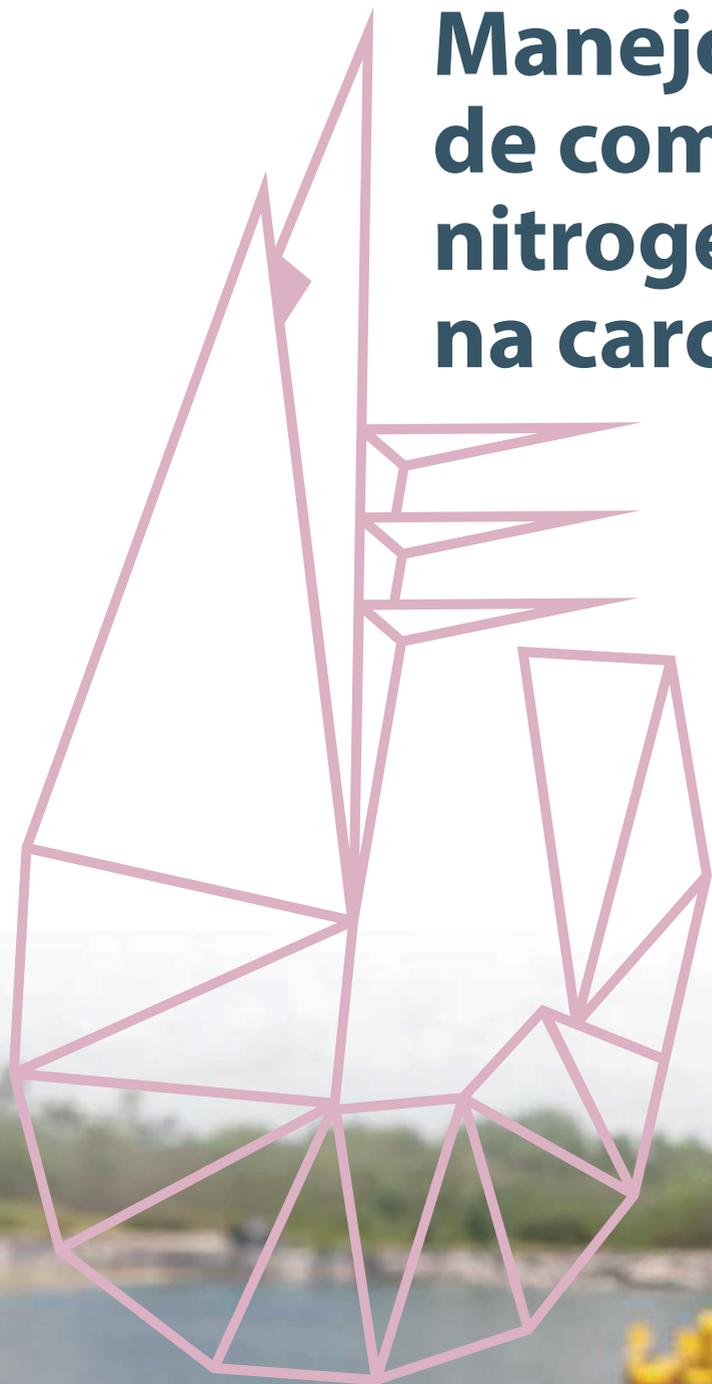


Manejo de compostos nitrogenados na carcinicultura



Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Pesca e Aquicultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Manejo de compostos nitrogenados na carcinicultura

Embrapa
Brasília, DF
2022

Embrapa Pesca e Aquicultura

Prolongamento da Av. NS 10, cruzamento com a
Av. LO 18 Sentido Norte
Loteamento Água Fria
77008-900 Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo

Embrapa Pesca e Aquicultura

Comitê Local de Publicações

Presidente

Roberto Manolio Valladão Flores

Secretário-executivo

Diego Neves de Sousa

Membros

Alexandre Uhlmann, Clenio Araújo

Fabrício Pereira Rezende

Hellen Christina de Almeida Kato

Jefferson Cristiano Christofolletti

Luciana Cristine Vasques Villela

Luiz Eduardo Lima de Freitas

Responsável pela edição

Embrapa, Secretaria-Geral

Coordenação editorial

Alexandre Aires de Freitas

Heloiza Dias da Silva

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto

Everaldo Correia da Silva Filho

Normalização bibliográfica

Márcia Maria Pereira de Souza

Capa

Paula Cristina Rodrigues Franco

Projeto gráfico e editoração eletrônica

Júlio César da Silva Delfino

1ª edição

Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Secretaria-Geral

Manejo de compostos nitrogenados na carcinicultura / Alitiene Moura Lemos Pereira ... [et al.]. – Brasília,
DF : Embrapa, 2022.

PDF (109 p.). ; il. color. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-65-89957-02-7

1. Aquicultura. 2. Cadeia produtiva. 3. Ciclo do nitrogênio. 4. Viveiro. I. Pereira, Alitiene Moura Lemos.
II. Silva, Allyne Elins Moreira da. III. Oliveira, Caio Rubens do Rego. IV. Silva, Danielle Alves da. V. Oliveira,
Deyvid Willame Silva. VI. Santos, Elizabeth Pereira dos. VII. Gonçalves Junior, Genes Fernando. VIII. Kato,
Hellen Cristina de Almeida. IX. Abreu, Jéssica Lima de. X. Silva, Luis Otávio Brito da. XI. Pimentel, Otávio
Augusto Lacerda Ferreira. XII. Lima, Priscilla Celes Maciel de. XIII. Oliveira, Valdemir, Queiroz de. XIV.
Gálvez, Alfredo Olivera. XV. Embrapa Pesca e Aquicultura.

CDD 639.543

Autores

Alitieni Moura Lemos Pereira

Tecnóloga em Aquicultura, doutora em Biologia de Organismos Aquáticos e Aquicultura, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Allyne Elins Moreira da Silva

Engenheira de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, sócia-administradora da DAP Projetos Aquícolas, Recife, PE

Caio Rubens do Rego Oliveira

Engenheiro de Pesca, estudante de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Danielle Alves da Silva

Engenheira de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, sócia-administradora da DAP Projetos Aquícolas, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Deyvid Willame Silva Oliveira

Engenheiro de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Elizabeth Pereira dos Santos

Engenheira de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Genes Fernando Gonçalves Junior

Engenheiro de Pesca, estudante de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

Hellen Cristina de Almeida Kato

Médica-veterinária, mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO

Jéssika Lima de Abreu

Engenheira de Pesca, doutora em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, estudante de pós-doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Luis Otávio Brito da Silva

Engenheiro de Pesca, doutor em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, professor adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Otávio Augusto Lacerda Ferreira Pimentel

Engenheiro de Aquicultura, mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

Priscilla Celes Maciel de Lima

Engenheira de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros e Aquicultura, sócia-administradora da DAP Projetos Aquícolas, estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Valdemir Queiroz de Oliveira

Engenheiro de Pesca, mestre em Recursos Pesqueiros, analista da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Alfredo Olivera Gálvez

Biólogo, doutor em Biologia de Organismos Aquáticos e Aquicultura, professor titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Agradecimentos

Ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); à Secretaria de Aquicultura e Pesca (SAP) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa); ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo apoio financeiro ao projeto Ações estruturantes e inovação para fortalecimento das cadeias produtivas da Aquicultura no Brasil (BRS Aqua).

Apresentação

O Brasil tem grande potencial para o desenvolvimento da carcinicultura, sendo o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* a principal espécie cultivada. Dentre todos os aspectos que devem ser observados para o bom desempenho dos animais, um dos pontos mais importantes e preocupantes no cultivo de camarões é a qualidade de água, destacando-se os compostos nitrogenados, que tendem a se acumular durante o cultivo e podem trazer grandes prejuízos aos produtores.

Nesse contexto e em uma linguagem bastante didática, esta obra traz aspectos da cadeia produtiva do camarão, abordando conceitos como os principais sistemas de cultivo, as doenças que mais acometem os animais, entre outros. Por ser um dos pontos mais críticos do cultivo, a qualidade de água e sua manutenção são abordadas de forma mais detalhada, destacando-se as formas de controle de compostos nitrogenados, as principais estratégias de fertilização de viveiros e os microrganismos envolvidos no consumo dos compostos tóxicos aos animais cultivados.

As informações disponibilizadas poderão auxiliar os produtores desta espécie durante o desenvolvimento dos cultivos, de forma a contribuir para a geração de melhores resultados, diminuindo a possibilidade de perdas de lotes durante o processo.

Esta publicação faz parte do BRS Aqua, projeto que tem por objetivo fortalecer a infraestrutura de pesquisa da Embrapa, bem como gerar e transferir tecnologias que promovam o desenvolvimento da aquicultura brasileira com foco primordial na inovação, contribuindo para o incremento da produção e proporcionando aumento da competitividade e sustentabilidade da cadeia nacional do pescado. Sendo um marco em investimentos no tema, é fruto da parceria entre Embrapa, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa/SAP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Lícia Maria Lundstedt

Chefe-Adjunta de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Pesca e Aquicultura

Sumário

11 Introdução

- 11 Carcinicultura marinha
- 15 Sistemas de produção
- 18 Compostos nitrogenados

21 Ciclo do nitrogênio na carcinicultura

- 21 Ciclo do nitrogênio
- 23 Compostos nitrogenados na carcinicultura
- 24 Avaliação dos compostos nitrogenados

31 Microrganismos responsáveis pela oxidação e transformação dos compostos nitrogenados

- 32 Controle dos compostos nitrogenados nos diferentes sistemas de produção
- 35 Microrganismos no controle dos compostos nitrogenados

37 Estratégias de fertilização com carbono orgânico para o controle dos compostos nitrogenados no cultivo de camarão marinho

- 38 Fertilização
- 38 Sistema bioflocos
- 40 Sistema simbiótico
- 45 Relação carbono:nitrogênio e sua importância no controle dos compostos nitrogenados

47 Estratégias de utilização do carbono inorgânico para auxiliar o controle dos compostos nitrogenados no cultivo de camarão marinho

- 49 Principais produtos para incrementar o carbono inorgânico na água

54 Qualidade de água e sua importância para ajudar no controle dos compostos nitrogenados

- 55 Oxigênio dissolvido e sistema de aeração
- 64 Controle de sólidos suspensos
- 65 Potencial de oxirredução
- 69 pH da água

71 Fertilização mineral em sistemas de baixa salinidade e sua influência sobre os compostos nitrogenados

- 71 Conceito de salinidade e íons componentes da salinidade da água
- 73 Principais fertilizantes minerais utilizados para adição de íons na água
- 74 Cálculo da quantidade de íons adicionados à água

83 Considerações finais

83 Referências

92 Anexo I

Introdução

A carcinicultura teve início no Brasil entre os anos de 1972 e 1974 quando estudos com diversas espécies de camarões pertencentes à família Penaeidae foram desenvolvidos, sendo o *Litopenaeus vannamei* uma das espécies com melhores resultados. Essa espécie começou a ser cultivada na década de 1980 e acentuou-se nos primeiros anos da década de 1990, e, desde então, tem evoluído em áreas antes inimagináveis para esta espécie, explorando novas fronteiras até para o seu cultivo em águas interiores, em diversos sistemas de cultivo e utilizando-se de novas ferramentas para otimizar sua produção.

A produção aquícola se baseia no fornecimento de um ambiente favorável ao desenvolvimento dos organismos aquáticos, sendo a manutenção da qualidade de água um fator importante para o sucesso desse cultivo. Independentemente do sistema de cultivo, variações dos parâmetros de qualidade de água podem ocorrer, dependendo das densidades de estocagem, quantidade de alimentação ofertada e manejo. Nesse contexto, um dos principais problemas relacionados à qualidade de água é o acúmulo de compostos nitrogenados, com a amônia e o nitrito, os quais podem causar grandes prejuízos ao cultivo.

Antes de saber como controlar esses compostos nitrogenados, precisa-se entender melhor a carcinicultura marinha, os sistemas de produção e o que são esses compostos.

Carcinicultura marinha

O termo carcinicultura refere-se à criação de camarão em cativeiro, seja ele marinho, seja de água doce. O camarão tem sido historicamente um dos produtos pesqueiros mais comercializados no mundo, com a maior parte de sua produção ocorrendo na Ásia e na América Latina (FAO, 2020a).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em 2018, a produção mundial de pescados foi de 178,5 milhões de toneladas, sendo que 46% foram provenientes da aquicultura (82,1 milhões de toneladas). Desse total, 66,1% da piscicultura, 21,3% do cultivo de moluscos e 11,4% do cultivo de crustáceos (FAO, 2020a), como pode ser observado na Figura 1.

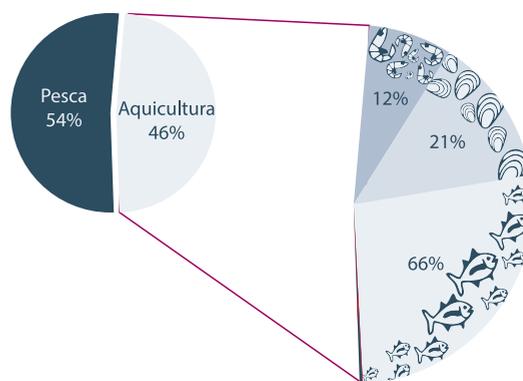


Figura 1. Produção mundial de pescados em 2018.

Fonte: FAO (2020a).

Atualmente, a carcinicultura mundial é responsável por produzir 9,4 milhões de toneladas, correspondendo a US\$ 69,3 bilhões, sendo 61,1% da sua totalidade de espécies marinhas, em que o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* (comumente conhe-

cido como camarão-branco-do-pacífico) é a principal espécie cultivada, representando 52,9% da produção mundial de crustáceos (4.966,2 mil toneladas) (FAO, 2020a). No Brasil não é diferente, o cultivo dessa espécie atingiu uma produção de 54,3 mil toneladas em 2019, registrando crescimento pelo segundo ano consecutivo (IBGE, 2020). Por causa da geração de emprego e renda, a carcinicultura é uma atividade econômica muito importante em várias regiões do litoral brasileiro. Embora a carcinicultura ocorra também nas regiões Sul e Sudeste do País, o maior número de fazendas de camarão marinho concentra-se na região Nordeste, que foi responsável por 99,6% da produção nacional em 2019, destacando-se os estados do Rio Grande do Norte (20,7 mil toneladas – 38,2%) e do Ceará (16,7 mil toneladas – 30,8%) (IBGE, 2020).

A espécie *L. vannamei* (Figura 2) se tornou a principal espécie graças às vantagens apresentadas em relação a outras espécies, tais como: crescimento rápido, fácil adaptação a novos ambientes, maior taxa de sobrevivência, ótima taxa de conversão alimentar, grande aceitação no mercado, tolerância a altas densidades de estocagem e variações ambientais (Lin; Chen, 2003; Racotta et al., 2003; Saoud et al., 2003; Xu et al., 2012). A tolerância a uma ampla faixa de temperatura e à salinidade torna possível o cultivo dessa espécie em uma maior área geográfica: zonas tropicais e subtropicais, com água salgada e com baixa salinidade (Racotta et al., 2003; Saoud et al., 2003; Samocha, 2019).

A carcinicultura vem apresentando uma redução na taxa de crescimento nos últimos anos (FAO, 2018), com perdas de aproximadamente US\$ 15 bilhões, prin-

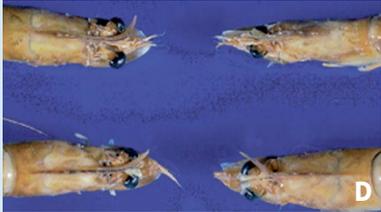


Fotos: Priscilla Celes Maciel de Lima

Figura 2. Espécimes de *Litopenaeus vannamei*.

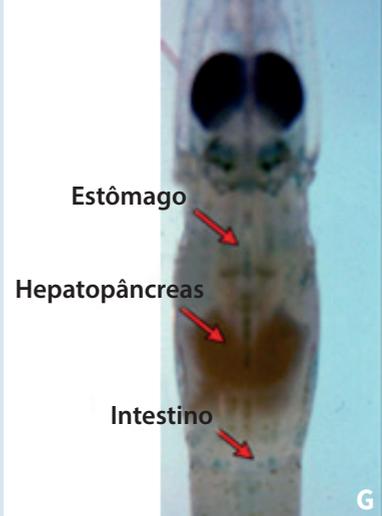
cipalmente pelos surtos de doenças virais causadas por: vírus da síndrome da mancha-branca (*White spot syndrome virus* – WSSV), vírus da mionecrose infecciosa (*Infectious myonecrosis virus* – IMNV), vírus da síndrome de taura (*Taura syndrome virus* – TSV) e vírus da necrose infecciosa hipodermal e hematopoiética (*Infectious hypodermal and hematopoietic necrosis virus* – IHHNV) (Costa et al., 2011; Samocha, 2019); bem como pelas doenças bacterianas: hepatopancreatite necrosante bacteriana (*Necrotizing hepatopancreatitis bacterium* – NHPB), causada pelo agente *Hepatobacterium penaei*; necrose hepatopancreática aguda (*Acute hepatopancreatic necrosis disease* – AHPNS), causada pelo agente *Vibrio parahaemolyticus*; e vibrioses (*Vibrio* spp.), detalhadas na Tabela 1. No Brasil, esse histórico de problemas com doenças iniciou-se em 2004, quando a atividade sofreu uma redução de 15% na produção

Tabela 1. Principais doenças observadas no cultivo de camarão marinho no Brasil.

Doença	Fase afetada	Sinal clínico	
Síndrome da mancha-branca WSSV	Juvenil a adulto	<p>Os camarões apresentam redução no consumo alimentar, letargia; a cutícula se desprende facilmente e apresentam manchas brancas no exoesqueleto</p> <p>No entanto, em muitos casos, os camarões moribundos apresentam coloração variando de rosa a avermelhada, por causa da expansão dos cromatóforos. Nesses casos, a presença de manchas brancas é limitada ou ausente</p>	 
Mionecrose infecciosa IMNV	Pós-larvas, juvenis e adultos	<p>Os camarões apresentam áreas necróticas no músculo do abdômen. As áreas necróticas são inicialmente multifocais e, posteriormente, tornam-se mais difusas, aumentando de tamanho</p> <p>Em estágios avançados, as áreas necróticas adquirem coloração laranja-avermelhada</p>	
Necrose infecciosa hipodermal e hematopoiética IHNV	Larvas, juvenis e adultos	<p>Camarões com rostro torto ou deformado; antenas enrugadas; carapaça áspera e deformada; segmento abdominal deformado e grande variação de tamanho (muitos indivíduos pequenos)</p>	 

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Doença	Fase afetada	Sinal clínico	
Hepatopancreatite necrosante bacteriana <i>Hepatobacterium penaei</i>	Jovens e adultos	Durante a fase inicial da doença, não aparecem sinais clínicos. Durante a fase aguda, há redução do consumo alimentar, palidez do corpo, com coloração marrom-clara, brânquias amarelo-pálidas a marrom e hepatopâncreas atrofiado. Na fase crônica, os camarões apresentam hepatopâncreas atrofiado de cor escura	
Necrose hepatopancreática aguda <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Juvenis	Os camarões apresentam hepatopâncreas pálido e endurecido de tamanho reduzido, intestino vazio, carapaça mole ou solta, coloração pálida e letargia	
Vibrioses <i>Vibrio</i> spp.	Pós-larvas, juvenis e adultos	Algumas podem causar alta mortalidade (até 90%) em pós-larvas e juvenis. Os camarões podem apresentar opacidade muscular, trato digestivo vazio, expansão de cromatóforos, hepatopâncreas inflamado, erosão cuticular e luminescência	

Fonte: Lightner (1996)^(A,F), Morales e Cuéllar-Anjel (2008)^(B,C,D,E), Tran et al. (2013)^(G) e Aguilera-Rivera et al. (2019)^(H,I).

em relação a 2003, resultando em uma produção de 75,9 mil toneladas, em decorrência do IMNV (Rodrigues, 2005). Nos anos seguintes, surgiram os relatos do WSSV, primeiramente em Santa Catarina (2005), sul da Bahia (2008) e em algumas áreas de Pernambuco, Paraíba e do Rio Grande do Norte (2011) (Guerrelhas et al., 2011).

Quando se avalia o desempenho da carcinicultura brasileira e equatoriana, durante

o período entre 2000 a 2018, fica nítida a necessidade de modificação nas estratégias de cultivo para o desenvolvimento da carcinicultura no País. O Equador está entre os maiores produtores de camarão da América Latina e apresenta uma produção bem superior à brasileira, graças aos investimentos públicos e estímulos à atividade, mesmo registrando 13 enfermidades (Figura 3).

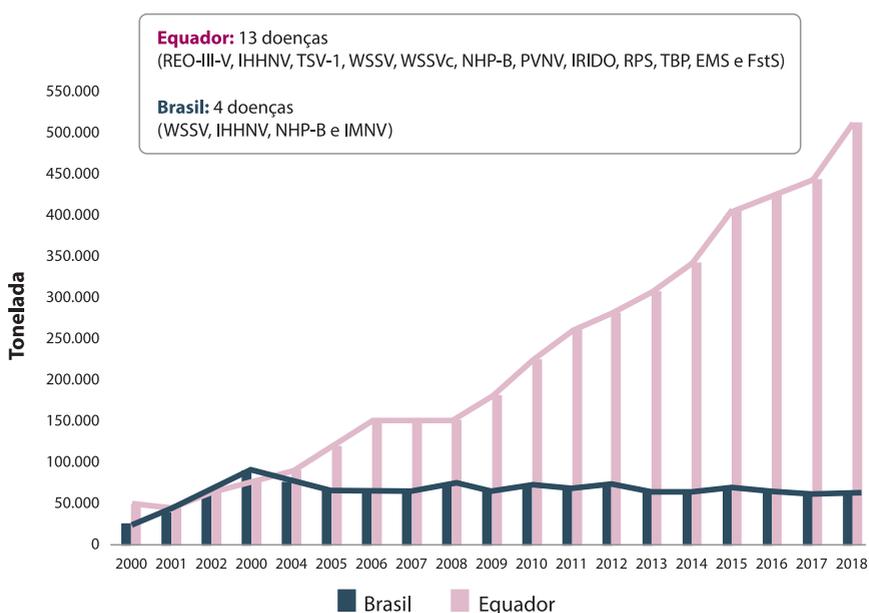


Figura 3. Comparativo das produções de camarão marinho cultivado no Brasil e Equador.

Fonte: Adaptado de Rocha (2017) e FAO (2020b).

Frente aos surtos de doença, pesquisadores e produtores, acompanhando uma tendência mundial, vêm incorporando às suas estratégias de cultivo técnicas capazes de reduzir a incidência de doenças e manter a qualidade de água, baseando-se na produção com pequenas trocas de água. Por esse motivo, ao longo dos anos os siste-

mas intensivos estão ganhando espaço na carcinicultura.

Sistemas de produção

O desenvolvimento tecnológico foi decisivo para o crescimento da carcinicultura, permitindo o abastecimento da água via

bombeamento, a utilização de aeradores, além do aperfeiçoamento dos protocolos de cultivo e das práticas de manejo. Gene-

ricamente, pode-se classificar os cultivos em: extensivo, semi-intensivo e intensivo (Figura 4).

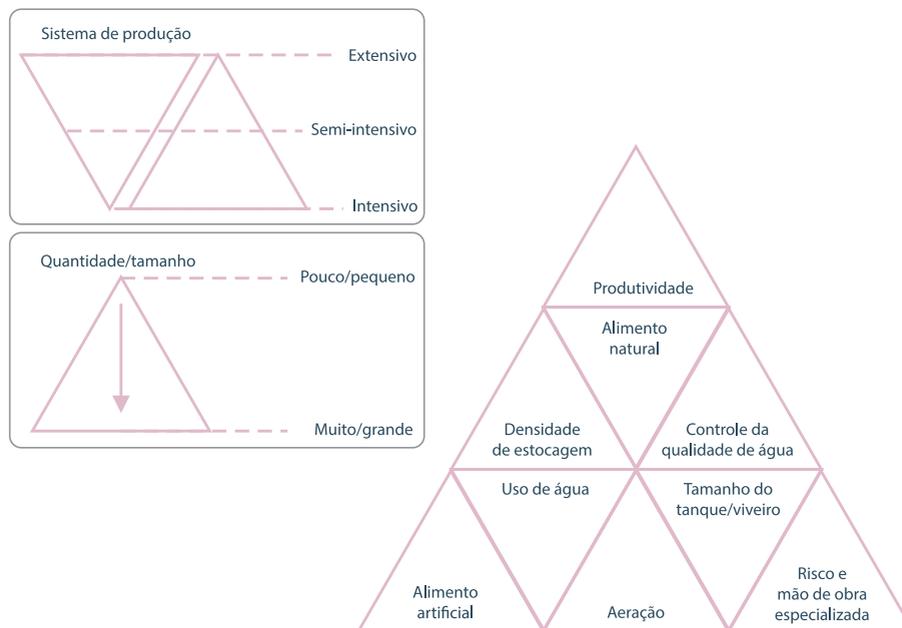


Figura 4. Principais diferenças entre os sistemas de produção extensivos, semi-intensivos e intensivos.

Fonte: Adaptado de Tacon e Foster (2003).

Sistema extensivo

Foi a primeira forma de cultivo de camarão marinho praticada em larga escala no mundo. Esse sistema é bastante simples, pois não utiliza tecnologias, como os aeradores e alimentação artificial (ração). A alimentação é baseada na produção natural estimulada a partir da fertilização orgânica e inorgânica (Faria et al., 2013; Ostrensky et al., 2017a). Nos cultivos extensivos, utiliza-se baixa densidade (de 0,5 a 4 camarões por metro

quadrado), baixa renovação de água e mínima intervenção ao longo do cultivo, resultando em uma baixa produtividade ($0,05 \text{ kg/m}^2$ – $0,1 \text{ kg/m}^2$) (Samocho et al., 2017; Ostrensky et al., 2017b). Em razão da baixa densidade de povoamento, o produtor não terá problemas para manter a qualidade de água. Além disso, as fazendas com esse sistema apresentam extensas áreas de viveiros (10 ha–20 ha por viveiro). Na Figura 5, pode-se observar um cultivo de camarão em sistema extensivo.

Foto: Priscilla Celes Maciel de Lima



Figura 5. Cultivo de camarão em sistema extensivo na Ilha de Itamaracá, PE.

Sistema semi-intensivo

É o sistema comumente utilizado para o cultivo do camarão *L. vannamei*, chamado de “convencional”. Nesse sistema, já se tem um maior controle sobre as variáveis de qualidade de água, como oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico (pH), transparência, alcalinidade, além do uso de rações balanceadas. Mudanças essas que proporcionaram um aumento das densidades de estocagem.

No cultivo semi-intensivo (Figura 6), utilizam-se densidades de 5 a 40 camarões por metro quadrado, renovação de água mais elevada, viveiros menores (1 ha e 10 ha) e de tamanho mais homogêneo do que no cultivo em sistema extensivo, alcançando uma produtividade de até 0,3 kg/m² (Ostrensky et al., 2017a; Samocha et al., 2017). Com o uso de densidades maiores, torna-se necessário o uso de aeração emergencial e de alimento artificial (ração), embora a alimentação natural ainda tenha papel importante.

A tecnologia empregada nesse sistema foi sendo aperfeiçoada com o avançar da década, agregando outras estruturas e técnicas como: canais de drenagem, bacias de



Figura 6. Cultivo de camarão em sistema semi-intensivo no município de Sirinhaém, PE.

sedimentação, utilização de berçários (25 a 35 dias), além de algumas estratégias de boas práticas de manejo, como controle e tratamento da matéria orgânica.

Sistema intensivo

A finalidade da intensificação do sistema de cultivo é obter alta produtividade. No sistema intensivo (Figura 7), há um maior controle sobre as variáveis de qualidade da água, possibilitando redução das trocas de água, utilização de maiores densidades de estocagem (50 a 300 camarões por metro quadrado) (Ostrensky et al., 2017a) e tanques e/ou viveiros menores quando comparados aos dos sistemas extensivo e semi-intensivo.



Figura 7. Cultivo de camarão em sistema intensivo no município de Sirinhaém, PE.

Foto: Priscilla Celes Maciel de Lima

Foto: Priscilla Celes Maciel de Lima

Com isso, a produtividade alcançada nesse sistema pode ser superior a 5 kg/m^2 (Samocha et al., 2017). O aumento da densidade de estocagem pode causar degradação da qualidade de água. Por esse motivo, nos sistemas intensivos é necessária a adoção de mais equipamentos e práticas adequadas de gerenciamento e monitoramento, embora isso aumente os custos de produção, por causa da dependência de energia elétrica, mão de obra especializada e alimentação nutricionalmente completa, além da utilização de imunostimulante, prebiótico, probióticos, etc.

Compostos nitrogenados

Com o aumento da densidade de estocagem, é importante ter muita atenção com os compostos nitrogenados. Amônia, nitrito e nitrato nos sistemas extensivos prejudicam a qualidade de água, por causa

da maior carga orgânica. Quando passamos para o cultivo intensivo, será necessário entender a dinâmica dos nitrogenados e o papel da comunidade bacteriana, para auxiliar na manutenção da qualidade de água.

Nos sistemas de cultivo, as principais fontes de nitrogênio (N) são os fertilizantes nitrogenados, as excretas dos organismos e as sobras de ração (Figura 8) (Crab et al., 2007; Sá, 2012). Os fertilizantes são adicionados com objetivo de aumentar a disponibilidade de nutrientes para os produtores primários (microalgas – fitoplâncton). Alguns dos fertilizantes utilizados como fontes de N são: ureia $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$, nitrato de cálcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$ e nitrato de sódio (NaNO_3) (Sá, 2012).

