, C2-3, C4-5 e C6) para as seguintes variáveis: pH, amônia total (AT), NO_2^- , tempo (h) de permanência (T. per.), porcentagem de mortes (%) e o tempo de sobrevivência (h) dos indivíduos que realizaram ecdise.	45

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	V
RESUMO GERAL	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XII
<i>Capítulo 1 - Global status of production and commercialization of soft-shell crabs.....</i>	<i>1</i>
Abstract	2
The worldwide crab market	4
Asian countries.....	12
The United States of America	13
Other countries.....	15
Soft-shell crab production process	15
Current risks and limitations to the swimming crab production.....	18
Crab Aquaculture	20
Conclusion	22
Acknowledgements	23
References.....	24
<i>Capítulo 2 – É possível manter o exoesqueleto de siri, Callinectes ornatus, mole por vários dias?</i>	<i>33</i>
Resumo	33
Introdução	33
Material e Métodos.....	34
Obtenção e manejo dos siris	34
Experimentos-piloto.....	36
Design Experimental	36
Experimento 1: manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e renovação parcial diária da água	36
Experimento 2: manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e sem renovação de água.....	37
Rotina Experimental	39
Análise da água	39
Análises estatísticas.....	40
Resultados	40
Ecdises.....	40
Variáveis físicas e químicas da água	41
Influência das variáveis físicas e químicas da água sobre a sobrevivência e a muda de <i>C. ornatus</i>	43

Discussão.....	47
Conclusão	51
Bibliografia	51
Bibliografia Geral	58

Capítulo 1 - Global status of production and commercialization of soft-shell crabs

Diogo Barbalho Hungria¹, Camila Prestes dos Santos Tavares², Leandro Ângelo Pereira³, Ubiratã de Assis Teixeira da Silva⁴ and Antonio Ostrensky⁴

¹Postgraduate Program in Animal Science, Federal University of Paraná, Curitiba - PR.

²Postgraduate Program in Zoology, Federal University of Paraná, Curitiba - PR.

³Federal Institute of Paraná, Paranaguá - PR.

⁴Integrated Group of Aquaculture and Environmental Studies, Federal University of Paraná, Curitiba - PR.

Short Title: Production and marketing of soft-shell crabs

Corresponding author: Diogo Barbalho Hungria, Funcionários street, 1540 - Cabral, Curitiba - PR, Brazil ZIP 80035-050. E-mail: bhungria@gmail.com

Abstract

Commercial exploration of swimming crab is rapidly increasing worldwide. In 2015, total production of crabs (fisheries plus aquaculture) reached almost 1,300 thousand ton. One of the most valuable marketing forms is called “soft-shell crab”. The internet is one of the most important marketing channels for soft-shell crab, with prices starting at USD 3.5 a unit, but going up to USD 8.00 - 10.00, depending on the size and presentation form of the product (live, cooled, frozen or processed). In luxury restaurants, a dish containing one large animal may cost well over USD 75.00. Increasingly, this market requires exporting companies to present some quality certification of the product or process (mainly certifications related to food safety). Almost all soft-shell crab production is based on crabs caught in the wild, by either trawling or trapping. Crab populations are suffering from environmental impacts associated with human activity, so much that obtaining the raw material (crabs in pre-molt stage) has become the biggest challenge for companies that market soft-shell swimming crab nowadays. Even recognizing the aquaculture as an alternate form to acquire crabs, it is necessary to understand that technology for commercial crab cultivation is still incipient and restricted to some species of few genera, such as *Scylla*, *Portunus*, and *Callinectes*. The present article reviews and discusses the problems and challenges related to the productive chain of soft-shell swimming crab, and presents an overview of the worldwide market, identifying the main exporting and importing centers, and their respective trading methods.

Keywords: Portunidae, Moulting, Farming, Fishing, Market.

Introduction

Commercial exploration of decapod crustaceans of the Portunidae family, popularly referred to as “swimming crabs”, is an old industry. There is evidence of crabs being consumed in America before the arrival of English settlers at Chesapeake Bay (Rathbun, 1887). Traditionally, they are sold as a whole piece (to be eaten by extracting of the meat out of exoskeleton) or sold as crabmeat (meat already extracted, manually or mechanically) (Oesterling, 1995).

Nonetheless, a more profitable way of marketing these animals was introduced (Perry *et al.*, 2010; Fao, 2015; He, 2015). Crabs grow by shedding the old exoskeleton and replacing with a new one, through a periodic process known as molting cycle (Chang e Mykles, 2011). If captured soon after molting, while still bearing an unconsolidated exoskeleton, the entire body of the animal can be consumed, without the necessity of extracting its meat.

Based on that characteristic, at the beginning of the nineteenth century, a relatively simple production process was developed, and become known as “soft-shell” crab. The production is based on the capture and maintenance of adult animals in under controlled conditions until molting occurs (Oesterling, 1995). The animals are then collected before the beginning of exoskeleton hardening and are sold for higher prices (Mwaluma, 2002; Primavera *et al.*, 2010). Since then, soft-shelled crabs have gained popularity, especially in high gastronomy, thanks to characteristics such as excellent taste, high levels of protein together with a virtual absence of carbohydrates and fat, in addition to a general perception as a healthy food (Dana et al. 2015).

Swimming crabs are decapod crustaceans of the Portunidae family, characterized by the adaptation of the last pair of pereopods into flattened paddles for swimming. According to the Global Biodiversity Information Facility (2016), there are about 714 known portunid crabs species in the world. Few of them are of commercial interest, and only a handful are cultured or sold as soft-shell swimming crabs, classified into three main genera: *Scylla*, *Portunus*, and *Callinectes* (Keenan e Blackshaw, 1997; Zmora *et al.*, 2005; Azra e Ikhwanuddin, 2015a; Fao, 2015).

The worldwide crab market

According to Fao (2016) data, the world fishery crabs' production (not only soft-shell crab but crab in general) is mainly based on *Scylla* (*S. serrata* and *Scylla olivacea*), *Portunus pelagicus* and *Callinectes sapidus*, and jumped from 343 thousand t, in 1990, to more than 951,000 t, in 2015 (Figure 1). China responds for 71,9% of the world annual production (684,400 t), followed by Indonesia (77,700 t), United States (72,400 t), and Philippines (27,200).

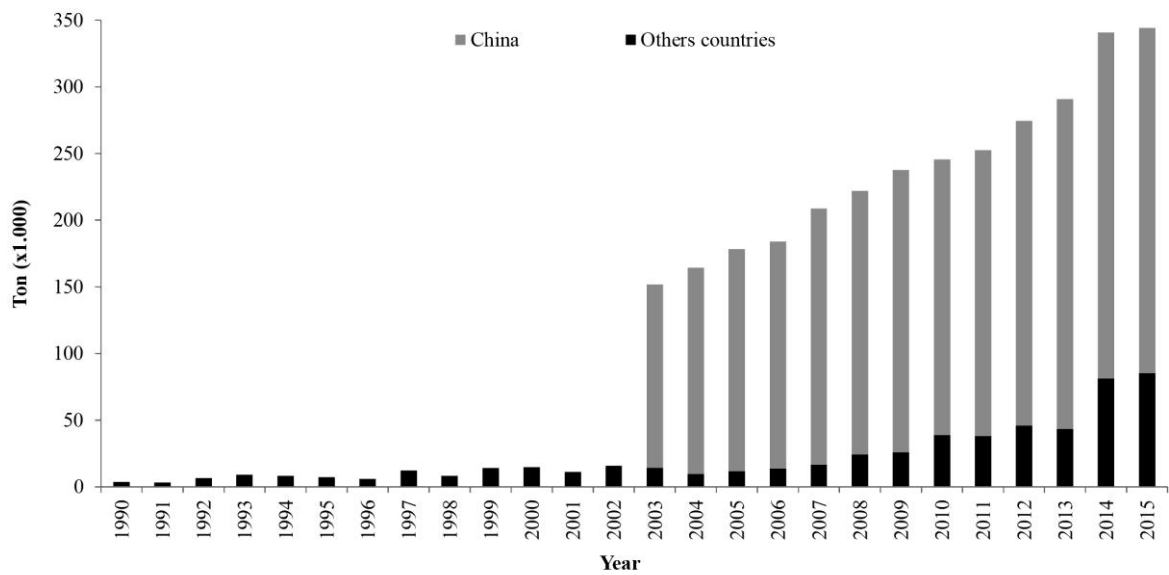


Figure 1. Worldwide fisheries captures (in thousands of ton) of *Portunus* and *Scylla* swimming crabs between 1990 and 2013. Font: FAO (2016)

Regarding the only aquaculture, FAO data began to incorporate Chinese portunids production only from 2003. According to Fao (2016), between 2003 and 2015, the worldwide production more than doubled, from 151,900 to 344,100 t (80% of this total produced by China, beyond Vietnam, Myanmar, Singapore, Indonesia, and Philippines), generating an overall revenue of USD 1,469,819.00 in 2015 (Figure 2 and Table 1). Of this value, 72% is based on *Scylla* spp. and 28% in *Portunus* spp.

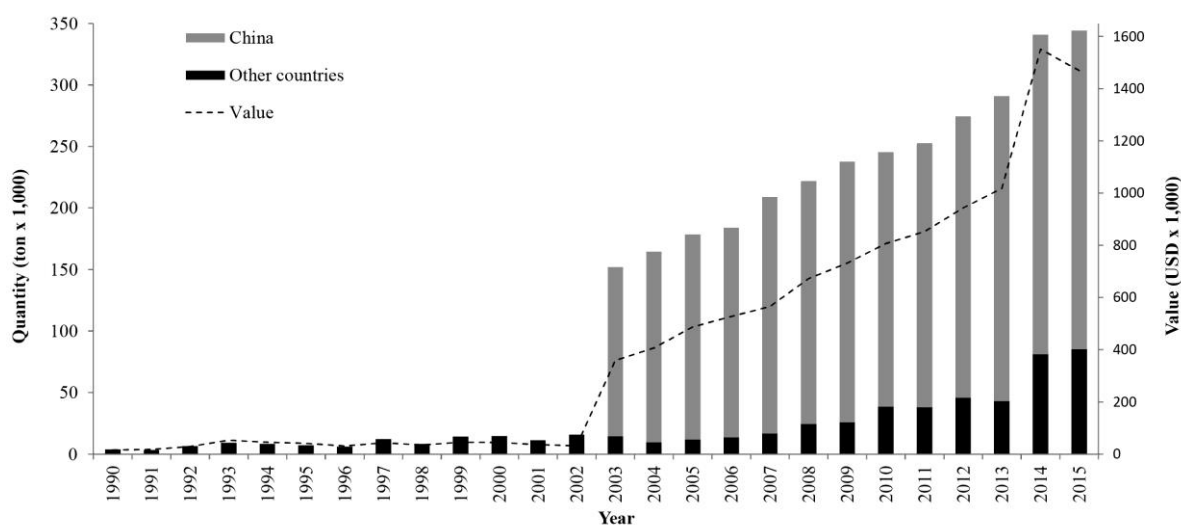


Figure 2. Worldwide aquaculture production (in thousands of ton) and values (in thousands of USD) of *Portunus* and *Scylla* swimming crabs between 1990 and 2015 Font: FAO (2016)

Table 1. Main crab-producing countries and produced species (Fao, 2016).

Countries	Total crab production [10 ³ MT/year]	Capture crab production [10 ³ MT/year]	Aquaculture crab production [10 ³ MT/year]	Species
China	943.2	684.4	258.8	<i>Portunus trituberculatus</i> <i>Charybdis japonica</i> <i>Portunus spp.</i> <i>Scylla spp.</i> <i>Portunus pelagicus</i> <i>Scylla spp.</i>
Indonesia	90.2	77.7	12.5	<i>Portunus spp.</i> <i>Portunus pelagicus</i>
United States of America	72.4	72.4	0	<i>Carcinus maenas</i> <i>Callinectes sapidus</i>

Countries	Total crab production [10 ³ MT/year]	Capture crab production [10 ³ MT/year]	Aquaculture crab production [10 ³ MT/year]	Species
Vietnam	53.3	0	53.3	<i>Scylla spp.</i>
Philippines	43.3	27.2	16.1	<i>Scylla spp.</i> <i>Portunus spp.</i>
Thailand	24.9	24.8	0.1	<i>Scylla spp.</i> <i>Portunus spp.</i>
Mexico	15.1	15.1	0	<i>Callinectes sapidus</i>
Venezuela	6.8	6.8	0	<i>Callinectes sapidus</i>
Bahrain	4.6	4.6	0	<i>Portunus spp.</i>
Australia	3.7	3.7	0	<i>Portunus spp.</i>
Taiwan				<i>Scylla spp.</i>
Province of China	3.5	3.5	0.03	<i>Portunus spp.</i>
Myanmar	2.8	0	2.8	<i>Scylla olivacea</i> <i>Scylla spp.</i>
Brazil	2.0	2.0	0	<i>Callinectes spp.</i>
United Kingdom	1.7	1.7	0	<i>Portunus pelagicus</i> <i>Carcinus maenas</i>
Nicaragua	0.8	0.8	0	<i>Callinectes sapidus</i>
Saudi Arabia	0.3	0.3	0	<i>Portunus spp.</i>
United Arab Emirates	0.3	0.3	0	<i>Portunus spp.</i>
Cuba	0.2	0.2	0	<i>Callinectes sapidus</i>
Singapore	0.1	0.07	0.1	<i>Scylla spp.</i>

Countries	Total crab production [10 ³ MT/year]	Capture crab production [10 ³ MT/year]	Aquaculture crab production [10 ³ MT/year]	Species
				<i>Portunus spp.</i>
				<i>Necora puber</i>
Spain	0.1	0.1	0	<i>Carcinus maenas</i>
Africa	0.07	0.01	0.06	<i>Scylla spp.</i>
Malaysia	0.06	0	0.06	<i>Scylla spp.</i>
Cambodia	0.05	0	0.05	<i>Scylla spp.</i>
Madagascar	0.05	0	0.05	<i>Scylla spp.</i>
				<i>Portunus pelagicus</i>
Portugal	0.04	0.04	0	<i>Carcinus maenas</i>
				<i>Necora puber</i>

There is no precise information as to how much of the global crab's production is intended for marketing as soft-shell crab, for most production systems are small-scale or family-owned, and when carried out on an industrial scale, there is usually no interest in the disclosure of data or, very often, trade secrets are involved. This difficulty limits the knowledge about real production data and often leads to the underestimation of the total amount produced (Caffey *et al.*, 1993; Guillory *et al.*, 2001).

Currently, the international market for soft-shell swimming crabs can be divided into two categories: i) artisanal, in which animals are sold to local fishmongers, markets, and restaurants; ii) industrial, in which import and export companies specialise in wholesale and retail, operating either over the internet or by direct sale to larger restaurants and markets. In the industrial market, electronic commerce (e-

commerce) is becoming increasingly prominent, attracting the interest of investors and entrepreneurs worldwide (Table 2). Crabs are sold as a fresh, frozen, or processed product, thereby involving a complex structure of logistics for worldwide distribution (Paolisso, 2007; Ferdoushi *et al.*, 2010; Gaudé e Anderson, 2011; Dana *et al.*, 2015). The trade of live soft-shell swimming crabs is exclusively aimed at local niche markets.

Table 2. Summary of percentage soft-shell swimming crab species marketed worldwide, different forms of commercialization and application of international quality certificates by trading companies, based on data (85 references) from soft-shell swimming crab trad

Countries	Main species sold %	Delivery form (%)				Certificate (%)		Buyers
		Froz	Li	Fre	Indef	HACCP	ISO 22000	
	<i>C. sapidus</i>							
China	<i>Portunus spp.</i>	78	0	0	22	60	60	South Asia, Southern and Northern Europe, and Central America
	<i>Scylla spp.</i>							
	Undefined					40	40	
Singapore	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	100	0	Asia and Africa
	Undefined					0	100	
Indonesia	<i>Scylla spp.</i>					20	0	United States, Europe, Japan, Singapore, Taiwan, Hong Kong, and Malaysia.
	Undefined	60	0	0	40	80	100	
	<i>C. sapidus</i>							
United States of America	<i>Portunus spp.</i>	64	18	21	21	32	4	China, Vietnam, Malaysia, and Thailand
	<i>Scylla spp.</i>							
	Undefined					68	96	
Philippines	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	Asia

Countries	Main species sold %	Delivery form (%)				Certificate (%)		Buyers
		Froz	Li	Fre	Indef	HACCP	ISO 22000	
	Undefined					100	100	
Thailand	<i>Portunus spp.</i>					60	40	North and South America, Europe, Asia (Malaysia and Singapore)
	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0			
	Undefined					40	60	
South Korea	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	Vietnam, China, and Thailand
	Undefined					100	100	
	<i>C. sapidus</i>							
Vietnam	<i>Portunus spp.</i>	100	0	0	0	36	45	China, Australia, Japan, Taiwan, Malaysia, United States, and New Zealand.
	<i>Scylla spp.</i>							
	Undefined					64	55	
Mexico	<i>C. sapidus</i>	100	0	0	0	0	0	Undefined
	Undefined					100	100	
	<i>Scylla spp.</i>					0	0	
Taiwan	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	Undefined
	Undefined					100	100	
	<i>Portunus spp.</i>					0	0	
Australia	<i>Portunus spp.</i>	50	0	50	0			Undefined
	Undefined					100	100	
	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	50	50	
Japan	Undefined					50	50	Asia and Europe
	<i>C. sapidus</i>					0	0	
	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0			
United Kingdom	Undefined					100	100	Europe

Countries	Main species sold %	Delivery form (%)				Certificate (%)		Buyers
		Froz	Li	Fre	Indef	HACCP	ISO 22000	
Brazil	<i>C. sapidus</i>	100	0	100	0	0	0	United States
	Undefined					100	100	
Myanmar	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	Singapore, Malaysia, Vietnam, Australia, Thailand, Hong Kong, China, and Taiwan
	Undefined					100	100	
United Arab Emirates	<i>Scylla spp.</i>	100	0	100	0	100	100	Undefined
	Undefined					0	0	
Malaysia	<i>Scylla spp.</i>	50	0	50	0	50	0	Asia, Middle East, South Africa, Europe, Australia, and New Zealand
	Undefined					50	100	
Singapore	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	100	0	Asia and Africa
	Undefined					0	100	
The Netherlands	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	Undefined
	Undefined					100	100	
Turkey	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	100	Undefined
	Undefined					100	0	
India	<i>C. sapidus</i>							Undefined
	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	
Bangladesh	Undefined					100	100	Asia (Japan, Hong Kong, China, Taiwan and Singapore), Europe, and Oceania (Australia)
	<i>Scylla spp.</i>	100	0	0	0	0	0	
	Undefined					50	50	

Froz: soft-shell swimming crab frozen; **Li:** soft-shell swimming crab live; **Fre:** soft-shell swimming crab fresh; **Indef:** soft-shell swimming crab marketed in a unknown manner.

Currently, the demand for soft-shell swimming crabs is higher than its supply. Companies who have access to raw material do not find difficulties in marketing the product (Ferdoushi *et al.*, 2010). To provide the world demand for soft-shell swimming crabs, these companies have sought to obtain quality certificates related to food safety management systems, such as the ISO 22000 and HACCP (Lawlor *et al.*, 1997). ISO 22000 is an international seal that certifies the requirements of a food safety management system, covering all the organizations that operate in a given food chain. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points), in turn, is a management tool used to protect consumers from biological, chemical and physical hazards related to food products. These certifications ensure the accomplishment to the health standards set by major importing countries, such as the US and Japan (Fisher *et al.*, 1998). By ensuring the food safety of consumers, quality seals can also increase the market value of soft-shelled crabs (Ferdoushi *et al.*, 2010).

Asian countries

The Asian continent is the largest source of the soft-shell swimming crabs sold worldwide (Shelley e Lovatelli, 2011; Tobias-Quinitio *et al.*, 2015). Regardless of its origin, either from fisheries or aquaculture, the main species produced as soft-shell swimming crab are *Scylla serrata* (Forsskål, 1775) and *Scylla olivacea* (Herbst, 1796). In China, soft-shell crab industry is almost centenary (Yalin e Qingsheng, 1994), while in other Asian countries the production started more recently, at about 30 years ago (Dana *et al.*, 2015).

Frozen crabs are usually sold over the internet to countries such as Japan, Hong Kong, China, Taiwan, Singapore, and Australia, at an approximate cost of USD 8.00/Kg (Diytrade™). Live animals are sold only in local markets for domestic consumption (Ferdoushi *et al.*, 2010). The largest producer and distributor of soft-shell swimming crabs in the world is Aung Moe Khine Manufacturing™, from Myanmar. Their monthly production is over 40 t, primarily sold over the Internet and exported to other Asian countries, such as Singapore, Malaysia, Vietnam, Thailand, Hong Kong, China, and Taiwan. The production may be redistributed to Mexico, the United States, New Zealand, Australia, and some African countries.

The United States of America

In the United States, large-scale production of soft-shell crabs started in New Jersey around 1855, and by 1905 the products were already exported to Europe (Roberts, 1905) The production is based solely on *Callinectes sapidus*, the most abundant species in the country's fisheries. Besides its pioneering role and the worldwide trend of increase, large-scale production of soft-shell crabs in America has experienced a significant decline in the number of companies producing soft-shell crabs and quantities produced over the last decades.

Mcdonald *et al.* (1986) reported the existence of approximately 2,300 soft-shell producers in Maryland, Virginia, North Carolina, South Carolina and Georgia and an estimated production of 3,600 t, which yielded approximately USD 26.7 million. A few years later, in the same regions, Wickins e Lee (2002) recorded less than 300 active producers and an estimated production volume in 1,400 t. According to Louisiana Sea Grant (2016), in Louisiana State soft-shell crab's production fell from 1,075 t, in 1945,

to only 4 t, in 2015. Data presented by Guillory *et al.* (2001) and by NOAA (2016) show that in 2005 about 6% (1,335 t) of US total catches were pre-molt crabs (peelers), intended for the production of soft-shell crab. However, between 2006 and 2015, this relative value had fallen to less than 2% (793.2 t).

It is hard to precisely address the reasons for the observed decline in the number of companies producing soft-shell crabs in America, but some authors relate this decline to the fallen in peeler catch in recent years (NOAA, *op. cit.*) and/or to the high mortality rate recorded in production systems due to a recently identified fatal reovirus of the blue crab, *Callinectes sapidus* (Bowers *et al.*, 2011; Flowers *et al.*, 2016).

In the US market, live or frozen products are traded by fishmongers, regional markets or restaurants (Keenan e Blackshaw, 1997). In restaurants, soft-shell crabs can be sold from USD 10.00 to \$ 75.00 per unit, depending on the size of the animal (classified as small, medium, large, or jumbo) and how the dish is prepared (Backfins Crab House® and Iron Gate restaurant®). The highest concentration of specialized restaurants is found in Virginia, Louisiana, Washington, North Carolina, and New York (Eaterdc, 2017).

Internet sales play a prominent role in the North American market. Frozen soft-shell swimming crabs are sold over the Internet for up to USD 99.00 a tray with 12 units (The Crab Depot Carryout™), and the price can be as high as USD 103.50, if the crab is pre-fried (The Crab Place™). The J&W Seafood® company, located in Deltaville, Virginia, one of the largest processors of Chesapeake Bay crabs, sells frozen soft-shell swimming crabs for up to USD 42.00 a dozen.

Other countries

Countries like Australia, the Netherlands, and more recently, Brazil are becoming major players in the global soft-shell swimming crab market. Companies from these countries almost always sell its products over the internet. In Brazil, both production and marketing of soft-shell swimming crabs are in the early stages of development. One company, the Blueshell Brasil[®], has pioneered the production of soft-shell swimming crab. It sells wild-caught animals of the species *C. sapidus* and *C. danae*, primarily to *haute cuisine* restaurants and specialty retail markets. In the Netherlands, Culimer B.V.[®] is the leading soft-shell swimming crab distributor, importing *S. serrata* from Vietnam and distributing it to various countries in the world. The company sells it in trays under a vacuum at -60°C, exclusively over the Internet. In Australia, some companies have gained prominence in the international market by exporting frozen soft-shell swimming crabs *P. pelagicus* to Europe, United States, Japan, and Malaysia (Queensland Aquaculture Industries Federation, 2015). In Mexico, for several years entrepreneurs have attempted to produce soft-shell crab. The only successful company, located in Tampico, was based on closed circulation systems and had a daily production capacity of 800 crabs, which were mainly destined for the Japanese market. However, for undisclosed reasons, the production process was ceased in 2011 (Cap Log Group, 2013).

Soft-shell crab production process

Perry *et al.* (1982) divided the molting cycle of swimming crabs into four stages: intermolt, pre-molt, molt, and post-molt. Crustaceans spend the majority of their time in the intermolt stage. The pre-molt stage is the beginning of the ecdysis and may last

several days. It is characterized by morphological cues of its progression. The molt stage is, in turn, relatively fast, with the crab rapidly shedding the old exoskeleton, followed by process of calcification and hardening of the new exoskeleton, when the animal reaches the post-molt stage.

Because the market value of the product reduces as the crab exoskeleton hardens, the elapsing time after molting is an important issue to the trade of soft-shell crabs. Soon after molting, the new exoskeleton can be considered 'truly soft', characterized by a high water content and low levels of calcification (Taylor e Kier, 2003). This is the stage the crab must be consumed. As calcification process advances, the exoskeleton begins to harden, and its consistency may be referred to as 'papery'. In less than one hour, the 'leathery' consistency is reached (Wheatly, 1999). After about 3 h, the exoskeleton becomes very firm (Freeman *et al.*, 1987), and the animal cannot be traded as soft-shell crab anymore.

The first experiments to keep crabs in captivity were conducted in America more than 150 years ago, using a system of cages (Perry *et al.*, 1982). In southwest Asia, first trials began fifty years later, involving animals in enclosures (Keenan e Blackshaw, 1997). In more recent decades, closed systems using water recirculation were developed for crab culture, both in the U.S. and Asia (Oesterling, 1995; Perry *et al.*, 2001; Geoff e Fielder, 2004; Gaudé e Anderson, 2011). Despite the higher costs associated with the installation and operation of closed systems, they allow greater control over environmental factors, facilitate animal handling and restraint, and minimize mortality losses (Perry *et al.*, 1982).

Although it is technically possible to maintain crabs in an intermolt stage in captivity until molting, as a whole, the productive process will be faster and more efficient if the crabs are transferred to the shedding tanks already at pre-moult stage (Oesterling, 1995; Gaudé e Anderson, 2011). To identify the animals at pre-molt stage, a good knowledge about the molting cycle together with ability to observe early signs of molting stage are fundamental. The main characteristic to be observed is due to the detachment of the epidermis from the old exoskeleton, which can be done by visual inspection (by transparency) of the last pair of modified pereopods. Among other characteristics, pre-molt animals will show a hyaline line in the region where the old exoskeleton detaching from the new, among other characteristics (Figure 3). In such case, molting generally occurs in less than 13 days (Oesterling, 1995).

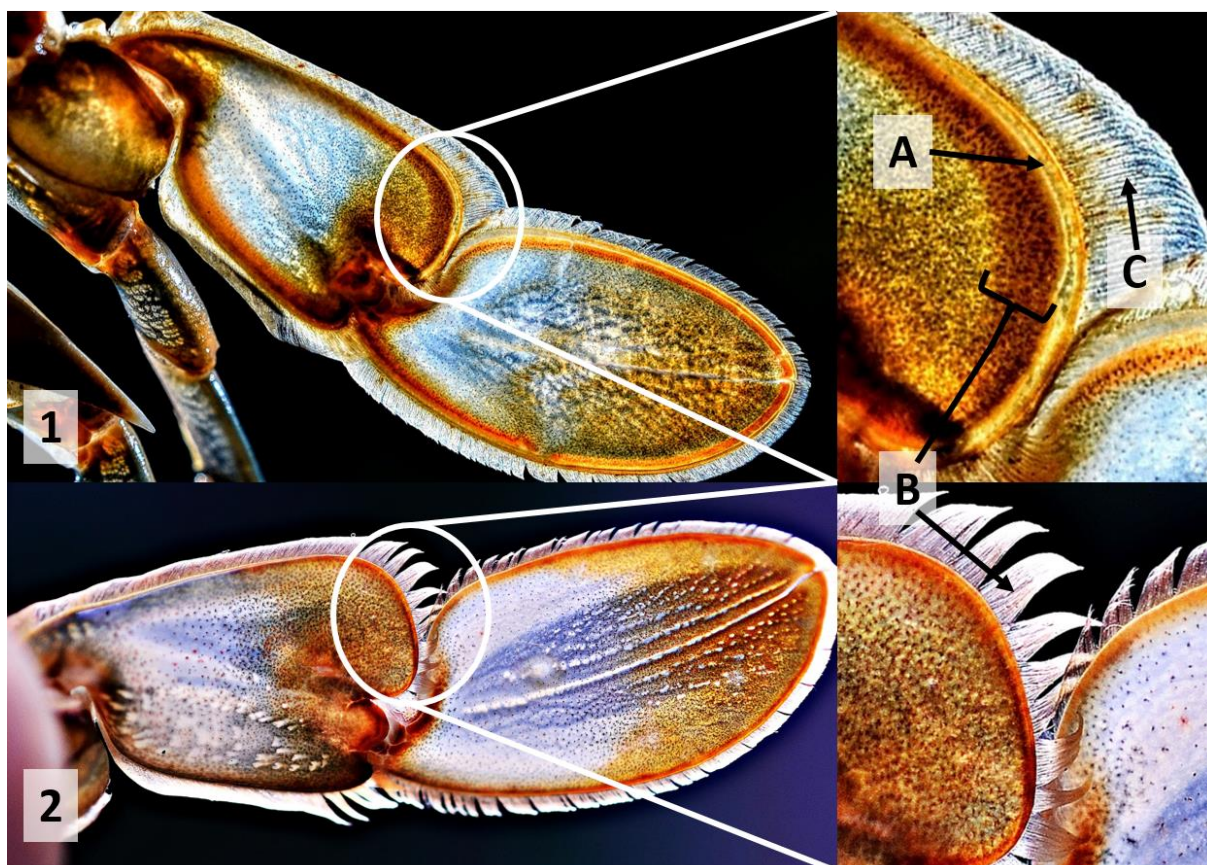


Figure 3. 1- Fifth pereiopod of a pre-moult individual (*Callinectes ornatus*). A) Hyaline line shows the old exoskeleton detaching from the new. B) The darker band stems from the folding of new exoskeleton bristles. C) Old exoskeleton bristles. 2 – Details of the pereiopod of the same individual in the post-moult stage (by Diogo Barbalho Hungria).

Current risks and limitations to the swimming crab production

In industrial fisheries, crabs can be captured by bottom trawling or direct trap fishing (Guillory e Prejean, 1997; Boutson *et al.*, 2009; Songrak *et al.*, 2013; Anderson e Alford, 2014). Bottom trawling is targeted toward fish and shrimp while; crabs are considered incidental or ancillary catches (bycatch). The fishing gear used for trawling causes significant environmental impacts, mainly due to damage to benthic communities and habitats and a large number of aquatic animals captured, killed and discarded (Dinmore *et al.*, 2003; Brandt e Gabriel, 2005; Fao, 2012). The use of trap

specifically designed for crab minimizes environmental impacts associated with bycatch (Guillory e Prejean, 1997; Songrak *et al.*, 2013; Anderson e Alford, 2014).

In recent years, the fishery production of soft-shell crabs has suffered from frequent and significant fluctuations, mainly due to irregular crab fishery landings (Kennedy e Cronin, 2007; Shelley, 2008; Gaudé e Anderson, 2011; Shelley e Lovatelli, 2011; Southern Regional Aquaculture *et al.*, 2011). About 73,5% of commercial-scale swimming crab production originates from wild-caught animals (Fao, 2016), resulting in large variations in seasonal supply and commercialization of individual specimen size (Walton *et al.*, 2006; Azra e Ikhwanuddin, 2015a). Natural stocks are very vulnerable to climatic and environmental changes and, particularly, to commercial fishing pressure (Lindner, 2005; Shelley, 2008; Shelley e Lovatelli, 2011; Ikhwanuddin *et al.*, 2012). Regardless of the fishing method, either trawling or trapping, the crab industry dependence of natural stocks is deemed unsustainable in the medium- and long-term (Lindner, 2005; Shelley, 2008; Shelley e Lovatelli, 2011; Ikhwanuddin *et al.*, 2012).

Indeed, there is evidence that the reductions in natural stocks might have already started, as evident by the annual fluctuations in swimming crab fishing in some regions (Chesapeake Bay e Bi-State Blue Crab Technical Advisory, 2006; Seitz *et al.*, 2008; Johnston *et al.*, 2011; Fao, 2013). Uncontrolled fishing and environmental degradation were reported as the main causes behind the 70% reduction recorded in the *C. sapidus* populations in the Chesapeake Bay (USA), once one of the most productive crab fishing areas in North America (Zohar *et al.*, 2008). This sudden decline was also

observed in natural stocks in crabs of the genera *Scylla* and *Portunus* in Southeast Asia (Shelley, 2008; Johnston *et al.*, 2011).

The socio-economic impacts of the reduction of natural stocks of swimming crabs have forced local governments to institute public policies to regulate captures (Beem, 2010). Driven by the same reason, different projects, some related to the conservation of natural stocks and promotion of a deeper understanding of the interactions between these organisms and the environment, have been developed (Keenan e Blackshaw, 1997; Zohar *et al.*, 2008; Lorenzen *et al.*, 2010; Hart, 2015).

Experiments involving stock enhancement were carried out in 2002 in different areas of Chesapeake Bay (USA) to study the feasibility of blue crab stock enhancement to address the problem (Zohar *et al.*, 2008). In France, projects related to the cultivation of crab and development of stock recovery techniques for some target species have also been carried out (Dumas *et al.*, 2012), same way as in East Africa (Mirera, 2011), in Australia and Southeast Asia (Geoff e Fielder, 2004; Taylor *et al.*, 2005; Bell *et al.*, 2006; Shelley, 2008; Johnston *et al.*, 2011).

Crab Aquaculture

One possible way to overcoming the dependence on natural stocks for soft-shell crab industry is to rely on the development of technology for reproduction, larval rearing, and cultivation of crabs in captivity (Zohar *et al.*, 2008; Baticados *et al.*, 2014; Mirera *et al.*, 2014). Presently, the commercial crab aquaculture is practiced only in the United States and Asia, at a very early stage of technological development for most species

(Zohar *et al.*, 2008; Igarashi, 2009; Paterson e Mann, 2011; Azra e Ikhwanuddin, 2015a).

While large-scale production of larvae and juveniles of *C. sapidus* in captivity is technically possible, the final survivorship rates and overall results of the process are still compromised. The main obstacles are the excessive losses due to dietary and nutritional problems, as well as the high rates of cannibalism. To circumvent these problems, Zmora *et al.* (2005) suggest more research over different feeding strategies, use of shelters inside the larviculture tanks and optimization of culture densities. The authors further suggest research on various ways to reduce megalopae size variabilities, such as separation of early megalopae by size, and even synchronization of molting, trough hormonal or genetic control. More recently, notwithstanding, a highly pathogenic reovirus (Bowers *et al.*, 2011; Flowers *et al.*, 2016) has been affecting the US commercial crab production facilities, which should also significantly compromise the pace of development of this species' rearing commercial technology.

Captive breeding of *Portunus* spp. has almost the same problems reported to *C. sapidus* (Paterson e Mann, 2011). Its larviculture depends entirely on wild-caught ovigerous females (Anand e Soundarapandian, 2011; Azra e Ikhwanuddin, 2015a). Also, low survivorship during larviculture prevents the production of large numbers of healthy larvae (Azra e Ikhwanuddin, 2015b). Much of this mortality is caused by cannibalism (Mann *et al.*, 2007; Azra e Ikhwanuddin, 2015a), and by the lack of knowledge about nutritional requirements for each larval stage (Keenan e Blackshaw, 1997; Geoff e Fielder, 2004; Paterson e Mann, 2011; Azra e Ikhwanuddin, 2015a).

The greatest technological advances and the best results achieved so far, in reproduction, larval rearing and juveniles and adults crab cultivation are being obtained for the mud crab *Scylla* spp. The present state-of-art of the technology allows these crabs to be regularly cultivated in captivity and marketed as soft-shell swimming crabs (Shelley, 2008). It is presently possible to carry out the entire production cycle of the *Scylla* species in captivity, from larvae to breeders, independently of natural stocks (Anand e Soundarapandian, 2011; Azra e Ikhwanuddin, 2015a). The broad distribution of *Scylla* species in mangroves forests in Southeast and East Asia, associated with the dominance of this technology, explains why Asian countries are the largest producers of soft-shell crabs in the world. Among all species of *S. serrata*, is the most commercially attractive. So much that other species of the genus, such as *S. olivacea*, *S. tranquebarica*, and *S. paramamosain*, are often sold as *S. serrata* (Shelley e Lovatelli, 2011).