Na alimentação dos camarões, o requerimento nutricional desses organismos em relação à proteína é maior nos estágios

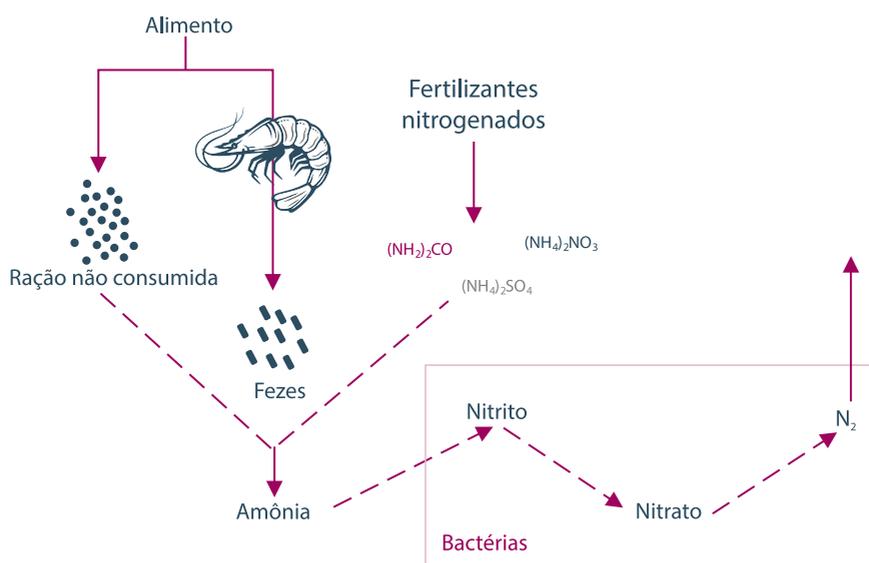


Figura 8. Ciclo do nitrogênio na carcinicultura.

Fonte: Adaptado de Crab et al. (2007).

iniciais (pós-larvas), reduzindo-se gradativamente ao longo do cultivo. As rações comerciais utilizadas para o cultivo de camarão são ricas em proteína bruta, tendo entre 30% a 50%, em que 16% dessa proteína é N (Sá, 2012). Quando a ração é ingerida, inicia-se o processo de digestão, no entanto, os camarões aproveitam em média 25% do N ofertado e o resto é liberado no ambiente na forma de nitrogênio amoniacal total (Avnimelech, 2012).

Sabendo disso, pode-se estimar a quantidade de nitrogênio amoniacal total que é fornecido ao sistema a partir da ração (Equação 1) (Samocha et al., 2017).

$$\text{NAT} = \text{Ração} \times \% \text{PB} \times \% \text{N} \times \% \text{Excreção} \quad [1],$$

em que:

NAT = Nitrogênio amoniacal total.

%PB = Porcentagem de proteína bruta da ração.

%N = Porcentagem de nitrogênio na proteína (16%).

%Excreção = Taxa de excreção.

Exemplo 1: em um tanque é ofertado diariamente 1 kg de ração 40% PB. Quanto de NAT está sendo fornecido diariamente?

$$\text{NAT} = \text{Ração} \times \% \text{PB} \times \% \text{N} \times \% \text{Excreção}$$

1. Multiplique a quantidade de ração (1 kg = 1.000 g) pelo teor de proteína (40%):

$$1.000 \times 0,4 = 400 \text{ g de proteína}$$

2. Multiplique a quantidade de proteína pela porcentagem de nitrogênio na proteína (16%):

$$400 \text{ g} \times 0,16 = 64 \text{ g de nitrogênio}$$

3. Multiplique pela taxa de excreção (75% – fração de nitrogênio convertida em NAT):

$$64 \times 0,75 = 48 \text{ g NAT}$$

Exemplo 2: em um viveiro é ofertado diariamente 5 kg de ração 35% PB. Quanto de NAT está sendo fornecido diariamente?

$$\text{NAT} = \text{Ração} \times \% \text{PB} \times \% \text{N} \times \% \text{Excreção}$$

Multiplique a quantidade de ração (5 kg) pelo teor de proteína (35%):

$$5 \text{ kg} \times 0,35 = 1,75 \text{ kg de proteína}$$

Multiplique a quantidade de proteína pela porcentagem de nitrogênio na proteína (16%):

$$1,75 \text{ kg} \times 0,16 = 0,28 \text{ kg de nitrogênio}$$

Multiplique pela taxa de excreção (75% – fração de nitrogênio convertida em NAT):

$$0,28 \times 0,75 = 0,21 \text{ kg NAT}$$

Conversão dos compostos nitrogenados

Nos sistemas de cultivo, dependendo das estratégias de manejo adotadas e das condições ambientais, a conversão do nitrogênio amoniacal total (NAT) pode acontecer, principalmente, de três formas: 1) por meio da remoção fotoautotrófica por algas, em que o NAT é convertido em biomassa algal; 2) pelas bactérias autotróficas responsáveis pela oxidação da amônia a nitrito e nitrato; e 3) pelas bactérias heterotróficas, responsáveis por transformar o NAT diretamente em biomassa bacteriana (Ebeling et al., 2006). Esses processos são influenciados diretamente pelas variáveis de qualidade de água, como: alcalinidade, temperatura, pH, potencial redox (ORP), oxigênio dissolvido, luminosidade, disponibilidade de carbono orgânico, entre outras (Ebeling et al., 2006).

Um tanque de cultivo de camarão é um ecossistema bastante complexo, vai além do fornecimento de ração e de fertilizantes. Há uma cadeia biológica que envolve um conjunto de microrganismos, como

fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários, entre outros.

A matéria orgânica presente no tanque de cultivo de camarão irá passar pelo processo de mineralização, que liberará os nutrientes nela contidos para o ambiente, especialmente o nitrogênio (N) e o fósforo (P), como ilustrado na Figura 9. Em presença de luz, as microalgas utilizam estes nutrientes como substrato para o seu desenvolvimento, em seguida, os incorpora à sua biomassa, convertendo-os novamente em compostos orgânicos. As microalgas na água servem de alimento para as populações de zooplâncton (Ostrensky et al., 2017b).

O fitoplâncton e o zooplâncton apresentam, no entanto, um ciclo de vida curto. Quando morrem, essa matéria orgânica estimula o crescimento de organismos detritívoros, que fragmentam a matéria orgânica e as expõe para a ação bacteriana (bactérias autotróficas e heterotróficas). As bactérias mineralizam essa matéria orgânica e libe-

ram os nutrientes novamente na coluna d'água (Ostrensky et al., 2017b).

As bactérias autotróficas utilizam a oxidação de substâncias minerais como única fonte de energia para o seu desenvolvimento, não necessitando de nenhum nutriente orgânico. Certos compostos orgânicos podem até inibir o crescimento dessas bactérias. Pelo fato de as bactérias nitrificantes participarem do ciclo do nitrogênio convertendo a amônia (nitrogênio amoniacal) em nitrito e, posteriormente, convertendo o nitrito em nitrato, elas são um dos tipos de bactérias mais importante para a carcinicultura (Ebeling et al., 2006; Ostrensky et al., 2017b). Já as bactérias heterotróficas utilizam substâncias orgânicas como fonte de energia e são relacionadas à decomposição da celulose, açúcares, proteínas e outros materiais nitrogenados. Durante o cultivo, na presença de compostos orgânicos, essas bactérias atuam na transformação do nitrogênio amoniacal em biomassa bacteriana (Ebeling et al., 2006).

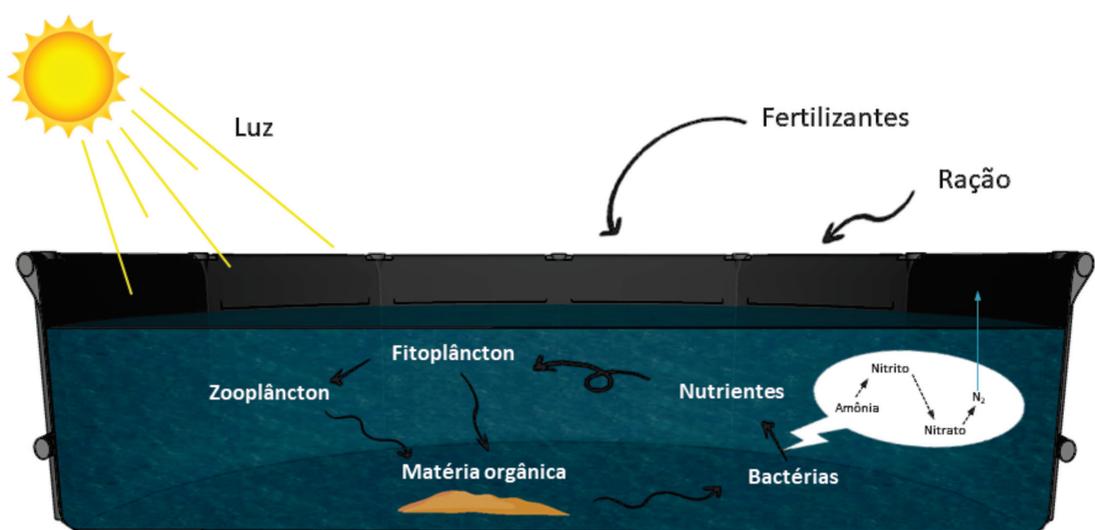


Figura 9. Ciclo biológico em um tanque de cultivo de camarão.

Ilustração: Priscilla Celes Maciel de Lima.

Ciclo do nitrogênio na carcinicultura

A presença do nitrogênio é sempre necessária e desejável no sistema de cultivo, uma vez que, em concentrações muito baixas de nitrogênio, pode haver uma redução na velocidade de decomposição da matéria orgânica pelas bactérias. Porém, também, é necessário o seu controle, visto que elevadas concentrações dos compostos nitrogenados podem causar mortalidade dos camarões e prejuízos financeiros.

Como já se sabe, na aquicultura, as principais fontes de nitrogênio são as sobras de ração, as excretas dos organismos e os fertilizantes nitrogenados (quando utilizados). No cultivo ocorrem diversos meios de remoção dos compostos nitrogenados por meio de agente biológicos, como organismos fotoautotróficos, bactérias autotróficas e heterotróficas, os quais contribuem para a manutenção da qualidade da água e ainda disponibilizam uma fonte suplementar de alimento para os organismos cultivados sob a forma de biomassa algal e bacteriana.

Conhecendo a importância dos compostos nitrogenados para a produção de organismos aquáticos, neste capítulo serão analisados o ciclo do nitrogênio, as concentrações máximas recomendadas e como mensurá-los durante o cultivo.

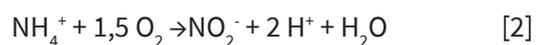
Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos elementos químicos mais importantes da biosfera, sendo um dos componentes essenciais para os organismos, compondo as proteínas e

outros constituintes do protoplasma celular (Boyd; Tucker, 1998; Tundisi; Tundisi, 2011). Com isso, esse nutriente pode limitar a produtividade primária e secundária de um ambiente (e.g. crescimento de algas, bactérias e consumidores primários) (Esteves, 2011). Em ecossistemas aquáticos, o N pode ocorrer de diferentes formas: gás nitrogênio (N_2), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), nitrogênio orgânico dissolvido e nitrogênio orgânico particulado (Boyd; Tucker, 1998; Wetzel, 2001; Samocha, 2019).

Naturalmente, em ambientes aquáticos naturais, o ciclo do N envolve processos de fixação, assimilação e mineralização do nutriente pelos organismos do sistema por meio da oxidação e redução dos compostos nitrogenados aportados por fontes de matéria orgânica alóctone [origem externa ao ambiente (e.g. folhas)] e autóctone [originária do próprio ambiente (e.g. algas, macrófitas aquáticas e animais mortos)] (Esteves, 2011).

O processo de oxidação é responsável pela transformação, em aerobiose, de $NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$ por meio de bactérias autotróficas nitrificantes (Wetzel, 2001; Tundisi; Tundisi, 2011; Boyd, 2015). O nitrito é formado a partir da ação das bactérias oxidantes de amônia (*Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus* e *Nitrosovibrio*) (Equação 2) (Esteves, 2011; Alves et al., 2018; Samocha, 2019). O nitrato é formado pela ação das bactérias oxidantes de nitrito (*Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* e *Nitrospina*) (Equação 3) (Esteves, 2011; Alves et al., 2018; Samocha, 2019).



O processo de redução do nitrogênio e remoção do nitrato é denominado desnitrificação (Figura 10) e se dá em anaerobiose, de forma que o $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$, por meio da ação de microrganismos heterotróficos e autotróficos – *Alcaligenes*, *Paracoccus*, *Pseudomonas*, *Thiobacillus*, *Archromobacter*, entre outros – (Boyd; Tucker, 1998; Alves et al., 2018; Samocha, 2019).

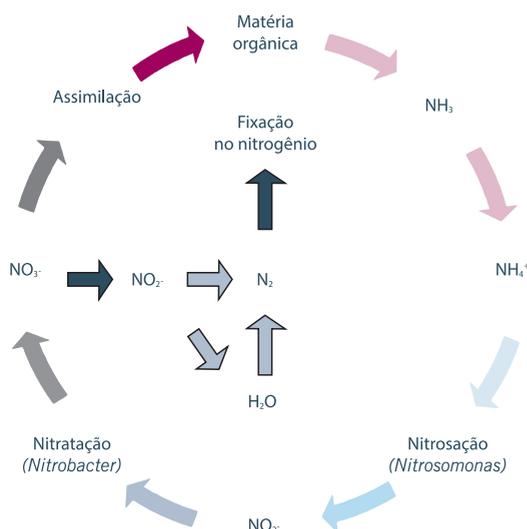


Figura 10. Ciclo do nitrogênio em ambientes aquáticos.

Fonte: Adaptado de Pádua (1996).

O consumo e a oxidação do nitrogênio amoniacal total pelas bactérias heterotróficas e autotróficas, respectivamente, dependem da manutenção de condições favoráveis de variáveis de qualidade da água, como alcalinidade, pH e o potencial redox (Ebeling et al., 2006; Vijayan et al., 2017). A alcalinidade deve ser mantida em concentrações entre 100 mg/L e 150 mg/L CaCO_3 para a atividade de oxidação dos compostos nitrogenados pela comunidade

de bactérias nitrificantes, que é um processo que leva a um consumo significativo do carbono inorgânico (redução da alcalinidade) (Avnimelech, 2012; Samocha, 2019). Nos sistemas intensivos, as bactérias heterotróficas atuam na conversão do carbono orgânico e do nitrogênio da amônia total, disponibilizado no sistema por meio do aporte de ração, em biomassa microbiana (Hargreaves, 2013; Samocha, 2019). Assim, as bactérias heterotróficas contribuem para a estabilização e manutenção da qualidade de água do sistema e ainda servem como fonte suplementar de alimento para os animais cultivados (Avnimelech, 2012). O pH deve ser mantido entre 7,5 e 8,0 e a sua estabilização ao longo do dia, por meio do sistema tampão formado por carbonatos e bicarbonatos, é possível com a manutenção de níveis aceitáveis de alcalinidade (entre 100 mg/L e 150 mg/L) (Boyd; Tucker, 1998; Kubitzka, 2013). A manutenção do pH em valores aceitáveis é importante para o processo de nitrificação, pois se relaciona com a taxa de nitrificação das bactérias autotróficas, graças a níveis ótimos de alcalinidade no sistema (Figura 11) (Gerardi, 2002).

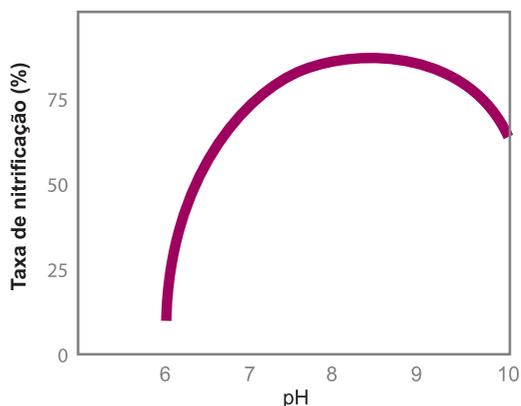


Figura 11. Taxa de nitrificação das bactérias nitrificantes relacionada com o pH do sistema.

Fonte: Gerardi (2002).

O potencial redox (ORP – do inglês, *oxidation-reduction potential*) é uma variável pouco avaliada na aquicultura, mas é muito importante quando se trata de qualidade de água. Para a nitrificação, o ORP deve ser mantido entre +100 mV a +300 mV mediante controle do oxigênio dissolvido e da quantidade de matéria orgânica na água (Vijayan et al., 2017). Valores positivos (≥ 100 mV) de ORP indicam a presença de concentrações satisfatórias de oxigênio para degradar a matéria orgânica de forma aeróbica, favorecendo o desenvolvimento de bactérias nitrificantes (Vijayan et al., 2017).

Já para o processo de desnitrificação, as bactérias necessitam de baixa concentração de oxigênio dissolvido (< 2 mg/L), baixo ORP (entre -50 mV e +50 mV), carbono orgânico disponível na água, pH entre 7,0 a 8,5 e temperatura entre 25 °C a 32 °C (Timmons; Ebeling, 2013; Vijayan et al., 2017). Esse processo pode ocorrer em extratos anaeróbicos dentro do tanque, mas a desnitrificação pode ser incorporada como uma fase no processo de recirculação da água ao final do ciclo de cultivo (sistemas intensivos com mínima troca de água), em um tanque adjacente com condições anaeróbicas (Samocha, 2019). Caso a desnitrificação não seja gerenciada adequadamente, haverá a formação de gás sulfídrico, que é tóxico aos camarões.

Compostos nitrogenados na carcinicultura

Compostos nitrogenados, como o NH_3 e o NO_2^- dissolvidos na água são compostos tóxicos para os camarões, podendo

influenciar no seu crescimento e até mesmo levá-los à morte (Avnimelech, 2012; Boyd, 2015). Na água, o seu nível de toxicidade aumenta com o incremento nos valores de pH e temperatura, assim como quando a salinidade é reduzida (Boyd, 2015; Samocha, 2019). Além disso, a tolerância do camarão a compostos nitrogenados, especialmente N-NH_3 e N-NO_2^- , diminui em condições de baixa salinidade (Lin; Chen, 2001; Gross et al., 2004; Valencia-Castañeda et al., 2018). Em ambientes com água de baixa salinidade, os camarões marinhos estão sob estresse adicional e, portanto, necessitam manter uma pressão osmótica mais alta em sua hemolinfa em comparação com o ambiente (Mantel; Farmer, 1983; Kuhn et al., 2010).

A amônia é a principal forma nitrogenada excretada pelos organismos aquáticos (Crab et al., 2007). A amônia total é dividida em amônia não ionizada (NH_3), forma mais tóxica para os camarões, e íons de amônio (NH_4^+), que é uma das principais fontes de N para os produtores primários (Esteves, 2011). Um sistema com elevada concentração de amônia é prejudicial aos camarões, pois, quando a concentração é elevada no meio, os organismos reduzem a excreção e acabam acumulando esse composto na hemolinfa (Ostrensky et al., 2017b).

O nitrito (NO_2^-) é um composto intermediário do processo de metabolização da amônia, que é oxidada a NO_2^- por meio da ação de bactérias autotróficas (nitrificantes) (Samocha, 2019). Apresenta toxicidade reduzida sobre os camarões quando comparado à amônia tóxica (NH_3). Entretanto, apresenta elevada toxicidade para

os camarões quando estes estão sendo cultivados em água com baixa salinidade, pois nesse tipo de água são encontradas baixas concentrações do íon cloreto e este possui maior afinidade para absorção pelas células branquiais (Kubitza, 2013). Elevadas concentrações de NO_2^- podem causar modificações no transporte de oxigênio, redução do crescimento, supressão de resposta imune e até mortalidade (Frías-Espericueta; Paéz-Osuna, 2001; Samocha et al., 2017).

O nitrato (NO_3^-) é o composto final do processo de nitrificação, onde o NO_2^- é oxidado a NO_3^- por meio da ação das bactérias autotróficas nitrificantes (Esteves, 2011). Quando comparado aos outros compostos nitrogenados, o NO_3^- é a forma de nitrogênio menos tóxica para os camarões, tanto em água com salinidade elevada quanto em baixa salinidade (Boyd; Tucker, 1998; Samocha, 2019). Em sistemas intensivos com mínima troca de água, os camarões alcançam cerca de 80% de sobrevivência em concentrações de 345 mg/L de N-NO_3^- (Furtado et al., 2015). No entanto, ao longo do tempo, o NO_3^- acumula-se no sistema e isso pode se tornar um problema em cultivos com reutilização de água. Mesmo sendo a forma menos prejudicial, em altas concentrações, pode causar: redução do consumo alimentar, danos ao hepatopâncreas e brânquias, encurtamento de antenas e redução do crescimento e da sobrevivência (Kuhn et al., 2010).

Em sistemas intensivos com mínima troca de água, os compostos nitrogenados mais tóxicos (N-NH_3 e N-NO_2^-) são variáveis de qualidade de água essenciais para a estabilidade do sistema e devem ser manti-

das em níveis aceitáveis, inferiores aos valores apresentados na Tabela 2, com o objetivo de evitar mortalidade e, conseqüentemente, prejuízos financeiros aos produtores.

Avaliação dos compostos nitrogenados

Durante o cultivo, os compostos nitrogenados podem ser analisados na própria fazenda por meio de metodologias colorimétricas (com auxílio de escalas de cor para comparação visual, com menor precisão) e mensurados por meio de espectrofotômetros ou fotocolorímetros (equipamentos com maior precisão).

Amônia

Os testes colorimétricos comerciais de análise de amônia normalmente apresentam os resultados na forma de amônia total. Enquanto os métodos que utilizam espectrofotômetros ou fotocolorímetros apresentam os resultados na forma de nitrogênio amoniacal total (NAT), N-NH_3 ou N-NH_4^+ . Estas concentrações são comumente expressas em miligrama por litro (mg/L). A amônia total e o nitrogênio amoniacal total são as formas mais usuais de expressar a quantidade de amônia presente no sistema durante o cultivo.

A amônia total é a soma da amônia tóxica (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+); e o NAT é a soma do nitrogênio da amônia tóxica (N-NH_3) e o nitrogênio do íon amônio (N-NH_4^+) (Ostrensky et al., 2017b). Dessa forma, ao utilizar um teste em que os resultados são expressos na forma de amônia total, também é possível determi-

Tabela 2. Valores máximos ideais de compostos nitrogenados na água do cultivo de camarões e frequência de análise.

Variável	Água salgada	Demais salinidades	Frequência de análise
N-NH ₃	< 0,16 mg/L (35 g/L)	< 0,10 mg/L (1,0 g/L) < 0,12 mg/L (3,0 g/L) < 0,12 mg/L (15,0 g/L) < 0,15 mg/L (25,0 g/L)	3–4x na semana ⁽¹⁾
N-NO ₂ ⁻	< 10,0 mg/L (30 g/L) < 25,7 mg/L (35 g/L)	< 0,28 mg/L (0,6 g/L) < 0,33 mg/L (1,0 g/L) < 0,45 mg/L (2,0 g/L) < 0,49 mg/L (3,0 g/L) < 6,1 mg/L (15,0 g/L)	3–4x na semana ⁽¹⁾
N-NO ₃ ⁻	< 400 mg/L (30 g/L)	< 11 mg/L (1,0 g/L) < 43 mg/L (3,0 g/L) < 220 mg/L (11,0 g/L)	Semanalmente ou quinzenalmente

⁽¹⁾Permanecer a frequência de análise até que as bactérias nitrificantes estejam estabelecidas e a concentração se mantenha estável dentro da faixa recomendada.

Fonte: Li e Chen (2001, 2003), Gross et al. (2004), Kuhn et al. (2010), Emerenciano et al. (2017), Ramírez-Rochín et al. (2017), Valencia-Castañeda et al. (2018) e Samocha (2019).

nar o percentual de amônia não ionizada (NH₃), forma mais tóxica para os camarões, levando em consideração as variáveis de qualidade de água que alteram esse percentual, por meio das tabelas no anexo (Anexo I – Tabelas A1, A2 e A3). Facilitando, assim, a comparação dos resultados encontrados na fazenda com os limites para cada faixa de salinidade.

Para encontrar as concentrações de amônia tóxica (NH₃) e íon amônio (NH₄⁺), usam-se as tabelas do Anexo I:

1. Encontre a tabela correspondente à salinidade da água do seu cultivo.
2. Localize nela a temperatura e o pH.

3. Multiplique o valor encontrado pela concentração de amônia total mensurada, de acordo com a equação abaixo (Equações 4 e 5):

$$\text{NH}_3 = \text{amônia total} \times (\text{valor tabelado} \div 100) \quad [4]$$

$$\text{NH}_4^+ = \text{amônia total} \times [1 - (\text{valor tabelado} \div 100)] \quad [5]$$

A partir dos resultados de NH₃ e NH₄⁺, pode-se encontrar a fração correspondente ao nitrogênio do NH₃ e nitrogênio do NH₄⁺ (N-NH₃ – Equação 6; N-NH₄⁺ – Equação 7).

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg/L)} = \text{NH}_3 \text{ (mg/L)} \div 1,21 \quad [6]$$

$$\text{N-NH}_4^+ \text{ (mg/L)} = \text{NH}_4^+ \text{ (mg/L)} \div 1,28 \quad [7]$$

Exemplo 1: cálculo de amônia tóxica (NH_3) e íon amônio (NH_4^+)

- Qual o porcentual de NH_3 e NH_4^+ em uma água com 20 g/L de salinidade, 30 °C, pH 7,5 e 3,0 mg/L de amônia total?
 - Selecionar a Tabela A2 do Anexo I, para sistemas com salinidade entre 18 g/L e 22 g/L.
 - Localizar na Tabela A2 do Anexo I os valores de temperatura e pH.
 - Encontrar o valor no cruzamento da linha do pH (7,5) com a coluna da temperatura (30 °C).

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,4	0,88	0,92	0,99	1,06	1,14	1,28	1,33	1,41	1,51	1,62	1,73	1,85	1,98	2,12
7,5	1,11	1,15	1,24	1,34	1,43	1,59	1,66	1,77	1,89	2,03	2,17	2,32	2,48	2,65
7,6	1,39	1,45	1,56	1,68	1,80	2,01	2,09	2,21	2,37	2,54	2,72	2,90	3,10	3,31

- Multiplicar a concentração da amônia total (3 mg/L) pelo valor encontrado na Tabela A2 do Anexo I (2,17%).

$$\text{NH}_3 = 3 \times (2,17 \div 100) = 0,065$$

$$\text{NH}_4^+ = 3 \times [1 - (2,17 \div 100)] = 2,935$$

- Dividir os valores encontrados de NH_3 e NH_4^+ pelos fatores de conversão.

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg/L)} = 0,065 \div 1,21 = 0,054 \text{ mg/L}$$

$$\text{N-NH}_4^+ \text{ (mg/L)} = 2,935 \div 1,28 = 2,293 \text{ mg/L}$$

- As concentrações de NH_3 e NH_4^+ foram de 0,0651 mg/L e 2,935 mg/L, respectivamente. A concentração de amônia tóxica (N- NH_3) encontrada está abaixo do limite máximo de segurança até mesmo para o cultivo de camarão em água com salinidade de 1 g/L e 3 g/L.

Atenção!

Nesse caso, em que a concentração de amônia total é de 3 mg/L, é necessário adotar medidas para redução desse composto na água, pois uma eventual variação do pH do sistema pode elevar a concentração da amônia tóxica nesse mesmo sistema. Dessa forma, essa concentração pode ser letal para os camarões cultivados.

Exemplo 2: cálculo de amônia tóxica (NH_3) e íon amônio (NH_4^+) em água de baixa salinidade

- Qual o percentual de NH_3 e NH_4^+ em uma água com 10 g/L de salinidade, 30 °C, pH 7,5 e 2 mg/L de amônia total?
- Selecionar a Tabela A3 do Anexo I, para sistemas com salinidade de 10 g/L.
 - Localizar na Tabela A3 do Anexo I os valores de temperatura e pH.
 - Encontrar o valor no cruzamento da linha do pH (7,5) com a coluna da temperatura (30 °C).

pH	Temperatura (C°)				
	0	10	20	30	40
7	0,08	0,17	0,37	0,75	1,46
7,5	0,24	0,55	1,16	2,35	4,48
8	0,76	1,70	3,59	7,06	12,92

- Multiplicar a concentração da amônia total (2 mg/L) pelo valor encontrado na Tabela A3 do Anexo I (2,35%).

$$\text{NH}_3 = 2 \times (2,35 \div 100) = 0,047$$

$$\text{NH}_4^+ = 2 \times [1 - (2,35 \div 100)] = 1,953$$

- Dividir os valores encontrados de NH_3 e NH_4^+ pelos fatores de conversão.

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg/L)} = 0,047 \div 1,21 = 0,039 \text{ mg/L}$$

$$\text{N-NH}_4^+ \text{ (mg/L)} = 1,953 \div 1,28 = 1,526 \text{ mg/L}$$

- As concentrações de NH_3 e NH_4^+ foram de 0,047 mg/L e 1,953 mg/L, respectivamente. A concentração de amônia tóxica (N-NH_3) encontrada está abaixo do limite máximo recomendado para o cultivo de camarão em água com 10 g/L de salinidade.

Atenção!

Mesmo com as concentrações de N-NH_3 e N-NH_4^+ dentro dos limites aceitáveis para a salinidade trabalhada, a amônia total não deve ser mantida em concentrações elevadas dentro do sistema de cultivo. Isso pode ser prejudicial para os camarões, pois o percentual de amônia tóxica pode aumentar com a elevação do pH e/ou da temperatura.

Exemplo 3: cálculo de amônia tóxica (NH_3) e íon amônio (NH_4^+) em água doce

- Qual o porcentual de NH_3 e NH_4^+ em uma água com 0 g/L de salinidade, 30 °C, pH 8,0 e 2,5 mg/L de amônia total?
 1. Selecionar a Tabela A4 do Anexo I, para sistemas de água doce 0 g/L de salinidade.
 2. Localizar na Tabela A4 do Anexo I os valores de temperatura e pH.
 3. Encontrar o valor no cruzamento da linha do pH (8,0) com a coluna da temperatura (30 °C).

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,9	3,06	3,28	3,52	3,77	4,04	4,33	4,53	4,94	5,28	5,64	6,01	6,41	6,83	7,27
8,0	3,81	4,10	4,39	4,70	5,03	5,37	5,75	6,15	6,56	7,00	7,44	7,94	8,44	8,98
8,1	4,76	5,10	5,47	5,85	6,25	6,69	7,14	7,62	8,12	8,65	9,21	9,79	10,40	11,05

4. Multiplicar a concentração da amônia total (2,5 mg/L) pelo valor encontrado na Tabela A4 do Anexo I (7,44%).

$$\text{NH}_3 = 2,5 \times (7,44 \div 100) = 0,186$$

$$\text{NH}_4^+ = 2,5 \times [1 - (7,44 \div 100)] = 2,314$$

5. Dividir os valores encontrados de NH_3 e NH_4^+ pelos fatores de conversão.

$$\text{N-NH}_3 \text{ (mg/L)} = 0,186 \div 1,21 = 0,154 \text{ mg/L}$$

$$\text{N-NH}_4^+ \text{ (mg/L)} = 2,314 \div 1,28 = 1,808 \text{ mg/L}$$

6. As concentrações de NH_3 e NH_4^+ foram de 0,186 mg/L e 2,314 mg/L, respectivamente. A concentração encontrada está acima do limite máximo recomendado de N- NH_3 para o cultivo de camarão marinho em água com 0 g/L de salinidade.

Atenção!

Caso o equipamento apresente os resultados da análise na forma de nitrogênio amoniacal total (NAT), usando as tabelas do Anexo I será possível encontrar a concentrações de nitrogênio da amônia tóxica (N- NH_3) e nitrogênio do íon amônio (N- NH_4^+) por meio das Equações 8 e 9.

$$\text{N-NH}_3 = \text{NAT} \times (\text{valor tabelado} \div 100) \quad [8]$$

$$\text{N-NH}_4^+ = \text{NAT} \times [1 - (\text{valor tabelado} \div 100)] \quad [9]$$

Exemplo 4: cálculo de nitrogênio da amônia tóxica (N-NH_3) e nitrogênio do íon amônio (N-NH_4^+)

- Qual o porcentual de N-NH_3 e N-NH_4^+ em uma água com 27 g/L de salinidade, 28 °C, pH 7,5 e 2,0 mg/L de nitrogênio amoniacal total (NAT)?
 - Selecionar a Tabela A1 do Anexo I, para sistemas de água com 27 g/L de salinidade.
 - Localizar na Tabela A1 do Anexo I os valores de temperatura e pH.
 - Encontrar o valor no cruzamento da linha do pH (7,5) com a coluna da temperatura (28 °C).

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,5	1,03	1,11	1,20	1,29	1,38	1,47	1,61	1,71	1,83	1,96	2,10	2,24	2,39	3,20
7,6	1,30	1,40	1,51	1,62	1,74	1,87	2,01	2,14	2,29	2,45	2,62	2,81	2,99	3,20
7,7	1,63	1,76	1,88	2,02	2,17	2,34	2,52	2,68	2,86	3,06	3,28	3,50	3,74	3,99

- Multiplicar a concentração da amônia total (2,0 mg/L) pelo valor encontrado na Tabela A1 do Anexo I (1,83%).

$$\text{N-NH}_3 = 2,0 \times (1,83 \div 100) = 0,037$$

$$\text{N-NH}_4^+ = 2,0 \times [1 - (1,83 \div 100)] = 1,963$$

- As concentrações de N-NH_3 e N-NH_4^+ foram de 0,037 mg/L e 1,963 mg/L, respectivamente. A concentração de amônia tóxica (N-NH_3) encontrada está abaixo do limite máximo recomendado até mesmo para o cultivo de camarão em salinidades menores.

Atenção!

Mesmo com as concentrações de amônia (N-NH_3 e N-NH_4^+) abaixo do limite máximo para a salinidade trabalhada, a amônia total não deve ser mantida na concentração de 2 mg/L. Com isso, uma elevação no pH e/ou temperatura pode aumentar o porcentual de amônia tóxica no sistema, prejudicando os animais cultivados.

Nitrito

O nitrito (NO_2^-), expresso em miligrama por litro (mg/L), é a forma mais usual de expressar a concentração dessa variável. No entanto, essa concentração pode ser convertida para encontrar a fração correspondente ao nitrogênio do NO_2^- (N-NO_2^- ; Equação 10), facilitando, assim, a comparação dos resultados encontrados na fazenda com a tabela de limites máximos para o cultivo de camarão.

$$\text{N-NO}_2^- \text{ (mg/L)} = \text{NO}_2^- \text{ (mg/L)} \div 3,284 \quad [10]$$

Exemplo 5: cálculo de N-NO_2^-

- Qual a concentração de N-NO_2^- em uma água com 15 g/L de salinidade e 10 mg/L de nitrito?

$$\text{N-NO}_2^- = 10 \div 3,284$$

$$\text{N-NO}_2^- = 3,04 \text{ mg/L}$$

- ✓ Essa concentração está abaixo do limite máximo de N-nitrito para o cultivo de camarão em água com 15 g/L de salinidade (Tabela 2).

Exemplo 6: cálculo de N-NO_2^-

- Qual a concentração de N-NO_2^- em uma água com 1 g/L de salinidade e 1,5 mg/L de nitrito?

$$\text{N-NO}_2^- = 1,5 \div 3,284$$

$$\text{N-NO}_2^- = 0,46 \text{ mg/L}$$

- ✓ Essa concentração está superior ao limite máximo de N-nitrito para o cultivo de camarão em água com 1 g/L de salinidade (Tabela 2).

Exemplo 7: cálculo de N-NO_2^-

- Qual a concentração de N-NO_2^- em uma água com 3 g/L de salinidade e 1,32 mg/L de nitrito?

$$\text{N-NO}_2^- = 1,32 \div 3,284$$

$$\text{N-NO}_2^- = 0,40 \text{ mg/L}$$

- ✓ Essa concentração está abaixo do limite máximo de N-nitrito para o cultivo de camarão em água com 3 g/L de salinidade (Tabela 2).

Nitrato

O nitrato (NO_3^-), expresso em miligrama por litro (mg/L), também é a forma mais usual de expressar a concentração dessa variável. A concentração de NO_3^- pode ser convertida para encontrar a fração correspondente ao nitrogênio do nitrato (N-NO_3^- ; Equação 11), para facilitar a comparação dos resultados encontrados na fazenda com os valores da tabela de limites máximos para o cultivo de camarão.

$$\text{N-NO}_3^- \text{ (mg/L)} = \text{NO}_3^- \text{ (mg/L)} \div 4,427 \quad [11]$$

Exemplo 8: cálculo de N-NO_3^-

- Qual a concentração de N-NO_3^- em uma água com 30 g/L de salinidade e 850 mg/L de nitrato?

$$\text{N-NO}_3^- = 850 \div 4,427$$

$$\text{N-NO}_3^- = 192,00 \text{ mg/L}$$

- ✓ Essa concentração está abaixo do limite máximo de N-nitrato para o cultivo de camarão em 30 g/L de salinidade (Tabela 2).

Exemplo 9: cálculo de N-NO_3^-

- Qual a concentração de N-NO_3^- em uma água com 3 g/L de salinidade e 100 mg/L de nitrato?

$$\text{N-NO}_3^- = 100 \div 4,427$$

$$\text{N-NO}_3^- = 22,59 \text{ mg/L}$$

- ✓ Essa concentração está abaixo do limite máximo de N-nitrato para o cultivo de camarão em 3 g/L de salinidade (Tabela 2).

Para nitrito e nitrato, os equipamentos (espectrofotômetro, fotocolorímetro) na sua grande maioria já expressam os resultados em N-NO_2^- e N-NO_3^- . Enquanto os kits colorimétricos com escalas de cores para comparação visual normalmente expressam os resultados em NO_2^- e NO_3^- , sendo necessário fazer a transformação para encontrar essas concentrações.

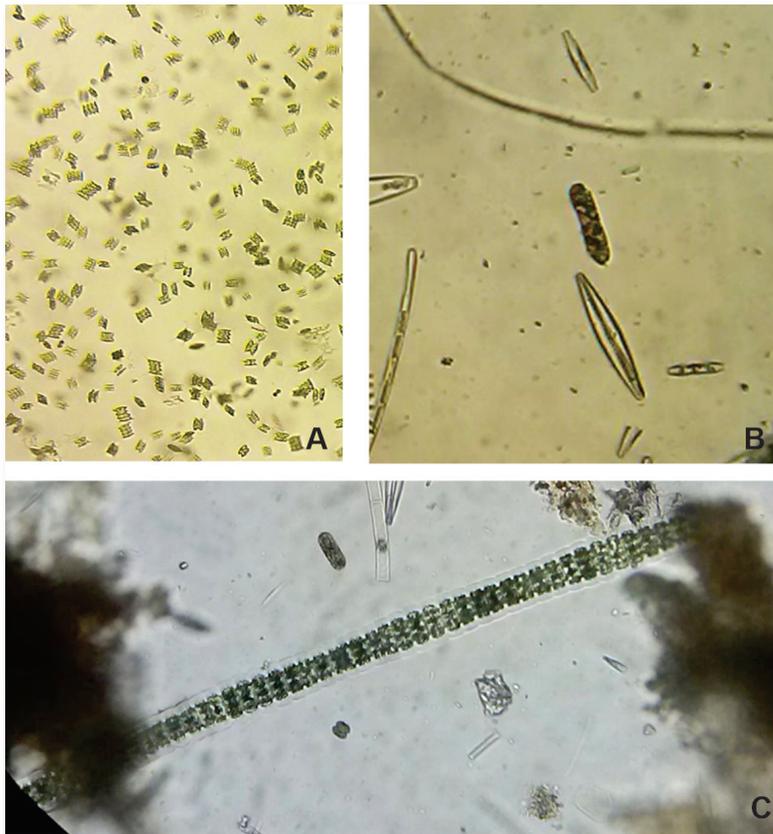
Microrganismos responsáveis pela oxidação e transformação dos compostos nitrogenados

A comunidade planctônica dos ambientes de aquicultura é composta pelo fitoplâncton, zooplâncton e pelo bacterioplâncton (Esteves, 2011). O fitoplâncton é composto por organismos microscópicos suspensos na coluna d'água (Kubitza, 2013; Boyd, 2015). É um componente essencial para os sistemas de aquicultura, pois esses microrganismos funcionam como a base da cadeia alimentar, sustentando a produção secundária do ambiente (Boyd;

Tucker, 1998). Essa comunidade é formada por vários grupos, como *Chlorophyta* (algas verdes – *Chlorella*, *Nannochloropsis* e *Scenedesmus*); *Bacillariophyta* (diatomáceas – *Navicula*, *Chaetoceros*, *Skeletonema* e *Thalassiosira*); *Cyanophyta* (cianobactérias – *Anabaena*, *Oscillatoria* e *Spirulina*) (Figura 12) (Derner et al., 2006; Likens, 2010). Em sistemas semi-intensivos, com taxa de arraçoamento elevada, o fitoplâncton comporta-se mantendo a qualidade da água do ambiente de cultivo, assimilando a amônia disponibilizada pelo aporte de ração (Boyd; Tucker, 1998).

Dentre os diversos grupos de fitoplâncton existentes, alguns oferecem riscos aos organismos cultivados por causa da toxicidade de algumas espécies, como é o caso da *Cyanophyta* e da *Dinophyta* (Suthers; Rissik, 2009).

O bacterioplâncton é composto por bactérias que habitam a coluna d'água ou estão agregados a substratos, como os flocos microbianos, em ecossistemas aquáticos (Boyd, 2015). Esses microrganismos apresentam importante papel no metabolismo dos ambientes aquáticos, pois eles estão inseridos nas reações biogeoquímicas que ocorrem na coluna d'água (Esteves, 2011; Boyd, 2015). Muitos desses organismos obtêm energia a partir da imobilização de compostos orgânicos dissolvidos na água e também utilizam compostos inorgânicos simples, como amônia e nitrito, para a produção de energia (Boyd; Tucker, 1998).



Fotos: Otávio Augusto Lacerda Ferreira Pimentel

Figura 12. Microrganismos que podem compor a comunidade fitoplanctônica: *Chlorophyta* (A); *Bacillariophyta* (B); *Cyanophyta* (C).

Controle dos compostos nitrogenados nos diferentes sistemas de produção

Nos sistemas extensivos e semi-intensivos, os compostos nitrogenados são controlados por meio da oxidação da amônia a nitrato por uma combinação de processos autotróficos, impulsionados por bactérias nitrificantes e processos fotoautotróficos que assimilam amônia diretamente na biomassa algal (Ebeling et al., 2006). Nesses sistemas, como resultado dessa baixa biomassa de camarões ($0,5 \text{ kg/m}^3$), geral-

mente há pouca ou nenhuma manipulação ativa da qualidade de água, exceto para fornecer aeração. A principal desvantagem dos sistemas baseados em algas são as modificações na densidade algal ao longo do cultivo e as variações diurnas do oxigênio dissolvido, pH e amônia (Burford et al., 2003; Sá, 2012).

Já nos sistemas intensivos, em que os processos bacterianos predominam sobre os processos desempenhados por algas, o controle dos compostos nitrogenados é realizado por dois grupos de bactérias: heterotrófica e autotrófica. O processo

biológico ocorre em três etapas: a nitrificação, a desnitrificação e a imobilização desses compostos na biomassa microbiana por bactérias heterotróficas (Avnimelech, 2012; Samocha, 2019). Nesse sistema, as bactérias são de relevante importância para a estabilidade do ambiente, pois, graças às altas densidades e reduzidas trocas de água, os compostos nitrogenados podem aumentar rapidamente durante o cultivo.

As bactérias são estimuladas a atuarem no processo de oxidação da amônia a nitrito e nitrato e na assimilação desses compostos nitrogenados em biomassa, mediante a adição de carbono orgânico (heterotróficas) e inorgânico (heterotróficas, autotróficas-nitrificantes), auxiliando na manutenção da qualidade de água em níveis aceitáveis para um cultivo de camarão marinho (Avnimelech, 2012; Hargreaves, 2013). Dessa forma, com a alta produtividade desses microrganismos, formam-se agregados microbianos (flocos) compostos por bactérias, algas, fungos, protozoários, detritos e fezes (De Schryver

et al., 2008; Hargreaves, 2013). Esses agregados também podem atuar como fonte suplementar de alimento para os animais cultivados (Samocha, 2019).

Outra forma de manter a estabilidade das condições de qualidade de água do sistema e promover melhora na condição de saúde dos animais que estão sob cultivo se dá por meio da manipulação de microrganismos no ambiente de cultivo com a aplicação de probióticos e/ou biorremediadores. Esses produtos são compostos de microrganismos, como bactérias do gênero *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lactobacillus* e ainda leveduras do gênero *Saccharomyces* (Figura 13)(Hai; Fotedar, 2010; Samocha, 2019).

A suplementação desses microrganismos no ambiente de cultivo possibilita melhor degradação da matéria orgânica, maior remoção de compostos nitrogenados tóxicos (NH_3 e NO_2^-) e aumento da resposta imune dos animais (Farzanfar, 2006). Esses microrganismos colonizam o trato intestinal dos camarões e contribuem para uma melhor atividade enzimática, possi-

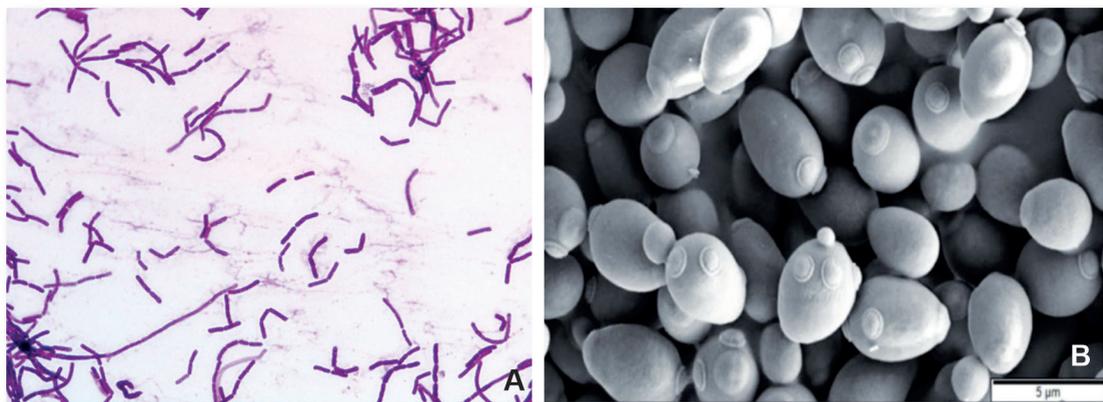


Figura 13. Bactérias do gênero *Bacillus* (A) e leveduras do gênero *Saccharomyces* (B), presentes em alguns probióticos comerciais.

Fonte: Jumaah et al. (2014) e Bernstein e Bernstein (2020).

bilitando melhor digestão e absorção dos nutrientes ingeridos pelo camarão por meio da ração ou alimento natural (Hai; Fotedar, 2010). Esses probióticos também diminuem o crescimento de patógenos, como bactérias do gênero *Vibrio*, tendo em vista que esses organismos competem pelos nutrientes e substratos disponíveis no ambiente (Vieira et al., 2010; Krumme-nauer et al., 2014).

Existem também sistemas que buscam manter a qualidade de água por meio do equilíbrio entre as comunidades fitoplanctônica e bacteriana, como o sistema mixotrófico, conseguindo, assim, aumentar a produtividade e otimizar os ciclos de cultivo. De acordo com Shishehchian (2018), esse sistema é dividido em diferentes fases, onde em cada fase há a predominância de cada um dos grupos da comunidade microbiana (Figura 14).

Primeira fase: na fase fitoplanctônica existe a predominância dos organismos fitoplanctônicos, que, em quantidades e espécies adequadas, atuam na manutenção da qualidade de água, mantendo os níveis de oxigênio dissolvido e pH em níveis aceitáveis, sustentados pela relação nitrogênio:fósforo (N:P) próxima a 15:1. Além disso, esses microrganismos são nutricionalmente ricos em aminoácidos e ácidos graxos, como o ácido eicosa-pentaenoico (do inglês, *eicosapentaenoic acid* – EPA) e o ácido docosahexaenoico (do inglês, *docosahexaenoic acid* – DHA), funcionando como suplemento alimentar para os camarões (Jamali et al., 2015; Ge et al., 2016).

Segunda fase: a fase fitoplanctônica/probiótica ocorre no momento em que há um acúmulo de matéria orgânica, ocasionada pelo aumento nas taxas de alimen-

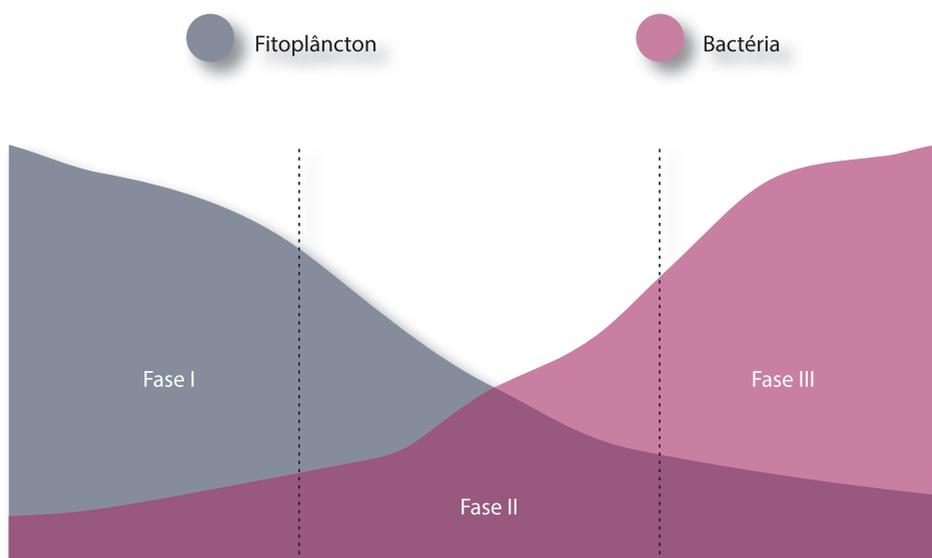


Figura 14. Fases do cultivo de camarão em sistema mixotrófico.

Fonte: Adaptado de Shishehchian (2018).

tação, sobras de alimento (ração), fezes, fitoplâncton morto, aporte de carbono orgânico para controle dos compostos nitrogenados, etc. Dessa forma, ocorre uma mudança gradual na dominância do sistema, em que a comunidade bacteriana se estabelece, mantida pelo aumento da relação C:N, entre 4–8:1.

Terceira fase: a fase probiótica se estabelece quando há uma maior biomassa bacteriana dentro do sistema de cultivo, associada ao acúmulo de matéria orgânica, aumentando, assim, o requerimento por oxigênio. Nessa fase ocorre a predominância de bactérias heterotróficas e de nitrificantes, que atuam na oxidação e imobilização dos compostos nitrogenados tóxicos presentes no ambiente de cultivo (Figura 15).

Microrganismos no controle dos compostos nitrogenados

Em alguns sistemas de cultivo de camarão marinho, a forma de fertilização da água, o nível de densidade de estocagem e as características estruturais, como cober-

tura e impermeabilização, fazem com que o sistema seja dominado por diferentes grupos de microrganismos (Tabela 4).

Nos sistemas intensivos há uma mistura de bactérias autotróficas, heterotróficas e algas fotoautotróficas, que estão associadas aos agregados microbianos (flocos). Cada um desempenha um papel no controle dos compostos nitrogenados dissolvidos na água de cultivo. Conforme descrito anteriormente, um grupo de bactérias nitrificantes oxida a amônia em nitrito e outro oxida o nitrito em nitrato. Além disso, tanto os organismos fotoautotróficos quanto as bactérias heterotróficas assimilam amônia, mas suas atividades metabólicas possuem diferentes consequências para a qualidade de água (Tabela 5).

Fotoautotróficos

São organismos que obtêm energia a partir da luz para produzir materiais orgânicos (e.g. plantas, algas e cianobactérias). Para que o nitrogênio amoniacal total (NAT) seja convertido em biomassa algal, será consu-



Figura 15. Evolução da dominância microbiana na água de um viveiro onde foi adotado o sistema de cultivo mixotrófico, localizado em uma fazenda de carcinicultura, no município da Ilha de Itamaracá, PE.

Tabela 4. Comparação de sistemas controlados por algas e bactérias.

Propriedade	Alga	Bactéria
Fonte de energia	Radiação solar	Principalmente matéria orgânica
Oxigênio	Produção durante o dia Consumo à noite	Apenas consumo de oxigênio
Atividades relevantes	Produção primária Produção de matéria orgânica e oxigênio Consumo de amônia	Degradação de matéria orgânica Nitrificação Produção de proteína microbiana
Controle do nitrogênio inorgânico	Capacidade máxima de 0,7g NH ₄ /m ²	Consumo de nitrogênio Capacidade ilimitada
Produção	Produção diária de OD < 4 g O ₂ /m ²	Limitada pela concentração de substrato

Fonte: Avnimelech (2012).

Tabela 5. Consumo para conversão de 1 g de nitrogênio amoniacal total (NAT) por algas fotoautotróficas e bactérias autotróficas e heterotróficas.

Por 1 g de NAT	Fotoautotrófico	Bactéria autotrófica	Bactéria heterotrófica
Consumos			
Carboidrato	0	0	15,17
Alcalinidade	3,13	7,05	3,57
O ₂	0	4,18	4,71
CO ₂	18,07	0	0
Produtos			
Biomassa	15,85	0,20	8,07
O ₂	15,14	0	0
CO ₂	0	5,85	9,65
N-Nitrato	0	0,98	0

Fonte: Ebeling et al. (2006).

mida alcalinidade (CaCO₃) e dióxido de carbono, enquanto o O₂ é produzido (Ebeling et al., 2006) (Tabela 5).

Bactérias autotróficas nitrificantes

Este grupo é representado por bactérias oxidantes de amônia e oxidantes de nitrito. Para que o NAT seja convertido por essas bactérias, alcalinidade e O₂ são consumidos (equivalente de CaCO₃) (Tabela 5) (Ebeling et al., 2006). Além disso, é produzido

dióxido de carbono (CO₂). O processo de nitrificação apresenta baixa produtividade microbiana quando comparado aos processos heterotróficos. Isso se dá por causa da baixa taxa de crescimento das bactérias nitrificantes quando comparada às heterotróficas, que apresentam uma taxa máxima de crescimento cerca de 4 a 10 vezes maior (Ebeling et al., 2006).

Durante essa reação, há uma quantidade significativa de carbono inorgânico (alca-

linidade) consumida. Por esse motivo, durante o cultivo podem ser necessários ajustes na alcalinidade. Esse ajuste pode ser feito por meio da aplicação de bicarbonato de sódio, hidróxido de cálcio ou carbonato de sódio, para manter a alcalinidade entre 100 mg/L–150 mg/L.

Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas são aquelas que utilizam matéria orgânica como fonte de carbono. Para que o NAT seja convertido em biomassa microbiana, as bactérias heterotróficas consumirão oxigênio dissolvido, alcalinidade (equivalente de CaCO_3) e carboidratos (Tabela 5) (Ebeling et al., 2006). A produção de biomassa microbiana heterotrófica é 40 vezes maior que a biomassa gerada no processo de nitrificação.

Por causa da quantidade extremamente grande de biomassa bacteriana produzida por essa reação, em comparação com a reação autotrófica, é necessária alguma forma de gerenciamento de sólidos durante o período de cultivo. Além disso, assim como na reação autotrófica, há um maior consumo de carbono inorgânico pelas bactérias heterotróficas. Com isso, durante o cultivo podem ser necessários ajustes nos níveis de alcalinidade para a manutenção dessa variável.

Como as bactérias heterotróficas possuem uma taxa máxima de crescimento significativamente maior do que nitrificantes, em sistemas com elevadas relações carbono:nitrogênio (C:N), essas bactérias podem reduzir a ação das bactérias nitrificantes em sistema em maturação (Ebeling et al., 2006). Na Tabela 6, pode-se observar a

influência da relação C:N sobre a proporção de bactérias nitrificantes e heterotróficas.

Tabela 6. Influência da relação C:N nas bactérias autotróficas nitrificantes e heterotróficas.

Relação C:N	Autotrófica (%)	Heterotrófica (%)
0,5:1	92	8
0,75:1	88	12
1:1	84	16
1,5:1	75	25
2:1	67	33
2,5:1	59	41
3:1	51	49
3,5:1	42	58
4:1	34	66
5:1	18	82
6:1	1	99

Fonte: Ebeling et al. (2006).

Estratégias de fertilização com carbono orgânico para o controle dos compostos nitrogenados no cultivo de camarão marinho

Em decorrência dos diversos surtos de doenças na carcinicultura mundial, diferentes estratégias de biossegurança foram adotadas pelo setor produtivo, como a implantação de estufas para o controle térmico e a utilização de berçários e sistemas intensivos, para reduzir abundantes trocas de água a partir do maior controle das variáveis de qualidade de água. Isso é possível graças às estratégias de fertilização, propiciando o crescimento de bactérias benéficas, importantes para o controle dos nitrogenados.

Fertilização

A fertilização é o processo que consiste na aplicação de compostos balanceados de nutrientes, íons, macro e microminerais importantes para o desenvolvimento dos microrganismos (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, bentônicos, etc.) no cultivo, o que pode contribuir na nutrição do camarão marinho. É importante destacar que esses fertilizantes podem ser de origem orgânica, como farelos de cereais (arroz e trigo), ou inorgânica, como fertilizantes nitrogenados, fosfatados, mistos (diferentes tipos de nutrientes) e calcários.

Frente a isso, a utilização de fertilizantes à base de carbono orgânico é uma estratégia fundamental e eficaz no controle dos compostos nitrogenados (Samocha et al., 2017), uma vez que altas densidades de estocagem culminam em maiores quantidades de ração e, sucessivamente, maior quantidade de compostos nitrogenados, que podem ocasionar a degradação da água (Xu et al., 2016). Observe a seguir como são realizadas as fertilizações nos diferentes sistemas de produção.

Sistema bioflocos

A tecnologia de cultivo em bioflocos (do inglês, *biofloc technology* – BFT) (Figura 16A) é um sistema composto por macroagregados constituídos por bactérias, microalgas, microflagelados, zooplâncton, nematoides, fungos, fezes e exoesqueleto (Samocha, 2019) (Figura 16B). O desenvolvimento dessas bactérias se dá mediante adição de uma fonte de carbono orgânico, como: melaço, açúcar, dextrose, farelo, etc.

As bactérias heterotróficas influenciam diretamente no ciclo do nitrogênio, controlando o nível de amônia, variável limitante para o cultivo de organismos aquáticos, principalmente em baixa salinidade. Como resultado, o sistema fechado reduz consideravelmente as trocas de água, aumentando a biossegurança no ambiente. Além disso, esses microrganismos transformam os resíduos não consumidos e fezes em proteína para os camarões, o que pode reduzir a taxa de conversão alimentar (FCA) (Wasielesky et al., 2006; Kumar et al., 2017).



Fotos: Gabriele Lara

Figura 16. Cultivo de camarão em sistemas de bioflocos na Estação Marinha de Aquicultura (EMA-Furg) (A) e flocos microbianos presente no sistema *biofloc technology* – BFT (B).