Conclusion

The soft-shell crab's productive chain, despite all the gastronomic success (high demand for the product; the ease of internet marketing and the international market high price) is highly dependent on fishing and natural stocks and susceptible to influencing them, such as climate change, overfishing, environmental pollution and degradation of habitats.

On the other hand, aquaculture is still far from a viable solution to guarantee the sustainability of this productive chain in most of the countries. The production technology still incipient and directed to only a few species, the high costs of production and the general risks associated (as the highly pathogenic reovirus newly identified)

are all factors limiting the aquaculture development, placing it in an unfavorable situation to compete with fishing.

To meet the needs of the market and ensure their sustainability, the soft-shell crab productive chain will have to pass, in the long term, by the development to achieve mastery in aquaculture techniques. The research institutions can also contribute to that sustainability by carrying out studies on the fisheries biology of species and populations of commercially exploited species. Meanwhile, for a short and medium term, the most effective action is throughout local governments and regulatory fishing agencies, by establishing public policies to ordain, regulate, and supervise crab fisheries, promoting less predatory practices and more selective fishing gears, thus reducing impacts associated with bycatch.

Acknowledgements

To CNPq, for awarding the Productivity in Research Scholarship to Dr. Antonio Ostrensky; financing the project (Process N.381091/2014-7); granting a DTI scholarship to Diogo Barbalho Hungria (Process N.381091/2014-7); and granting a master's degree scholarship to Camila Tavares (Process N. 132835/2015-0).

References

ANAND, T.; SOUNDARAPANDIAN, P. Sea ranching of commercially important Blue Swimming crab *Portunus pelagicus* (LINNAEUS, 1758) in Parangipettai Coast. **International Journal of science and nature**, v. 2, n. 2, p. 215- 219, 2011.

ANDERSON, J. A.; ALFORD, A. B. Ghost fishing activity in derelict blue crab traps in Louisiana. **Marine Pollution Bulletin**, v. 79, p. 261-267, 2/15/15 February 2014 2014. ISSN 0025-326X.

AZRA, M. N.; IKHWANUDDIN, M. Larval culture and rearing techniques of commercially important crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758): Present status and future prospects. **Songklanakarín Journal of Science & Technology**, v. 37, n. 2, p. 135-145, 2015a. ISSN 01253395.

_____. A review of maturation diets for mud crab genus *Scylla* broodstock: Present research, problems and future perspective. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 2, p. 257-267, 2015b. ISSN 1319-562X. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X15000698> >.

BATICADOS, D. B.; AGBAYANI, R. F.; QUINTIO, E. T. Community-based technology transfer in rural aquaculture: the case of mudcrab *Scylla serrata* nursery in ponds in Northern Samar, Central Philippines. **Ambio**, v. 43, n. 8, p. 1047-58, Dec 2014. ISSN 0044-7447 (Print) 0044-7447 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24817087> >.

BEEM, B. Learning the wrong lessons? Science and fisheries management in the Chesapeake Bay blue crab fishery. **Public Understanding of Science**, v. 21, n. 4, p. 401-417, 05 / 01 / 2010. ISSN 09636625 13616609.

BELL, J. D. et al. Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: Potential, problems and progress. **Fisheries Research**, v. 80, n. 1, p. 1-8, 8// 2006. ISSN 0165-7836. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783606001147> >.

BOUTSON, A. et al. Use of escape vents to improve size and species selectivity of collapsible pot for blue swimming crab *Portunus pelagicus* in Thailand. **Fisheries Science**, v. 75, n. 1, p. 25-33, 2009. ISSN 09199268.

BOWERS, H. A. et al. A reo-like virus associated with mortalities of blue crab *Callinectes sapidus*: development of tools to improve soft-shell crab aquaculture. **Journal of Shellfish Research**, v. 30, n. 2, p. 487, 2011. ISSN 0730-8000.

BRANDT, A. V.; GABRIEL, O. **Fish Catching Methods of the World**. Oxford, UK: Wiley, 2005. ISBN 9780852382806
9780470995631.

CAFFEY, R. H.; CULLEY, D. D.; ROBERTS, K. J. The Louisiana soft-shelled crab industry. **Sea Grant Program Publication**, v. LSU-G-9-00, p. 146, 1993.

CAP LOG GROUP, L. **A VALUE CHAIN ANALYSIS OF SONORA'S COMMERCIAL SWIMMING CRAB TRADE**. CapLog Reports. 2013

CHANG, E. S.; MYKLES, D. L. Regulation of crustacean molting: A review and our perspectives. **General and Comparative Endocrinology**, v. 172, p. 323-330, 7/1/1 July 2011 2011. ISSN 0016-6480.

CHESAPEAKE BAY, C.; BI-STATE BLUE CRAB TECHNICAL ADVISORY, C. **Blue Crab 2005 : status of the Chesapeake population and its fisheries**. [Annapolis. Md.]: [Chesapeake Bay Commission], 2006.

DANA, S. S.; GHOSH, A.; BANDYOPADHYAY, U. K. Socio-economic profile and problems of mud-crab farmers of South 24-Parganas, West Bengal: an explorative study. **Journal Crop and Weed**, v. 11, n. 1, p. 3, 2015. ISSN 0974-6315.

DINMORE, T. A. et al. Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities. **ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil**, v. 60, n. 2, p. 371-380, January 1, 2003 2003. Disponível em: < <http://icesjms.oxfordjournals.org/content/60/2/371.abstract> >.

DUMAS, P. et al. Mud crab ecology encourages site-specific approaches to fishery management. **Journal of Sea Research**, v. 67, n. 1, p. 1-9, 1// 2012. ISSN 1385-1101. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385110111001195> >.

EATERDC. Soft-shell crab guide. 2017. Disponível em: < <https://dc.eater.com/maps/soft-shell-crab-guide-dc> >.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, p. 230, 2012.

_____. Global Capture Production (FishStat). <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data>, 2013. Disponível em: < <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data> >. Acesso em: 06/07/2015.

_____. Cultured aquatic species information program. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, p. 1-13, 2015/11/03 2015. Disponível em: < http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Scylla_serrata/en >.

_____. Global Capture and Aquaculture Production (FishStat). 2016. Disponível em: < http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/work/FIGIS/prod/webapps/figis/temp/hqp_5215617422254205836.xml&outtype=html >. Acesso em: 27/04/2017.

FEDERATION, Q. A. I., v. 2015, n. 09/07/2015, 2015. Disponível em: < <http://www.aquaculturequeensland.com/> >.

FERDOUSHI, Z.; XIANG, Z.; HASAN, M. R. Mud crab (*Scylla sp.*) marketing system in Bangladesh. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, v. 3, p. 17, 2010.

FISHER, R. A. et al. **Model HACCP program for fresh and frozen soft shell blue crabs : process flow chart/hazard analysis and sanitation standard operating procedures (SSOP)**. Gloucester Point, Va.: Virginia Sea Grant Marine Advisory Program, Virginia Institute of Marine Science, School of Marine Science, College of William and Mary, 1998.

FLOWERS, E. M. et al. PCR-based prevalence of a fatal reovirus of the blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun) along the northern Atlantic coast of the USA. **Journal of Fish Diseases**, Hoboken, v. 39, n. 6, p. 705-714, 08/06

03/26/received

06/13/revised

06/18/accepted 2016. ISSN 0140-7775

1365-2761. Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5324600/> >.

FREEMAN, J. A. et al. Postmolt and intermolt molt cycle stages of *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 61, n. 3–4, p. 201-209, 4/1/ 1987. ISSN 0044-8486. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0044848687901499> >.

GAUDÉ, A.; ANDERSON, J. A. **Soft shell crab shedding systems**. Southern Regional Aquaculture Center 2011/09, p.1-6. 2011

GBIF. Global Biodiversity Information Facility. http://www.gbif.org/species/search?q=portunidae&dataset_key=d7ddd4f4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c&highertaxon_key=4555&rank=SPECIES, 2016. Disponível em: <
http://www.gbif.org/species/search?q=portunidae&dataset_key=d7ddd4f4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c&highertaxon_key=4555&rank=SPECIES >. Acesso em: 03/29/2016.

GEOFF, A.; FIELDER, D. Mud crab aquaculture in Australia and Southeast Asia - Proceedings of the ACIAR Crab Aquaculture Scoping Study and Workshop 28–29 April 2003, Joondoburri Conference Centre, Bribie Island. 2004.

GRANT, L. S. A Declining Delicacy. 2016. Disponível em: <
<http://www.laseagrant.org/2016/declining-delicacy/> >.

GUILLORY, V.; PERRY, H. M.; VANDERKOOY, S. **The Blue crab fishery of the Gulf of Mexico, United States : a regional management plan.** Ocean Springs, Miss.: Gulf States Marine Fisheries Commission, 2001.

GUILLORY, V.; PREJEAN, P. Blue crab, *Callinectes sapidus*, trap selectivity studies: Mesh size. **Marine Fisheries Review**, v. 59, n. 1, p. 29, 1997. ISSN 00901830.

HART, A. M. Commercial scale invertebrate fisheries enhancement in Australia: Experiences, challenges and opportunities. **Marine Policy**, v. 62, p. 82-93, 12// 2015. ISSN 0308-597X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X15002602> >.

HE, J. Chinese public policy on fisheries subsidies: Reconciling trade, environmental and food security stakes. **Marine Policy**, v. 56, n. 0, p. 106-116, 6// 2015. ISSN 0308-597X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X15000020> >.

IGARASHI, A. M. Cultivo de siri: perspectivas para o pequeno criador. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, p. 12, 2009.

IKHWANUDDIN, M. et al. Improved hatchery-rearing techniques for juvenile production of blue swimming crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758). **Aquaculture Research**, v. 43, n. 9, p. 1251-1259, 08 / 01 / 2012. ISSN 1355557X
13652109.

JOHNSTON, D. et al. Decline of a blue swimmer crab (*Portunus pelagicus*) fishery in Western Australia -History, contributing factors and future management strategy. **Fisheries Research**, v. 109, n. 1, p. 119-130, 4// 2011. ISSN 0165-7836. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783611000476> >.

KEENAN, C. P.; BLACKSHAW, A. Mud Crab Aquaculture and Biology - Proceedings of an international scientific forum held in Darwin, Australia. **ACIAR Proceedings**, v. 78, p. 216, 1997.

KENNEDY, V. S.; CRONIN, L. E. **The Blue crab : Callinectes sapidus**. College Park, Md.: Maryland Sea Grant College, University of Maryland, 2007. ISBN 9780943676678 0943676673.

LAWLOR, F.; FISHER, B.; OESTERLING, M. Model HACCP Program for Soft Shell Blue Crab. **Florida Sea Grant College Program**, p. 22, 1997.

LINDNER, B. Impacts of Mud Crab Hatchery Technology in Vietnam. **Assessment Series Report**, v. 36, p. 68, 2005.

LORENZEN, K.; LEBER, K. M.; BLANKENSHIP, H. L. Responsible Approach to Marine Stock Enhancement: An Update. **Reviews in Fisheries Science**, v. 18, n. 2, p. 189-210, 2010/08/18 2010. ISSN 1064-1262. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/10641262.2010.491564> >.

MANN, D. L. et al. Stocking density and artificial habitat influence stock structure and yield from intensive nursery systems for mud crabs *Scylla serrata* (Forsskal 1775). **Aquaculture Research**, v. 38, n. 14, p. 1580-1587, 2007. ISSN 1355557X.

MCDONALD, K.; DUPAUL, W.; PLUMMER, C. **The expansion of America's soft-shell crab industry : a Sea Grant success story**. [Gloucester Point, Va.]: [Virginia Sea Grant College Program], 1986.

MIRERA, D.; OCHIEWO, J.; MUNYI, F. Social and economic implications of small-scale mud crab (*Scylla serrata*) aquaculture: the case of organised community groups. **Aquaculture International**, v. 22, n. 4, p. 1499-1514, 2014/08/01 2014. ISSN 0967-6120. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-014-9762-x> >.

MIRERA, O. D. Review: Trends in exploitation, development and management of artisanal mud crab (*Scylla serrata*-Forsskal-1775) fishery and small-scale culture in Kenya: An overview. **Ocean and Coastal Management**, v. 54, p. 844-855, 1/1/2011 2011. ISSN 0964-5691.

MWALUMA, J. **Pen Culture of the Mud Crab Scylla Mangrove System, Kenya**: Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA), 2002. 2002.

NOAA. Annual Commercial Landing Statistics. 2016. Disponível em: < www.st.nmfs.noaa.gov/st1/commercial/landings/annual_landings.html >.

OESTERLING, M. J. **Manual for handling and shedding blue crabs (*Callinectes sapidus*)**. Virginia Institute of Marine Science. Gloucester Point, Va, p.91. 1995. (271)

PAOLISSO, M. Taste the Traditions: Crabs, Crab Cakes, and the Chesapeake Bay Blue Crab Fishery. **American Anthropologist**, v. 109, n. 4, p. 654-665, 2007. ISSN 1548-1433. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1525/aa.2007.109.4.654> >.

PATERSON, B. D.; MANN, D. L. Mud Crab Aquaculture. p. 115-135, 2011.

PERRY, H. et al. Expansion of the Soft Crab Fishery in Mississippi Using Cultured Blue Crabs. 2010, 486: Gulf and Caribbean Fisheries Institute, c/o Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc. Fort Pierce FL 34946 United States. p.5.

PERRY, H. et al. Calcium concentration in seawater and exoskeletal calcification in the blue crab, *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 198, p. 197-208, 1/1/2001 2001. ISSN 0044-8486.

PERRY, H. M.; OGLE, J. T.; NICHOLSON, L. The fishery for soft crabs with emphasis on the development of a closed recirculating seawater system for holding shedding crabs. **Gulf States Marine Fisheries Commission**, v. 7, p. 17, 1982.

PRIMAVERA, J. H. et al. Mud crab pen culture: replacement of fish feed requirement and impacts on mangrove community structure. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 1211-1220, 2010.

RATHBUN, R. **The crab, lobster, crayfish, rock lobster, shrimp, and prawn fisheries**. [Washington]: [Government Printing Office], 1887.

ROBERTS, W. A. **The crab industry of Maryland**. Washington: Govt. Print. Off., 1905.

SEITZ, R. D. et al. Stock Enhancement and Carrying Capacity of Blue Crab Nursery Habitats in Chesapeake Bay. **Reviews in Fisheries Science**, v. 16, n. 1-3, p. 329-337, 2008. ISSN 10641262.

SHELLEY, C. Capture-based aquaculture of mud crabs (*Scylla spp.*). **Global overview. FAO Fisheries Technical Paper.**, v. 508, p. 15, 2008.

SHELLEY, C.; LOVATELLI, A. Mud crab aquaculture. A practical manual. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper (FAO)**, Rome (Italy), 2011. ISSN 978-92-5-106990-5
2070-7010.

SONGRAK, A.; BODHISUWAN, W.; THAPANAND-CHAIDEE, T. **Selectivity of traps for blue swimming crab in Trang province.** 2013.

SOUTHERN REGIONAL AQUACULTURE, C.; GAUDÉ, A.; ANDERSON, J. A. Soft shell crab shedding systems. Stoneville, Miss.?, 2011. Disponível em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=AN&dedsagr.US201300003501&lang=pt-br&site=deds-live>.

TAYLOR, J. R. A.; KIER, W. M. Switching skeletons: Hydrostatic support in molting crabs. **Science**, v. 301, n. 5630, p. 209-210, 07 / 11 / 2003. ISSN 00368075.

TAYLOR, M. D. et al. Responsible estuarine finfish stock enhancement: an Australian perspective. **Journal of Fish Biology**, v. 67, n. 2, p. 299-331, 2005. ISSN 1095-8649. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00809.x> >.

TOBIAS-QUINITIO, E. J. et al. **Soft-shell crab production using hatchery-reared mud crab.** Southeast Asian Fisheries Development (SEAFDEC), 2015. 25.

WALTON, M. et al. Significance of mangrove–mudflat boundaries as nursery grounds for the mud crab, *Scylla paramamosain*. **Marine Biology**, v. 149, n. 5, p. 1199-1207, 2006/08/01 2006. ISSN 0025-3162. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-006-0267-7> >.

WHEATLY, M. G. Calcium homeostasis in crustacea: The evolving role of branchial, renal, digestive and hypodermal epithelia. **Journal of Experimental Zoology**, v. 283, n. 7, p. 620-640, 1999. ISSN 1097-010X. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990601\)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990601)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3) >.

WICKINS, J. F.; LEE, D. O. C. **Crustacean farming : ranching and culture**. Oxford; Ames, Iowa: Blackwell Scientific Publications, 2002. ISBN 0632054646 9780632054640.

YALIN, S.; QINGSHENG, L. Present Status of Mangrove Crab (*Scylla serrata* (Forsk.) Culture in China. **NAGA, The ICLARM Quarterly**, v. 17, n. 1, p. 2, 1994.

ZMORA, O. et al. Large-scale juvenile production of the blue crab *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 244, n. 1-4, p. 129-139, 2/28/ 2005. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848604006544> >.

ZOHAR, Y. et al. The Chesapeake Bay Blue Crab (*Callinectes sapidus*): A Multidisciplinary Approach to Responsible Stock Replenishment. **Reviews in Fisheries Science**, v. 16, n. 1-3, p. 24-34, 2008. ISSN 10641262.

Capítulo 2 – É possível manter o exoesqueleto de siri, *Callinectes ornatus*, mole por vários dias?

Diogo Barbalho Hungria, Ubiratã de Assis Teixeira da Silva, Leandro Ângelo Pereira, Ariana Cella Ribeiro, Antonio Ostrensky

Resumo

O "siri-mole" é considerado uma iguaria gastronômica, atingindo elevados valores no mercado internacional. Em condições normais, o processo de enrijecimento do exoesqueleto leva cerca de dois dias para se completar após a muda, mas os organismos permanecem apenas 3 horas, em média, nas consistências de alto valor comercial ("mole" e "couro"), antes de assumir uma consistência classificada como "papel" e, a seguir, "dura" novamente. Este trabalho teve por objetivo avaliar a utilização dos próprios siris mantidos em cativeiro como fonte de alteração das características químicas da água, de modo a ampliar o tempo que os animais poderiam ser comercializados na forma de siri-mole. Para isso, 241 indivíduos de *Callinectes ornatus* foram utilizados em 2 experimentos. No experimento 1, os animais foram mantidos em sistema coletivo, com filtração e renovação parcial diária da água. No experimento 2, os siris foram mantidos em sistema coletivo, com filtração e sem renovação de água. No experimento 1, a filtração contínua e a renovação periódica da água fizeram com que as características químicas da água se mantivessem inalteradas ($p > 0,05$). Nessa condição, o tempo mediano de enrijecimento do exoesqueleto até a consistência de papel dos animais, após a muda, foi de 3 horas. Durante o experimento 2 ocorreram alterações significativas ($p < 0,05$) no pH e nas concentrações de amônia e de nitrito que, por sua vez, se correlacionaram tanto com as taxas de sobrevivência quanto com o tempo de enrijecimento dos animais. Sempre que, no momento da muda, o pH da água se encontrava abaixo de 7,3 e as concentrações de amônia total acima de 6,0 mg/L, os siris não conseguiam endurecer, sendo possível a manutenção do exoesqueleto mole por até 5 dias.

Introdução

Callinectes ornatus Ordway, 1863 (Crustacea, Decapoda, Portunidae) é um siri nadador, encontrado desde a Carolina do Norte (EUA) até o Rio Grande do Sul (Brasil), em zonas com fundo de areia, lama ou de conchas, habitando desde áreas estuarinas até zonas marinhas com cerca de 75 m de profundidade (Melo-Filho, 1996; Carvalho e Couto, 2011).

Assim como os demais artrópodes, *C. ornatus* cresce através de um processo de trocas periódicas do exoesqueleto, conhecido como ecdise ou muda (Drach, 1939; Newcombe *et al.*, 1949; Freeman e Perry, 1985). Imediatamente após descartar o

exoesqueleto antigo, o siri apresenta um tegumento macio e flexível, com baixo nível de calcificação. Nessa fase os animais podem ser comercializados e consumidos inteiros, na forma de "siri-mole", uma iguaria mundialmente apreciada e de alto valor de mercado (Oesterling, 1995; Perry *et al.*, 2010; Gaudé e Anderson, 2011). De acordo com a Fao (2013), a receita anual gerada com a produção e comercialização de siri-mole em 2012 foi superior a U\$ 940 milhões.

Imediatamente após a muda, inicia-se a deposição de CaCO_3 sobre a matriz proteica do novo exoesqueleto. Esse processo envolve um complexo sistema de absorção de Ca^{2+} , CO_2 , HCO_3^- e síntese de CaCO_3 , entre outros elementos (Greenaway, 1985; Wheatly, 1999; Perry *et al.*, 2001; Zanotto e Wheatly, 2002), que proporciona um rápido enrijecimento ao frágil exoesqueleto, conferindo novamente rigidez e proteção mecânica ao animal. Em condições naturais, o enrijecimento do exoesqueleto leva cerca de dois dias para se completar (Cameron e Wood, 1985). Durante esse processo, o exoesqueleto pode ser classificado em quatro níveis sequenciais de consistência, descritos como mole, couro, papel e duro (Freeman *et al.*, 1987). Apenas os dois primeiros são apreciados e valorizados no mercado internacional de siris-moles (Oesterling, 1995; Perry *et al.*, 2010; Gaudé e Anderson, 2011). Porém, o tempo de permanência dos siris nas consistências mole e couro é naturalmente muito pequeno, raramente durando mais que 3 h (Cameron e Wood, 1985), o que obriga os produtores comerciais de siris a vistoriar todos os animais estocados em fase de pré-muda, em média, a cada 4 horas (Oesterling, 1995). Estender o tempo em que o siri permanece nas consistências de alto valor de mercado reduziria significativamente os custos de produção (Perry *et al.*, 2001), bem como minimizaria os prejuízos causados pelo rápido enrijecimento do exoesqueleto, garantindo melhor qualidade e uniformidade em relação à maciez do produto.

O objetivo deste trabalho foi testar a viabilidade de se utilizar os próprios siris (*C. ornatus*) para promover alteração significativas das características químicas da água, criando condições para ampliação do tempo em que os animais poderiam ser comercializados na forma de siri-mole.

Material e Métodos

Obtenção e manejo dos siris

Exemplares de *C. ornatus* foram obtidos a partir da pesca de arrasto realizada por pescadores profissionais, no balneário de Shangri-lá, município de Pontal do Paraná (25°37'S/48°25'O), Paraná, Brasil. Foram utilizadas redes de arrasto com 12 m de comprimento e malha com abertura de 20 mm entrenós opostos. A cada campanha amostral foram realizados, em média, três arrastos de aproximadamente 50 min cada.

Imediatamente após o recolhimento da rede, os siris eram separados e acondicionados em dois tanques de polietileno de 70 L, com tampa, contendo 20 L de água do mar e aeração constante, fornecida através de um compressor de ar de 18W. No interior de cada tanque foram adicionadas telas plásticas com 2 mm de abertura, com o intuito de reduzir o contato e prevenir brigas entre os animais, minimizando a ocorrência de ferimentos e mortes. A cada meia hora, durante todo o período de coleta, a água era renovada em 100 % do volume estocado.

Imediatamente após a coleta, os animais eram transportados até o Centro de Aquicultura Marinha e Repovoamento (CAMAR), pertencente ao Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado em Pontal do Paraná (25°41'29.94"S/48°27'57.09"O). O tempo transcorrido desde o momento da coleta até a chegada ao laboratório foi sempre inferior a 4 h. Os animais não utilizados foram devolvidos ao mar.

No laboratório, os siris foram mantidos em tanques de 1000 L, contendo aproximadamente 100 L de água do mar (30 ups) e aeração constante por aproximadamente 6 h, período propositalmente curto, uma vez que grande parte dos indivíduos capturados já se encontravam em iminência da muda. Os animais mortos eram descartados e os vivos classificados de acordo com o sexo. Em seguida, eram selecionados de acordo com a fase no ciclo de muda, a partir da identificação da presença de sinais macroscópicos indicativos da fase de pré-ecdise (visualização de uma linha interna ao longo das bordas do quinto par de pleópodes (Drach, 1939; Drach e Tchernigovtzeff, 1967; Wehrtmann e Mena-Castañeda, 2003). Os indivíduos selecionados foram pesados em balança analítica (Marte AL 500c, Brasil, com precisão 0,01 g) e medidos (largura da carapaça, ou seja, distância entre a base dos maiores espinhos laterais), com o auxílio de um paquímetro.

Experimentos-piloto

Foram realizados dois experimentos-pilotos. O primeiro testou a influência do jejum sobre a sobrevivência dos animais em laboratório. Neste caso, constatou-se que os animais só começaram a morrer após 50 dias sem acesso a qualquer alimento. Com base nesse resultado e para evitar que a alimentação pudesse interferir na qualidade da água ou no processo de muda e enrijecimento, os siris não foram alimentados durante os 12 dias de duração de cada experimento.

O segundo experimento-piloto testou a influência da não-renovação da água sobre o enrijecimento dos animais que apresentou forte influência no enrijecimento dos animais retardando o enrijecimento em alguns dias. Nesse experimento também foi possível observar a prevalência da realização de mudas no período noturno (entre 18 e 6h), informação que foi utilizada quando da definição da metodologia experimental descrita a seguir.

Design Experimental

Para a realização de todos os experimentos, a água marinha foi previamente clorada e mantida sob aeração constante por 24 h. Após esse período, o cloro foi neutralizado (tiosulfato de sódio 50 %), e a água estocada, em ausência de luz, em tanques com capacidade para 25.000 L. Antes de ser usada nos experimentos, a água passava ainda por filtros mecânicos de 5 e 25 µm e por filtro UV para desinfecção. Dois experimentos, representados esquematicamente na Figura 1, foram realizados:

Experimento 1: **manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e renovação parcial diária da água**

Sessenta e seis indivíduos de *C. ornatus* foram acondicionados individualmente em garrafas pet (600 ml) perfuradas, distribuídas em um sistema composto por 20 tanques de polietileno (71,0 x 35,5 x 35,0 cm, contendo 25 litros de água cada), interligados entre si a um sistema de filtros - desnatador de proteínas (*skimmer*) e a um filtro mecânico/biológico, em presença de aeração constante, recirculação contínua de água e fotoperíodo controlado (14L:10E).

Os animais foram separados em dois tratamentos: A1 – animais em estágio de pré-ecdise (n=46) e AC – animais do controle (em estágio interecdise) (n=20). Diariamente, durante todo o período experimental (12 dias), 1/3 do volume da água do sistema (333 litros) era adicionado, promovendo a mistura com a água já presente no sistema e o extravasamento do excedente (descarte), mantendo-se assim o volume de água circulante.

Experimento 2: manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e sem renovação de água

Cento e setenta e seis indivíduos de *C. ornatus* foram acondicionados individualmente em garrafas pet (600 ml) perfuradas, distribuídas em 12 tanques de polietileno (71,0 x 35,5 x 35,0 cm, contendo aproximadamente 30 litros de água cada). Cada unidade experimental continha um desnatador de proteínas (*skimmer*) e um filtro mecânico/biológico; era submetida à aeração constante, à recirculação contínua de água e a um fotoperíodo controlado (14L:10E).

Os animais foram subdivididos em 3 grupos: B1 – animais em fase de pré-ecdise (n=83); B2 – animais em fase de pré-ecdise (n=40) e BC – controle, com animais em fase de interecdise (n=52). Além disso, foram mantidos três tanques somente com água durante todo o período experimental (12 dias) para análise comparativa das variáveis físicas e químicas da água em relação a água dos tratamentos contendo animais. Não houve renovação de água durante o experimento.

Os animais do tratamento B2 foram estocados nas mesmas caixas usadas pelo grupo B1, inclusive utilizando a mesma água que havia sido empregada nesse tratamento.

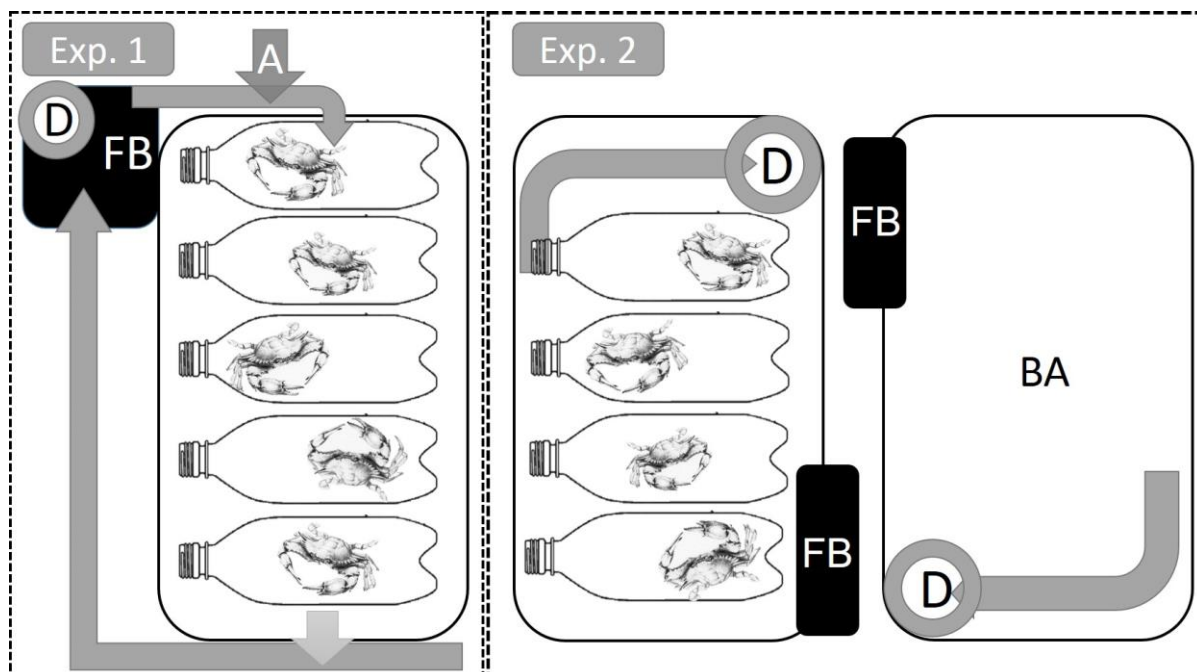


Figura 4. Representação esquemática dos sistemas experimentais utilizados. Experimento 1 (Exp. 1): manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e renovação parcial diária da água. Experimento 2 (Exp. 2): manutenção dos siris em sistema coletivo, com filtração e sem renovação de água. A = Aporte de água externo; D = desnatador de proteínas (Skimmer); FB = filtro mecânico/biológico. BA = Controle de água

Na Tabela 3 são sintetizadas as informações relativas aos dois experimentos realizados e os dados biométricos dos siris neles utilizados.

Tabela 3. Síntese das condições gerais empregadas nos experimentos realizados para avaliação dos efeitos da qualidade da água sobre o tempo de enrijecimento da carapaça de *Callinectes ornatus*, e dados biométricos dos animais utilizados (média \pm dp). NA – Não se aplica.

Experimento	Tratamento	Unidade Experimental	Estágio	N Total	Largura (mm) (\pm dp)	Peso (g) (\pm dp)	Volume de água (L)	Coleta água
1	A1	Tanque	Pré-ecdise	46	45,4 (\pm 6,16)	15,04 (\pm 6,11)	0,6	24 h
	AC	Tanque	Interecdise	20	61,55 (\pm 10,53)	35,57 (\pm 16,9)	0,6	24 h
	B1	Tanque (Réplica 1)	Pré-ecdise	27	50,7 (\pm 7,78)	16,64 (\pm 7,03)	32,5	12 h
Tanque (Réplica 2)		27		3,10 (\pm 7,36)	14,36 (\pm 7,47)	32,5	12 h	
Tanque (Réplica 3)		29		47,5 (\pm 5,12)	15,11 (\pm 4,92)	32,5	12 h	
2	B2	Tanque (Réplica 1)	Pré-ecdise	14	48,1 (\pm 8,25)	16,46 (\pm 8,08)	30	12 h
		Tanque (Réplica 2)		13	46,4 (\pm 7,02)	15,40 (\pm 6,7)	30	12 h
		Tanque (Réplica 3)		13	47,0 (\pm 6,64)	14,75 (\pm 6,3)	30	12 h
	BC	Tanque (Réplica 1)	Interecdise	17	56,2 (\pm 2,9)	26,51 (\pm 5,07)	32,5	12 h
		Tanque (Réplica 2)		17	59,7 (\pm 3,8)	28,31 (\pm 6,1)	32,5	12 h
		Tanque (Réplica 3)		18	56,65 (\pm 4,93)	26,54 (\pm 7,95)	32,5	12 h
	BA	Tanque	NA	NA	NA	NA	32,5	12 h

Experimento	Tratamento	Unidade Experimental	Estágio	N Total	Largura (mm) ($\pm dp$)	Peso (g) ($\pm dp$)	Volume de água (L)	Coleta água
(3 réplicas)								

Rotina Experimental

Durante os experimentos, os siris eram monitorados a cada três horas nos quatro primeiros dias; a cada seis horas nos cinco dias subsequentes; e a cada 12 horas nos últimos três dias de experimentação, preferencialmente próximo aos seguintes horários: 3, 6, 18, 21 e 00 horas definidos durante os experimentos-pilotos.

O monitoramento consistiu na identificação de animais durante o processo de muda; na retirada do exoesqueleto descartado (para que o animal não se alimentasse do mesmo, tendo, caso isso ocorresse, acesso a uma fonte extra de cálcio); verificação da consistência da carapaça dos animais que sofreram a muda; e, retirada dos animais mortos. A verificação da consistência do exoesqueleto era feita pressionando a carapaça do animal com o dedo indicador. A pressão aplicada era leve o suficiente para deformá-la, sem ferir o animal e sem quebrá-la quando rígida. De acordo com a resistência à pressão e a textura apresentada pelo exoesqueleto, sua consistência (Co) era classificada pelo avaliador como: dura - antes da ecdise (1), mole (2), couro (3), papel mole (4), papel duro (5) ou dura - após ecdise (6). Para reduzir e padronizar o erro, apenas um único avaliador realizou as análises de consistência em todos os experimentos.

Análise da água

Em todos os experimentos a salinidade (refratômetro - Instrutemp, Brasil), a temperatura (termômetro digital) e a concentração de oxigênio dissolvido (Oxímetro YSI 550A, USA) foram monitorados diariamente em todas as unidades experimentais. Amostras de água foram coletadas nessas mesmas unidades, identificadas e imediatamente congeladas (-20°C), para posterior avaliação das demais variáveis físicas e químicas. No Tratamento A1, a coleta de água foi realizada a cada 24 horas, sempre antes do novo volume de água ser adicionado ao sistema. Nos Tratamentos B1, B2, BC e BA foram coletados 50 ml água a cada 12 h.

No momento das análises de água, as amostras foram descongeladas para mensuração do: pH (pHâmetro de bancada - AZ pH/mV/TDS/Temp. meter 86505,

Taiwan); Na⁺, K⁺, Ca²⁺ e nitrato (eletrodos da série LAQUAtwin - Horiba Scientific® - Japão); amônia e nitrito (espectrofotômetro SpectraMax® m2, USA) aplicando-se os métodos descritos pela APHA, 2005 e por Büldt e Karst (1999), respectivamente. A determinação do íon magnésio (Mg²⁺) foi realizada através de colorimetria (Labtest® - Brasil), com leitura em 540 nm (SpectraMax® m2 – USA) e o Cl⁻ de acordo com o método descrito por Clarke (1950), com leitura em 470 nm (SpectraMax® m2 – USA)

Análises estatísticas

A sobrevivência dos animais durante os experimentos foi analisada através das curvas de Kaplan-Meier. Os dados obtidos foram agrupados por tratamento e a distribuição de sua normalidade testada pelo método de Shapiro & Wilk. Como em alguns casos foi rejeitada a hipótese de normalidade, optou-se pelo uso de testes não-paramétricos de Mann-Whitney ou de Kruskal-Wallis.