O desenvolvimento da comunidade bacteriana é estimulado pelo aumento da relação C:N, geralmente na relação entre 10 e 20:1, respectivamente (Chamberlain et al., 2001; Schneider et al., 2005; Wasielesky et al., 2006; Emerenciano et al., 2007). Com isso, os subprodutos nitrogenados são absorvidos pelas bactérias heterotróficas, que possuem rápido crescimento e necessitam de altas concentrações do carbono para estabilizar-se no ambiente. Além do mais, o alto aporte de matéria orgânica derivada dos flocos dificulta a passagem de luz no sistema, o que reduz ainda mais a capacidade fotossintética das algas, ocorrendo a predominância de bactérias heterotróficas no sistema (Xu et al., 2016).

Como descrito anteriormente, outro grupo de bactéria importante para esse tipo de sistema são as nitrificantes. Embora tenham um crescimento mais lento quando comparado às heterotróficas, o grupo é o principal responsável pelo processo de remoção dos compostos nitrogenados por meio da oxidação da amônia para nitrito pelas bactérias amônia-oxidantes e do nitrito para nitrato com as bactérias nitrito-oxidantes.

Esse grupo não utiliza o carbono orgânico, mas, sim, o inorgânico, conseqüentemente menor quantidade de sólido no sistema, além de consumirem menos oxigênio.

Por causa de sua elevada relação C:N, o sistema BFT é caracterizado pelo acúmulo de sólidos no cultivo, sendo necessário ter muito cuidado com essa variável, uma vez que a respiração dos camarões ocorre através das brânquias e o acúmulo demasiado de sólidos pode causar a sua obstrução, dificultando as trocas gasosas, além da alta demanda biológica de oxigênio e *bloom* de *Cyanophyta* e *Vibrio*.

A partir disso, é importante que se mantenham os sólidos suspensos totais entre 200 mg/L a 500 mg/L e os sedimentáveis, de 10 mL/L a 14 mL/L. Em alguns casos, é necessário o uso de tanques de sedimentação (Figura 17A) com 1% a 5% do volume do sistema até que os sólidos sejam controlados a níveis ideais, ou o uso de *shrimp toilet* (Figura 17B), cuja tecnologia foi desenvolvida para drenagem de sedimentos de fundo dos viveiros e/ou tanques, como será visto adiante.

Fotos: Luis Otávio Brito da Silva



Figura 17. Tanque de sedimentação para berçários de camarão marinho (A); viveiro de camarão marinho com dreno central (B).

Como fazer a fertilização no sistema bio-flocos – Como mencionado anteriormente, para que ocorra a transição do sistema autotrófico (algal) para o sistema bacteriano, é necessário aumentar a relação C:N no ambiente de cultivo por meio do uso de uma fonte de carbono.

Antes dos cálculos, é preciso saber que:

- São necessárias 6 g de carbono (C) para converter 1 g de nitrogênio da amônia total (NAT) (Ebeling et al., 2006; Avnimelech, 2012).
- 16% da proteína bruta (PB) é nitrogênio e 75% do nitrogênio contido na ração é convertido em NAT (Avnimelech, 2012).
- Para a escolha da fonte de carbono, nesse caso, será utilizado o mais comum (melaço de cana-de-açúcar), que contém aproximadamente 30% de C.
- Foi adotado uma ração de 35% (PB) e será utilizado 1 kg = 1.000 g de ração.

Passo a passo do cálculo:

1. Quantidade de PB (35%) no volume de ração (1.000 g) ofertado: $1.000 \times 35\% = 350 \text{ g}$
2. Quantidade de N (16%): $350 \times 16\% = 56 \text{ g}$
3. Quantidade de NAT (75%): $56 \times 75\% = 42 \text{ g}$
4. Quantidade de C (6): $42 \times 6 = 252 \text{ g}$
5. Quantidade do carboidrato (melaço = 30%): $252 / 30\% = 840 \text{ g de melaço}$

É preciso ter cuidado com a adição do carbono orgânico, pois, após a aplicação, há um aumento no consumo do oxigênio. Além disso, os níveis de sólidos também tendem a se elevar. Dessa

maneira, é importante que se tenha um fracionamento tanto na oferta da ração (Figura 18A) quanto na adição do melaço, sendo aconselhável a aplicação de carbono em horários diferentes da aplicação da ração. Ademais, quanto mais carbono orgânico utilizado no sistema, mais lento será o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, sendo assim, é fundamental observar se há sobras de alimentos (Figura 18B) como forma de ofertar a quantidade adequada de ração e consequentemente o carbono orgânico.

Para melhor entendimento do processo de fertilização no ambiente, é possível notar visualmente a transição do sistema, com base na alteração da cor da água de verde (algal) para marrom (bacteriano) (Figura 19); grandes quantidades de espumas na superfície da água, em seguida, seu desaparecimento com a maturação do floco, em que a água tende a reduzir alguns parâmetros, principalmente do oxigênio, além do pH e alcalinidade por causa do carbono inorgânico utilizado pelas bactérias nitrificantes para seu crescimento (Ebeling et al., 2006).

Sistema simbiótico

Embora o sistema BFT seja bastante eficiente no processo de ciclagem dos compostos nitrogenados, há um acúmulo excessivo de sólidos, ou seja, alta carga de matéria orgânica. Dessa forma, quando manejado inadequadamente pode gerar problemas de entupimento das brânquias, além do afloramento de bactérias malélicas, como as causadoras de vibrioses, o que resulta em alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (Romano et al., 2018).

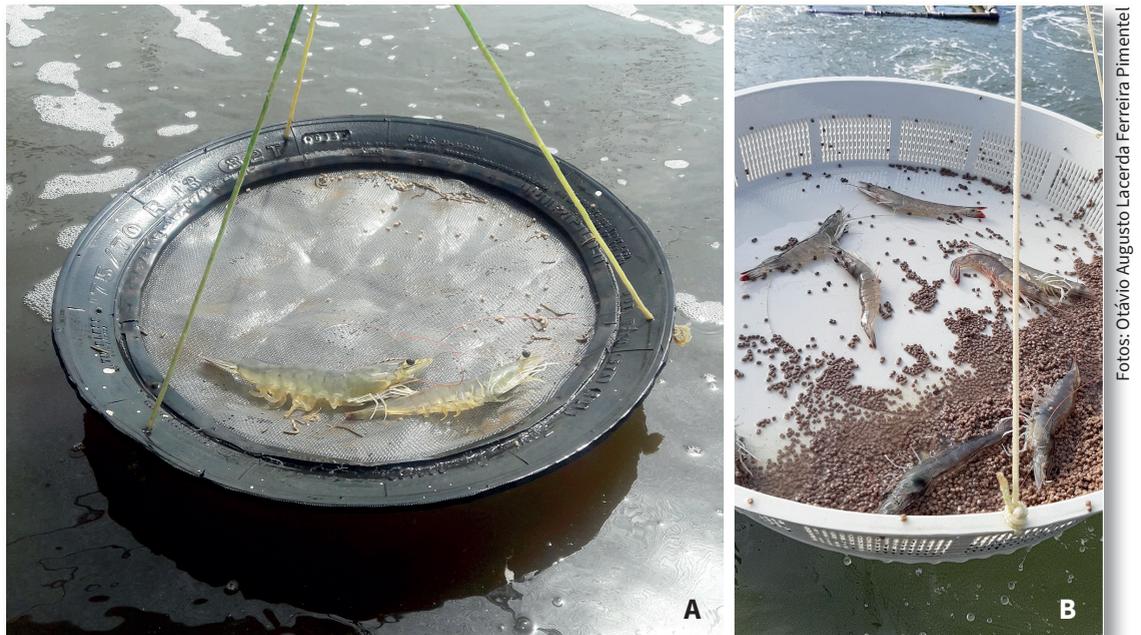


Figura 18. Arraçoamento fracionado em bandejas no cultivo de camarão marinho (A) e verificação de sobra de ração nas bandejas (B).

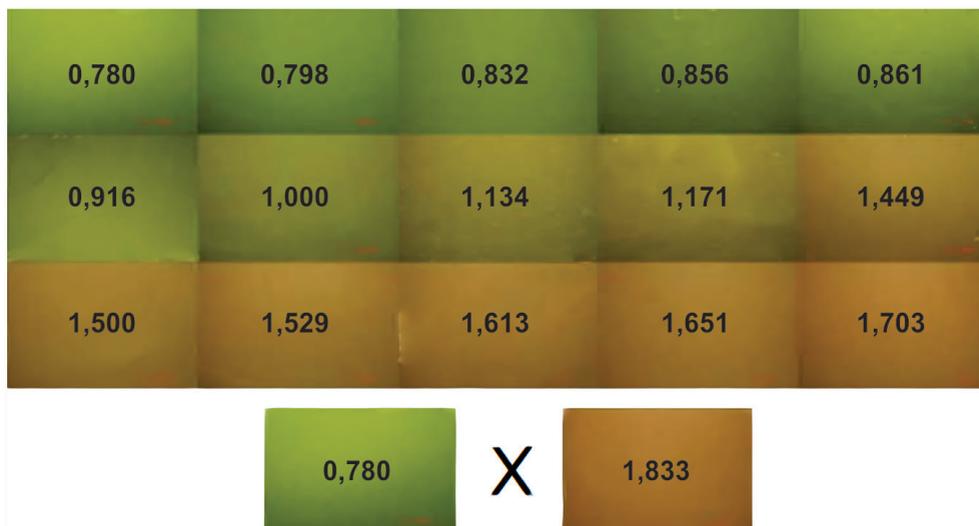


Figura 19. Índice de cor da comunidade microbiana (MCCI) indicando a transição de um sistema de algas para um sistema bacteriano com carga de alimentação.

Fonte: Adaptado de Kirk (2010).

A partir disso, muitos produtores vêm utilizando o sistema simbiótico, baseado no conceito *aquamimicry*, em que ocorre a junção de prebióticos e probióticos, por meio dos seus efeitos sinérgicos, contendo como principal diferença o equilíbrio do incentivo a bactérias benéficas (*Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas* sp. e *Lactobacillus* sp., entre outras) em simbiose com a comunidade planctônica (fitoplâncton e zooplâncton), resultando na diminuição da quantidade de carbono e uma maior diversidade de fonte complementar de alimento natural para os camarões (Erken et al., 2015; Romano et al., 2018).

Esse sistema é caracterizado pela fertilização orgânica com farelos vegetais, a partir de processos fermentativos e/ou de respiração microbiana da fonte de carbono

orgânico e inorgânico, mix de bactérias e leveduras, enzimas e água. Há, nesse caso, uma distribuição mais homogênea entre as bactérias heterotróficas e nitrificantes, o que promove uma maior eficiência no que se diz respeito à ciclagem dos compostos nitrogenados (Romano et al., 2018; Brito et al., 2020)

Como fazer a fertilização no sistema simbiótico - A fertilização no sistema simbiótico ocorre por meio dos processos de fermentação e/ou respiração microbiana (Figura 20). As bactérias provenientes de probiótico, que consomem a alcalinidade (HCO_3^-) para se desenvolver, resultam em uma ação a qual permite que o farelo (geralmente de arroz) seja quebrado em moléculas mais simples, facilitando a biodisponibilidade de micro e macronutrientes (Soto, 2003).

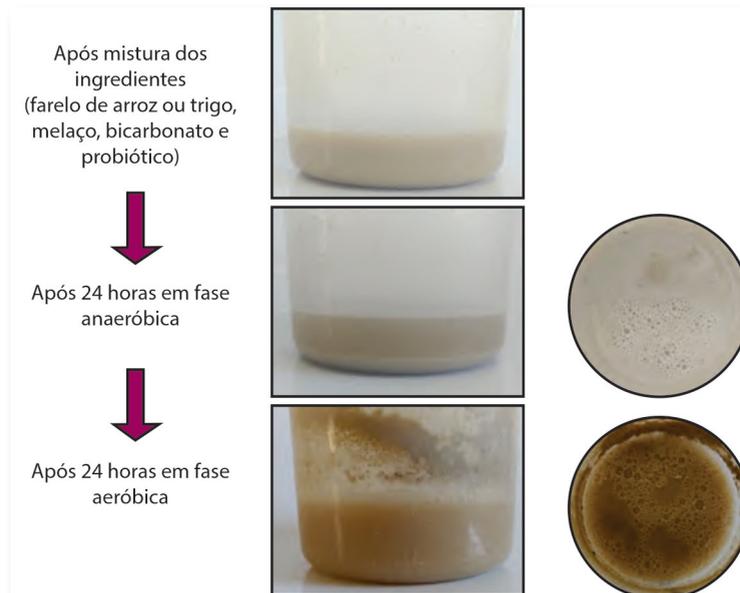


Figura 20. Processo de fermentação e/ou de respiração microbiana após fase aeróbica e anaeróbica.

Fonte: Adaptado de Brito et al. (2020).

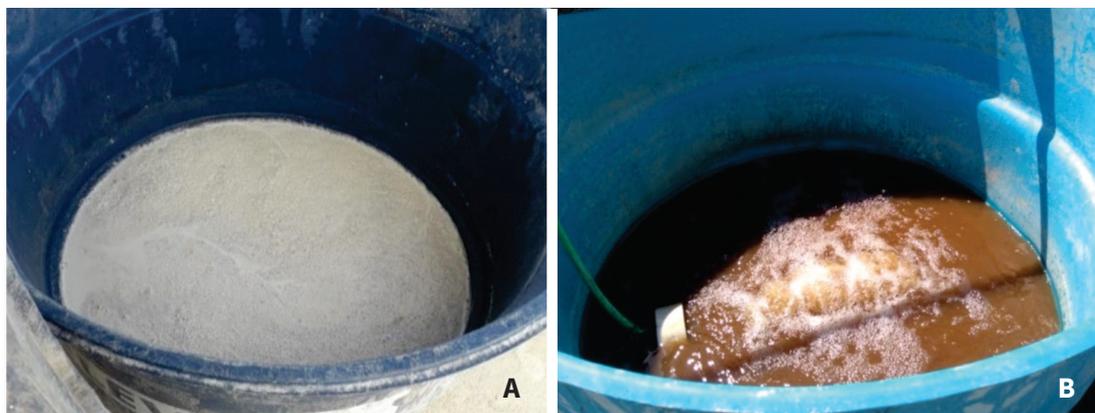
O processo pode apresentar duas fases. A primeira passa por um período de 24 a 48 horas sem aeração (anaeróbica) (Figura 21A), em repouso para o processo de fermentação, que geralmente resulta na formação de três ácidos orgânicos: láctico, acético e butílico. A segunda, por sua vez, passa por um período de 24 horas com aeração, obtendo maior crescimento microbiano (aeróbica) para *Bacillus* (Figura 21B) (Ciani et al., 2013; Brito et al., 2020).

Existe, contudo, uma grande diversidade no que se diz respeito a protocolos de simbióticos, recomendados por cada tipo de probiótico utilizado, para diferentes fases

de cultivo e a densidade de estocagem utilizada. Como exemplo, podem-se adotar os valores da Tabela 7 (informação verbal)¹.

Nessa perspectiva, para esses protocolos há uma variação quanto ao uso. Isso quer dizer que alguns produtos podem aumentar ou diminuir em função da sua eficiência e necessidade durante a preparação e manutenção do sistema levando-se em conta densidades e as fases berçário (Tabela 8) (informação verbal)¹ ou engorda (Tabela 9) (informação verbal)¹.

Como mencionado anteriormente, há uma diferença no manejo de berçários e viveiros de engorda. Então, há para o exemplo as informações da Tabela 10.



Fotos: Genes Gonçalves

Figura 21. Fertilização simbiótica à base de farelo de arroz sem aeração (A) e com aeração (B).

Tabela 7. Protocolo do simbiótico.

Produto	Produto no simbiótico (%)	Simbiótico (g do produto)
Farelo de arroz (12% a 20% de lipídeos)	100	1.000
Açúcar	10	100
Buffer (CaCO ₃)	5–10	50–100
Enzima	0,1–0,2	1–2
Probiótico	0,2–0,4	2–4
Água limpa	x10	10 L/kg de simbiótico

¹ Informação fornecida por David Kawahigashi no Workshop Tecnologia Intensiva de Camarão (Aquin'19), em Natal, em agosto de 2019.

Tabela 8. Protocolo de preparação e manutenção do simbiótico para berçário.

Berçário (5 pós-larva por litro – PL/L)		
Protocolo (dia)	Concentrado (ppm)	Concentração (kg/100 m ³)
Preparação		
1-7	20	2
Manutenção		
1-15	10	1

Tabela 9. Protocolo de preparação e manutenção do simbiótico na engorda.

Engorda			
Protocolo (dia)	Densidade (camarão/m ²)		
	8-12	40-60	150
Concentração (ppm)			
Preparação			
1-7	0,5	2	10
Manutenção			
1-15	0,2	1	3

Tabela 10. Informações necessárias para os cálculos do simbiótico no manejo de berçário e viveiro de engorda.

Informação	Berçário	Engorda
Volume (m ³)	50	1.000
Preparação (dia)	7	7
Densidade de estocagem	5 PL/L	50 camarões/m ²
Concentração do protocolo (g/m ³) (ppm)	20	2

Passo a passo:

1. Quantidade do simbiótico no berçário para 7 dias de preparação do berçário (QB) (kg):

$$QB = \text{concentração} \times \text{volume do tanque} \times \text{dias}$$

$$QB = 20 \text{ g/m}^3 \times 50 \text{ m}^3 \times 7 \text{ dias}$$

$$QB = 7.000 \text{ g} = 7 \text{ kg}$$

2. Quantidade do simbiótico na engorda para 7 dias de preparação (QE) (kg):

$$QE = \text{concentração} \times \text{volume do tanque} \times \text{dias}$$

$$QE = 2 \text{ g/m}^3 \times 1.000 \text{ m}^3 \times 7 \text{ dias}$$

$$QE = 14.000 \text{ g} = 14 \text{ kg}$$

Com isso, é possível calcular a quantidade de cada produto do simbiótico por fase da produção (Tabela 11).

Para uma boa fertilização e manutenção do sistema simbiótico, é necessário que se inicie a inoculação uma semana antes do povoamento. Em seguida, com o viveiro povoado, mantenha-o inoculando em dias alternados, durante 15 dias de cul-

tivo. Após esse período, é possível manter adicionando 2 a 3 vezes por semana, de acordo com a qualidade de água.

Relação carbono:nitrogênio e sua importância no controle dos compostos nitrogenados

O manejo para formação desses flocos está relacionado com a adição de uma fonte de carbono orgânico, a fim de estabelecer a relação carbono:nitrogênio (C:N). O aumento na adição de carbono faz com que aumente a taxa de assimilação de amônia nas proteínas celulares de bactérias heterotróficas, resultando no maior crescimento desses microrganismos (Chamberlain et al., 2001).

As bactérias metabolizam o carboidrato, retirando o nitrogênio inorgânico e produzindo proteína (Tacon et al., 2002), incorporando mais nitrogênio e fósforo do que o fitoplâncton, graças a sua maior razão superfície x volume (Kirchman, 2000).

O aumento da quantidade de carboidrato inserido no sistema, embora aumente a carga orgânica, em condições acima da

Tabela 11. Quantidade de cada produto necessária para a preparação das fases.

Produto	Porcentual (%)	Simbiótico (g ou kg)	Berçário (produção em 7 kg de simbiótico) (g)	Engorda (produção em 14 kg de simbiótico) (g)
Farelo de arroz	100	1.000	$7 \times 1.000 = 7.000$	$14 \times 1.000 = 14.000$
Açúcar	10	100	$7 \times 100 = 700$	$14 \times 100 = 1.400$
Buffer (CaCO ₃)	10	100	$7 \times 100 = 700$	$14 \times 100 = 1.400$
Probiótico	0,2	2	$7 \times 2 = 14$	$14 \times 2 = 28$
Enzima	0,1	1	$7 \times 1 = 7$	$14 \times 1 = 14$
Água limpa	x10	10 L/kg de simbiótico	$7 \times 10 = 70 \text{ L}$	$14 \times 10 = 140 \text{ L}$

relação C:N 10:1, dificulta o crescimento da comunidade autotrófica, estimulando o estabelecimento das bactérias heterotróficas no sistema (Figura 22) (Ebeling et al., 2016). Sendo assim, a relação C:N do seu sistema irá determinar os microrganismos desenvolvidos no seu ambiente de cultivo.

Alguns autores utilizam também o termo C-CHO:NAT que seria a relação carbono do carboidrato:nitrogênio da amônia total. Nessa perspectiva, a fim de que se tenha um sistema heterotrófico, é preciso manter essa relação em 6:1, obtendo-se aproximadamente 99% de predominância das bactérias heterotróficas (Ebeling et al., 2006) (Tabela 5).

Contudo, por causa dos grandes acúmulos de carga orgânica ao qual o sistema concentra, ocasionada pela relação C:N, desenvolveu-se uma vertente que busca estabelecer

um equilíbrio entre a comunidade algal e bacteriana durante todas as fases de cultivo, o simbiótico. Essa técnica busca o manejo adequado dos microrganismos no ambiente, o qual irá influenciar diretamente na qualidade de água que, por sua vez, propicia a redução do estresse e surtos de doenças, causados pela produção (Romano et al., 2018). O sistema também promove o crescimento de microrganismos capazes de reciclar compostos tóxicos na água e no solo, diminuindo as trocas de água e favorecendo o equilíbrio de íons e minerais biodisponíveis.

Por fim, a escolha dos insumos no processo de fertilização e maturação do sistema é de extrema importância, pois más escolhas podem trazer resultados prejudiciais à produção, seja no manejo por causa da granulometria dos produtos e os níveis de carbono no carboidrato escolhido – os



Figura 22. Formação das comunidades microbianas com as diferentes relações C:N ao longo do ciclo de cultivo na fazenda Maricultura São Francisco, Ilha de Itamaracá, PE.

quais podem resultar em grandes volumes aportados no sistema – seja para o custo de produção, já que alguns produtos variam de preço por região.

Estratégias de utilização do carbono inorgânico para auxiliar o controle dos compostos nitrogenados no cultivo de camarão marinho

As principais formas do carbono inorgânico em ambientes aquáticos são o carbono inorgânico livre ou ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$), íons de bicarbonato (HCO_3^-) e íons de carbonato (CO_3^{2-}), sendo essas formas relacionadas de acordo com o pH da água (Barbieri; Ostrenski, 2002). Além disso, a distribuição de tais formas depende de processos biológicos, da temperatura e alcalinidade (Ebeling et al., 2006).

O dióxido de carbono ou gás carbônico (CO_2) na aquicultura é incrementado principalmente pela decomposição da maté-

ria orgânica, respiração dos organismos e principalmente pela mínima troca de água utilizada nos sistemas intensivos. A concentração ideal de CO_2 na água para o cultivo de peixes e camarão deve estar abaixo dos 10 mg/L, tendo 20 mg/L como o limite aceitável, enquanto níveis entre 20 mg/L e 60 mg/L não são letais, porém causam interferências na troca de CO_2 pelas brânquias, dificultando também a incorporação de oxigênio pelos animais (Van Wyk; Scarpa, 1999) (Figura 23). Em cultivos com temperatura e salinidade elevadas, os níveis de CO_2 tendem a ser reduzidos, o que diminui a solubilidade do CaCO_3 (Furtado, 2011).

Em sistemas intensivos, os níveis de alcalinidade e pH costumam decrescer ao longo do cultivo, enquanto os níveis de CO_2 tendem a aumentar, caso não tenha aplicação de alcalinizantes. Quando essas variáveis ultrapassam limite crítico, os produtores devem empregar práticas corretivas para reduzir a concentração de CO_2 livre na água. Essas correções consequentemente alteram os níveis de pH, alcalinidade e dureza do sistema (Furtado, 2011).

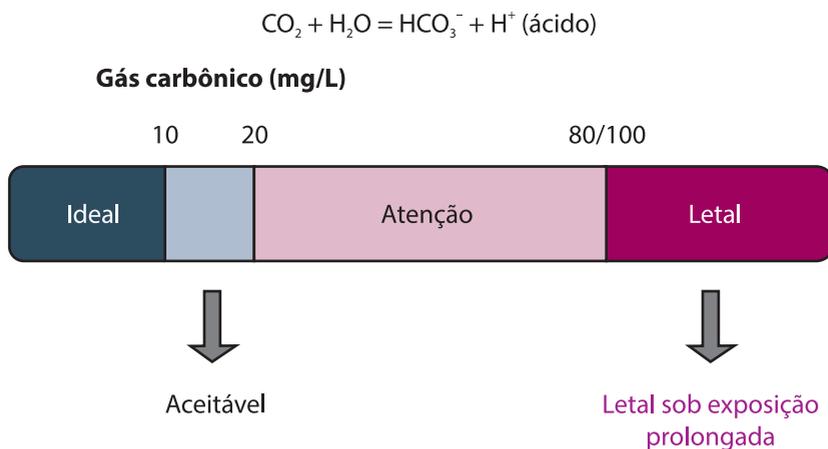


Figura 23. Reação ácida do gás carbônico na água.

Fonte: Adaptado de Kubitzka (2017).

A partir disso, a prática mais utilizada é a aplicação de cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para uma redução rápida na concentração de CO_2 , porém, é necessário cautela na utilização por causa da elevação brusca no pH (Body, 2020). Na Figura 24 demonstra-se a reação da adição da cal hidratada na água, a qual promove diminuição do CO_2 livre e resulta na liberação de íons de cálcio e magnésio na formação de bicarbonato, elevando-se a dureza e alcalinidade (Kubtiza, 2017).

Outro parâmetro muito importante nesse ambiente é o pH (potencial hidrogeniônico), pois, como o produto da respiração dos organismos na água é o CO_2 , o aumento dessa liberação resulta na queda do pH, em que também é possível notar a relação inversamente proporcional entre o CO_2 e o íon de bicarbonato (Golterman et al., 1978).

Os íons de bicarbonato são essenciais para o processo tampão no ambiente de cultivo. O efeito tem por finalidade evitar a variação do pH que ocorre em decorrência da respiração dos organismos e/ou adição de

produtos na água. Na produção de camarão marinho em sistema intensivo, a fim de que se obtenha esse resultado, é necessário manter a alcalinidade total (CaCO_3) próximo de 150 mg/L, sendo que concentrações em torno de 300 mg/L irão influenciar nas taxas de nitrificação (Furtado et al., 2015).

É importante destacar que a alcalinidade total representa a concentração das bases tituláveis na água com a capacidade de neutralizar cátions de hidrogênio, tendo como as principais bases os carbonatos (CO_3^{2-}), os bicarbonatos (HCO_3^-) e a hidroxila (OH^-).

Sabe-se que, no processo de ciclagem dos compostos nitrogenados, há um grupo de bactérias nitrificantes dividido em dois subgrupos: amônia-oxidantes e nitrito-oxidantes, que consomem menos oxigênio. Isso resulta em menor produção de CO_2 na água quando comparada com o volume de CO_2 produzidos por bactérias heterotróficas (Van Loosdrecht; Jetten, 1998; Hagopian; Riley, 1998).

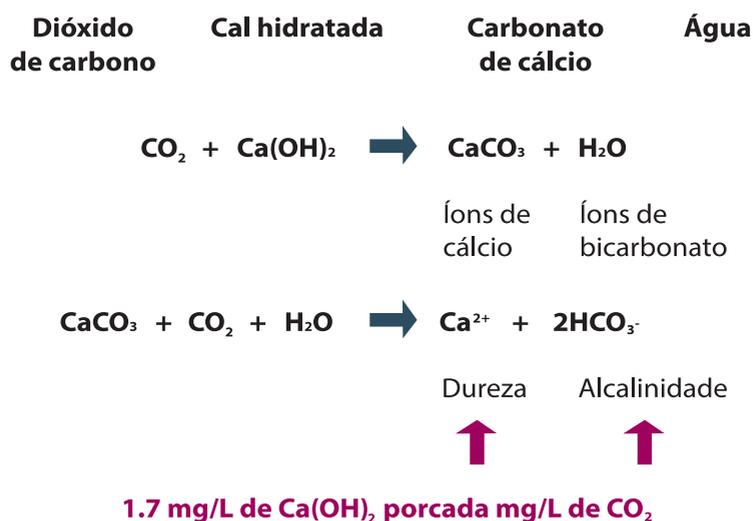


Figura 24. Reação do gás carbônico com a cal hidratada.

Fonte: Adaptado de Kubtiza (2017).

Embora as bactérias nitrificantes tenham crescimento mais lento do que as heterotróficas (Avnimelech, 2009), as nitrificantes são mais eficientes no processo de remoção dos compostos nitrogenados. Para isso, as bactérias nitrificantes necessitam do carbono inorgânico para estimular seu crescimento, e, ao oxidar amônia a nitrato, reduzem a alcalinidade do sistema (Chen et al., 2006; Furtado et al., 2015), sendo necessário fazer a reposição dos minerais para a obtenção de resultados satisfatórios.

Com base no exposto, é necessário manter a alcalinidade total em níveis ideais visando ao crescimento das bactérias nitrificantes, assim como aumentar a disponibilidade

de minerais para o processo de ecdise do camarão, principalmente em berçários (Tabela 12) e viveiros de engorda, com altas densidades de estocagem (Tabela 13).

Principais produtos para incrementar o carbono inorgânico na água

Existe uma série de produtos conhecidos como corretivos agrícolas que podem ser utilizados para a redução do CO_2 e incremento do carbono inorgânico. Esses produtos apresentam como princípio ativo carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos de cálcio e de magnésio.

Tabela 12. Alcalinidade total (mg/L CaCO_3) no cultivo larval e pós-larval do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em diferentes estágios e densidades de estocagem.

Fase	Densidade (camarão/L)				
	120	150	200	300	350
Náuplio-Larval	100	110	120	125	130
Pós-larva (1-6)	110	120	125	130	140
Pós-larva (7-12)	120	125	130	140	150
Pós-larva (13-18)	125	130	140	150	160
≥ Pós-larva (19)	130	140	150	160	180

Fonte: Chávez (2005).