Também foram realizadas análises de regressão linear múltipla para modelagem da influência das variáveis físicas e químicas determinantes da qualidade da água sobre o tempo de enrijecimento do exoesqueleto. Para isso, foram sempre respeitados os pressupostos de independência das variáveis físicas e químicas da água; de rejeição da hipótese de autocorrelação e de colinearidade (utilizando-se os testes de Durbin-Watson e de correlação serial do erro), além de comprovação da normalidade do erro. Para a redução do número de variáveis e, portanto, da complexidade dos respectivos modelos matemáticos, sem perda significativa do nível de informação oferecido pelo conjunto total das variáveis originais, só foram consideradas válidas: 1) as variáveis que apresentaram significância estatística ($p < 0,05$) nas análises realizadas; e 2) as variáveis que contribuíram com mais de 5 % no coeficiente de determinação (R^2) do respectivo modelo ou que possibilitassem que o R^2 passasse a ser classificado em uma categoria superior à apresentada sem a sua presença no modelo, seguindo classificação proposta por Mukaka (2012): Muito fraco: $R^2 < 0,19$; Fraco: $0,20 \geq R^2 \leq 0,39$; Moderado: $0,40 \geq R^2 \leq 0,69$; Forte: $0,70 \geq R^2 \leq 0,89$; e Muito Forte: $R^2 > 0,90$.

Resultados

Ecdises

Não foram observados efeitos significativos do sexo dos siris sobre as taxas de sobrevivência, de ecdise ou no tempo de enrijecimento do exoesqueleto pós-ecdise. Por esse motivo, os dados obtidos com machos e fêmeas foram analisados de forma agrupada. Além disso, a temperatura da água ($27,0 \pm 1,1$ °C), a salinidade ($31,0 \pm 2,1$ ups) e a concentração de oxigênio dissolvido ($5,0 \pm 0,52$ mg/L) foram mantidas em níveis suficientemente estáveis para que não apresentassem influência significativa sobre nenhuma das variáveis dependentes testadas.

A taxa de muda dos animais que se encontravam em fase de pré-ecdise no início dos experimentos variou de 40 a 95 % do total de indivíduos testados. A maioria das mudas ocorreu durante o período noturno, sendo que 50% dos animais realizaram a muda entre 52 e 80 horas após o início dos experimentos. Houve efeito significativo da muda sobre as taxas finais de mortalidade e sobre o tempo que os animais permaneceram vivos após a ecdise (Tabela 4).

Tabela 4. Quadro geral dos resultados obtidos nos experimentos de avaliação do processo de ecdise de *Callinectes ornatus* em condições laboratoriais.

Exp.	Grupo	Estágio	n ₁	Ganho de peso (%)	Realizaram a ecdise			Tempo até a Ecdise (h)			Mortes Totais (%)	Sobrevivência (h)		
					Período	n ₂	Ecdise (%)	25%	50%	75%		25%	50%	75%
1	A1	Pré	46	56	dia noite	14 ^a 24 ^b	83	44,5	80	124	24 ^a	230	-	-
	AC	Inter.	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0 ^b	-	-	-
2	B1	Pré	83	69	dia noite	19 ^a 59 ^b	94	36	52	78	78 ^c	107	168	212
	B2	Pré	40	46	dia noite	3 ^a 13 ^b	40	102	-	-	78 ^c	174	228	413
	BC	Inter	53	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	26 ^a	255	-	-

Exp.: número do experimento; Pré: pré-ecdise; Inter: Interecdise; n₁: número de indivíduos utilizados; Ganho de Peso: aumento (em %) do peso pós-ecdise; período em que ocorreu a muda; n₂: número de siris que realizaram a ecdise; percentual de animais que realizaram a ecdise; tempo (em horas) em que ocorreu a muda de 25, 50 e 75% dos animais; taxa de mortalidade; tempo (em horas) em que 25, 50 e 75% dos animais sobreviveram após a ecdise. NA: Não se aplica. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos para as variáveis testadas pelo teste de Kruskal-Wallis. Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água). Grupo A1: organismos em pré-ecdise; AC (Controle): organismos em interecdise. Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água). Grupo B1: organismos em pré-ecdise. Grupo B2: tanques contendo água previamente utilizada no Grupo B1, com organismos em pré-ecdise. BC (Controle): tanques com organismos em fase de interecdise.

Variáveis físicas e químicas da água

No experimento 1, as concentrações de amônia total ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) mantiveram-se inferiores ao limite de detecção analítica, enquanto a mediana do pH foi de 8,5, com valores entre 8,1 e 8,5. As demais variáveis físicas e químicas mostraram-se relativamente estáveis ao longo de todo o período experimental (Tabela 5).

Tabela 5. Mediana (1º e 3º quartis) dos parâmetros de qualidade da água no Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água).

Variáveis	Mediana	25 - 75 %
pH	8,50	8,4-8,5
K ⁺ (mg/L)	380	370-390
Ca ²⁺ (mg/L)	350	330-430
Mg ²⁺ (mg/L)	589,5	573,3-602,6
Na ⁺ (mg/L)	11000	9900-12000
Cl ⁻ (mg/L)	16830	16059-17668
AT (mg/L)	0,0	0,0
NH ₃ (mg/L)	0,0	0,0
NO ₂ ⁻ (mg/L)	1,30	1,29-1,30
NO ₃ (mg/L)	180	170-200

AT: Amônia Total

No Experimento 2, apenas as concentrações de potássio e de sódio apresentaram diferenças entre os grupos B1 e B2. Houve redução no pH e aumento das concentrações amônia total e de nitrito nos tratamentos experimentais (organismos em pré-ecdise; B1 e B2) em relação ao controle (BA; tanques contendo apenas com água). As variáveis monitoradas nos tanques do controle BC (com organismos em interecdise) apresentaram valores intermediários entre os demais grupos (Tabela 6).

Tabela 6. Mediana e a variação dos parâmetros mensurados na água do Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água).

Variável	Grupos			
	B1	B2	BA	BC
	Mediana 25-75 %	Mediana 25-75 %	Mediana 25-75 %	Mediana 25-75 %
pH	6,7 ^b (6,3-7)	6,5 ^b (6,2-7)	8,4 ^a (8,3-8,4)	7,8 ^{ab} (6,8-8,1)
K ⁻ (mg/L)	420,00 ^a (370-540)	280,00 ^b (230-330)	330,00 ^{ab} (260-370)	390,00 ^{ab} (290-420)
Ca ²⁺ (mg/L)	430,00 ^a (400-480)	350,00 ^a (320-420)	430,00 ^a (360-490)	450,00 ^a (390-480)
Mg ²⁺ (mg/L)	545,6 ^b (472,3-585,8)	551,2 ^b (531,8-622,5)	586,3 ^{ab} (573,3-597,4)	592,0 ^a (555,2-607,9)
Na ⁺ (mg/L)	12000 ^a (10000-14000)	7500 ^b (6500-9000)	11500 ^{ab} (10000-13000)	12000 ^{ab} (10000-14000)
Cl ⁻ (mg/L)	18279 ^a (16507-20245)	11995 ^a (9158-15782)	15830 ^a (14705-17473)	17602 ^a (16122-19278)
AT (mg/L)	6,8 ^b (5,7-10,5)	9,5 ^b (7,4-11,91)	0,0 ^a	1,1 ^{ab} (0,0-3,1)
NH ₃ (mg/L)	0,02 ^b (0,01-0,05)	0,02 ^b (0,01-0,05)	0,00 ^a 0	0,01 ^{ab} (0-0,08)
NO ₂ ⁻ (mg/L)	4,7 ^b (2,8-6,5)	5,4 ^b (2,15-7,8)	1,3 ^a (1,3-1,4)	5,2 ^b (4,0-6,1)
NO ₃ (mg/L)	230 ^a (190-310)	260 ^a (200-340)	210 ^a (120-260)	230 ^a (150-280)

Grupo B1: organismos em pré-ecdise. Grupo B2: tanques contendo a água previamente utilizada no Grupo B1, contendo organismos em pré-ecdise. BA (Controle): tanques contendo apenas água. BC (Controle): tanques com organismos em fase de interecdise. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos para cada variável pelo teste de Kruskal-Wallis. AT: Amônia Total

Influência das variáveis físicas e químicas da água sobre a sobrevivência e a muda de *C. ornatus*

Na Tabela 7 são apresentados os resultados da regressão linear múltipla que indicaram que a sobrevivência dos animais foi significativamente influenciada pelo pH, pelo nitrito e pela amônia em todos os experimentos e, que as demais variáveis monitoradas não tiveram influência significativa ($p < 0,05$) sobre o tempo de sobrevivência dos siris.

Como esperado, observou-se que a própria muda influenciou na sobrevivência dos animais, independentemente do experimento realizado. Observou-se que os organismos do Grupo B1 que realizaram a muda em até 36 h apresentaram um rápido enrijecimento do exoesqueleto e uma baixa taxa de mortalidade. Por isso, os resultados obtidos no Grupo B1 foram analisados em dois momentos (ou períodos): M1 - agrupando os animais que realizaram a muda até 36 h; e o M2 - agrupando os siris que realizaram a muda em mais de 36 h. Constatou-se, que a sobrevivência dos animais do grupo M1 foi fortemente influenciada pelo pH, pelas concentrações de amônia e de nitrito, enquanto a sobrevivência dos animais do grupo M2 foi influenciada moderada pelas mesmas variáveis.

Tabela 7. Resultados gerais das análises de regressão linear múltipla relacionando a influência das variáveis físicas e químicas sobre o tempo que cada organismo se manteve vivo ao longo do experimento.

Experimento	Grupo	Parâmetros correlacionados	Casos n	p	R ² ajustado	Correlação
1	A1	pH (máx.)	384	0,000	0,372	Fraca
		AT (mín.)		0,000		
		NO ₂ ⁻ (mín.)		0,000		
	AC	NA		NA	NA	NA
	B1	pH (máx.)	233	0,000	0,724	Forte
		AT (mín.)		0,000		
		NO ₂ ⁻ (máx)		0,000		
3	M2	pH (máx.)	318	0,000	0,681	Moderada
		AT (mín.)		0,000		
		NO ₂ ⁻ (med.)		0,000		
	B2	pH (máx.)	495	0,000	0,430	Moderada
		AT (mín.)		0,000		
		NO ₃ (med)		0,000		
	BC	pH (máx.)	452	0,000	0,743	Forte
		AT (máx.)		0,000		
		NO ₂ ⁻ (máx.)		0,000		

Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água). Grupo A1: organismos em pré-ecdise; AC (Controle): organismos em interecdise. Experimento 2: tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água. Grupo B1: organismos em pré-ecdise. Grupo B2: tanques contendo a água previamente utilizada no Grupo B1, com organismos em pré-ecdise. BC (Controle): tanques com organismos em fase de interecdise. M1: os organismos que realizaram ecdise em até 36 horas de experimento do Grupo B1. M2: organismos que realizaram ecdise após 36 horas de experimento. NA: Não se aplica. AT: Amônia Total

Os resultados das análises de regressão linear múltipla, relacionando as variáveis físicas e químicas sobre o tempo que os animais levaram para enrijecer completamente (atingir a consistência Co-6) ou até morrer estão apresentados na Tabela 8. No experimento 1 apenas o pH apresentou influência (fraca), sobre os resultados obtidos. No experimento 2 o pH, a amônia e o nitrito apresentaram influência moderada sobre os resultados obtidos.

Tabela 8. Resultados gerais das análises de regressão linear múltipla relacionando a influência das variáveis físicas e químicas sobre o tempo que o organismo levou para enrijecer ou morrer após a ecdise.

Experimento	Grupo	Parâmetros correlacionados	p	Casos n	R ² ajustado	Correlação
1	A1	pH (máx.)	0,000	68	0,196	Fraca
	M1	pH (máx.)	0,000	116	0,559	Moderado
2	B1	pH (máx.)	0,000	136	0,410	Moderado
		AT (mín.)	0,000			
	B2	AT (mín.)	0,000	203	0,657	Moderado
		NO ₂ ⁻ (mín.)	0,001			

Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água). Grupo A1: organismos em pré-ecdise. Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água). Grupo B1: organismos em pré-ecdise. Grupo B2: tanques contendo água previamente utilizada no Grupo B1, com organismos em pré-ecdise. M1: organismos que realizaram ecdise em até 36 horas de experimento do Grupo B1. M2: organismos que realizaram ecdise após 36 horas de experimento. AT: Amônia Total

O tempo de permanência do exoesqueleto dos siris nas consistências 2 (aquelas que apresentam maior valor de mercado) foi significativamente maior no momento M2 que no M1. Além disso, no momento M2, nenhum dos indivíduos que realizou a muda após 36 h atingiu a consistência Co-6 (duro). Em contrapartida, no momento M1, mais da metade dos indivíduos atingiu essa consistência da carapaça (Co-6). Adicionalmente, com relação a sobrevivência, 68% dos indivíduos que enrijeceram permanecem vivos. Já entre aqueles que não enrijeceram, a sobrevivência foi de apenas 15% (Tabela 9).

Tabela 9. Comparação entre o tempo de permanência de *Callinectes ornatus* nas consistências 2 e 3 (Co-2 e Co-3) entre os indivíduos que realizaram a ecdise antes de 36 horas (grupo M1) com os que a realizaram após 36 horas (grupo M2) no Grupo B1 (organismos inicialmente em pré-ecdise) do Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água). Letras diferentes indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (nas colunas) pelos testes de Kruskal-Wallis ou de Mann-Whitney.

Grupo	Co-2 e 3 (h) (mín-máx)	Total Indivíduos (n)	Enrijeceu (%)	Ecdises (n (%))	Mortes (n (%))
M1	3 ^a (1-18)	32	Sim (54%) ^a	19 (23%)	8 (42%) ^a
			Não (37%) ^a	13 (16%)	11 (85%) ^b
M2	61 ^b (3-129)	46	Sim -	0	-
			Não (100%) ^b	46 (55%)	43 (93%) ^b

Na Tabela 10 são apresentadas as medianas e os valores mínimos e máximos das variáveis físicas e químicas da água que mais influenciaram na sobrevivência e no enrijecimento da carapaça dos siris estudados (pH, amônia e nitrito). Observa-se

que o tempo de enrijecimento foi altamente relacionado aos valores de pH e pelas concentrações de amônia total no momento da muda. Quando as variáveis físicas e químicas favoreciam o enrijecimento, o tempo em que os organismos levaram para chegar à consistência Co-4 (papel mole) foi relativamente baixo (entre duas e quatro horas). Quando o pH caiu abaixo de 7,3 e as concentrações de amônia total mantiveram-se acima de 6 mg/L o tempo mediano que os organismos levaram para chegar à consistência Co-4 passou de 60 h.

Observa-se que quando não se realizou a renovação de água (Experimento 2), o pH, a amônia total e o nitrito variaram significativamente (Figura 2). Como resultado, houve um aumento significativo do tempo de enrijecimento da carapaça dos siris e diminuição do número de indivíduos que chegam à Co-6.

Tabela 10. Diferenças entre os experimentos (Exp.), grupos e entre as consistências (B1, C2-3, C4-5 e C6) para as seguintes variáveis: pH, amônia total (AT), NO₂⁻, tempo (h) de permanência (T. per.), porcentagem de mortes (%) e o tempo de sobrevivência (h) dos indivíduos que realizaram ecdise.

Exp	Grupo	Co	Mediana (mín-máx)				Mortes (%)	Sobrevivência (h)		
			pH	AT (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Tempo de permanência (h)		25 %	50 %	75 %
1	A1	1	8,4 ^{aa} (8,4-8,6)	0 ^{aa} (0-0,3)	1,31 ^{aa} (1,28-1,50)	61 ^{aAD} (2-245)	15	0	0	0
		2-3	8,4 ^{abA} (8,4-8,5)	0 ^{aa} (0-0,3)	1,33 ^{abA} (1,29-1,33)	4 ^{bA} (1-9)	2			
		4-5	8,5 ^{abA} (8,3-8,6)	0 ^{aa} (0-0,3)	1,30 ^{abA} (1,28-1,50)	26 ^{cA} (3-137)	4			
		6	8,5 ^{ba} (8,5-8,6)	0 ^{aa} (0-0,3)	1,3 ^{ba} (1,28-1,50)	155 ^{dA} (17-209)	2			
		1	8,4 ^{aa} (7,6-8,4)	0 ^{aa} (0-4,8)	1,7 ^{ab} (1,3-2,72)	30 ^{aC} (0-36)	9			
2	M1	2-3	7,6 ^{ba} (6,7-8,4)	4,8 ^{ba} (0-9,8)	2,7 ^{ba} (1,3-3,22)	3 ^{bA} (1-18)	3	69	150	-
		4-5	7,0 ^{cd} (5,7-8,3)	6,1 ^{cd} (1,1-16,5)	3,2 ^{cc} (1,67-7,85)	42 ^{cc} (21-234)	31			
		6	6,5 ^{db} (5,5-7,7)	8,2 ^{db} (4,5-16,5)	5,6 ^{db} (2,27-8,02)	183 ^{ca} (55-240)	20			
		1	7,1 ^{ab} (5,7-8,4)	6,0 ^{ab} (0-16,5)	2,8 ^{ac} (1,3-7,85)	60 ^{abd} (36-192)	2			
2	M2	2-3	6,6 ^{bc} (5,5-7,5)	7,7 ^{bd} (3,9-16,5)	5,6 ^{bb} (2,27-8,02)	61 ^{ac} (3-129)	52	66	91	107
		4-5	6,5 ^{bc} (5,5-7,3)	9,1 ^{cc} (4,5-16,5)	5,6 ^{bd} (2,27-8,02)	45 ^{ac} (3-222)	35			
		6	6,5 ^{ac} (5,3-8,1)	9,3 ^{ac} (3,3-14,7)	5,2 ^{ad} (1,35-9,40)	177 ^{ab} (0-186)	38			
2	B2	2-3	6,5 ^{ac} (5,8-8,1)	10,1 ^{abc} (3,4-14,7)	6,3 ^{abc} (1,53-9,40)	64 ^{bbc} (18-126)	20	58	94	144
		4-5	6,5 ^{ac} (5,8-7,6)	11,2 ^{bc} (4,2-14,7)	4,2 ^{abc} (1,53-9,40)	80 ^{abc} (12-180)	20			

Co – consistência da carapaça do *Callinectes ornatus*. Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água). Grupo A1: organismos em pré-ecdise. Experimento 2 (tratamento coletivo com filtração, mas sem renovação de água). Grupo B1: organismos em pré-ecdise. Grupo B2: tanques contendo água previamente utilizada no Grupo B1, contendo organismos em pré-ecdise. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Kruskal-Wallis, letras minúsculas indicam diferença entre as consistências dentro do mesmo grupo, letras maiúsculas indicam diferenças entre as consistências dos diferentes grupos.

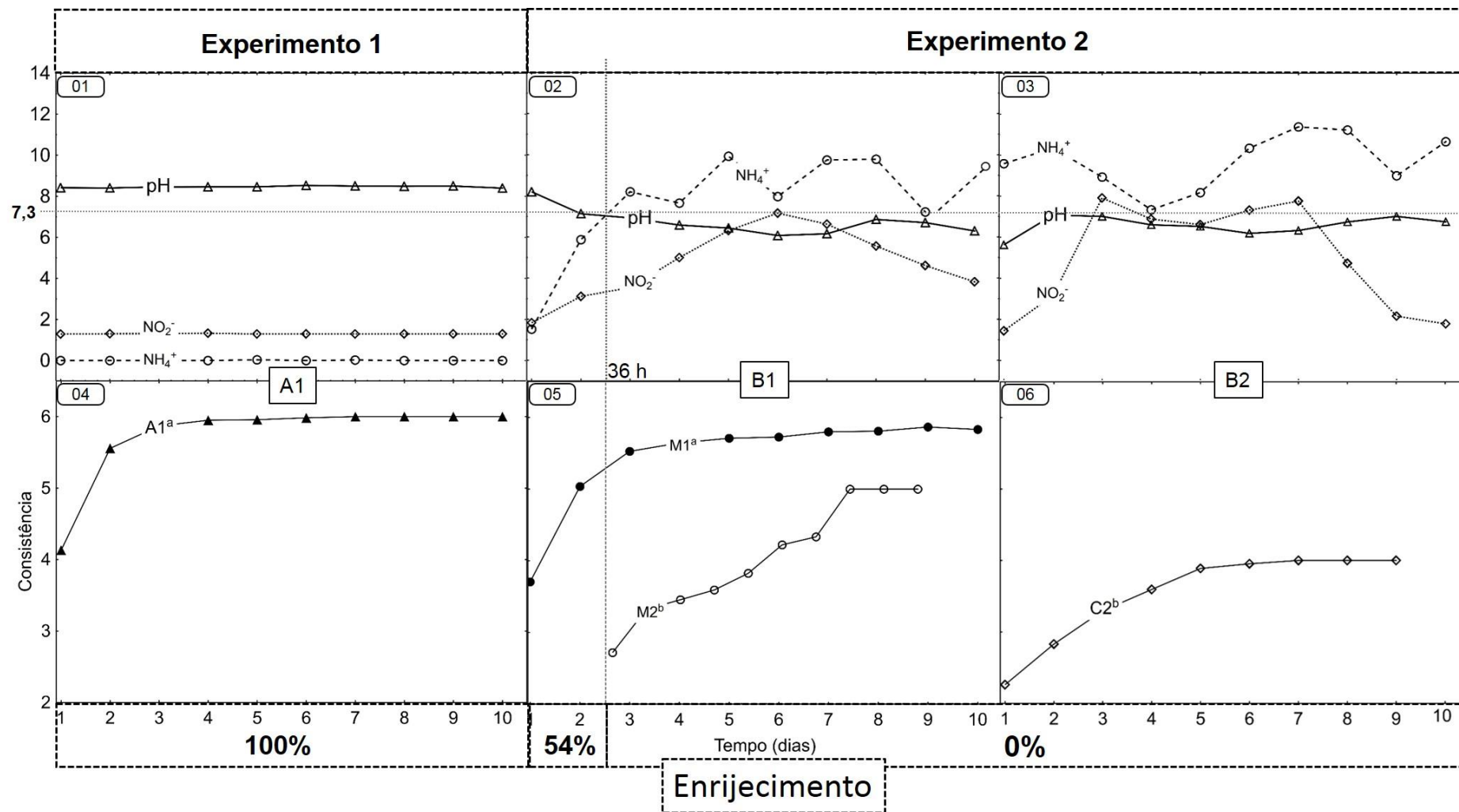


Figura 5. 01-02-03: Variação mediana de pH, amônia total (NH_4^+) (em mg/L) e nitrito (NO_2^-) (em mg/L) ao longo do tempo (em dias) no Experimento 1 (tratamento coletivo com filtração e renovação parcial e diária da água) e no Experimento 2 (tratamentos coletivos com filtração, mas sem renovação de água). Grupos A1 e B1: organismos em pré-ecdise; Grupo B2: organismos em pré-ecdise mantido na água reutilizada do Grupo B1. 04-05-06: Variação temporal da consistência da carapaça mediana dos indivíduos. Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os grupos, pelo teste de Kruskal-Wallis. Os siris que realizaram a muda nos experimentos 1 (A1) e nas 36 primeiras horas do Experimento 2 (M1) apresentaram tempo de permanência em Co-2 e CO-3 significativamente menor que os animais que realizaram a muda após as 36 primeiras horas (M2) no grupo B1 e que os animais do grupo B2.

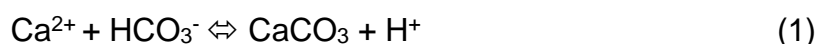
Discussão

Um ponto de convergência entre os autores que pesquisam a muda e o enrijecimento de crustáceos é a importância que o cálcio, principal e mais abundante elemento constituinte do exoesqueleto desses animais (Greenaway, 1985), desempenha nesse processo (Clarke e Wheeler, 1922; Robertson, 1960; Welinder, 1974; Greenaway, 1983; Cameron, 1985; Cameron e Wood, 1985; Freeman e Perry, 1985; Mangum *et al.*, 1985; Neufeld e Cameron, 1992; Wheatly, 1997; 1999; Perry *et al.*, 2001; Wheatly *et al.*, 2001; Wheatly *et al.*, 2002; Zanotto e Wheatly, 2002; Pan *et al.*, 2006; Granado E Sá *et al.*, 2010; Middlemiss *et al.*, 2016). No presente estudo, o fato de não ter havido correlação significativa entre as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} da água com o tempo de enrijecimento ou com a sobrevivência de *C. ornatus* não contradiz esses estudos ou o conhecimento estabelecido sobre o tema. Pelo contrário, evidenciam que determinados processos podem interferir diretamente na fisiologia da absorção e imobilização do Ca^{2+} no exoesqueleto, aumentando significativamente o tempo que esses animais se mantêm moles após a muda.

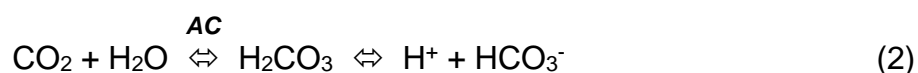
No presente estudo, os organismos do Experimento 1 (submetidos à renovação diária de água) que realizaram a ecdise enrijeceram rapidamente, levando um tempo mediano de 4 horas para atingir a consistência de papel (Co-4), corroborando estudos prévios, realizados para *C. sapidus* (Cameron e Wood, 1985; Freeman *et al.*, 1987). Os organismos do experimento 2 que realizaram a ecdise em uma condição de pH acima de 7,6 e em águas com concentrações de amônia total abaixo de 4,8 mg/L também apresentaram resultados semelhantes, com tempo mediano de 2 e 3 h para atingir Co-4. Porém, quando os animais iniciaram a muda em água com pH abaixo de 7,3 e concentrações de amônia total superiores a 6 mg/L, os mesmos levaram até 129 h (mediana de mais de 60 horas) para morrer ou então chegar à Co-4.

Para se compreender o porquê desse resultado, é preciso analisar os processos químicos envolvidos na calcificação do exoesqueleto de crustáceos. Em sistemas fechados e com recirculação de água, espera-se que com o passar do tempo haja uma redução nas concentrações do Ca^{2+} livre. Essa redução seria provocada principalmente pela imobilização do Ca^{2+} na forma de CaCO_3 , durante o processo de

enrijecimento do exoesqueleto dos animais (Perry *et al.*, 2001), o que pode ser representado de forma resumida pela seguinte equação:



Com o aumento da demanda por Ca^{2+} e por HCO_3^- , os siris passam a consumir tanto o CO_2 metabólico quanto CO_2 externo, que atinge suas maiores concentrações internas no momento da muda (Mangum *et al.*, 1985), aumentando a disponibilidade de HCO_3^- interno (Cameron e Wood, 1985). Nesses casos, a enzima anidrase carbônica (AC), presente principalmente no epitélio e nas brânquias, é ativada assim que ocorre a muda (Mangum *et al.*, 1985), acelerando a reação:



Como descrito por Detours *et al.* (1968) e por Zeebe e Wolf-Gladrow (2001), o ácido carbônico formado tende a ser tamponado pelo sistema carbonato-bicarbonato. O resultado desse processo é o aumento da fração de CO_3^- e a acidificação do meio (Greenaway, 1974; Mangum *et al.*, 1985; Wheatly, 1997). Porém, ao longo do tempo a capacidade natural de neutralização de ácidos do próprio sistema acaba comprometida e, como consequência, o meio tende a se acidificar, comprometendo cada vez mais a capacidade dos siris de depositar o CaCO_3 em seu exoesqueleto. De acordo com Cameron e Wood (1985), o processo de calcificação pode ser comprometido se o pH externo ao organismo não se encontrar pelo menos 0,3 a 0,5 acima do pH interno.

Mas, além do consumo de HCO_3^- , durante a pós-ecdise o organismo excreta H^+ aparente, ou um íon equivalente, como o NH_4^+ (Cameron, 1985; Middlemiss *et al.*, 2016), que se dissociará em NH_3 e H^+ . A taxa de excreção de H^+/NH_4^+ acentua-se após a muda (Cameron e Wood, 1985), podendo se tornar ainda mais intensa durante o processo de desnitrificação bacteriana (Rijn *et al.*, 2005). Nessas condições, o metabolismo da excreção também contribui para a acidificação do meio, reduzindo ainda mais a capacidade de mobilização de cálcio pelos siris, como observado no experimento 2. Há evidências na literatura de que a acidificação da água é mais crítica para o enrijecimento de crustáceos marinhos do que para os de água doce. Ao contrário dos crustáceos de água doce, os marinhos praticamente não possuem

reservas internas de cálcio (gastrólitos) e dependem exclusivamente do meio para suprir a demanda de Ca^{2+} (Passano, 1960; Greenaway, 1985; Wheatly, 1997).

A acidificação pode ainda ter afetado, de modo relativamente semelhante, a deposição de magnésio no exoesqueleto dos animais testados. Apesar das concentrações de magnésio serem relativamente muito menores que as de cálcio, o magnésio também desempenha importante papel no enrijecimento do exoesqueleto e também é obtido através da água (Clarke e Wheeler, 1922; Welinder, 1974; Cameron e Wood, 1985), em um processo que pode ser igualmente afetado pelo pH (Tao *et al.*, 2009).

Além desses dois elementos, foram monitoradas neste estudo as concentrações de Na^+ , K^+ , dois íons que participam diretamente de importantes atividades enzimáticas que ocorrem na pós-ecdise (Towle e Mangum, 1985). Estudos demonstram que se as proporções relativas desses dois íons forem alteradas, pode ocorrer aumento da toxicidade da amônia devido à retenção da mesma no organismos dos animais, o que comprometeria a sua capacidade de sobrevivência (Zanotto e Wheatly, 1993; Pan *et al.*, 2006; Romano e Zeng, 2011). Ainda assim, esses íons também não apresentaram efeitos significativos sobre os resultados obtidos nos experimentos realizados. Neste caso, possivelmente pelas eventuais alterações em suas concentrações, mas, porque os fatores descritos anteriormente foram muito mais críticos na definição dos tempos de enrijecimento e de sobrevivência de *C. ornatus*.

Observou-se também uma relação direta e recorrente entre o tempo em que os animais levam para enrijecer e o risco de morte. Entretanto, a taxa de mortalidade foi de apenas 25% entre os organismos que realizaram a muda após aproximadamente 60 horas de experimento, aqueles que não realizaram a muda morreram ou permaneceram vivos até o final do experimento. Além disso, com exceção do tratamento submetido à renovação periódica da água, em todos os demais foi registrado aumento da mortalidade na fase de pós-ecdise. Nesse caso, as análises realizadas indicaram, mais uma vez, a influência do pH, da amônia total.

Sabe-se que os siris (notadamente *C. sapidus*, espécie mais estudada do gênero *Callinectes*) toleram bem uma faixa de pH que se estende de 6,5 a 8,5 (Hochheimer, 1988). Ainda assim, recomenda-se que, em ambientes artificiais, o pH

seja mantido entre 7,0 e 8,0 (Oesterling, 1995). Sabe-se também que há diferenças comportamentais e de tolerância de animais jovens e adultos em relação ao pH (Laughlin *et al.*, 1978). Durante o presente estudo, no Experimento 2 foram registrados valores de 5,5 e 5,3 de pH nos tratamentos B1 e B2, respectivamente. Além do efeito direto para os organismos, a redução do pH provoca o aumento da fração de ácido nitroso (HNO_2) presente na água, um composto reconhecidamente tóxico para organismos aquáticos (Russo *et al.*, 1981; Ary e Poirrier, 1989; Lin e Chen, 2003; Seneriches-Abiera *et al.*, 2007).

A toxicidade da amônia, por sua vez, é diretamente proporcional às concentrações de NH_3 e ao pH. Romano e Zeng (2007) estimaram em 6,81 mg/L a CL_{50} do N- NH_3 para juvenis de *Scylla serrata*. Koo *et al.* (2005) registraram que pelo menos 50% dos juvenis de *Orithyia sinica* sobreviveram por 30 dias a concentrações de N- NH_3 de cerca de 2,33 mg/L. Lakshmi (1984) registraram taxas de mortalidade de 20% de *C. sapidus* em pré-ecdise em uma concentração de 1,41 mg/L NH_3 , chegando a 100% em concentração de 2,31 mg/L. Nos experimentos aqui realizados, observou-se a redução do pH ao longo do tempo, o que fez com que as concentrações de NH_3 se mantivessem em patamares baixos o suficiente para descartar qualquer efeito tóxico da amônia para os siris.

No caso do nitrito, não há um consenso sobre a partir de que concentrações esse composto seria tóxico para os siris. Lakshmi (1984) e Ary e Poirrier (1989) reportaram que a sobrevivência de *C. sapidus* passou a ser afetada apenas quando as concentrações de NO_2^- superaram 10 mg/L, sendo que somente após 96 h de exposição em concentrações entre 50 e 150 mg/L, em água com pH próximo a 8, é que mortalidade chegou a 100%. Por outro lado, Manthe *et al.* (1984) encontraram evidências de que a eficiência da muda de *C. sapidus* foi afetada por concentrações de nitrito próximas a 2 mg/L. No presente estudo as concentrações atingiram até 7,6 mg/L de NO_2^- .

Portanto, não há elementos suficientes para se descartar que as mortes tenham ocorrido em função dos valores/concentrações atingidos individualmente pelo pH e pelo nitrito durante os experimentos. Mas, é possível pressupor que tenha havido um efeito cumulativo dessas variáveis, afetando as taxas de mortalidade registradas

durante os experimentos. Além disso, o próprio retardo no tempo de enrijecimento dos organismos, fazendo com eles ficassem expostos a condições fisiológicas anormais e desfavoráveis, parece ter aumentado sobremaneira o risco de morte dos animais.

Conclusão

Os siris apresentam uma intensa relação com o meio onde são estocados, podendo alterar drasticamente as características física e químicas da água, principalmente por meio de processos relacionados à acidificação e à amonificação. Essas alterações, por sua vez, interferiram diretamente no tempo de enrijecimento do exoesqueleto dos próprios animais, fazendo com que eles se mantivessem moles por períodos que se estenderam por até 5 dias, ou seja, mais de 20 vezes o tempo normalmente observado. Se replicados em escala comercial, os resultados aqui obtidos poderão implicar em uma drástica redução da carga laboral e dos custos operacionais, aumentando a eficiência e a viabilidade de produção de siri-mole em larga escala.

Bibliografia

ARY, R. D.; POIRRIER, M. A. Acute Toxicity of Nitrite to the Blue Crab (*Callinectes sapidus*). **The Progressive Fish-Culturist**, v. 51, n. 2, p. 69-72, 1989/04/01 1989. ISSN 0033-0779. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8640\(1989\)051<0069:ATONTT>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8640(1989)051<0069:ATONTT>2.3.CO;2) >.

BÜLDT, A.; KARST, U. Determination of Nitrite in Waters by Microplate Fluorescence Spectroscopy and HPLC with Fluorescence Detection. **Analytical Chemistry**, v. 71, n. 15, p. 3003-3007, 1999/08/01 1999. ISSN 0003-2700. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/ac981330t> >.

CAMERON, J. N. Post-moult calcification in the blue crab (*Callinectes sapidus*): relationships between apparent net H⁺ excretion, calcium and bicarbonate. **Journal of Experimental Biology**, v. 119, n. 1, p. 275, 1985. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/119/1/275.abstract> >.

CAMERON, J. N.; WOOD, C. M. Apparent H⁺ Excretion and CO₂ Dynamics Accompanying Carapace Mineralization in the Blue Crab (*Callinectes Sapidus*) Following Moulting. **Journal of Experimental Biology**, v. 114, n.

1, p. 181-196, January 1, 1985 1985. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/114/1/181.abstract> >.

CARVALHO, F. L. D.; COUTO, E. D. C. G. Environmental variables influencing the Callinectes (Crustacea: Brachyura: Portunidae) species distribution in a tropical estuary—Cachoeira River (Bahia, Brazil). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 91, n. 4, p. 793-800, 2011. ISSN 0025-3154.

CLARKE, F. E. Determination of chloride in water improved colorimetric and titrimetric methods. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 4, p. 553-555, 1950. ISSN 0003-2700.

CLARKE, F. W.; WHEELER, W. C. **The inorganic constituents of marine invertebrates**. Washington: US Government Printing Office, 1922. 62.

DETOURS, P.; ARMAND, J.; VERRIEST, G. Carbon dioxide dissociation curves of water and gas exchange of water-breathers. **Respiration Physiology**, v. 5, n. 1, p. 23-33, 1968/06/01 1968. ISSN 0034-5687. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034568768900741> >.

DRACH, P. Mue et cycle d'intermue chez les crustacés décapodes. **Ann Inst Oceanogr Monaco**, v. 19, p. 103 - 391, 1939.

DRACH, P.; TCHERNIGOVTZEFF, C. Sur la méthode de détermination des stades d'intermue et son application générale aux crustacés. **Vie milieu**, v. 18, n. 3A, p. 595-609, 1967.

FAO. Global Capture Production (FishStat). <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data>, 2013. Disponível em: < <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data> >. Acesso em: 06/07/2015.

FREEMAN, J.; PERRY, H. The crustacean molt cycle and hormonal regulation: its importance in soft shell blue crab production. **Proceedings of the National Symposium on the Soft-Shell Blue Crab Fishery**, p. 23 - 30, 1985.

FREEMAN, J. A. et al. Postmolt and intermolt molt cycle stages of Callinectes sapidus. **Aquaculture**, v. 61, n. 3-4, p. 201-209, 4/1/ 1987.

ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0044848687901499> >.

GAUDÉ, A.; ANDERSON, J. A. **Soft shell crab shedding systems.** Southern Regional Aquaculture Center 2011/09, p.1-6. 2011

GRANADO E SÁ, M. et al. Calcium transport and homeostasis in gill cells of a freshwater crab *Dilocarcinus pagei*. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 180, n. 3, p. 313-321, 2010// 2010. ISSN 1432-136X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00360-009-0427-4> >.

GREENAWAY, P. Calcium Balance at the Postmoult Stage of the Freshwater Crayfish. **Journal of Experimental Biology**, v. 61, n. 1, p. 35, 1974. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/61/1/35.abstract> >.

_____. Uptake of calcium at the postmoult stage by the marine crabs *Callinectes sapidus* and *Carcinus maenas*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 75, n. 2, p. 181-184, 1983/01/01 1983. ISSN 0300-9629. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300962983900671> >.

_____. CALCIUM BALANCE AND MOULTING IN THE CRUSTACEA. **Biological Reviews**, v. 60, n. 3, p. 425-454, 1985. ISSN 1469-185X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.1985.tb00424.x> >.

HOCHHEIMER, J. **Water Quality in Soft Crab Shedding.** Maryland Sea Grant Extension Program, 1988. 6.

KOO, J. G. et al. Effects of ammonia and nitrite on survival, growth and moulting in juvenile tiger crab, *Orithyia sinica* (Linnaeus). **Aquaculture Research**, v. 36, n. 1, p. 79-85, 2005. ISSN 1365-2109.

LAKSHMI, G. The Effect of ammonia accumulation on blue crab shedding success: final report, March, 1983 through December, 1983. 1984.

LAUGHLIN, R. A.; CRIPE, C. R.; LIVINGSTON, R. J. Field and Laboratory Avoidance Reactions by Blue Crabs (*Callinectes sapidus*) to Storm Water Runoff. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 107, n. 1, p. 78-86, 1978/01/01 1978. ISSN 0002-8487. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659\(1978\)107<78:FALARB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659(1978)107<78:FALARB>2.0.CO;2) >.

LIN, Y.-C.; CHEN, J.-C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture**, v. 224, n. 1–4, p. 193-201, 6/30/ 2003. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848603002205> >.

MANGUM, C. P. et al. Physiology of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun during a molt. National Symposium on the Soft-Shelled Blue Crab Fishery, 1985. p.1-12.

MANTHE, D. P.; MALONE, R. F.; KUMAR, S. Limiting factors associated with nitrification in closed blue crab shedding systems. **Aquacultural Engineering**, v. 3, n. 2, p. 119-140, 1984/01/01 1984. ISSN 0144-8609. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144860984900037> >.

MELO-FILHO, G. A. S. D. **Manual de identificacao dos brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro**. São Paulo: Plêiade/FAPESP, 1996. 604.

MIDDLEMISS, K. L.; URBINA, M. A.; WILSON, R. W. Effects of seawater alkalinity on calcium and acid–base regulation in juvenile European lobster (*Homarus gammarus*) during a moult cycle. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 193, p. 22-28, 3// 2016. ISSN 1095-6433. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643315003086> >.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 3, 09/2012 2012.

NEUFELD, D. S.; CAMERON, J. N. Postmoult Uptake of Calcium by the Blue Crab (*Callinectes Sapidus*) in Water of low Salinity. **Journal of Experimental Biology**, v. 171, n. 1, p. 283, 1992. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/171/1/283.abstract> >.

NEWCOMBE, C. L.; SANDOZ, M. D.; ROGERS-TALBERT, R. Differential growth and moulting characteristics of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. **Journal of Experimental Zoology**, v. 110, n. 1, p. 113-152, 1949. ISSN 1097-010X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/jez.1401100107> >.

OESTERLING, M. J. **Manual for handling and shedding blue crabs (*Callinectes sapidus*)**. Virginia Institute of Marine Science. Gloucester Point, Va, p.91. 1995. (271)

PAN, L.-Q.; LUAN, Z.-H.; JIN, C.-X. Effects of Na⁺/K⁺ and Mg²⁺/Ca²⁺ ratios in saline groundwaters on Na⁺-K⁺-ATPase activity, survival and growth of *Marsupenaeus japonicus* postlarvae. **Aquaculture**, v. 261, n. 4, p. 1396-1402, 12/11/ 2006. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848606007034> >.

PASSANO, L. Molting and its control. **The physiology of Crustacea**, v. 1, p. 473-536, 1960.

PERRY, H. et al. Expansion of the Soft Crab Fishery in Mississippi Using Cultured Blue Crabs. 2010, 486: Gulf and Caribbean Fisheries Institute, c/o Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc. Fort Pierce FL 34946 United States. p.5.

PERRY, H. et al. Calcium concentration in seawater and exoskeletal calcification in the blue crab, *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 198, p. 197-208, 1/1/2001 2001. ISSN 0044-8486.

RIJN, J. V.; TAL, Y.; SCHREIER, H. J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. **Aquaculture Engineering**, v. 34, p. 12, 31/01/2005 2005.

ROBERTSON, J. D. Ionic regulation in the crab *Carcinus maenas* (L.) in relation to the moulting cycle. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 1, n. 3, p. 183-212, 1960/07/01 1960. ISSN 0010-406X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0010406X60900232> >.

ROMANO, N.; ZENG, C. Acute toxicity of ammonia and its effects on the haemolymph osmolality, ammonia-N, pH and ionic composition of early juvenile mud crabs, *Scylla serrata* (Forskål). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 148, n. 2, p. 278-285, 10// 2007. ISSN 1095-6433. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643307009956> >.

_____. Importance of balanced Na⁺/K⁺ ratios for blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*, to cope with elevated ammonia-N and differences between in vitro and in vivo gill Na⁺/K⁺-ATPase responses. **Aquaculture**, v. 318, p. 154-161, 1/1/2011 2011. ISSN 0044-8486.

RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V.; EMERSON, K. Acute Toxicity of Nitrite to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*): Effects of pH, Nitrite Species, and Anion Species. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 38, n. 4, p. 387-393, 1981/04/01 1981. ISSN 0706-652X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1139/f81-054> >. Acesso em: 2017/02/23.

SENERICHES-ABIERA, M. L.; PARADO-ESTEPA, F.; GONZALES, G. A. Acute toxicity of nitrite to mud crab *Scylla serrata* (Forsskål) larvae. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 14, p. 1495-1499, 2007. ISSN 1365-2109.

TAO, J. et al. Magnesium-aspartate-based crystallization switch inspired from shell molt of crustacean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 52, p. 22096-22101, December 29, 2009 2009. Disponível em: < <http://www.pnas.org/content/106/52/22096.abstract> >.

TOWLE, D. W.; MANGUM, C. P. Ionic regulation and transport ATPase activities during the molt cycle in the blue crab *Callinectes sapidus*. **Journal of crustacean biology**, v. 5, n. 2, p. 216-222, 1985. ISSN 1937-240X.

WEHRTMANN, I. S.; MENA-CASTAÑEDA, D. molt sign description of the pacific blue crab *Callinectes arcuatus* Ordway 1863 (Decapoda, Portunidae). **Nauplius**, v. 11, n. 2, p. 135-139, 2003.

WELINDER, B. S. The crustacean cuticle - I. Studies on the composition of the cuticle. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 47, n. 2, p. 779-787, 1974/02/01 1974. ISSN 0300-9629. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300962974900371> >.

WHEATLY, M. et al. Novel subcellular and molecular tools to study Ca(2+) transport mechanisms during the elusive moulting stages of crustaceans: flow cytometry and polyclonal antibodies. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, n. 5, p. 959-966, March 1, 2001 2001. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/204/5/959.abstract> >.

WHEATLY, M. G. Crustacean Models for Studying Calcium Transport: The Journey from Whole Organisms to Molecular Mechanisms. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, Cambridge, UK, v. 77, n. 1, p. 107-125, 1997/002/001 1997. Disponível em: < <https://www.cambridge.org/core/article/div-class-title-crustacean-models-for-studying-calcium-transport-journey-from-whole-organisms-to-molecular-mechanisms-div/BDDCE764F37A26199CA8D6990F45AA5A> >.

_____. Calcium homeostasis in crustacea: The evolving role of branchial, renal, digestive and hypodermal epithelia. **Journal of Experimental Zoology**, v. 283, n. 7, p. 620-640, 1999. ISSN 1097-010X. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990601\)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990601)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3) >.

WHEATLY, M. G.; ZANOTTO, F. P.; HUBBARD, M. G. Calcium homeostasis in crustaceans: subcellular Ca dynamics. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 132, n. 1, p. 163-178, 5// 2002. ISSN 1096-4959. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096495901005206> >.

ZANOTTO, F. P.; WHEATLY, M. G. The Effect of Ambient pH on Electrolyte Regulation During the Postmolt Period in Freshwater Crayfish *Procambarus clarkii*. **Journal of Experimental Biology**, v. 178, n. 1, p. 1, 1993. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/178/1/1.abstract> >.

_____. Calcium balance in crustaceans: nutritional aspects of physiological regulation. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 3, p. 645-660, 11// 2002. ISSN 1095-6433. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643302002027> >.

ZEEBE, R. E.; WOLF-GLADROW, D. A. **CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes**. Gulf Professional Publishing, 2001. ISBN 0444509461.

Bibliografia Geral

ANAND, T.; SOUNDARAPANDIAN, P. Sea ranching of commercially important Blue Swimming crab *Portunus pelagicus* (LINNAEUS, 1758) in Parangipettai Coast. **International Journal of science and nature**, v. 2, n. 2, p. 215- 219, 2011.

ANDERSON, J. A.; ALFORD, A. B. Ghost fishing activity in derelict blue crab traps in Louisiana. **Marine Pollution Bulletin**, v. 79, p. 261-267, 2/15/15 February 2014 2014. ISSN 0025-326X.

ARY, R. D.; POIRRIER, M. A. Acute Toxicity of Nitrite to the Blue Crab (*Callinectes sapidus*). **The Progressive Fish-Culturist**, v. 51, n. 2, p. 69-72, 1989/04/01 1989. ISSN 0033-0779. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1577/1548-8640\(1989\)051<0069:ATONTT>2.3.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8640(1989)051<0069:ATONTT>2.3.CO;2)>.

AZRA, M. N.; IKHWANUDDIN, M. Larval culture and rearing techniques of commercially important crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758): Present status and future prospects. **Songklanakarin Journal of Science & Technology**, v. 37, n. 2, p. 135-145, 2015a. ISSN 01253395.

_____. A review of maturation diets for mud crab genus *Scylla* broodstock: Present research, problems and future perspective. **Saudi Journal of Biological Sciences**, n. 0, 2015b. ISSN 1319-562X. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X15000698>>.

BATICADOS, D. B.; AGBAYANI, R. F.; QUINTIO, E. T. Community-based technology transfer in rural aquaculture: the case of mudcrab *Scylla serrata* nursery in ponds in Northern Samar, Central Philippines. **Ambio**, v. 43, n. 8, p. 1047-58, Dec 2014. ISSN 0044-7447 (Print)

0044-7447 (Linking). Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24817087>>.

BEEM, B. Learning the wrong lessons? Science and fisheries management in the Chesapeake Bay blue crab fishery. **Public Understanding of Science**, v. 21, n. 4, p. 401-417, 05 / 01 / 2010. ISSN 09636625 13616609.

BELL, J. D. et al. Restocking and stock enhancement of coastal fisheries: Potential, problems and progress. **Fisheries Research**, v. 80, n. 1, p. 1-8, 8// 2006. ISSN 0165-7836. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783606001147>>.

BOUTSON, A. et al. Use of escape vents to improve size and species selectivity of collapsible pot for blue swimming crab *Portunus pelagicus* in Thailand. **Fisheries Science**, v. 75, n. 1, p. 25-33, 2009. ISSN 09199268.

BOWERS, H. A. et al. A reo-like virus associated with mortalities of blue crab *Callinectes sapidus*: development of tools to improve soft-shell crab aquaculture. **Journal of Shellfish Research**, v. 30, n. 2, p. 487, 2011. ISSN 0730-8000.

BRANDT, A. V.; GABRIEL, O. **Fish Catching Methods of the World**. Oxford, UK: Wiley, 2005. ISBN 9780852382806
9780470995631.

BÜLDT, A.; KARST, U. Determination of Nitrite in Waters by Microplate Fluorescence Spectroscopy and HPLC with Fluorescence Detection. **Analytical Chemistry**, v. 71, n. 15, p. 3003-3007, 1999/08/01 1999. ISSN 0003-2700. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/ac981330t> >.

CAFFEY, R. H.; CULLEY, D. D.; ROBERTS, K. J. The Louisiana soft-shelled crab industry. **Sea Grant Program Publication**, v. LSU-G-9-00, p. 146, 1993.

CAMERON, J. N. Post-moult calcification in the blue crab (*Callinectes sapidus*): relationships between apparent net H⁺ excretion, calcium and bicarbonate. **Journal of Experimental Biology**, v. 119, n. 1, p. 275, 1985. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/119/1/275.abstract> >.

CAMERON, J. N.; WOOD, C. M. Apparent H⁺ Excretion and CO₂ Dynamics Accompanying Carapace Mineralization in the Blue Crab (*Callinectes Sapidus*) Following Moulting. **Journal of Experimental Biology**, v. 114, n. 1, p. 181-196, January 1, 1985 1985. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/114/1/181.abstract> >.

CAP LOG GROUP, L. **A VALUE CHAIN ANALYSIS OF SONORA'S COMMERCIAL SWIMMING CRAB TRADE**. CapLog Reports. 2013

CARVALHO, F. L. D.; COUTO, E. D. C. G. Environmental variables influencing the *Callinectes* (Crustacea: Brachyura: Portunidae) species distribution in a tropical estuary—Cachoeira River (Bahia, Brazil). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 91, n. 4, p. 793-800, 2011. ISSN 0025-3154.

CHANG, E. S.; MYKLES, D. L. Review: Regulation of crustacean molting: A review and our perspectives. **General and Comparative Endocrinology**, v. 172, p. 323-330, 7/1/1 July 2011 2011. ISSN 0016-6480.

CHESAPEAKE BAY, C.; BI-STATE BLUE CRAB TECHNICAL ADVISORY, C. **Blue Crab 2005 : status of the Chesapeake population and its fisheries**. [Annapolis. Md.]: [Chesapeake Bay Commission], 2006.

CLARKE, F. E. Determination of chloride in water improved colorimetric and titrimetric methods. **Analytical Chemistry**, v. 22, n. 4, p. 553-555, 1950. ISSN 0003-2700.

CLARKE, F. W.; WHEELER, W. C. **The inorganic constituents of marine invertebrates**. Washington: US Government Printing Office, 1922. 62.

DANA, S. S.; GHOSH, A.; BANDYOPADHYAY, U. K. Socio-economic profile and problems of mud-crab farmers of South 24-Parganas, West Bengal: an explorative study. **Journal Crop and Weed**, v. 11, n. 1, p. 3, 2015. ISSN 0974-6315.

DETOURS, P.; ARMAND, J.; VERRIEST, G. Carbon dioxide dissociation curves of water and gas exchange of water-breathers. **Respiration Physiology**, v. 5, n. 1, p. 23-33, 1968/06/01 1968. ISSN 0034-5687. Disponible em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0034568768900741> >.

DINMORE, T. A. et al. Impact of a large-scale area closure on patterns of fishing disturbance and the consequences for benthic communities. **ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil**, v. 60, n. 2, p. 371-380, January 1, 2003 2003. Disponible em: <
<http://icesjms.oxfordjournals.org/content/60/2/371.abstract> >.

DRACH, P. Mue et cycle d'intermue chez les crustacés décapodes. **Ann Inst Oceanogr Monaco**, v. 19, p. 103 - 391, 1939.

DRACH, P.; TCHERNIGOVTZEFF, C. Sur la méthode de détermination des stades d'intermue et son application générale aux crustacés. **Vie milieu**, v. 18, n. 3A, p. 595-609, 1967.

DUMAS, P. et al. Mud crab ecology encourages site-specific approaches to fishery management. **Journal of Sea Research**, v. 67, n. 1, p. 1-9, 1// 2012. ISSN 1385-1101. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385110111001195> >.

EATERDC. Soft-shell crab guide. 2017. Disponível em: < <https://dc.eater.com/maps/soft-shell-crab-guide-dc> >.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, p. 230, 2012.

_____. Global Capture Production (FishStat). <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data>, 2013. Disponível em: < <http://data.fao.org/dataset-data-filter?entryId=af556541-1c8e-4e98-8510-1b2cafba5935&tab=data> >. Acesso em: 06/07/2015.

_____. Cultured aquatic species information program.pdf. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2015.

_____. Global Capture and Aquaculture Production (FishStat). 2016. Disponível em: < http://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/work/FIGIS/prod/webapps/figis/temp/hqp_5215617422254205836.xml&outtype=html >. Acesso em: 27/04/2017.

FEDERATION, Q. A. I., v. 2015, n. 09/07/2015, 2015. Disponível em: < <http://www.aquaculturequeensland.com/> >.

FERDOUSHI, Z.; XIANG, Z.; HASAN, M. R. Mud crab (*Scylla* sp.) marketing system in Bangladesh. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**, v. 3, p. 17, 2010.

FISHER, R. A. et al. **Model HACCP program for fresh and frozen soft shell blue crabs : process flow chart/hazard analysis and sanitation standard operating procedures (SSOP)**. Gloucester Point, Va.: Virginia Sea Grant Marine Advisory Program, Virginia Institute of Marine Science, School of Marine Science, College of William and Mary, 1998.

FLOWERS, E. M. et al. PCR-based prevalence of a fatal reovirus of the blue crab, *Callinectes sapidus* (Rathbun) along the northern Atlantic coast

of the USA. **Journal of Fish Diseases**, Hoboken, v. 39, n. 6, p. 705-714, 08/06

03/26/received

06/13/revised

06/18/accepted 2016. ISSN 0140-7775

1365-2761. Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5324600/>>.

FREEMAN, J.; PERRY, H. The crustacean molt cycle and hormonal regulation: its importance in soft shell blue crab production. **Proceedings of the National Symposium on the Soft-Shell Blue Crab Fishery**, p. 23 - 30, 1985.

FREEMAN, J. A. et al. Postmolt and intermolt molt cycle stages of *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 61, n. 3–4, p. 201-209, 4/1/ 1987. ISSN 0044-8486. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0044848687901499>>.