Tabela 13. Alcalinidade total (mg/L CaCO_3) na engorda do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em água oligo-halina e marinha, com variadas densidades de estocagem.

Densidade (camarão/m ²)	Mínimo ideal de água doce (mg de CaCO_3 /L)	Mínimo ideal de água marinha (mg de CaCO_3 /L)
10-12	40-80	60-100
13-15	50-90	80-120
16-20	60-100	100-140
21-40	80-120	100-150
41-60	100-140	100-160
61-80	100-150	120-180
81-100	100-160	120-200
100	100-180	120-200

Fonte: Chávez (2005).

Para escolher o produto a ser utilizado, é preciso levar em consideração o poder relativo de neutralização total (PRNT), que mostra a capacidade do corretivo neutralizar a acidez. Para determinar o PRNT, é necessário saber os valores do poder neutralizante (PN) e reatividade (RE) (Primavesi; Primavesi, 2004). Essas informações podem ajudar o produtor a economizar na compra desses produtos.

Poder neutralizante

É a capacidade que um corretivo tem de neutralizar ácidos em relação ao carbonato de cálcio puro (CaCO_3). Esta capacidade varia de acordo com o tipo de composto. Quanto maior o PN de um produto, maior

a quantidade de ácidos que ele neutraliza, ou seja, a quantidade de produto a ser aplicada será menor.

Os calcários comercializados no Brasil devem possuir o mínimo de 38% de óxido de cálcio (CaO) + óxido de magnésio (MgO), de acordo com a legislação. Porém, o cálcio e o magnésio presentes nos produtos estão em forma de carbonatos e precisam ser convertidos. O equivalente em carbonato de cálcio (CaCO_3) do CaO é igual a 1,79 e do MgO é igual a 2,48 (Alcarde, 1992).

Então, por exemplo, de acordo com a Tabela 14, 100 kg de carbonato de magnésio apresentam ação equivalente a 119 kg de carbonato de cálcio.

Cálculo do PN:

- Na embalagem de um calcário existe a seguinte informação:

35% de CaO
10% de MgO

- Considerando o peso atômico dos elementos na tabela periódica:

Cálcio	Magnésio	Carbono	Oxigênio
Ca = 40	Mg = 24,3	C = 12	O = 16

- O peso molecular do carbonato de cálcio (CaCO_3) é a soma dos pesos atômicos:

$$\begin{aligned}\text{Ca} &= 40 \times 1 = 40 \\ \text{C} &= 12 \times 1 = 12 \\ \text{O}_3 &= 16 \times 3 = 48 \\ \text{CaCO}_3 &= 40 + 12 + 48 = 100\end{aligned}$$

- O peso molecular do óxido de cálcio (CaO) é a soma dos pesos atômicos:

$$\begin{aligned}\text{Ca} &= 40 \times 1 = 40 \\ \text{O} &= 16 \times 1 = 16 \\ \text{CaO} &= 40 + 16 = 56\end{aligned}$$

- O peso molecular do óxido de magnésio (MgO) é a soma dos pesos atômicos:

$$\begin{aligned}\text{Mg} &= 24,3 \times 1 = 24,3 \\ \text{O} &= 16 \times 1 = 16 \\ \text{MgO} &= 24,3 + 16 = 40,3\end{aligned}$$

- Por esse motivo os valores de equivalência são:

$$\begin{aligned} 100/56 &= 1,79 \text{ para CaO} \\ 100/40,3 &= 2,48 \text{ para MgO} \end{aligned}$$

- Então, para saber o valor do PN é necessário multiplicar os valores de equivalência pela porcentagem de CaO e MgO do produto:

$$\begin{aligned} 35\% \text{ de CaO} \times 1,79 &= 62,6\% \\ 10\% \text{ de MgO} \times 2,78 &= 27,8\% \\ \text{O PN será a soma de } 62,6 + 27,8 &= 90,4\% \end{aligned}$$

Reatividade

A reatividade (RE) de um corretivo é a velocidade de sua reação no solo ou água. Quanto menor o tamanho das partículas dos corretivos (Figura 25), maior será sua reatividade, por aumentar a área de contato do corretivo com o solo ou água que será aplicado (Pandolfo; Tedesco, 1996).

A análise do tamanho das partículas é feita por meio de um peneiramento mecânico, com peneiras de tamanhos diferentes, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Em seguida, a quantidade retida em cada peneira é mensurada.

Para o cálculo da RE, a taxa de reatividade para as frações de diferentes tamanhos retidas nas peneiras é determinada por meio da Tabela 15.

Tabela 14. Poder neutralizante (%) de alguns compostos.

Composto	Fórmula	Peso molecular (g)	Poder neutralizante (%)
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	100	100
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	84,3	119
Dolomita	CaCO ₃ .MgCO ₃	184,3	109
Óxido de cálcio	CaO	56	179
Óxido de cálcio e magnésio	CaO.MgO	96,3	203
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) ₂	74	135
Hidróxido de cálcio e magnésio	Ca(OH) ₂ .Mg(OH) ₂	132,3	151
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃	106	94
Bicarbonato de sódio	NaHCO ₃	84	59
Silicato de sódio	CaSiO ₃	116	86
Fosfato de sódio	Ca(PO) ₂	310	65

Fonte: Alcarde (1992).



Figura 25. Diferença granulométrica de um mesmo calcário.

Exemplo:

Um calcário com:

- 5% (0,05) são partículas maiores de 2 mm (retida na peneira 10) que não apresentam efeito na neutralização.
- 15% (0,15) são partículas que ficaram retidas na peneira 10-20.
- 25% (0,25) são partículas que ficaram retidas na peneira 20-50.
- 55% (0,55) são partículas que passaram na peneira 50.

A fórmula para calcular a reatividade (RE) é a soma das multiplicações entre a taxa de reatividade e a porcentagem (%) do que ficou retido nas peneiras:

$$RE = 0 \times (\text{Peneira 10}) + 20 \times (\text{Peneira 10-20}) + 60 \times (\text{Peneira 20-50}) + 100 \times (\text{Peneira 50})$$

$$RE = 0 \times 0,05 + 20 \times 0,15 + 60 \times 0,25 + 100 \times 0,55$$

$$RE = 0 + 3 + 15 + 55 = 73\%$$

Poder relativo de neutralização total

É o índice que demonstra a qualidade química e a característica física (RE) do corretivo agrícola. O PRNT é utilizado para determinar a quantidade de produto a ser aplicado para neutralização.

Exemplo:

A equação é expressa da seguinte forma:

$$PRNT = (PN \times RE)/100$$

Utilizando-se os valores dos exemplos acima:

$$PN = 90,1\% \text{ e } RE = 73\%$$

$$PRNT = (90,1 \times 73)/100$$

$$PRNT = 65,77\%$$

Um PRNT de 65,8% significa que, em uma tonelada aplicada desse produto, terá o

Tabela 15. Taxas de reatividade das partículas de diferentes tamanhos dos corretivos de acordo com a legislação brasileira, descrita na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Fração granulométrica		Taxa de reatividade (%)
Peneira n° (ABNT)	Dimensão (mm)	
Maior do que 10	Maior do que 2	0
10–20	2–0,84	20
20–50	0,84–0,30	60
Menor do que 50	Menor do que 0,30	100

Fonte: Alcarde (1992).

mesmo efeito de 658 kg de carbonato de cálcio (CaCO_3) puro. Então, quanto maior o PRNT do produto, melhor sua qualidade e menor a quantidade a ser aplicada.

Nas embalagens dos produtos são encontradas algumas especificações para ajudar a escolha do produto, como as porcentagens de óxido de cálcio, óxido de magnésio e PRNT.

Com base nas informações anteriores, alguns produtos vêm sendo bastante utilizados para incrementar o carbono inorgânico, são eles:

- Bicarbonato de sódio (NaHCO_3): é um composto de peso molecular (PM) 84 g, hidrossolúvel, com poder neutralizante (PN) de 56%, reatividade (RE) de 97% e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 55%. É muito eficiente para elevar a alcalinidade da água, embora mantenha o pH estável em ambientes de cultivos marinhos e aumenta o pH em baixa salinidade (Loyless; Malone, 1997).
- Hidróxido de cálcio (Cal hidratada) $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$: É um composto químico de

PM 74 g, hidrossolúvel, com elevado PN (132%), RE de 62% e PRNT de 81%. Serve eficazmente como alcalinizante e aumento da dureza da água, no entanto, pode proporcionar uma elevação brusca do pH, causando um desequilíbrio no sistema (Whangchai et al., 2004).

Entre outros:

- Carbonato de cálcio e magnésio (calcário dolomítico): $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.
- Carbonato de cálcio (calcário calcítico): CaCO_3 .
- *Lithothamnium* (alga calcária): fonte de Ca e Mg.
- Carbonato de sódio: Na_2CO_3 .

Por causa do crescimento acelerado das bactérias heterotróficas em relação às nitrificantes, é indicado ajustar a alcalinidade (adição do carbono inorgânico) antes do início do ciclo de cultivo, principalmente para ambientes de baixa salinidade onde a toxicidade do nitrito é maior (Waikhom, 2017), para estimular o desenvolvimento das bactérias nitrificantes e diminuir os riscos de pico do nitrito.

Exemplo de como calcular a quantidade de carbono inorgânico adicionado aos ambientes de cultivo:

Para elevar a alcalinidade de um tanque de 100 m³ que irá ser povoado com 120 camarões por metro cúbico, de 80 mg/L para 125 mg/L de CaCO₃ de alcalinidade total utilizando calcário dolomítico ou bicarbonato de sódio disponível na fazenda, deve-se calcular da seguinte forma:

1. Cálculo do deficit:

- Concentração desejada – concentração atual = 125 – 80 = 45 mg CaCO₃/L = 45 g CaCO₃/m³

2. Deficiência no tanque:

- Deficit x volume = 45 g CaCO₃/m³ x 100 m³ = 4,5 kg CaCO₃

3. Quantidade do produto a ser utilizado de acordo com o PRNT (Observação: esta informação deverá vir no rótulo do produto).

- Calcário dolomítico [CaMg(CO₃)₂] (PRNT = 60%) = 4,5 kg CaCO₃ / 60% = 7,5 kg
- Bicarbonato de sódio (NaHCO₃) (PRNT = 55%) = 4,5 kg CaCO₃ / 55% = 8,18 kg

Observação: recomenda-se aplicar os fertilizantes no mínimo de 48 horas antes do povoamento e, em caso de viveiros já povoados, fracionar a quantidade a ser aplicada em doses diárias.

Dessa forma, sabendo-se a quantidade, é possível escolher o produto mais economicamente viável para a incorporação do carbono inorgânico, lembrando sempre de levar em consideração o incremento do pH. Para evitar a elevação brusca do pH, as aplicações podem ser feitas de forma parcelada em doses diárias.

Principalmente em cultivos com baixa salinidade, por causa da redução do pH e

da maior concentração de CO₂, a dissolução de produtos contendo CaCO₃ é maior, ocorrendo o inverso em água de maior pH e salinidade. Assim, é necessário avaliar a taxa de dissolução do produto que pode variar de acordo com cada região.

Qualidade de água e sua importância para ajudar no controle dos compostos nitrogenados

O camarão marinho *L. vannamei* é a principal espécie cultivada no mundo (FAO, 2020a). Graças a sua capacidade osmorregulatória com amplo gradiente salino (Saoud et al., 2003), a produção de camarão pode ser realizada utilizando-se desde água marinha até água oligohalina. Apesar de a faixa ideal de cultivo ser de 20 g/L a 35 g/L de salinidade (Samocha, 2019), a produção de *L. vannamei* em águas interiores está cada vez mais difundida, utilizando-se águas provenientes de rios, poços e reservatórios. Independente da salinidade escolhida, o local deve dispor de fonte de água em quantidade para suprir a demanda produtiva de forma adequada às necessidades de abastecimento, reposição por evaporação e infiltração e trocas de água, dependendo do sistema de cultivo utilizado (Ituassú; Spera, 2018), além de boa qualidade, sem contaminação.

Um dos pontos críticos do cultivo de organismos aquáticos é a manutenção da qualidade de água até o final do cultivo. Dessa forma, boas práticas de manejo de qualidade de água podem contribuir para minimizar problemas relacionados a esses

compostos, sendo de fundamental importância para o sucesso da carcinicultura. Neste capítulo, serão abordados alguns aspectos relacionados ao oxigênio dissolvido, bem como ao sistema de aeração, sólidos suspensos, potencial de oxirredução e pH da água, contribuindo para o controle dos compostos nitrogenados.

Oxigênio dissolvido e sistema de aeração

O oxigênio é a principal molécula constituinte da água na qual é utilizada para extrair energia química dos nutrientes (Sá, 2012). Os camarões, fitoplâncton, zooplâncton e bactérias utilizam o oxigênio da água para realizarem o metabolismo de suas células, permitindo que elas cresçam.

Isso significa que esses organismos necessitam de concentrações mínimas para atender às suas necessidades, ou serão submetidos ao estresse respiratório; como também águas supersaturadas de oxigênio são prejudiciais ao seu desenvolvimento (Figura 26) (Van Wyk; Scarpa, 1999).

O oxigênio dissolvido pode ser considerado o principal parâmetro que rege a qualidade de água na carcinicultura. A supressão desse parâmetro em um curto período de tempo pode provocar a perda total da produção, dependendo da intensificação do seu sistema. Níveis baixos de oxigênio podem diminuir a capacidade imunológica, deixando os animais suscetíveis a doenças infecciosas. É necessário manter níveis de saturação acima de 65% e concentração acima de 4,0 mg/L (Samocho, 2019).

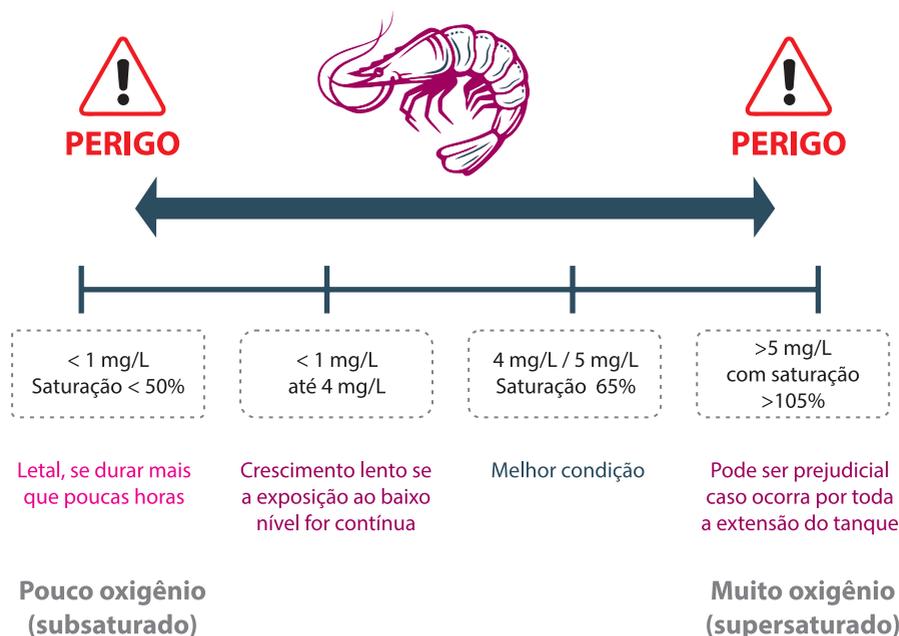


Figura 26. Variações dos níveis de concentração de oxigênio para desenvolvimento dos camarões.

Fonte: Adaptado de Van Wyk e Scarpa (1999).

A concentração do oxigênio na água pode ser mensurada com o auxílio de equipamentos eletrônicos (oxímetros) ou por meio de titulometria (método de *Winkler*). Essa concentração será influenciada pela temperatura e salinidade. Quanto mais sais estiverem presentes na água e quanto maior for a temperatura, menor será a capacidade de solubilidade do oxigênio na água conforme a Tabela 16.

Por exemplo, para uma saturação de 100% de oxigênio na salinidade de 30 g/L, haverá uma concentração de oxigênio dissolvido de 6,9 mg/L a uma temperatura de 25 °C, de 6,3 mg/L a uma temperatura de 30 °C e de 5,9 mg/L a uma temperatura de 35 °C. Isso demonstra que quanto maior a temperatura menor será a concentração de oxigênio dissolvido em uma mesma salinidade.

Em sistemas de produção extensivos, o oxigênio é proveniente de trocas de água e fotossíntese do fitoplâncton. Apresentam-se oscilações diárias com níveis altos de dia, por causa da produção de oxigênio pelo fitoplâncton, e queda desses níveis durante a noite, ocasionada pela respiração dos microrganismos presentes na matéria orgânica e do fitoplâncton (Figura 27). Enquanto nos sistemas intensivos e superintensivos não deve ocorrer essa oscilação. O aporte de oxigênio é realizado mediante aeração mecânica utilizando aeradores de superfície, compressores radiais e injetores de ar (Figura 28), que precisam ser distribuídos dentro dos tanques/viveiros de modo uniforme.

O oxigênio também desempenha um papel importante no processo de nitrificação, que resulta no consumo de grande

Tabela 16. Solubilidade do oxigênio em função da temperatura e salinidade.

Temperatura (°C)	Salinidade (g/L)								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
21	8,9	8,6	8,3	8,1	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0
22	8,7	8,4	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9
23	8,5	8,3	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	6,9	6,7
24	8,4	8,1	7,9	7,7	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6
25	8,2	8,0	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5
26	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4
27	7,9	7,7	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3
28	7,8	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2
29	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1
30	7,5	7,3	7,1	6,9	6,7	6,5	6,3	6,2	6,0
31	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9
32	7,2	7,0	6,9	6,7	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8
33	7,1	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,7
34	7,0	6,8	6,6	6,5	6,3	6,1	6,0	5,8	5,6
35	6,9	6,7	6,5	6,4	6,2	6,0	5,9	5,7	5,6

Fonte: Adaptado de Boyd e Tucker (1998).

Oxigênio dissolvido em viveiros de cultivo extensivo e semi-intensivo devido à fotossíntese e respiração

Saturação do oxigênio (%)

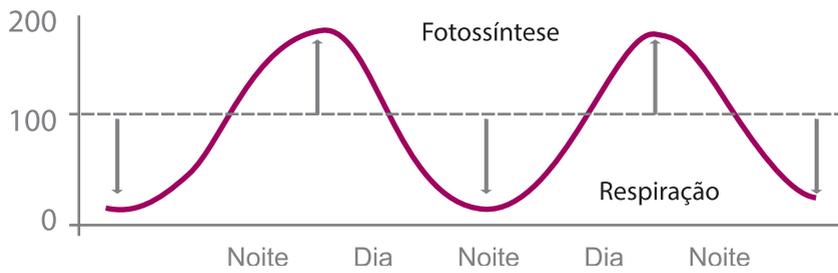


Figura 27. Oscilação da saturação de oxigênio ao longo do dia por causa da fotossíntese.

Fonte: Adaptado de Vinatea (2010).

Oxigênio dissolvido em viveiros de cultivo intensivo

Saturação do oxigênio (%)

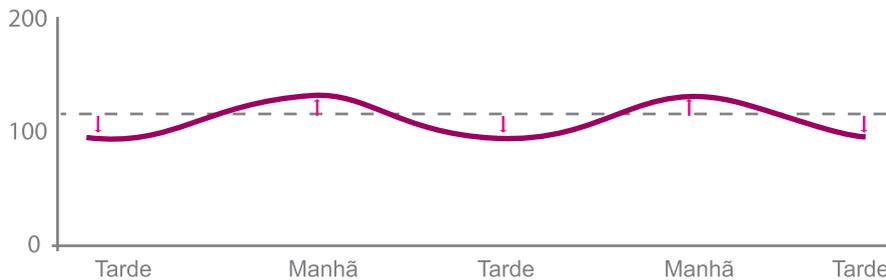


Figura 28. Oscilação da saturação de oxigênio ao longo do dia com o uso de aeradores.

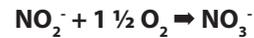
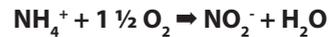
Fonte: Adaptado de Vinatea (2010).

parte da amônia acumulada no sistema e na degradação da matéria orgânica. Nesse processo, as bactérias transformam o íon amônio em nitrato, que não é um composto tóxico (Figura 29); em ambientes com falta de oxigênio acontece o inverso (Ebeling et al., 2006). Portanto, em ambientes com supressão e/ou pouco oxigênio, a tendência é a concentração dos compostos nitrogenados tóxicos aumentar por não ter oxigênio suficiente para suprir a demanda da comunidade microbiana (Tabelas 17 e 18).

A demanda de oxigênio precisa ser, portanto, dimensionada não apenas para atender à respiração dos camarões, mas também à comunidade microbiana presente em grande quantidade nos sistemas intensivos. A porcentagem de distribuição do consumo do oxigênio entre os viveiros

Ambientes oxigenados

Nitrificação



Ambientes com falta de oxigênio

Desnitrificação



Figura 29. Reações químicas do processo de nitrificação e desnitrificação.

sem geomembrana e com geomembrana é diferente, como demonstrado na Figura 30 (Vinatea, 2017b).

Para atender a esta demanda de oxigênio, o dimensionamento da aeração deverá ser calculado de acordo com a biomassa do final do cultivo (quantidade de ani-

Tabela 17. Consumo de oxigênio das bactérias autotróficas para cada grama de amônia no sistema.

Estequiometria para o metabolismo de bactérias autotróficas de 1,0 g N-NH ₄ ⁺					
Consumível	Estequiometria	Consumo (g)	C _{orgânico} (g)	C _{inorgânico} (g)	N (g)
N-NH ₄ ⁺		1,00	-	-	1,00
Alcalinidade	7,05 g Alc/g N	7,05	-	1,69	-
Oxigênio	4,18 g O ₂ / g N	4,18	-	-	-

Fonte: Ebeling et al. (2006).

Tabela 18. Consumo de oxigênio das bactérias heterotróficas para cada grama de amônia no sistema.

Estequiometria para o metabolismo de bactérias heterotróficas de 1,0 g N-NH ₄ ⁺ com carboidrato como carbono suplementar					
Consumível	Estequiometria	Consumo (g)	C _{orgânico} (g)	C _{inorgânico} (g)	N (g)
N-NH ₄ ⁺		1,00	-	-	1,00
C ₆ H ₁₂ O ₆	15,17 g Carb./ g N	15,17	6,07	-	-
Alcalinidade	3,57 g Alc/g N	3,57	-	0,86	-
Oxigênio	4,71 g O ₂ / g N	4,71	-	-	-

Fonte: Ebeling et al. (2006).

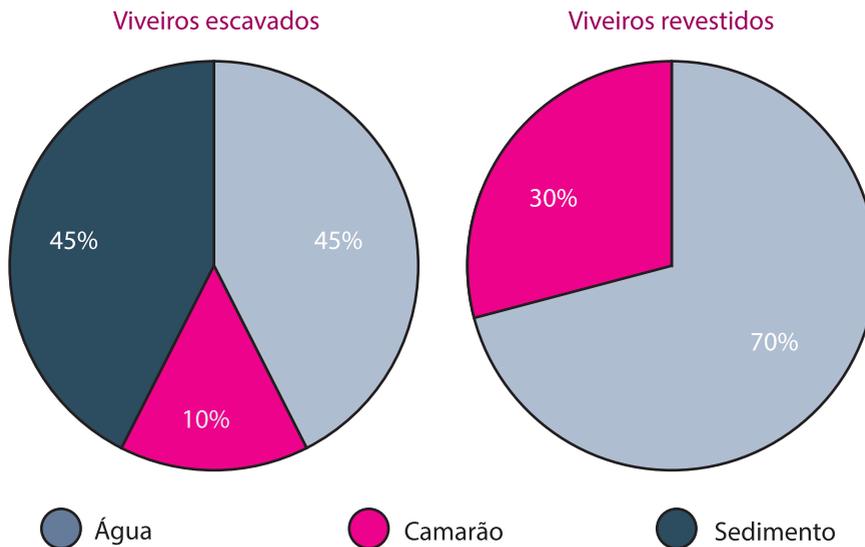


Figura 30. Porcentuais de consumo de oxigênio (mg/L/h) do sistema.

Fonte: Adaptado de Vinatea (2017b).

mais versus peso), em que o consumo de oxigênio é maior em função do tamanho dos camarões. A dinâmica da demanda de oxigênio também é influenciada por condições ambientais. A solubilidade do oxigênio na água varia de acordo com parâmetros, como temperatura, salinidade, pressão atmosférica (Bett e Vinatea, 2009) (Tabela 19). De forma geral, a solubilidade do oxigênio diminui com o aumento da temperatura e da salinidade (Nunes, 2002).

Nas fases finais dos tanques e viveiros de engorda, a demanda de oxigênio tende a aumentar principalmente em cultivos com baixa renovação de água por causa da maior biomassa estocada, aporte de ração ofertada, comunidade microbiana e do acúmulo de matéria orgânica no sistema. Portanto, a necessidade de oxigênio deve ser calculada por um profissional

analisando cada caso específico. Porém, de forma geral, pode-se estimar essa demanda da seguinte forma:

Exemplo:

Para estimar a aeração de um viveiro com área de 1.000 m² revestido com geomembrana onde será cultivado camarão em sistema intensivo com salinidade de 25 g/L e temperatura de 30 °C, deve-se inicialmente calcular a biomassa. Se considerar o povoamento com camarões de 1 g a uma densidade de estocagem de 200 camarões por metro quadrado, haverá uma população de 200 mil animais e uma biomassa inicial de 200 kg. Ao final do cultivo com animais de peso médio 15 g e sobrevivência estimada de 75%, haverá uma população de 150 mil animais e uma biomassa de 2.250 kg. De acordo com a Tabela 19, para animais de 15 g, em salinidade de 25 g/L e temperatura de 30 °C, a taxa res-

piratória do camarão é 0,320 mg de oxigênio por grama de camarão por hora. Nesse exemplo, com uma biomassa de 2.250 kg, convertendo para a mesma unidade (gramas), haveria a biomassa 2.250.000 g ÷ pela taxa respiratória 0,00032 g = 720 g de O₂ por hora.

Esse valor, porém, é referente apenas ao consumo do camarão. Levando-se em consideração a Figura 29, a demanda de oxigênio pelo camarão corresponde a 30% em viveiros revestidos. Dessa forma, a demanda total (100%) de oxigênio para esse exemplo seria:

- **Viveiros revestidos** – 2.400 kg de O₂ por hora.
- **Camarão (30%)** – 720 g de O₂ por hora.
- **Água (70%)** – 1.680 g de O₂ por hora.

A demanda de oxigênio deve ser calculada sempre em relação ao máximo de consumo do sistema, ou seja, ao final do cultivo, em que necessita de uma maior quantidade

de potência – horse-power (HP)¹ (aeradores e/ou sopradores) para atender a essa demanda (Figura 31). Sabendo-se da demanda estimada, é necessário procurar um equipamento que supra as necessidades do cultivo. É importante adicionar uma margem de segurança de 15%–20% em decorrência da eficiência do equipamento e da matéria orgânica no sistema.

Os equipamentos mais utilizados para aeração são classificados em dois tipos: os que injetam ar de forma difusa na água e os que lançam a água no ar e causam turbulência. No primeiro tipo, há os compressores radiais que geram grandes volumes de ar com baixa pressão e são conectados a mangueiras microperfuradas ou difusores distribuídos no fundo do tanque (Figura 32). Os compressores radiais fornecem ar comprimido (21% de oxigênio), em que a vazão

¹ 1HP = 745,699 Watts = 0,745 kW.

Tabela 19. Taxa respiratória de *Litopenaeus vannamei* em função do tamanho, temperatura e salinidade, ao nível do mar.

Salinidade (g/L)	Temperatura (°C)	(mg O ₂ / grama de camarão/hora)			
		5 g	10 g	15 g	20 g
37	20	0,160	0,191	0,213	0,230
	25	0,244	0,184	0,157	0,139
	30	0,346	0,319	0,303	0,293
25	20	0,162	0,188	0,205	0,218
	25	0,246	0,250	0,252	0,254
	30	0,326	0,322	0,320	0,318
13	20	0,202	0,222	0,235	0,244
	25	0,250	0,253	0,255	0,256
	30	0,322	0,328	0,331	0,332
1	20	0,172	0,166	0,161	0,159
	25	0,238	0,255	0,265	0,272
	30	0,382	0,425	0,451	0,471

Fonte: Bett e Vinatea (2009).

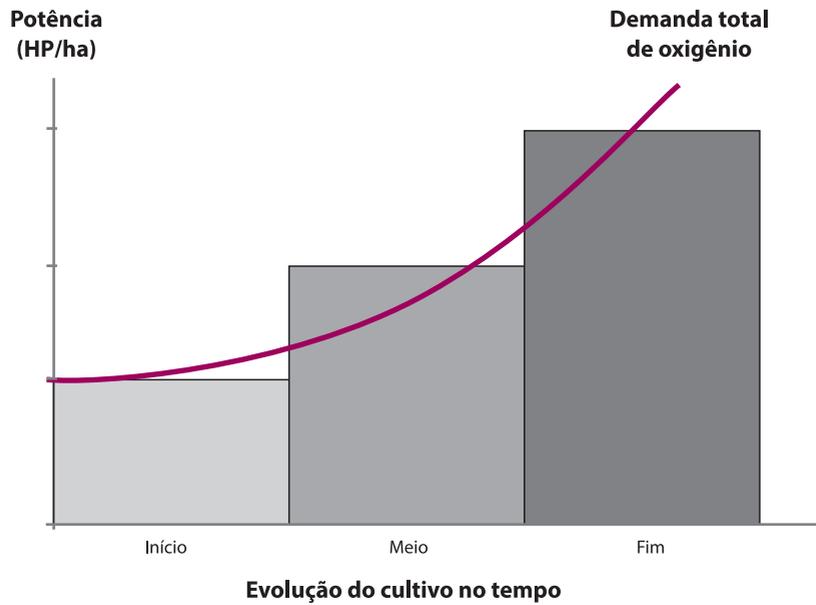


Figura 31. Aumento da quantidade de HP pela demanda total de oxigênio ao decorrer do tempo do cultivo.