GAUDÉ, A.; ANDERSON, J. A. Soft shell crab shedding systems. Stoneville, Miss.?, 2011.

GBIF. Global Biodiversity Information Facility.
http://www.gbif.org/species/search?q=portunidae&dataset_key=d7dddbf4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c&highertaxon_key=4555&rank=SPECIES, 2016. Disponível em: <
http://www.gbif.org/species/search?q=portunidae&dataset_key=d7dddbf4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c&highertaxon_key=4555&rank=SPECIES>.
Acesso em: 03/29/2016.

GEOFF, A.; FIELDER, D. Mud crab aquaculture in Australia and Southeast Asia - Proceedings of the ACIAR Crab Aquaculture Scoping Study and Workshop 28–29 April 2003, Joondoburri Conference Centre, Bribie Island. 2004.

GRANADO E SÁ, M. et al. Calcium transport and homeostasis in gill cells of a freshwater crab *Dilocarcinus pagei*. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 180, n. 3, p. 313-321, 2010// 2010. ISSN 1432-136X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00360-009-0427-4> >.

GRANT, L. S. A Declining Delicacy. 2016. Disponível em: <
<http://www.laseagrant.org/2016/declining-delicacy/>>.

GREENAWAY, P. Calcium Balance at the Postmoult Stage of the Freshwater Crayfish. **Journal of Experimental Biology**, v. 61, n. 1, p. 35, 1974. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/61/1/35.abstract> >.

_____. Uptake of calcium at the postmoult stage by the marine crabs *Callinectes sapidus* and *Carcinus maenas*. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 75, n. 2, p. 181-184, 1983/01/01 1983. ISSN 0300-9629. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300962983900671> >.

_____. CALCIUM BALANCE AND MOULTING IN THE CRUSTACEA. **Biological Reviews**, v. 60, n. 3, p. 425-454, 1985. ISSN 1469-185X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.1985.tb00424.x> >.

GUILLORY, V.; PERRY, H. M.; VANDERKOOY, S. **The Blue crab fishery of the Gulf of Mexico, United States : a regional management plan**. Ocean Springs, Miss.: Gulf States Marine Fisheries Commission, 2001.

GUILLORY, V.; PREJEAN, P. Blue crab, *Callinectes sapidus*, trap selectivity studies: Mesh size. **Marine Fisheries Review**, v. 59, n. 1, p. 29, 1997. ISSN 00901830.

HART, A. M. Commercial scale invertebrate fisheries enhancement in Australia: Experiences, challenges and opportunities. **Marine Policy**, v. 62, p. 82-93, 12// 2015. ISSN 0308-597X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X15002602> >.

HE, J. Chinese public policy on fisheries subsidies: Reconciling trade, environmental and food security stakes. **Marine Policy**, v. 56, n. 0, p. 106-116, 6// 2015. ISSN 0308-597X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X15000020> >.

HOCHHEIMER, J. **Water Quality in Soft Crab Shedding**. Maryland Sea Grant Extension Program, 1988. 6.

IGARASHI, A. M. Cultivo de siri: perspectivas para o pequeno criador. **Revista Acadêmica : Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 7, p. 12, 2009.

IKHWANUDDIN, M. et al. Improved hatchery-rearing techniques for juvenile production of blue swimming crab, *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758).

Aquaculture Research, v. 43, n. 9, p. 1251-1259, 08 / 01 / 2012. ISSN 1355557X
13652109.

JOHNSTON, D. et al. Decline of a blue swimmer crab (*Portunus pelagicus*) fishery in Western Australia—History, contributing factors and future management strategy. **Fisheries Research**, v. 109, n. 1, p. 119-130, 4// 2011. ISSN 0165-7836. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783611000476>>.

KEENAN, C. P.; BLACKSHAW, A. Mud Crab Aquaculture and Biology - Proceedings of an international scientific forum held in Darwin, Australia. **ACIAR Proceedings**, v. 78, p. 216, 1997.

KENNEDY, V. S.; CRONIN, L. E. **The Blue crab : *Callinectes sapidus***. College Park, Md.: Maryland Sea Grant College, University of Maryland, 2007. ISBN 9780943676678 0943676673.

KOO, J. G. et al. Effects of ammonia and nitrite on survival, growth and moulting in juvenile tiger crab, *Orithyia sinica* (Linnaeus). **Aquaculture Research**, v. 36, n. 1, p. 79-85, 2005. ISSN 1365-2109.

LAKSHMI, G. The Effect of ammonia accumulation on blue crab shedding success: final report, March, 1983 through December, 1983. 1984.

LAUGHLIN, R. A.; CRIPE, C. R.; LIVINGSTON, R. J. Field and Laboratory Avoidance Reactions by Blue Crabs (*Callinectes sapidus*) to Storm Water Runoff. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 107, n. 1, p. 78-86, 1978/01/01 1978. ISSN 0002-8487. Disponível em: <
[http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659\(1978\)107<78:FALARB>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1577/1548-8659(1978)107<78:FALARB>2.0.CO;2)>.

LAWLOR, F.; FISHER, B.; OESTERLING, M. Model HACCP Program for Soft Shell Blue Crab. **Florida Sea Grant College Program**, p. 22, 1997.

LIN, Y.-C.; CHEN, J.-C. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. **Aquaculture**, v. 224, n. 1-4, p. 193-201, 6/30/ 2003. ISSN 0044-8486. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848603002205>>.

LINDNER, B. Impacts of Mud Crab Hatchery Technology in Vietnam. **Assessment Series Report**, v. 36, p. 68, 2005.

LORENZEN, K.; LEBER, K. M.; BLANKENSHIP, H. L. Responsible Approach to Marine Stock Enhancement: An Update. **Reviews in Fisheries Science**, v. 18, n. 2, p. 189-210, 2010/08/18 2010. ISSN 1064-1262. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/10641262.2010.491564> >.

MANGUM, C. P. et al. Physiology of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun during a molt. National Symposium on the Soft-Shell Blue Crab Fishery, 1985. p.1-12.

MANN, D. L. et al. Stocking density and artificial habitat influence stock structure and yield from intensive nursery systems for mud crabs *Scylla serrata* (Forsskål 1775). **Aquaculture Research**, v. 38, n. 14, p. 1580-1587, 2007. ISSN 1355557X.

MANTHE, D. P.; MALONE, R. F.; KUMAR, S. Limiting factors associated with nitrification in closed blue crab shedding systems. **Aquacultural Engineering**, v. 3, n. 2, p. 119-140, 1984/01/01 1984. ISSN 0144-8609. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0144860984900037> >.

MCDONALD, K.; DUPAUL, W.; PLUMMER, C. **The expansion of America's soft-shell crab industry : a Sea Grant success story**. [Gloucester Point, Va.]: [Virginia Sea Grant College Program], 1986.

MELO-FILHO, G. A. S. D. **Manual de identificação dos brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro**. São Paulo: Plêiade/FAPESP, 1996. 604.

MIDDLEMISS, K. L.; URBINA, M. A.; WILSON, R. W. Effects of seawater alkalinity on calcium and acid–base regulation in juvenile European lobster (*Homarus gammarus*) during a moult cycle. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 193, p. 22-28, 3// 2016. ISSN 1095-6433. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643315003086> >.

MIRERA, D.; OCHIEWO, J.; MUNYI, F. Social and economic implications of small-scale mud crab (*Scylla serrata*) aquaculture: the case of organised community groups. **Aquaculture International**, v. 22, n. 4, p. 1499-1514, 2014/08/01 2014. ISSN 0967-6120. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-014-9762-x> >.

MIRERA, O. D. Review: Trends in exploitation, development and management of artisanal mud crab (*Scylla serrata*-Forsskal-1775) fishery and small-scale culture in Kenya: An overview. **Ocean and Coastal Management**, v. 54, p. 844-855, 1/1/2011 2011. ISSN 0964-5691.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 3, 09/2012 2012.

MWALUMA, J. **Pen Culture of the Mud Crab Scylla Mangrove System, Kenya**: Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA), 2002. 2002.

NEUFELD, D. S.; CAMERON, J. N. Postmoult Uptake of Calcium by the Blue Crab (*Callinectes Sapidus*) in Water of low Salinity. **Journal of Experimental Biology**, v. 171, n. 1, p. 283, 1992. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/171/1/283.abstract> >.

NEWCOMBE, C. L.; SANDOZ, M. D.; ROGERS-TALBERT, R. Differential growth and moulting characteristics of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. **Journal of Experimental Zoology**, v. 110, n. 1, p. 113-152, 1949. ISSN 1097-010X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/jez.1401100107> >.

NOAA. Annual Commercial Landing Statistics. 2016. Disponível em: < www.st.nmfs.noaa.gov/st1/commercial/landings/annual_landings.html >.

OESTERLING, M. J. Manual for handling and shedding blue crabs (*Callinectes sapidus*). **Virginia Sea Grant College** Gloucester Point, Va, 1988.

PAN, L.-Q.; LUAN, Z.-H.; JIN, C.-X. Effects of Na⁺/K⁺ and Mg²⁺/Ca²⁺ ratios in saline groundwaters on Na⁺-K⁺-ATPase activity, survival and growth of *Marsupenaeus japonicus* postlarvae. **Aquaculture**, v. 261, n. 4, p. 1396-1402, 12/11/ 2006. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848606007034> >.

PAOLISSO, M. Taste the Traditions: Crabs, Crab Cakes, and the Chesapeake Bay Blue Crab Fishery. **American Anthropologist**, v. 109, n. 4, p. 654-665, 2007. ISSN 1548-1433. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1525/aa.2007.109.4.654> >.

PASSANO, L. Molting and its control. **The physiology of Crustacea**, v. 1, p. 473-536, 1960.

PATERSON, B. D.; MANN, D. L. Mud Crab Aquaculture. p. 115-135, 2011.

PERRY, H. et al. Expansion of the Soft Crab Fishery in Mississippi Using Cultured Blue Crabs. p. 5, 2010.

PERRY, H. et al. Calcium concentration in seawater and exoskeletal calcification in the blue crab, *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 198, p. 197-208, 1/1/2001 2001. ISSN 0044-8486.

PERRY, H. M.; OGLE, J. T.; NICHOLSON, L. The fishery for soft crabs with emphasis on the development of a closed recirculating seawater system for holding shedding crabs. **Gulf States Marine Fisheries Commission**, v. 7, p. 17, 1982.

PRIMAVERA, J. H. et al. Mud crab pen culture: replacement of fish feed requirement and impacts on mangrove community structure. **Aquaculture Research**, v. 41, p. 1211-1220, 2010.

RATHBUN, R. **The crab, lobster, crayfish, rock lobster, shrimp, and prawn fisheries**. [Washington]: [Government Printing Office], 1887.

RIJN, J. V.; TAL, Y.; SCHREIER, H. J. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. **Aquaculture Engineering**, v. 34, p. 12, 31/01/2005 2005.

ROBERTS, W. A. **The crab industry of Maryland**. Washington: Govt. Print. Off., 1905.

ROBERTSON, J. D. Ionic regulation in the crab *Carcinus maenas* (L.) in relation to the moulting cycle. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 1, n. 3, p. 183-212, 1960/07/01 1960. ISSN 0010-406X. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0010406X60900232> >.

ROMANO, N.; ZENG, C. Acute toxicity of ammonia and its effects on the haemolymph osmolality, ammonia-N, pH and ionic composition of early juvenile mud crabs, *Scylla serrata* (Forskål). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 148, n. 2,

p. 278-285, 10// 2007. ISSN 1095-6433. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643307009956>>.

_____. Importance of balanced Na⁺/K⁺ ratios for blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*, to cope with elevated ammonia-N and differences between in vitro and in vivo gill Na⁺/K⁺-ATPase responses. **Aquaculture**, v. 318, p. 154-161, 1/1/2011 2011. ISSN 0044-8486.

RUSSO, R. C.; THURSTON, R. V.; EMERSON, K. Acute Toxicity of Nitrite to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*): Effects of pH, Nitrite Species, and Anion Species. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 38, n. 4, p. 387-393, 1981/04/01 1981. ISSN 0706-652X. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1139/f81-054>>. Acesso em: 2017/02/23.

SEITZ, R. D. et al. Stock Enhancement and Carrying Capacity of Blue Crab Nursery Habitats in Chesapeake Bay. **Reviews in Fisheries Science**, v. 16, n. 1-3, p. 329-337, 2008. ISSN 10641262.

SENERICHES-ABIERA, M. L.; PARADO-ESTEPA, F.; GONZALES, G. A. Acute toxicity of nitrite to mud crab *Scylla serrata* (Forsskål) larvae. **Aquaculture Research**, v. 38, n. 14, p. 1495-1499, 2007. ISSN 1365-2109.

SHELLEY, C. Capture-based aquaculture of mud crabs (*Scylla* spp.). **Global overview. FAO Fisheries Technical Paper.**, v. 5008, p. 15, 2008.

SHELLEY, C.; LOVATELLI, A. Mud crab aquaculture. A practical manual. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper (FAO)**, Rome (Italy), 2011. ISSN 978-92-5-106990-5
2070-7010.

SONGRAK, A.; BODHISUWAN, W.; THAPANAND-CHAIDEE, T. **Selectivity of traps for blue swimming crab in Trang province.** 2013.

SOUTHERN REGIONAL AQUACULTURE, C.; GAUDÉ, A.; ANDERSON, J. A. Soft shell crab shedding systems. Stoneville, Miss.?, 2011. Disponível em: <
<http://3a%2f%2fsearch.ebscohost.com%2flogin.aspx%3fdirect%3dtrue%26db%3dedagr%26AN%3dedagr.US201300003501%26lang%3dpt-br%26site%3ded-ag-live>>.

TAO, J. et al. Magnesium-aspartate-based crystallization switch inspired from shell molt of crustacean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 52, p. 22096-22101, December 29, 2009 2009. Disponível em: < <http://www.pnas.org/content/106/52/22096.abstract> >.

TAYLOR, J. R. A.; KIER, W. M. Switching skeletons: Hydrostatic support in molting crabs. **Science**, v. 301, n. 5630, p. 209-210, 07 / 11 / 2003. ISSN 00368075.

TAYLOR, M. D. et al. Responsible estuarine finfish stock enhancement: an Australian perspective. **Journal of Fish Biology**, v. 67, n. 2, p. 299-331, 2005. ISSN 1095-8649. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00809.x> >.

TOBIAS-QUINITIO, E. J. et al. **Soft-shell crab production using hatchery-reared mud crab**. Southeast Asian Fisheries Development (SEAFDEC), 2015. 25.

TOWLE, D. W.; MANGUM, C. P. Ionic regulation and transport ATPase activities during the molt cycle in the blue crab *Callinectes sapidus*. **Journal of crustacean biology**, v. 5, n. 2, p. 216-222, 1985. ISSN 1937-240X.

WALTON, M. et al. Significance of mangrove–mudflat boundaries as nursery grounds for the mud crab, *Scylla paramamosain*. **Marine Biology**, v. 149, n. 5, p. 1199-1207, 2006/08/01 2006. ISSN 0025-3162. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-006-0267-7> >.

WEHRTMANN, I. S.; MENA-CASTAÑEDA, D. molt sign description of the pacific blue crab *Callinectes arcuatus* Ordway 1863 (Decapoda, Portunidae). **Nauplius**, v. 11, n. 2, p. 135-139, 2003.

WELINDER, B. S. The crustacean cuticle - I. Studies on the composition of the cuticle. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 47, n. 2, p. 779-787, 1974/02/01 1974. ISSN 0300-9629. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0300962974900371> >.

WHEATLY, M. et al. Novel subcellular and molecular tools to study Ca(2+) transport mechanisms during the elusive moulting stages of crustaceans: flow cytometry and polyclonal antibodies. **Journal of Experimental Biology**, v. 204, n. 5, p. 959-966, March 1, 2001 2001. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/204/5/959.abstract> >.

WHEATLY, M. G. Crustacean Models for Studying Calcium Transport: The Journey from Whole Organisms to Molecular Mechanisms. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, Cambridge, UK, v. 77, n. 1, p. 107-125, 1997/002/001 1997. Disponível em: < <https://www.cambridge.org/core/article/div-class-title-crustacean-models-for-studying-calcium-transport-journey-from-whole-organisms-to-molecular-mechanisms-div/BDDCE764F37A26199CA8D6990F45AA5A> >.

_____. Calcium homeostasis in crustacea: The evolving role of branchial, renal, digestive and hypodermal epithelia. **Journal of Experimental Zoology**, v. 283, n. 7, p. 620-640, 1999. ISSN 1097-010X. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990601\)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990601)283:7<620::AID-JEZ2>3.0.CO;2-3) >.

WHEATLY, M. G.; ZANOTTO, F. P.; HUBBARD, M. G. Calcium homeostasis in crustaceans: subcellular Ca dynamics. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 132, n. 1, p. 163-178, 5// 2002. ISSN 1096-4959. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1096495901005206> >.

WICKINS, J. F.; LEE, D. O. C. **Crustacean farming : ranching and culture**. Oxford; Ames, Iowa: Blackwell Scientific Publications, 2002. ISBN 0632054646 9780632054640.

YALIN, S.; QINGSHENG, L. Present Status of Mangrove Crab (*Scylla serrata* (Forsk.) Culture in China. **NAGA, The ICLARM Quarterly**, v. 17, n. 1, p. 2, 1994.

ZANOTTO, F. P.; WHEATLY, M. G. The Effect of Ambient pH on Electrolyte Regulation During the Postmoult Period in Freshwater Crayfish *Procambarus clarkii*. **Journal of Experimental Biology**, v. 178, n. 1, p. 1, 1993. Disponível em: < <http://jeb.biologists.org/content/178/1/1.abstract> >.

_____. Calcium balance in crustaceans: nutritional aspects of physiological regulation. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 133, n. 3, p. 645-660, 11// 2002. ISSN 1095-6433. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1095643302002027> >.

ZEEBE, R. E.; WOLF-GLADROW, D. A. **CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes**. Gulf Professional Publishing, 2001. ISBN 0444509461.

ZMORA, O. et al. Large-scale juvenile production of the blue crab *Callinectes sapidus*. **Aquaculture**, v. 244, n. 1–4, p. 129-139, 2/28/ 2005. ISSN 0044-8486. Disponible en: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848604006544> >.

ZOHAR, Y. et al. The Chesapeake Bay Blue Crab (*Callinectes sapidus*): A Multidisciplinary Approach to Responsible Stock Replenishment. **Reviews in Fisheries Science**, v. 16, n. 1-3, p. 24-34, 2008. ISSN 10641262.