Ilustração: Danielle Alves Silva.

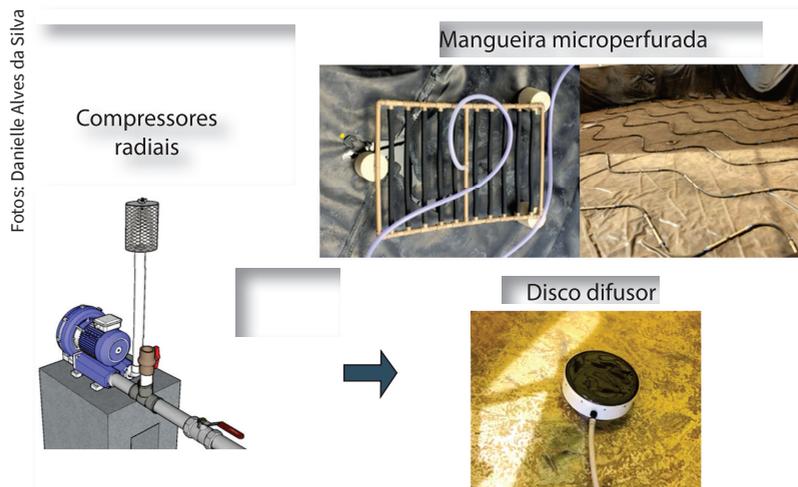


Figura 32. Aeração com injeção de ar de forma difusa: compressor radial ligado à mangueira microperfurada ou disco difusor.

Fonte: Adaptado de Pereira e Mercante (2005).

é dada em metro cúbico de ar por hora ou metro cúbico de ar por minuto. Essa vazão diminui de acordo com a altura da coluna d'água. Outro exemplo de forma de distribuição difusa é a bomba-d'água acoplada a injetores de ar, que capturam ar atmosférico através de um “snorkel” e incorporam no sistema (Figura 33) (Vinatea, 2017a).

No segundo tipo, pode-se destacar os aeradores de pás, os chafarizes, ondas e propulsores, os quais são recomendados para tanques e viveiros com uma profundidade de até 1,50 m e podem ser utilizados para promover uma circulação tangencial no fundo do viveiro, concentrando sedimentos em um ponto específico (em viveiros revestidos com geomembrana) (Figura 34). Em profundidades acima de 1,50 m, indica-se a utilização de sistemas de aeração mistos, fazendo com que o oxigênio dissolvido alcance camadas mais profundas do viveiro para evitar a estratificação da coluna d'água (Figura 35). A quantidade de aeradores será determinada pela demanda total de oxigênio e a eficiência do aerador. A eficiência é dada por quantos quilogramas de oxigênio por hora o aerador conse-

gue fornecer ($\text{kg O}_2/\text{h}$), também conhecido como SOTR – do inglês, *standard oxygen transfer rate* (taxa padrão de transferência de oxigênio) (Vinatea, 2017a).

Os aparelhos devem ser escolhidos de acordo com informações de sua eficiência fornecida pelo fabricante. As mangueiras porosas, discos difusores e injetores de ar também têm vazões específicas de acordo com a marca que devem ser respeitadas. É importante que o dimensionamento desses equipamentos seja realizado por um profissional especializado.

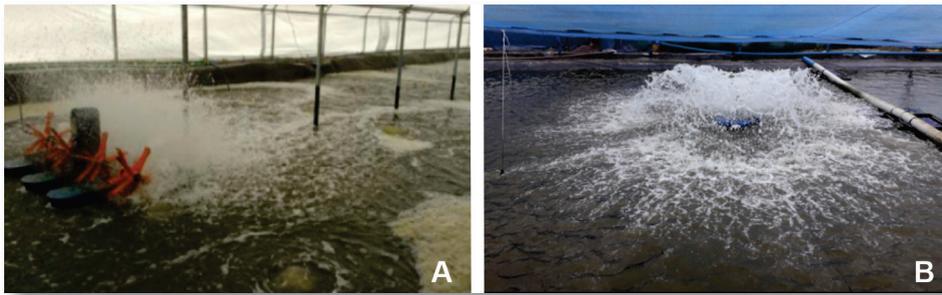
O sistema de aeração dependerá da intensificação do sistema e da estratégia adotada pelo produtor:

- Aeração de emergência: é utilizada quando o oxigênio atinge níveis baixos. Faz-se uso de aeradores ou produtos oxidantes, como percarbonato de sódio ($\text{Na}_2\text{H}_3\text{CO}_6$) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2).
- Aeração suplementar: é utilizada diariamente quando atinge certa biomassa ou atinge certa taxa de alimentação. Faz-se uso de aeradores ou compressores geralmente no período noturno.

Fotos: Danielle Alves da Silva



Figura 33. Aeração com injeção de ar de forma difusa: bomba-d'água acoplada a injetores de ar.



Fotos: Luis Otávio Brito da Silva

Figura 34. Aeradores de superfície: do tipo pás (A) e do tipo chafariz (B).

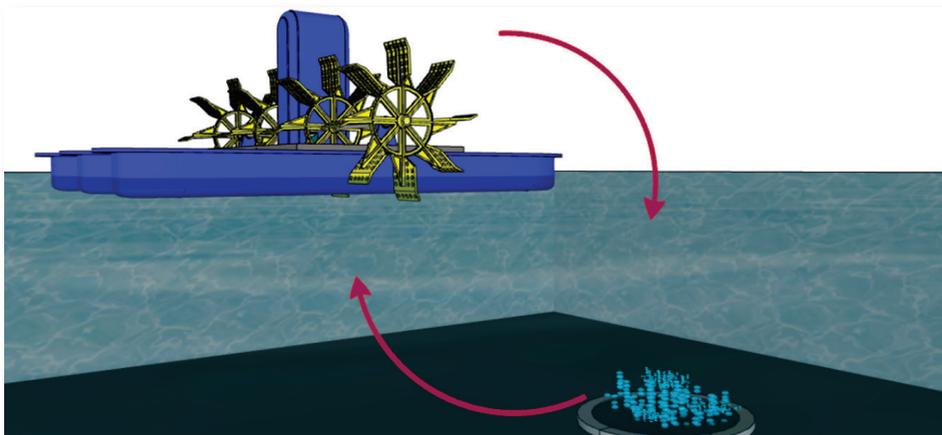


Figura 35. Sistema de aeração misto, utilizando ar difuso e aeradores de superfície para viveiros acima de 1,5 m de profundidade.

Ilustração: Danielle Alves Silva.

- Aeração contínua: é utilizada em sistemas intensivos para proporcionar que o oxigênio seja distribuído igualmente dentro do tanque e que a água seja movimentada de forma que os bioflocos não precipitem. Usam-se sopradores e/ou compressores com mangueiras porosas para uma melhor distribuição.

Algumas estratégias são utilizadas quando o consumo de oxigênio ultrapassa os níveis de segurança nos sistemas intensivos e superintensivos:

- Redução ou interrupção em curto prazo da alimentação, já que os animais não

irão se alimentar normalmente, só irá acontecer um aumento de matéria orgânica que não será degradada.

- Redução dos sólidos suspensos para diminuir a demanda por oxigênio bacteriano.
- Uso de fracionadores de espuma para diminuir a matéria orgânica dissolvida.
- Despesca parcial para diminuir a biomassa do camarão.
- Troca de água.

Em sistemas intensivos, como o BFT, a intensidade da aeração também influen-

cia em alguns fatores. A aeração muito forte pode ser um problema, o que pode ocasionar elevado estresse aos camarões, principalmente quando estão na forma de pós-larvas, além de dificultar a captura dos alimentos e o consequente desperdício, aumentando, assim, a possibilidade de elevação dos compostos nitrogenados. Por sua vez, a aeração fraca ocasionará a precipitação dos flocos microbianos, formando zonas anaeróbicas e acúmulo de matéria orgânica e consequente formação de gases, como sulfídrico e metano, sendo necessária a remoção através de bombeamento ou dreno central.

Controle de sólidos suspensos

Nos sistemas intensivos, a mínima renovação de água durante o cultivo faz com que ocorra o acúmulo de sólidos e matéria orgânica derivada de resto de alimento e produtividade natural (Schweitzer et al., 2013). Os sólidos sedimentáveis são agregados microbianos constituídos por bactérias, algas, fungos, protozoários, resto de ração, animais mortos, entre outros (Balcázar et al., 2006). Essas pequenas partículas sólidas se mantêm em suspensão na água, como um coloide, por causa do movimento da água (sistema de aeração). A fertilização com fontes de carbono nos sistemas intensivos estimula as comunidades bacterianas e consequentemente o aumento das concentrações de sólidos suspensos (Xu; Pan, 2012).

Concentrações elevadas de sólidos sedimentáveis podem causar sérios problemas, como a precipitação e formação de lodo no fundo do viveiro, além do consequente acúmulo de matéria orgânica,

que formará zonas anóxicas, aumentando o risco de doenças e diminuindo a qualidade de água. Os níveis elevados de sólidos podem aumentar consideravelmente a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ocasionando a redução dos níveis de oxigênio dissolvido na água, além da obstrução das brânquias dos camarões, o que pode comprometer índices de crescimento e sobrevivência (Gaona et al., 2011).

O controle das concentrações de sólidos suspensos totais pode auxiliar o desenvolvimento de bactérias nitrificantes, que são as principais responsáveis pelo processo de nitrificação. Isso ocorre graças à competição por substrato com as bactérias heterotróficas (Gaona et al., 2011; Ray et al., 2011). Para cultivo de camarões em bioflocos, recomendam-se níveis abaixo de 10 mL/L de sólidos sedimentáveis (SS), sendo o nível crítico de 14 mL/L (Samocho et al., 2019) e 500 mg/L de sólidos suspensos totais (SST) (Emerenciano et al., 2017). A utilização do Cone de Imhoff é o método mais empregado para mensuração da quantidade de sólidos sedimentáveis. Sua utilização é realizada por meio da coleta de água do cultivo a uma profundidade de 15 cm; depois, ajusta-se o nível do cone para 1 L, esperando-se 20 minutos para precipitar, em seguida, faz-se a leitura (Figura 36).

Para redução da quantidade de sólidos, usa-se o sedimentador. Este equipamento consiste em um reservatório, que pode ser bombonas ou caixa d'água dependendo do volume do tanque, instalado próximo ao ambiente de cultivo onde a água entra com a ajuda de um sistema *air lift* ou bomba submersa. Dentro do reservatório é diminuída a velocidade do fluxo de água onde ocorre a precipitação dos sedimentos e, depois, a



Figura 36. Coleta e leitura de sólidos sedimentáveis (mL/L).

água volta para dentro do ambiente de cultivo com uma redução na quantidade de sólidos (Figuras 37A, 37B e 38).

A frequência do uso do sedimentador vai depender da necessidade de redução dos sólidos que se deseja atingir e do fluxo de água dentro do sedimentador, podendo ser de algumas horas diárias ou intervaladas durante a semana, de acordo com a estratégia adotada pelo produtor, com o monitoramento desta variável no tanque de produção.

Outra estratégia para reduzir a quantidade de sólidos são os tanques e viveiros com dreno central ou com vários drenos espalhados no fundo do viveiro, para que, quando o registro localizado no fundo for

aberto por poucos segundos, o concentrado de matéria orgânica acumulado no fundo seja retirado para a lagoa de decantação. Em viveiros, os drenos centrais podem ser com tubulações no fundo do viveiro, direcionando os sólidos para o canal de drenagem (Figura 39A), que podem ser retirados com o auxílio de uma bomba (Figura 39B) ou através de um registro (Figura 39C). Em tanques elevados, os drenos são comumente direcionados para uma caixa de despesca (Figura 39D).

Potencial de oxirredução

O potencial de oxirredução, ou potencial redox, ou ORP (do inglês, *oxidation redox*

Fotos: Luis Otávio Brito da Silva

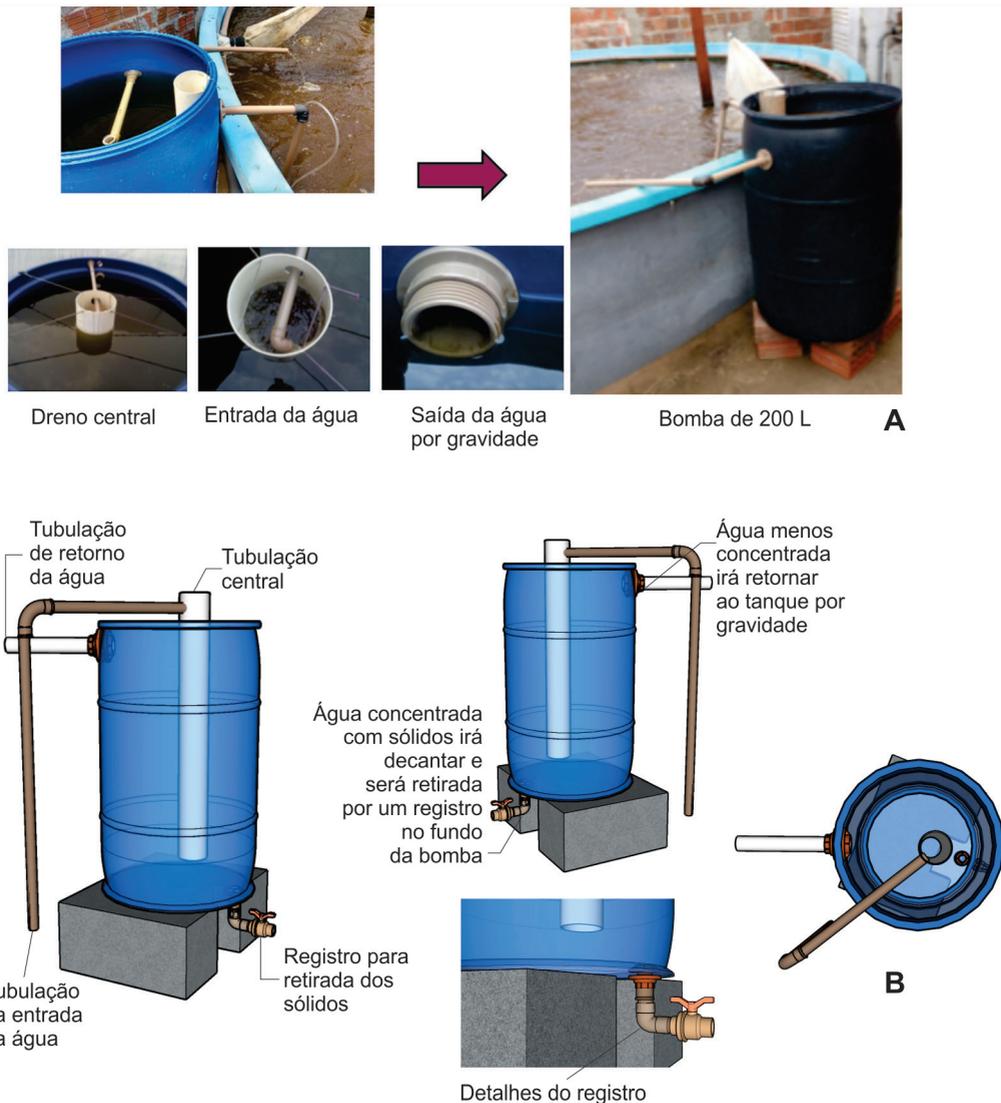


Figura 37. Sedimentador utilizado para controle de sólidos em tanques de cultivo de camarão (A); desenho esquemático de sedimentador para controle de sólidos (B).

Ilustração: Danielle Alves Silva.

potential), é uma medida relativa ao grau de oxidação da água ou solo, ou seja, indica a condição oxidada dos sedimentos do meio (Boyd, 2015). Quando esse número está positivo, significa que ele tem oxigênio suficiente para degradar a matéria orgânica via aeróbica. ORP negativo está associado à

falta de oxigênio e ao acúmulo de compostos oxidados altamente tóxicos aos camarões (gás sulfídrico – H_2S ; nitrito – NO_2^- e gás metano – CH_4) e às bactérias patogênicas (Figuras 40 e 41) (Vijayan et al., 2017).

Esses compostos (gás sulfídrico, nitrito e gás metano) estão associados ao lodo



Foto: Danielle Alves da Silva

Figura 38. Níveis de sólido antes e depois de passar pelo decantador.

acumulado no fundo do tanque e podem vir a causar problemas quando estes forem agitados, levando esses compostos para a coluna da água e, conseqüentemente, trazendo prejuízos à respiração dos camarões. Para evitar esse tipo de problema, o cultivo deve ter um sistema de aeração eficiente, para começar com números positivos de redox (acima de 100 mV). Ao longo do cultivo, esse valor vai diminuindo e, quando atinge entre 50 mV e -50 mV, indica que está ocorrendo

o processo de desnitrificação e formação de zonas anóxicas (sem a presença de oxigênio). Abaixo de -100 mV, inicia-se o processo de formação de nitrito e gases, como o sulfídrico e metano, recomendando-se a retirada dessas regiões anaeróbias por meio de bombeamento, drenagem de fundo e de ajuste no sistema de aeração para evitar a formação dessas zonas anóxicas (Figura 41) (Vijayan et al., 2017), como podemos observar durante a fase de berçário (Figura 42) (Silva et al., 2021).

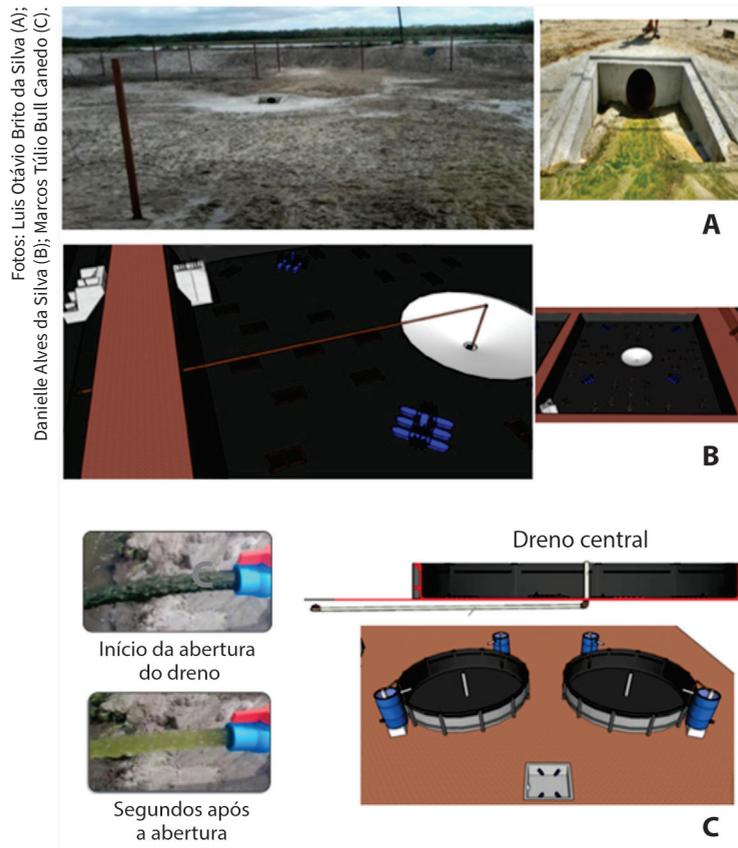


Figura 39. Dreno central utilizado para retirada de sólidos acumulados na área central do tanque ou viveiro: direcionando os sólidos para o canal de drenagem (A); retirados com auxílio de uma bomba (B) ou através de um dreno com registro, direcionados para uma caixa de despejo (C).

Ilustração: Danielle Alves da Silva

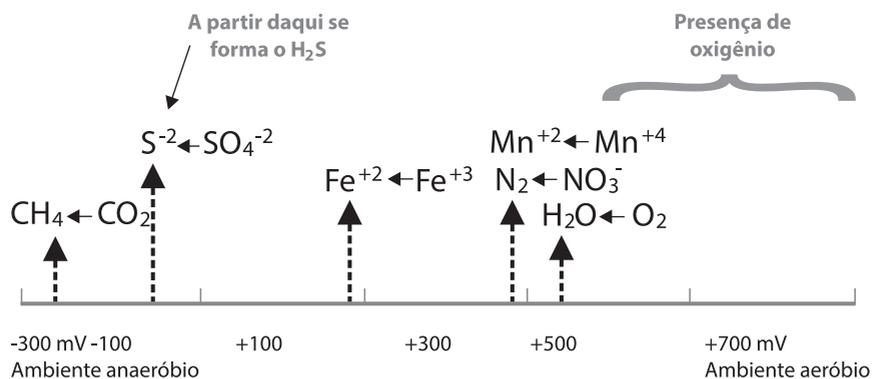


Figura 40. Compostos oxidados produzidos em zonas anaeróbicas.

Fonte: Adaptado de Vijayan et al. (2017).

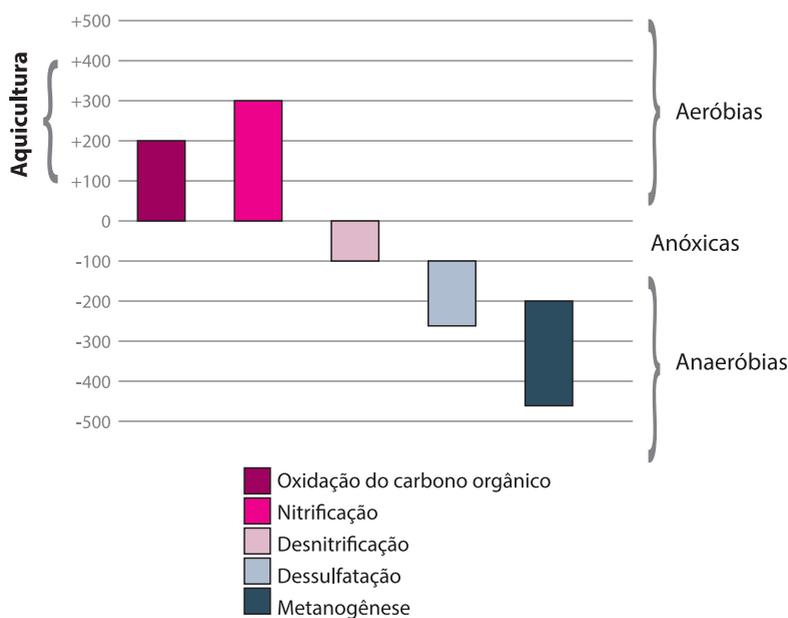


Figura 41. Efeitos das concentrações do potencial redox na aquicultura.

Ilustração: Danielle Alves da Silva.

Fonte: Adaptado de Vijayan et al. (2017).

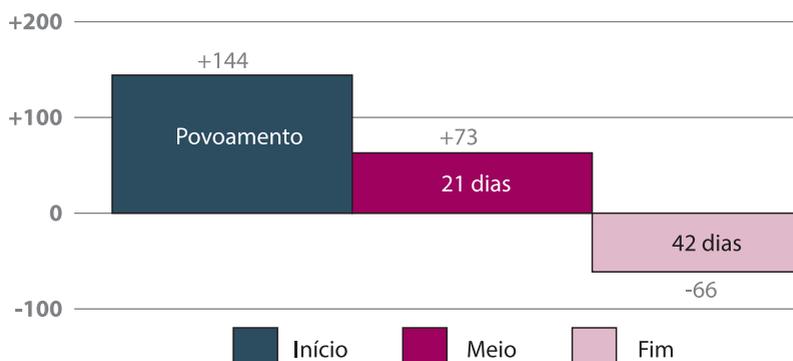


Figura 42. Variação do potencial redox ao longo da fase de berçário do *Litopenaeus vannamei*.

Ilustração: Danielle Alves da Silva.

Fonte: Silva et al. (2021).

pH da água

O potencial hidrogeniônico ou pH é o logaritmo negativo da concentração de íons H^+ que se encontra na água: quanto mais íons H^+ , mais ácida ela será ($pH < 7$) e quanto

menos íons H^+ , mais alcalina/básica ela será ($pH > 7$) (Sá, 2012). O pH consiste em um parâmetro de extrema importância, pois está relacionado a diversas reações químicas que ocorrem na água, como o aumento da toxicidade de compostos

como amônia e nitrito, além de interferir em processos fisiológicos dos animais cultivados (Furtado et al., 2013).

Quando o pH começa a subir, combinado com a elevação da temperatura, a formação da forma tóxica da amônia (amônia não ionizada-NH₃) aumenta proporcionalmente, o que ocasiona a redução do processo de nitrificação e da transformação da biomassa microbiana. Níveis de pH elevado também influenciam no desempenho dos camarões, por estar fora da faixa ideal para o sistema fisiológico do animal. A redução do pH ocasionará aumento na formação do gás sulfídrico (composto tóxico) a partir do sulfeto de hidrogênio ionizado, que influencia no desempenho dos camarões e bactérias. A faixa usualmente sugerida para a carcinicultura é entre 7,0 e 8,0, pois, além de ser a faixa ideal para o crescimento dos camarões, favorece o desenvolvimento das bactérias nitrificantes, principais responsáveis pelo processo de nitrificação (Chen et al., 2006) (Figura 43).

Altas densidades de algas causam grande variação de pH ao longo do dia por causa da fotossíntese realizada pela respiração, mas a elevação da alcalinidade pode reduzir essa variação (Furtado et al., 2013) (Figura 44).

Em sistemas de cultivo intensivo, são praticadas densidades de estocagem altas, o que reflete na queda do pH ao longo do cultivo em decorrência do maior aporte de ração, de sólidos acumulados e de fezes dentro do sistema (Decamp et al., 2007; Vinatea et al., 2010). Valores abaixo de 7,0 provocam as seguintes consequências no cultivo de camarões:

- Altos níveis de CO₂ na hemolinfa, dificultando o processo de muda, consequentemente, o crescimento (Wickins, 1984).
- Redução do crescimento e sobrevivência (Wasielesky et al., 2006).
- Redução da resposta imune ao *Vibrio alginolyticus* (Chen et al., 2015).
- Aumento de toxicidade do nitrito e sulfeto de hidrogênio (Boyd, 2020).
- Redução dos processos de nitrificação (Boyd, 2020).

Para elevar o pH em água, normalmente são utilizados bicarbonato de sódio (NaHCO₃) e carbonato de cálcio (CaCO₃) em baixa salinidade e hidróxido de cálcio ou cal hidratada [(Ca(OH)₂] em água marinha e baixa salinidade.

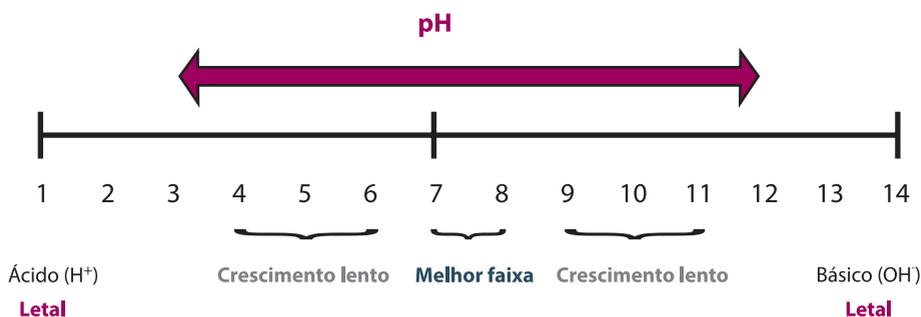


Figura 43. Consequências da oscilação de pH no cultivo de camarões.

pH 1-5 = bactérias nitrificantes não são capazes de realizar nitrificação.

Fonte: Adaptado de Samocha (2019).

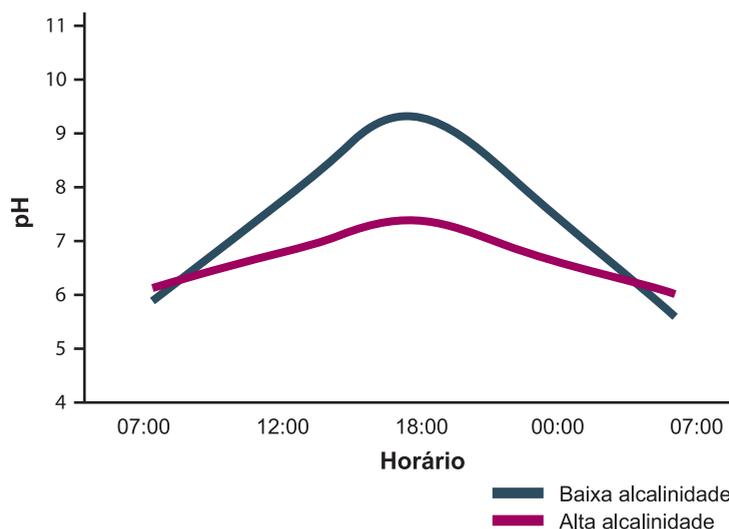


Figura 44. Oscilação diária do pH em função da concentração da alcalinidade.

Fonte: Adaptado de Boyd (2020).

Fertilização mineral em sistemas de baixa salinidade e sua influência sobre os compostos nitrogenados

Atualmente, a demanda pela utilização de regiões interiores para a produção de camarão marinho em águas meso-halinas e oligo-halinas está ganhando destaque na área da carcinicultura.

A utilização de águas com diferentes perfis iônicos afeta no desenvolvimento do animal no sistema de cultivo. Por causa disso, a biocompensação mineral por meio da água está sendo aderida em conjunto ao cultivo em água meso-halina e oligo-halina para repor a ausência de alguns minerais importantes para o desenvolvimento do animal (Zacarias et al., 2019).

Em um cultivo de camarão marinho em água com baixa salinidade, contudo, deve-

-se atentar para os compostos nitrogenados tóxicos e a concentração dos sais presentes, pois, de acordo com seus níveis, tais compostos podem ser letais, definindo o sucesso do cultivo. Como exemplo, se a amônia e o nitrito estiverem com valores estabelecidos acima de 3 mg/L em conjunto com baixa concentração de cloreto, o crescimento e a sobrevivência são afetados (Valenzuela-Madrigal et al., 2017).

Conceito de salinidade e íons componentes da salinidade da água

Antes de tudo, é necessário desmistificar o conceito de salinidade de ser apenas a quantidade de sal (NaCl) que a água apresenta. Na verdade, a salinidade é a concentração total de íons dissolvidos na água, sendo os principais: sódio (Na⁺), cloreto (Cl⁻), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), mag-

nésio (Mg^{2+}), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) (Sá, 2012), independente se a água é doce ou marinha, como se pode observar na Tabela 20 (Boyd, 2007).

Partindo dessa discussão, pode-se definir que água doce possui salinidade próxima a zero, enquanto água do mar possui salinidade média aproximada de 34 g/L. Contudo, não é necessário que uma água com baixa salinidade contenha poucos íons, pois ela reflete as características geológicas de cada região onde se origina e por

onde é transportada. Sendo assim, pode-se classificá-la conforme a Tabela 21.

O principal questionamento desse assunto está relacionado ao papel da salinidade sobre o camarão. O camarão marinho da espécie *Litopenaeus vannamei* se desenvolve melhor em salinidade entre 20‰ e 35‰ (Samocha, 2019). No entanto, ele pode ser cultivado em menores salinidades, desde que existam **proporções adequadas dos principais íons**. Para o camarão marinho, os íons mais importantes são: Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-} (Boyd, 2007).

Tabela 20. Concentração média dos principais íons e salinidade em águas do mar e dos rios.

Variável	Água marinha (mg/L)	Água do rio (mg/L)
Cloreto	19.000	7,8
Sódio	10.500	6,3
Sulfato	2.700	11,2
Magnésio	1.350	4,1
Cálcio	400	15,0
Potássio	380	2,3
Bicarbonato/carbonato	142	58,0
Salinidade	34.560	120

Fonte: Adaptado de Boyd (2007).

Tabela 21. Classificação das águas de acordo com a salinidade.

Tipo de água	Faixa de salinidade
Doce	<0,5‰
Oligo-halina	0,5‰–3‰
Meso-halina	3‰–16,5‰
Poli-halina	16,5‰–30‰
Marinha	30‰–40‰
Hipersalina	>40‰

Fonte: Adaptado de Esteves (2011).

A ausência desses cátions e ânions afeta a sobrevivência dos animais (especialmente durante a aclimação para água com baixa salinidade), a taxa de conversão alimentar (FCA) e a produtividade (kg/m^3) dos camarões cultivados. Além disso, pode afetar atividades biológicas, como: bomba de sódio potássio (Na^+/K^+ ATPase), formação da carapaça, contração muscular, osmorregulação, bem

como no auxílio de processos digestivos, que são funções vitais para o camarão. Sendo assim, é necessário realizar previamente a compensação desses íons ou ao longo do cultivo com auxílio de sais minerais (Van Wyk, 1999; Li et al., 2016, 2017; Boyd, 2018).

Qual seria o papel da biocompensão mineral na redução da toxicidade dos compostos nitrogenados? Existe uma relação entre a exposição dos organismos cultivados em níveis elevados de compostos nitrogenados e seu acúmulo na hemolinfa. Essa concentração da hemolinfa é influenciada pela permeabilidade branquial, com a capacidade de excretá-los através de um gradiente de concentração entre o meio interno do camarão e o meio onde ele se encontra, processos internos de desintoxicação e fatores ambientais. Este processo é estreitamente correlacionado à osmorregulação, em que o NH_3 se difunde através das lamelas branquiais, sendo substituído por K^+ durante a atividade Na^+/K^+ -ATPase (bomba de sódio e potássio), resultando na formação de Na^+/NH_4 , e o NH_4 é excretado para o ambiente, não ocorrendo o acúmulo no animal. Por sua vez, o nitrito aumenta sua toxicidade com a diminuição da salinidade, pois o Cl^- e o NO_2^- competem pelo mesmo local de transporte nas brânquias. Por isso, manter proporções ideais dos íons por meio da biocompensão mineral permite a minimização desses problemas (Lin; Chen 2001; Valencia-Castañeda et al., 2018).

Observação: dependendo do sistema de cultivo e da sua intensificação em águas salinizadas artificialmente, recomenda-se trabalhar com salinidade acima de 10%.

Principais fertilizantes minerais utilizados para adição de íons na água

Os principais fertilizantes utilizados para biocompensão mineral são: calcário dolomítico [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], cal hidratada [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], cal dolomítica hidratada [$\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$], bicarbonato de sódio (NaHCO_3), *Lithothamnium* derivado da alga marinha, cloreto de magnésio (MgCl), cloreto de potássio (KCl), cloreto de sódio – sal (NaCl), gesso agrícola (CaSO_4), sulfato de potássio (K_2SO_4), entre outros.

É preciso, contudo, fazer a diluição desses minerais em outro reservatório antes de aplicar no viveiro de cultivo povoado ou na sua aplicação durante a preparação do viveiro, principalmente em sistema intensivo, sendo aconselhável aguardar de 2 a 3 dias após a aplicação para que ocorra a reação completa do produto na água. Além disso, é necessário ficar atento aos sais mais indicados para a correção, pois alguns deles influenciam diretamente nas variáveis da água, como o pH e a temperatura. É importante compreender que os fertilizantes minerais adquiridos não são puros e que alguns fatores importantes devem ser levados em consideração para tomada de decisão sobre qual fertilizante utilizar:

1. Capacidade de compensar os minerais (% do íon no fertilizante).
2. Capacidade de compensar, caso for um alcalinizante:
 - Teor de CaO e MgO .
 - Poder de neutralização (PN).
 - Reatividade (RE).
 - $\text{PRNT} = \text{PN} \times \text{RE} / 100$.

3. Pureza do produto.
4. Fator econômico.

O produto escolhido pode conter níveis baixos de solubilização com a água e também baixos níveis de íons que deseja repor, onerando a compensação de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-}) ao final do cultivo e, dessa forma, inviabilizando o equilíbrio iônico na água.

Cálculo da quantidade de íons adicionados à água

O equilíbrio iônico são proporções de determinados cátions e ânions expressos em miligrama por litro que devem ser mantidos para que os organismos se desenvolvam de forma mais saudável. Essas proporções são baseadas na água do mar: Na:Ca = 26:1; Na:K = 28:1; Na:Mg = 8:1; Cl:Na = 1,8:1; Ca:K = 1:1 e Mg:Ca = 3:1 (Roy et al., 2010). Essas relações variam de ambiente para ambiente, necessitando realizar a reposição.

Antes de realizar a compensação iônica, baseada nas proporções entre os íons, é necessário realizar uma análise prévia da água de onde se planeja iniciar um cultivo de camarão.

A amostra de água para análise deve ser retirada diretamente na fonte, ou, quando nos viveiros, próximo à comporta de drenagem em uma profundidade média ao qual represente metade da lâmina da água. Essa coleta deve ser realizada no período da manhã, em uma embalagem limpa e com um período de transporte inferior a 4 horas para o laboratório². Para água de poço, rio

ou açude, é preciso repetir a mesma regra para profundidade de coleta e em áreas centrais que contenham a maior profundidade. Para o transporte da amostra com um período superior a 30 minutos, a água deve ser acondicionada em um recipiente em local resfriado e isolado da luz (Técnicas..., 2017).

Após a análise, é preciso saber que a bio-compensação mineral busca equiparar as proporções presentes na água do mar. Para encontrar essas concentrações, multiplica-se a salinidade desejada pelo fator de cada íon (esse fator é definido por meio de razão da concentração de cada íon presente na água do mar pela salinidade média da água do mar) (Tabela 22). Como o exemplo a seguir (Figura 45), em que 4‰ é a salinidade que se deseja atingir no ambiente (Roy et al., 2010):

Tabela 22. Fator de conversão utilizado para estimar as concentrações dos íons para cultivo de camarões marinhos em diversas salinidades.

Íon	Fator de conversão
Cloreto	551,0
Sódio	304,5
Sulfato	78,3
Magnésio	39,1
Cálcio	11,6
Potássio	10,7

Fonte: Adaptado de Roy et al. (2010).

Tomando-se o cálcio como exemplo, o fator deste íon é de 11,6. Para saber a concentração ideal para salinidade de 4‰, será utilizada a seguinte equação: fator x salinidade ao qual se deseja trabalhar. Nesse caso, seria 11,6 (fator) x 4 (salini-

² As análises poderão ser realizadas pelo produtor por meio de kits titulométricos disponíveis no mercado ou encaminhadas para laboratórios especializados em análise de água.

Íon	Fator		Concentração desejada
Cálcio	11,6	Cálcio $11,6 \times 4 = 46,4 \text{ mg/L}$ ⇒	46,4
Magnésio	39,1		156,4
Potássio	10,7		42,8
Sódio	304,5		1.218
Cloreto	551		2.204
Sulfato	78,3		313,2

Figura 45. Exemplo de multiplicação dos íons pelo fator de conversão.

dade) = 46,4 mg/L ou g/m³ a concentração na qual o cálcio deveria encontrar-se para salinidade de 4%.

Caso o íon fosse modificado, como seria o processo? A mesma forma! Contudo, alteraria o fator considerado na equação. Como exemplo, o potássio: para descobrir a concentração ideal do potássio na salinidade de 4 %, seria preciso utilizar o fator 10,7 x a salinidade ao qual se deseja trabalhar 4 (10,7 x 4). Com isso, precisa-se de 42,8 mg/L ou grama por metro cúbico (g/m³) do íon de potássio na salinidade 4% conforme exemplificado na Figura 45.

Após isso, com o resultado da análise de água em mãos (Tabela 23), deve-se fazer a diferença da quantidade da concentração ideal para determinada salinidade, como visto anteriormente, pela concentração encontrada na amostra, seguindo o exemplo do laudo de uma análise.

É necessário verificar, a princípio, se a análise de água (doce, oligo-halina, meso-halina, poli-halina ou marinha) é confiável, pois a metodologia utilizada pode causar interferência nos sais dissolvidos, admitindo-se uma confiabilidade para diferença de até 15%. A diferença média é

um teste em que se assume que os principais íons compreendem a maioria dos

Tabela 23. Resultado da análise de água do poço 4.

Parâmetro	Resultado
PH	8,2
Temperatura (°C)	28,4
Cor (Pt/Co) (mg/L ou UH)	1,0
Turbidez (mg/L ou UT)	1,3
Alcalinidade parcial (mg/L CaCO ₃)	20,00
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	130,00
Amônia (mg/L N-NH ₃)	0,0
Cálcio (mg/L Ca)	32,0
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	3.150,0
Condutividade elétrica (µS/cm)	6.260
Densidade (mg/L)	1,003
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	228,32
Dureza de cálcio (mg/L CaCO ₃)	80,0
Dureza de magnésio (mg/L CaCO ₃)	148,32
Magnésio (mg/L Mg)	36,0
Nitrato (mg/L N-NO ₃)	4,98
Nitrito (mg/L N-NO ₂)	0,01
Ferro (mg/L Fe)	0,14
Potássio (mg/L K ⁺)	1,86
Salinidade (0/00)	4,0
Sódio (mg/L Na)	1.751,84
Sólidos totais dissolvidos (STD) (mg/L)	3.130
Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻)	239,35

íons dissolvidos na água e que o peso equivalente dos íons carregados positivamente (cátions) seja igual aos carregados negativamente (ânions), assumindo o princípio da neutralidade. O resultado que apresentar diferença acima de 15% deverá ser realizado novamente, por meio de uma nova amostra de água, ou metodologia adotada pelo laboratório, ou em um laboratório diferente. Quanto menor essa diferença, mais confiável é a análise (Boyd, 2002).

Observação: ainda não existem estudos sobre o princípio da neutralidade em águas de poços e rios com elevada concentração de dureza total e baixa concentração de alcalinidade total, pois essa grande diferença na concentração destes parâmetros poderá aumentar a margem de erro no resultado destas amostras, assim como águas que foram salinizadas recentemente.

Para encontrar a diferença média, é preciso seguir a equação:

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{(\Sigma \hat{\text{ÂNIIONS}} - \Sigma \hat{\text{CÁTIONS}})}{((\Sigma \hat{\text{ÂNIIONS}} + \Sigma \hat{\text{CÁTIONS}})/2)} \times 100$$

Para determinação dos cátions e ânions, afim de encontrar a diferença média, transforma-se a concentração dos íons em miliequivalente por litro (meq/L) (se os íons se encontrarem em miligrama por litro ou em grama por metro cúbico). Para isso, precisa-se transformar os íons de sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloreto, bicarbonato, carbonato e sulfato da amostra, dividindo pelo fator (peso molecular ÷ valência) de cada íon correspondente, exemplificado na Tabela 24.

É necessário, contudo, determinar a concentração de bicarbonato e carbonato (Tabela 25) presente na alcalinidade da água do poço 4 (Tabela 23), a qual é obtida pelo seguinte exemplo.

Tabela 24. Transformação da concentração dos íons de miligrama por litro (mg/L) para miliequivalente por litro (meq/L).⁽¹⁾

Íon	Concentração da amostra (mg/L)	Peso molecular ÷ valência	meq/L
Sódio (Na ⁺)	1.751,84	23 ÷ 1 = 23,00	76,16
Cálcio (Ca ⁺²)	32	40,08 ÷ 2 = 20,04	1,60
Potássio (K ⁺)	1,86	39,1 ÷ 1 = 39,10	0,04
Magnésio (Mg ⁺²)	36	24,3 ÷ 2 = 12,15	2,96
Cátions totais	-	-	80,76
Cloretos (Cl ⁻)	3.150	35,45 ÷ 1 = 35,45	88,85
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	90	61,01 ÷ 1 = 61,01	1,47
Carbonatos (CO ₃ ⁻²)	40	60 ÷ 2 = 30,00	1,33
Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	239,35	96,06 ÷ 2 = 48,03	4,98
Ânions totais	-	-	96,63

⁽¹⁾ Transformação feita por meio da divisão dos íons de sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloreto, bicarbonato, carbonato e sulfato da amostra (valores numéricos na coluna 2) pelo fator (peso molecular ÷ valência) de cada íon correspondente (valores numéricos na coluna 3).

Exemplo:

AP = 20 mg CaCO₃ L⁻¹

AT = 130 mg CaCO₃ L⁻¹

Dessa forma, AP < ½ de AT = 20 < (130/2)

1. Calcula-se a concentração de carbonatos, que é a alcalinidade em CO₃²⁻

Alcalinidade em CO₃²⁻ = Alcalinidade Parcial (mg CaCO₃ L⁻¹) × 2

Alcalinidade em CO₃²⁻ = 20 mg CaCO₃ L⁻¹ × 2

Alcalinidade em CO₃²⁻ = 40 mg L⁻¹

2. Calcula-se a concentração de bicarbonatos. Bicarbonatos é a diferença entre alcalinidade total e 2 × alcalinidade parcial, em HCO₃⁻

Alcalinidade em HCO₃⁻
= [Alcalinidade total (mg L⁻¹ CaCO₃) - [Alcalinidade parcial (mg L⁻¹ CaCO₃) × 2]

Alcalinidade em HCO₃⁻ = 130 - (20 × 2)

Alcalinidade em HCO₃⁻ = 90 mg L⁻¹

Aplicando-se na equação da diferença média, tem-se:

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{|(96,63 - 80,76)|}{((96,63 + 80,76)/2)} \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{15,87}{88,69} \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = 0,1789 \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = 17,89\%$$

Isso indica que é preciso refazer a análise de água ou procurar um laboratório que adote uma metodologia de análise mais precisa.

Tabela 25. Relação da alcalinidade total com alcalinidade parcial para determinação de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos.

Leitura ⁽¹⁾	Alcalinidade		
	Hidróxido	Carbonato	Bicarbonato
AP = 0	0	0	AT
AP = AT	AT	0	0
AP < ½ AT	0	2 AP	AT - (2AP)
AP = ½ AT	0	2 AP	0
AP > ½ AT	2 AP - AT	2 (AT - AP)	0

⁽¹⁾AP = alcalinidade parcial; AT = alcalinidade total.

Fonte: Adaptado de Boyd (2020).

Agora este resultado será analisado de outra amostra de água de poço (Tabela 26):

Tabela 26. Resultado da análise de água do poço 12.

Parâmetro	Resultado
PH	8,4
Temperatura (°C)	28,4
Cor (Pt/Co) (mg/L ou UH)	1,0
Turbidez (mg/L ou UT)	1,3
Alcalinidade parcial (mg/L CaCO ₃)	0,00
Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)	95,00
Amônia (mg/L N-NH ₃)	0,0
Cálcio (mg/L Ca)	38,4
Cloretos (mg/L Cl ⁻)	1.364,83
Condutividade elétrica (µS/cm)	3240
Densidade (mg/L)	1,003
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	596,0
Dureza de cálcio (mg/L CaCO ₃)	96,0
Dureza de magnésio (mg/L CaCO ₃)	500,0
Magnésio (mg/L Mg)	121,15
Nitrato (mg/L N-NO ₃)	4,98
Nitrito (mg/L N-NO ₂)	0,01
Ferro (mg/L Fe)	0,1
Potássio (mg/L K ⁺)	59,3
Salinidade (0/00)	3,49
Sódio (mg/L Na)	754,20
STD (sólidos totais) dissolvidos (mg/L)	3.130
Sulfato (mg/L SO ₄ ⁻)	298,7

É necessário verificar se a análise de água é confiável calculando-se a diferença média pela equação a seguir:

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{|(\sum \text{ÂNIONS} - \sum \text{CÁTIONS})|}{((\sum \text{ÂNIONS} + \sum \text{CÁTIONS})/2)} \times 100$$

Para isso, deve-se primeiramente transformar a alcalinidade em carbonatos e bicarbonatos:

AP = 0 mg CaCO₃ L⁻¹

AT = 95 mg CaCO₃ L⁻¹

1. A concentração de carbonatos é a alcalinidade em CO_3^{2-} , que, nesse caso, é 0 (zero).
2. Nesse caso, a concentração de bicarbonatos é igual a alcalinidade total em HCO_3^- , que é 95 mg L^{-1} .

Agora transformam-se todos os íons em miliequivalente por litro (meq/L), conforme a Tabela 27.

Aplicando na equação da diferença média, tem-se:

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{|(46,18 - 46,27)|}{((46,18 + 46,27)/2)} \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = \frac{0,09}{46,22} \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = 0,00194 \times 100$$

$$\text{Diferença média (\%)} = 0,194 \%$$

Isso significa que a análise de água é bastante confiável.

Calcula-se a concentração ideal dos íons pelo fator de conversão de cada íons e a salinidade, que, nesse caso, é 3,5%, conforme demonstrado na Figura 46.

Tabela 27. Transformação da concentração dos íons de miligrama por litro (mg/L) para miliequivalente por litro (meq/L).⁽¹⁾

Íon	Concentração da amostra (mg/L)	Peso molecular ÷ valência	meq/L
Sódio (Na^+)	754,20	$23 \div 1 = 23,00$	32,79
Cálcio (Ca^{+2})	38,4	$40,08 \div 2 = 20,04$	1,91
Potássio (K^+)	59,3	$39,1 \div 1 = 39,10$	1,51
Magnésio (Mg^{+2})	121,15	$24,3 \div 2 = 12,15$	9,97
Cátions totais	-	-	46,18
Cloretos (Cl^-)	1.364,83	$35,45 \div 1 = 35,45$	38,50
Bicarbonatos (HCO_3^-)	95	$61,01 \div 1 = 61,01$	1,56
Carbonatos (CO_3^{2-})	0	$60 \div 2 = 30,00$	0
Sulfatos (SO_4^{2-})	298,7	$96,06 \div 2 = 48,03$	6,21
Ânions totais	-	-	46,27

⁽¹⁾Transformação feita por meio da divisão dos íons de sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloreto, bicarbonato e sulfato da amostra (valores numéricos na coluna 2) pelo fator (peso molecular ÷ valência) de cada íon correspondente (valores numéricos na coluna 3).

Íon	Fator		Íon	Concentração desejada
Cálcio	11,6	Cálcio $11,6 \times 3,5 = 40,6 \text{ mg/L}$ 	Cálcio	40,6
Magnésio	39,1		Magnésio	136,85
Potássio	10,7		Potássio	37,45
Sódio	304,5		Sódio	1.065,75
Cloreto	551		Cloreto	1.928,5
Sulfato	78,3		Sulfato	274,05

Figura 46. Determinação da concentração desejada dos íons.

Cálcio:

- Análise da amostra de cálcio: 38,4 mg/L
- Concentração desejada de cálcio: 40,6 mg/L
- Diferença entre eles: 40,6 mg/L - 38,4 mg/L = 2,2 mg/L

Observação: deve-se adicionar a concentração de 2,2 mg/L de cálcio para atingir a concentração desejada.

Magnésio:

- Análise da amostra de magnésio: 121,15 mg/L
- Concentração desejada de magnésio: 136,85 mg/L
- Diferença entre eles: 136,85 mg/L - 121,15 mg/L = 15,7 mg/L

Observação: deve-se adicionar a concentração de 15,7 mg/L de magnésio para atingir a concentração desejada.

Potássio:

- Análise da amostra de potássio: 59,30 mg/L
- Concentração desejada de potássio: 37,45 mg/L
- Diferença entre eles: 37,45 mg/L - 59,3 mg/L = -21,85 mg/L

Observação: não é necessário adicionar potássio na água, pois a quantidade existente ultrapassa o valor desejado.

Sódio:

- Análise da amostra de sódio: 754,20 mg/L
- Concentração desejada de sódio: 1.065,75 mg/L
- Diferença entre eles: 754,20 mg/L - 1.065,75 mg/L = 311,55 mg/L

Observação: deve-se adicionar a concentração de 311,55 mg/L de sódio para atingir a concentração desejada.

Cloreto:

- Análise da amostra de cloreto: 1.364,83 mg/L
- Concentração desejada de cloreto: 1.928,50 mg/L
- Diferença entre eles: 1.928,5 mg/L - 1.364,83 mg/L = 563,67 mg/L

Observação: deve-se adicionar a concentração de 563,67 mg/L de cloreto para atingir a concentração desejada.

Sulfato:

- Análise da amostra de sulfato: 298,70 mg/L
- Concentração desejada de sulfato: 274,05 mg/L
- Diferença entre eles: 274,05 mg/L - 298,7 mg/L = -24,65 mg/L

Observação: não é necessário adicionar sulfato na água, pois a quantidade existente ultrapassa o valor desejado.

A diferença a ser adicionada de cada íon pode ser observada na Tabela 28.

Vários produtos já têm sua concentração de íons definida (Tabela 29), com algumas variações nas concentrações por causa do seu grau de pureza e após serem adicionadas na água, em decorrência de fatores físico-químicos, como salinidade, alcalinidade, dureza, pH e temperatura.

A seguir, é necessário saber quanto de produto necessita para realizar a reposição desses íons. Será feito o exemplo de quanto se deve adicionar de cálcio, magnésio, sódio e cloro em um tanque de 200 m³:

- Cálcio (Ca) = 2,2 g/m³ x 200m³ = 440 g = 0,44 kg de cálcio.

Tabela 28. Cálculo da concentração a ser adicionada de cada íon.

Íon	Concentração desejada (mg/L)	Concentração da amostra (mg/L)	Concentração a ser adicionada (mg/L)
Cálcio	40,6	38,4	2,2
Magnésio	136,85	121,15	15,7
Potássio	37,45	59,3	Não precisa
Sódio	1.065,75	754,20	311,55
Cloreto	1.928,5	1.364,83	563,67
Sulfato	274,05	298,7	Não precisa

Tabela 29. Concentração dos principais íons presente nos minerais utilizados para fertilização.

Fertilizante mineral	Fórmula	Composição (%)					
		Ca	Na	K	SO ₄	Mg	Cl
Bicarbonato de sódio	NaHCO ₃	-	27,3	-	-	-	-
Calcário dolomítico	CaCO ₃ .MgCO ₃	21,7	-	-	-	13	-
Carbonato de cálcio ou calcário calcítico	CaCO ₃	40	-	-	-	-	-
Cloreto de potássio	KCl	-	-	52,4	-	-	47,5
Cloreto de sódio	NaCl	-	39	-	-	-	61
Cloreto de magnésio hexa-hidratado	MgCl ₂ .6H ₂ O	-	-	-	-	11,9	34,9
<i>Lithothamnium</i>		32		-	-	2	-
Óxido de cálcio	CaO	71,4	-	-	-	-	-
Óxido de magnésio	MgO	-	-	-	-	60	-
Sulfato de cálcio ou gesso agrícola	CaSO ₄ .2H ₂ O	22	-	-	53	-	-
Sulfato de magnésio ou sal de Epsom	MgSO ₄ .7H ₂ O	-	-	-	39	10	-
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	-	-	42	51	-	-

Fonte: Adaptado de: Boyd e Thunjai (2003), Davis et al. (2004) e Melo et al. (2006).

- Magnésio (Mg) = 15,7 g/m³ x 200m³ = 3.140 g = 3,14 kg de magnésio.
- Sódio (Na) = 311,55 g/m³ x 200m³ = 62.310 g = 62,31 kg de sódio.
- Cloreto (Cl) = 563,67 g/m³ x 200m³ = 112.734 g = 112,73 kg de cloreto.

Observação: neste caso, não é necessário ajustar os íons de potássio e sulfato, por estes se encontrarem acima das concentrações desejadas.

Como calcular a quantidade de cada fertilizante mineral a ser adicionado: primeiro, é necessário saber a pureza dos produtos, que geralmente contêm uma etiqueta na embalagem, e a porcentagem de cada mineral. Outras embalagens vêm somente com a pureza e outras não apresentam essas informações.

Pode-se determinar a quantidade aproximada do produto por meio do peso molecular, por exemplo:

- CaCO_3 (carbonato de cálcio) tem peso molecular = 100, pois $\text{Ca} = 40,0$, $\text{C} = 12,0$ e $\text{O} = 16,0$.

Então, $\text{Ca} + \text{C} + \text{O}_3 = 40,0 + 12 + (16,0 \times 3) = 100$.

100% CaCO_3 - 100 X = 40% de cálcio
X% Ca - 40

Então, em 1 kg de CaCO_3 tem-se 0,4 kg de cálcio, se o produto for puro. Isso pode ser comprovado por meio de ensaios com a aplicação de uma concentração conhecida do produto na água para avaliar o percentual de incorporação do íon ao longo do tempo.

Para produtos que não possuem um elevado grau de pureza, o percentual do íon dentro do produto pode ser encontrado a partir da seguinte equação:

$$\begin{aligned} & \text{Quantidade do íon no produto (g)} \\ & = \text{Quantidade do produto (g)} \times \text{pureza do} \\ & \quad \text{produto (\%)} \times \% \text{ ion no produto} \end{aligned}$$

Considerando 1 kg de carbonato de cálcio com pureza de 85%, então, tem-se:

$$\begin{aligned} \text{Quantidade do íon no produto (g)} &= \\ & 1.000 \text{ g} \times 85\% \times 40\% \end{aligned}$$

$$\text{Quantidade do íon no produto} = 340 \text{ g}$$

Considerando os produtos puros para correção dos sais analisados, serão necessárias as seguintes quantidades:

Cálcio:

Carbonato de cálcio (CaCO_3) tem uma concentração de 40% de cálcio, então, para adicionar 0,44 kg, tem-se:

- 1 kg $\text{CaCO}_3 = 0,4$ kg de Ca
Logo, será necessário 1,1 kg de CaCO_3 para adicionar 0,44 kg de cálcio.

Magnésio:

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ tem uma concentração de 11,9% de magnésio, então, para adicionar 3,14 kg, tem-se:

- 1 kg $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,119$ kg de Mg
Portanto, é necessário 26,4 kg de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para adicionar a quantidade de magnésio necessária na água.

Uma alternativa para substituir o cloreto de magnésio hexa-hidratado é a utilização de sal de Epsom (sulfato de magnésio- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), neste caso, para a aplicação de 3,14 kg de magnésio através deste produto precisamos:

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tem uma concentração de 10% de magnésio, então, para adicionar 3,14 kg, tem-se:

- 1 kg $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0,10$ kg de Mg
Logo, é necessário 31,4 kg de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para adicionar 3,14 kg de magnésio na água.

Sódio:

O NaCl tem uma concentração de 39% de sódio, então, para adicionar 62,31 kg de sódio tem-se:

- 1 kg NaCl = 0,39 kg de Na
Portanto, é necessário 159,77 kg de NaCl para adicionar 62,31 kg de sódio na água.

Cloreto:

Já foi adicionado o íon cloreto por meio da adição de 26,4 kg de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e de 159,77 kg NaCl, desta forma teremos:

- 1 kg de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 0,349$ kg de Cl
Então, em 26,4 kg de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ teremos 9,21 kg de Cl:

- 1 kg de NaCl = 0,610 kg de Cl
Então, em 159,77 kg de NaCl teremos 97,46 kg de Cl.

Precisa ser adicionado no tanque 112,73 kg de cloreto, como já foi adicionado 106,67 kg por meio do $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e do NaCl, faltando ainda 6,06 kg de cloreto.

Nesse caso, a quantidade de cloreto adicionada é próxima da quantidade desejada, ficando uma concentração de 1.898,18 g/m³. A adição de mais cloreto presente em outros produtos irá alterar a concentração dos outros íons.

- Evitar fertilizantes que apresentam nitrogênio em sua composição, pois estes disponibilizam compostos nitrogenados no ambiente, como a amônia e o nitrito, que possuem elevada toxicidade em água com baixa salinidade.

Dependendo de certas características da ureia, do nitrato de amônio e do teor de cloreto de sódio no cloreto de potássio, as misturas desses produtos podem apresentar certo grau de incompatibilidade.

É necessário monitorar os íons adicionados via fertilizantes na água, pois os íons serão destinados ao desenvolvimento dos animais que estão sob cultivo e também pela comunidade bacteriana.

Considerações finais

O cultivo de camarões marinhos da espécie *Litopenaeus vannamei* pode ser uma atividade lucrativa e compensadora, mas é preciso atenção no cultivo para obter sucesso. Por isso, durante todo o período de cultivo, diversos manejos devem ser realizados, como: alimentação dos camarões, monitoramento das variáveis de qualidade de água, manutenção de fertilização, biossegurança, entre outras ações de rotina. A manutenção da qualidade de água é um dos pontos críticos do cultivo de organismos aquáticos.

O conteúdo desta publicação procurou elucidar aspectos relativos ao monitoramento, controle e importância dos compostos nitrogenados na carcinicultura (planejamento e execução), assim como de outras variáveis de qualidade de água e

suas interações. De modo geral, os assuntos abordados nesta obra podem auxiliar produtores de camarão na manutenção da qualidade de água durante o cultivo, fornecendo informações acerca de técnicas de maturação e manutenção da fertilização da água, do conjunto de microrganismos presentes no sistema e das concentrações ideais de cada variável, tornando o controle das variáveis ambientais mais eficiente. Afinal, elevadas concentrações dos compostos nitrogenados podem prejudicar o desenvolvimento dos camarões, causando redução do consumo alimentar, do crescimento e da sobrevivência.

Considerando que nos sistemas de cultivo, dependendo das estratégias de manejo e fertilização adotadas e das condições ambientais, a conversão do nitrogênio amoniacal total (NAT) pode acontecer de diferentes formas (algas fotoautotrófica, bactérias autotróficas e bactérias heterotróficas), é de grande importância para o sucesso do cultivo uma boa gestão da qualidade da água, principalmente em sistemas intensivos. Nesses sistemas, graças à menor troca de água e maior densidade de estocagem, juntamente com as sobras de ração e material fecal, pode haver acúmulo de sólidos e de nutrientes (nitrogênio e fósforo).

Referências

AGUILERA-RIVERA, D.; PRIETO-DAVÓ, A.; RODRÍGUEZ-FUENTES, G.; ESCALANTE-HERRERA, K. S.; GAXIOLA, G. A. Vibriosis outbreak in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc and clear seawater. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 167, ed. 107246. 2019. DOI: 10.1016/j.jip.2019.107246.

- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo: Anda, 1992.
- ALVES, C. F.; BORTOLUCI, C. B. C.; OLIVEIRA, E. P.; PIZZO, M. M.; RODRIGUEZ, R. P. Remoção biológica de nitrogênio em águas residuárias: uma revisão dos processos convencionais aos processos modernos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 3. p. 174-187, fev.-mar. 2018. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.0015.
- AVNIMELECH, Y. **Biofloc technology:** a practical guide book. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2009. 182 p.
- AVNIMELECH, Y. **Biofloc technology:** a practical guide book. 2nd ed. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2012. 258 p.
- BALCÁZAR, J. L.; BLAS, I. D.; RUIZ-ZARZUELA, I.; CUNNINGHAM, D.; VENDRELL, D.; MÚZQUIZ, J. L. The role of probiotics in aquaculture. **Veterinary microbiology**. v. 114, n. 3-4, p. 173-186, May 2006. DOI: 10.1016/j.vetmic.2006.01.009.
- BARBIERI, R. C. J.; OSTRENSKY, A. **Camarões marinhos:** engorda. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 370 p.
- BERNSTEIN, H.; BERNSTEIN, C. Sexual Processes in Microbial Eukaryotes. **Parasitology and Microbiology Research**. 2020. DOI:10.5772/intechopen.88469.
- BETT, C.; VINATEA, L. Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate. **Brazilian Journal of Oceanography**. v. 57, n. 4, Dec. 2009. DOI: 10.1590/S1679-87592009000400005.
- BOYD, C. E. Anion-cation balance in water. **Global Aquaculture Advocate**. 2002. Disponível em: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/anion-cation-balance-in-water/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- BOYD, C. E. Aquaculture pond fertilization. **CAB Reviews**, v. 13, n. 2, p.1-2, 2018. DOI: 10.1079/PAVSNR201813002.
- BOYD, C. E. Salinity balance key to culture success. **Global Aquaculture Advocate**. 2007. Disponível em: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/salinity-balance-key-to-culture-success/?headlessPrint=AAAAPIA9c8r7gs82oWZBA>. Acesso em: 20 dez. 2020.
- BOYD, C. E. **Water quality:** an introduction. 2nd ed. New York: Springer, 2015. 357 p.
- BOYD, C. E. **Water quality:** an introduction. 3rd ed. New York: Springer, 2020. 452 p.
- BOYD, C. E.; CLAY, J. W. **Evaluation of Belize Aquaculture Ltd:** a superintensive shrimp aquaculture system. A Report Prepared for the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment, 2002. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.8794&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 13 jun. 2021.
- BOYD, C. E.; THUNJAI, T. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 34, n. 4, p. 524-532, 2003. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2003.tb00092.x
- BOYD, C. E.; TUCKER, C. S. **Pond aquaculture water quality management**. New York: Springer, 1998. DOI: 10.1007/978-1-4615-5407-3
- BRITO, L. O.; SILVA, A. E. M.; SANTOS, E. P.; LIMA, P. C. M.; GÁLVEZ, A. O.; SILVA, S. M. B. C. da; SILVA, D. A.; ANDRADE, R. J. V. Utilização do sistema simbiótico em berçário de camarões marinhos. **Aquaculture Brasil**, v. 18, p. 11-15, 2020.
- BURFORD, M. A.; THOMPSON, P. J.; MCINTOSH, R. P.; BAUMAN, R. H.; PERSON, D. C. Nutrient and microbial dynamics in high intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. **Aquaculture**, v. 219, p. 393-411, Apr. 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00575-6.
- CHAMBERLAIN, G.; AVNIMELECH, Y.; MCINTOSH, R.P.; VELASCO, M. Advantages of aerated microbial reuse systems with balanced C:N – III: Practical

applications. **Global Aquaculture Advocate**, v. 4, p. 50-54, Oct. 2001.

CHÁVEZ, J. **Curso de águas I**. 2005. Disponível em: <https://abccam.com.br/>. Acesso em: 4 maio 2020.

CHEN, S.; LING, J.; BLANCHETON, J. P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. **Aquacultural Engineering**, v. 34, p. 179-197, May 2006. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2005.09.004.

CHEN, Y. Y.; CHEN, J. C.; TSENG, K. C.; LIN, Y. C.; HUANG, C. L. Activation of immunity, immune response, antioxidant ability, and resistance against *Vibrio alginolyticus* in white shrimp *Litopenaeus vannamei* decrease under long-term culture at low pH. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 46, n. 2, p. 192-199, Oct. 2015. DOI: 10.1016/j.fsi.2015.05.055.

COSTA, S. W.; VICENTE, L. R. M.; SOUZA, T. M.; ANDREATTA, E. R.; MARQUES, M. R. F. Parâmetros de cultivo e a enfermidade da mancha-branca em fazendas de camarões de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1-10, dez. 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2010001200025.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, n. 1-4, p. 1-14, Sept. 2007. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2007.05.006.

DAVIS, D. A.; SAMOCHA, T. M.; BOYD, C. E. Acclimating pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, to inland, low-salinity waters. **Southern Regional Aquaculture Center (SRAC)**, v. 2601, June 2004.

DE SCHRIVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOOM, N.; VERSTRAETE, W. The basis of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. **Aquaculture**, v. 277, p. 125-137, June 2008. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2008.02.019.

DECAMP, O. E.; CONQUEST, L.; CODY, J.; FORSTER, I. Effect of shrimp stocking density on size-fractionated phytoplankton and ecological groups of ciliated protozoa within zero-water exchange shrimp culture systems. **Journal of World Aquaculture Society**, v. 38, n. 3, p. 395-406, Sept. 2007.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S. M.; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1959-1967, dez. 2006. DOI: 10.1590/S0103-84782006000600050.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 257, n. 1-4, p. 346-358, June 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.03.019.

EMERENCIANO, M. G. C.; MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R.; MARTÍNEZ-PORCHAS, M.; MIRANDA-BAEZA, A. Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In: TUTU, H. (ed.). **Water Quality**, v. 5, p. 92-109, 2017.

EMERENCIANO, M. G. C.; WASIELESKY, W.; SOARES, R. B.; BALLESTER, E. C.; IZEPPPI, E. M.; CAVALLI, R. O. Crescimento e sobrevivência do camarão-rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) na fase berçário em meio heterotrófico. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2007. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v29i1.120.

ERKEN, M.; LUTZ, C.; MCDUGALD, D. Interactions of *Vibrio* spp. with zooplankton. **Microbiological Spectrum**, v. 3, n. 3, p. 1-15, 2015. DOI: 10.1128/microbiolspec.VE-0003-2014.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência/Finep, 2011. 826 p.

FAO. FAO yearbook. **Fishery and Aquaculture Statistics 2018**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020b.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2018: Meeting the sustainable development goals**. Rome: Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2018. 227 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action**. Rome: Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2020a. 244 p.

- FARIA, R. H. S. A.; MORAIS, M.; SORANNA, M. R. G. S.; SALLUM, W. B. **Manual de criação de peixes em viveiro**. Brasília, DF: Codevasf, 2013. 136 p.
- FARZANFAR, A. The use of probiotics in shrimp aquaculture. **FEMS Immunology and Medical Microbiology**, v. 48, n. 2, p. 149-158, Nov. 2006. DOI: 10.1111/j.1574-695X.2006.00116.x.
- FRÍAS-ESPERICUETA, M. G.; PAÉZ-OSUNA, F. Toxicidad de los compuestos del nitrógeno en camarones, In: PAÉZ-OSUNA, F. (ed.). **Camaronicultura y Medio Ambiente**. Sinaloa: El Colegio de Sonora, Mazatlán, 2001. p. 253-276.
- FURTADO, P. S. **O efeito do hidróxido de cálcio, do carbonato e do bicarbonato de sódio na qualidade de água e no desempenho zootécnico do camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado com tecnologia de bioflocos (BFT)**. 2011. 48 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- FURTADO, P. S.; CAMPOS, B. R.; SERRA, F. P.; KLOSTERHOFF, M.; ROMANO, L. A.; WASIELESKY, W. Effects of nitrate toxicity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared with biofloc technology (BFT). **Aquaculture International**, v. 23, p. 315-327, 2015. DOI:10.1007/s10499-014-9817-z.
- FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY, W. Effect of calcium hydroxide, carbonate and sodium bicarbonate on water quality and zootechnical performance of shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in bioflocs technology (BFT) systems. **Aquaculture**, v. 321, n. 1-2, p. 130-135, Nov. 2011. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.08.034.
- FURTADO, P. S.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY, W. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). **Aquaculture International**, v. 23, n.1, p. 345-358, 2015. DOI: 10.1007/s10499-014-9819-x.
- FURTADO, P. S.; SERRA, F. P.; GAONA, C. A. P.; POERSCH, L. H.; WASIELESKY, W. Cultivo de camarões marinhos com tecnologia de bioflocos: A influência da Alcalinidade, pH e CO₂. **Panorama da Aquicultura**, p. 44-53, July 2013.
- GAONA, C. A. P.; POERSCH, L. H.; KRUMMENAUER, D.; FOES, G. K.; WASIELESKY, W. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc technology culture system. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v. 12, p. 54-73, 2011. DOI:10.21061/ijra.v12i1.1354.
- GE, H.; LI, J.; CHANG, Z.; CHEN, P.; SHEN, M.; ZHAO, F. Effect of microalgae with semicontinuous harvesting on water quality and zootechnical performance of white shrimp reared in the zero water exchange system. **Aquacultural Engineering**, v. 72, p. 70-76, May-July 2016. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2016.04.006.
- GERARDI, M. H. **Wastewater microbiology: nitrification/denitrification in the activated sludge process**. New York: John Wiley and Sons, 2002.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of fresh water**. 2nd ed. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 214 p.
- GROSS, A.; ABUTBUL, S.; ZILBERG, D. Acute and chronic effects of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in low salinity brackish water. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 35, n. 3, p. 315-321, Sept. 2004. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2004.tb00095.x.
- GUERRELHAS, A. C. B.; TEIXEIRA, A. P.; ALPOIM, C.; GODOY, E. Cultivo intensivo: pode ser a solução para o aumento da produção da carcinicultura? **Panorama da Aquicultura**, v. 21, n. 123, p. 52-57, 2011.
- HAGOPIAN, D. S.; RILEY, J. G. A closer look at the bacteriology of nitrification. **Aquacultural Engineering**, v. 18, n. 4, p. 223-244 Oct. 1998. DOI: 10.1016/s0144-8609(98)00032-6
- HAI, N. V.; FOTEDAR, R. A. Review of Probiotics in Shrimp Aquaculture. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 22, n. 3, p. 251-266, 2010. DOI: 10.1080/10454438.2010.500597.
- HARGREAVES, J. A. **Biofloc production systems for aquaculture**. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center, 2013. 4503 p.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro, 2020.

ITUASSÚ, D. R.; SPERA, S. T. **Abordagem prática do dimensionamento da demanda hídrica em projetos de piscicultura**. Sinop, MT: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018. 17 p. (Embrapa Agrossilvipastoril. Circular técnica, 2).

JAMALI, H.; AHMADIFARD, N.; ABDOLLAHI, D. Evaluation of growth, survival and body composition of larval white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed the combination of three types of algae. **International Aquatic Research**, v. 7, n. 2, p. 115-122, 2015. DOI: 10.1007/s40071-015-0095-9.

JUMAAH, N.; JOSHI, S. R.; SANDAI, D. Prevalence of bacterial contamination when using a diversion pouch during blood collection: a single center study in Malaysia. **Malaysian Journal of Medical Science**, v. 21, n. 3, p. 47-53, May 2014.

KIRCHMAN, D. L. Uptake and Regeneration of Inorganic Nutrients by Marine Heterotrophic Bacteria. In: KIRCHMAN, D. L. (ed.). **Microbial Ecology of the Oceans**. New York: Wiley-Liss, 2000. p. 262-288.

KIRK, K. R. **Modeling microbial and nutrient dynamics in zero-discharge aquaculture systems**. 2010. Dissertation (PhD) – Clemson University, Clemson, South Carolina.

KRUMMENAUER, D.; POERSCH, L.; ROMANO, L. A.; LARA, G. R.; ENCARNAÇÃO, P.; WASIELESKY, W. The Effect of Probiotics in a *Litopenaeus vannamei* Biofloc Culture System Infected with *Vibrio parahaemolyticus*. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 26, n. 4, p. 370-379, Nov. 2014. DOI: 10.1080/10454438.2014.965575.

KUBITZA, F. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: F. Kubitza, 2013.

KUHN, D. D.; SMITH, S. A.; BOARDMAN, G. D.; ANGIER, M. W.; MARSH, L.; FLICK JUNIOR, G. J. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. **Aquacultures**, v. 309, p. 109-114, Nov. 2010. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.09.014.

KUMAR, S. D.; SANTHANAM, P.; ANANTH, S.; KAVIYARASAN, M.; NITHYA, P.; DHANALAKSHMI, B.; PARK, M. S.; KIM, M. K. Evaluation of suitability of wastewater-grown microalgae (*Picochlorum maculatum*) and copepod (*Oithona rigida*) as live feed for white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* post-larvae. **Aquaculture International**, v. 25, n. 1, p. 393-411, 2017. DOI: 10.1007/s10499-016-0037-6.

LI, E.; WANG, X.; CHEN, K.; XU, C.; QIN, J. G.; CHEN, L. Physiological change and nutritional requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* at low salinity. **Reviews in Aquaculture**, v. 9, n. 1, p. 57-75, 2017. DOI: 10.1111/raq.12104.

LIGHTNER, D. V. **A handbook of pathology and diagnostic procedures for diseases of penaeid shrimp**. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 1996.

LIKENS, G. E. **Plankton of inland waters: a derivative of encyclopedia of inland waters**. Cambridge: Academic Press, 2010.

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, June 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00220-5.

LIN, Y. C.; CHEN, J. C. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 259, n. 1, p.109-119, Apr. 2001. DOI: 10.1016/S0022-0981(01)00227-1.

LIU, H.; TAN, B.; YANG, J.; CHI, S.; DONG, X.; YANG, Q. Effects of aqueous Na/K and dietary K on growth and physiological characters of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low-salt well water. **Aquaculture research**, v. 47, n. 2, p. 540-553, 2016. DOI: 10.1111/are.12513.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177 p.

LOYLESS, C. L.; MALONE, R. F. A sodium bicarbonate dosing methodology for pH management in freshwater-recirculating aquaculture systems. **Progressive Fish culture**, v. 59, p. 198-205, 1997.

DOI: 10.1577/1548-8640(1997)059<0198:ASBDMF>2.3.CO;2.

MANTEL, L. H.; FARMER, L. L. Osmotic and ionic regulation. In: MANTEL, L. H. (ed.). **The Biology of Crustacea, Internal Anatomy and Physiological Regulation**. New York: Academic Press, 1983. p. 53-161.

MELO, T. V.; MENDONÇA, P. P.; MOURA, A. M. A.; LOMBARDI, C. T.; FERREIRA, R. A.; NERY, V. L. H. Solubilidade in vitro de algumas fontes de cálcio utilizadas em alimentação animal. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, n. 211, p. 297-300, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/495/49521110.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MORALES, V., CUÉLLAR-ANJEL, J. (ed.). **Guía Técnica: patología e inmunología de camarones penaeidos**. Panamá: Programa CYTED Red II-D Vannamei, 2008. 270 p.

NUNES, A. J. P. Aeração Mecânica. **Panorama da Aquicultura**, v. 70, p. 25-35, 2002. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/aeracao-mecanica/>. Acesso em: 13 jul. 2021.

OSTRENSKY, A.; COZER, N.; SILVA, U. **A produção integrada na carcinicultura brasileira**: princípios e práticas para se cultivar camarões marinhos de forma mais racional e eficiente. Curitiba: Instituto GIA, 2017b. v. 2.

OSTRENSKY, A.; STEVANATO, D.; PONT, G.; CASTILHO-WESTPHAL, G.; GIROTTI, M.; COZER, N.; GARCÍA-MADRIGAL, R.; SILVA, U. **A produção integrada na carcinicultura brasileira**: princípios e práticas para se cultivar camarões marinhos de forma mais racional e eficiente. Curitiba: Instituto GIA, 2017a. v. 1.

PÁDUA, H. B. Sem Nitrogênio não há vida. **Panorama da Aquicultura**, v. 33, 1996. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/sem-nitrogenio-nao-ha-vida/>. Acesso em: 14 ago. 2020.

PANDOLFO, C. M.; TEDESCO, M. J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 10, p. 753-758, out. 1996.

PEREIRA, L. P. F.; MERCANTE, C. T. J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81-85, 2005.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. **Características de corretivos agrícolas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 28 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 37).

RACOTTA, I. S.; PALACIOS, E.; IBARRA, A. M. Shrimp larval quality in relation to broodstock condition. **Aquaculture**, v. 227, p. 107-130, Nov. 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00498-8.

RAMÍREZ-ROCHÍN, J.; FRÍAS-ESPERICUETA, M. G.; FIERRO-SAÑUDO, J. F.; ALARCÓN-SILVAS, S. G.; FREGOSO-LÓPEZ, M. G.; PÁEZ-OSUNA, F. Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 5, p. 2337-2343, 2017. DOI: 10.1111/are.13069.

RAY, A. J.; DILLON, K. S.; LOTZ, J. M. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 127-136, 2011. DOI:10.1016/j.aquaeng.2011.09.001

REIS, J. A. T., Mendonça, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, 353-362, 2009

ROCHA, I. Os fundamentos que justificam as restrições às importações de camarões pelo Brasil. **Feed and Food**, v. 126, p. 96-102, 2017.

RODRIGUES, J. Carcinicultura Marinha - Desempenho em 2004. **Revista da ABCC**, v. 7, n. 2, p. 38-44, 2005.

ROMANO, N.; DAUDA, A. B.; IKHSAN, N.; KARIM, M.; KAMARUDIN, M. S. Fermenting rice bran as a carbon source for biofloc technology improved the water quality, growth, feeding efficiencies, and biochemical composition of African catfish *Clarias gariepinus* juveniles. **Aquaculture Research**, v. 49, n. 12, p. 3691-3701, 2018. DOI: 10.1111/are.13837.

ROY, L. A.; DAVIS, D. A.; SAOUD, I. P.; BOYD, C. A.; PINE, H. J.; BOYD, C. E. Shrimp culture in inland low salinity waters. **Reviews in Aquaculture**, v. 2, n. 4, p. 191-208, Dec. 2010. DOI: 10.1111/j.1753-5131.2010.01036.x.

SÁ, M.V.C. **Limnicultura**: limnologia para aquicultura. Fortaleza: Ed. da Universidade Federal do Ceará, 2012. 218 p.

SAMOCHA, T. M. **Sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp**. London: Academic Press, 2019.

SAMOCHA, T. M.; PRANGNELL, D. I.; HANSON, T. R.; TREECE, G. D.; MORRIS, T. C.; CASTRO, L. F.; STARESINIC, N. **Design and operation of super intensive, biofloc-dominated systems for indoor production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*** – The Texas A&M Agrilife Research experience. Louisiana: The World Aquaculture Society, 2017. 398 p,

SAOUD, I. P.; DAVIS, D. A.; ROUSE, D. B. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. **Aquaculture**, v. 217, n. 1-4, p. 373-383, Mar. 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00418-0.

SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E. H.; VERRETH, J. A. J. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 32, n. 3-4, p. 379-401, Apr. 2005. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2004.09.001.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; COSTÓDIO, P. F. S.; ESPÍRITO SANTO, C. M. do; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W. Q.; ANDREATTA, E. R. Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with on water exchange. **Aquacultural Engineering**, v. 56, p. 59-70, Sept. 2013. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2013.04.006.

SHISHEHCHIAN, F. **Mixotrophic method of aquaculture**. Depositante: Blue Aqua International Pte Ltd. US. Patente n°. 16/005,597. 2018. Disponível em: <https://patentimages.storage.googleapis.com/23/f7/4e/f27fade310cf10/US20190008126A1.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

SILVA, A. E. M.; BRITO, L. O.; SILVA, D. A.; LIMA, P. C. M.; FARIAS, R. S.; GÁLVEZ, A. O.; SILVA, S. M. B. C. Effect of *Brachionus plicatilis* and *Navicula* sp. on Pacific white shrimp growth performance, *Vibrio*, immunological responses and resistance to white spot virus (WSSV) in nursery biofloc system. **Aquaculture**, v. 535, n. 30, p. 736335, Mar. 2021. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736335.

SOTO, M. G. Abonos orgánicos: definiciones y procesos. In: MELÉNDEZ, G. (ed.). **Abonos orgánicos**: principios, aplicaciones e impactos en la agricultura. San José: Costa Rica, 2003. p. 20-49.

SUTHERS, I. M.; RISSIK, D. **Plankton**: A guide to their ecology and monitoring for water quality. Australia: CSIRO Publishing, 2009.

TACON, A. G. J.; CODY, J. J.; CONQUEST, L. D.; DIVAKARAN, S.; FORSTER, I. P.; DECAMP, O. E. Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. **Aquaculture Nutrition**, v. 8, p. 21-137, May 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x.

TACON, A. G.; FORSTER, I. P. Aquafeeds and the environment: policy implications. **Aquaculture**, v. 226, n. 1, p. 181-189, Oct. 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00476-9.

TÉCNICAS de manejo e qualidade de água com ênfase no seu balanço iônico. Natal: ABCC, 2017. Disponível em: <https://abccam.com.br/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

TIMMONS, M. B., EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**. 3. ed. New York: Publishing Company, 2013

TRAN, L.; NUNAN, L.; REDMAN, R. M.; MOHNEY, L. L.; PANTOJA, C. R.; FITZSIMMONS, K.; LIGHTNER, D. V. Determination of the infectious nature of the agent of acute hepatopancreatic necrosis syndrome affecting penaeid shrimp. **Diseases of Aquatic Organisms**, v. 105, n. 1, p. 45-55, 2013. DOI: 10.3354/dao02621.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnology**. Boca Raton: CRC Press, 2011. DOI: 10.1201/b11386.

- VALENCIA-CASTAÑEDA, G.; FRÍAS-ESPERICUETA, M. G.; VANEGAS-PÉREZ, R. C.; PÉREZ-RAMÍREZ, J. A.; CHÁVEZ-SÁNCHEZ, M. C.; PÁEZ-OSUNA, F. Acute toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low-salinity water. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 101, n. 2, p. 229-234, 2018.
- VALENZUELA-MADRIGAL, I. E.; VALENZUELA-QUIÑÓNEZ, W.; ESPARZA-LEAL, H. M.; RODRÍGUEZ-QUIROZ, G.; ARAGÓN-NORIEGA, E. A. Effects of ionic composition on growth and survival of white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low-salinity well water. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 52, n. 1, p. 103-112, Apr. 2017.
- VAN LOOSDRECHT, M. C. M.; JETTEN, M. S. M. Microbiological conversions in nitrogen removal. **Water Science and Technology**, v. 38, n. 1, p. 1-7, 1998. DOI: 10.1016/s0273-1223(98)00383-7.
- VAN WYK, P. Nutrition and feeding of *Litopenaeus vannamei* in intensive culture systems. In: WYK, P. van; DAVIS-HODGKINS, M.; LARAMORE, R. MAIN, K. L.; MOUNTA, J.; SCARPA, J. **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Tallahassee: Department of Agriculture and Consumer Services – Harbor Branch Oceanic Institute, 1999, p. 125-140.
- VAN WYK, P.; SCARPA, J. Water quality and management. In: VAN WYK, P. van; DAVIS-HODGKINS, M.; LARAMORE, R.; MAIN, K. L.; MOUNTA, J.; SCARPA, J. **Farming Marine Shrimp in Recirculating Freshwater Systems**. Tallahassee: Department of Agriculture and Consumer Services – Harbor Branch Oceanic Institute, 1999, p. 128-138.
- VIEIRA, F. N.; BUGLIONE, C. C.; MOURIÑO, J. P. L.; JATOBÁ, A.; MARTINS, M. L.; SCHLEDER, D. D.; ANDREATTA, E. R.; BARRACO, M. A.; VINATEA, L. A. Effect of probiotic supplemented diet on marine shrimp survival after challenge with *Vibrio harveyi*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 631-638, 2010.
- VIJAYAN, G.; SARAVANANE, R.; SUNDARARAJAN, T. Studies on Impact of Variants Influencing the Performance of SBR. **Open Science Publishers**, v. 4, n. 2, p. 9-20, 2017.
- VINATEA, L. A. Aeração em aquicultura: Parte 1. **Aquaculture Brasil**, n. 53, 2017a. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/53/aeracao-em-aquicultura-%E2%80%93parte-i>: Acesso em: 13 jul. 2021.
- VINATEA, L. A. Aeração em aquicultura: Parte 2. **Aquaculture Brasil**, n. 85, 2017b. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/85/aeracao-em-aquicultura-parte-ii#:~:text=Nos%20cultivos%20semi%20intensivos%20e,8%20mg%2FL%2Fh>. Acesso em: 13 jul. 2021.
- VINATEA, L.; GALVEZ, A. O.; BROWDY, C. L.; STOKES, A.; VENERO, J.; HAVEMAN, J.; LEWIS, B. L.; LAWSON, A.; SHULER, A.; LEFFLER, J. W. Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a superintensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. **Aquacultural Engineering**, v. 42, p. 17-24, June 2010. DOI: 10.1590/S0102-09352010000300019.
- WAIKHOM, S. **Effect of ammonia and nitrite toxicity on pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in culture systems**. 2017. 87 f. Tese (Doutorado) – Fisheries College and Research Institute, Thoothukudi, Tamil Nadu Dr. J. Jayalalithaa Fisheries University, Índia.
- WASIELESKY, W.; ATWOOD, H.; STOKES, A.; BROWDY, C. L. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 258, p. 396-403, Aug. 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.04.030.
- WETZEL, R. G. **Limnology: lake and river ecosystems**. 3. ed. San Diego: Elsevier, 2001.
- WHANGCHAI, N.; VERONICA, P.; MIGO, P.; ALFAFARA, C. G.; YOUNG, K. H.; NOMURA, N.; MATSUMURA, M. Strategies for alkalinity and pH control for ozonated shrimp pond water. **Aquacultural Engineering**, v. 30, p. 1-13, 2004. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2002.11.001.
- WICKINS, J. F. The effect of reduced pH on carapace calcium, strontium and magnesium levels in rapidly growing prawns (*Penaeus monodon fabricius*).

Aquaculture, v. 41, n. 1, p. 49-60, 1984. DOI: 10.1016/0044-8486(84)90389-2.

XU, W. J.; MORRIS, T. C.; SAMOCHA, T. M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. **Aquaculture**, v. 453, p.169-175, Feb. 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.11.021.

XU, W. J.; PAN, L. Q. Effects of bioflocs on growth performance, digestive enzyme activity and body composition of juvenile *Litopenaeus vannamei* in zero-water exchange tanks manipulating C/N ratio in feed. **Aquaculture**, v. 356, p. 147-152, Aug. 2012. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.05.022.

XU, W. J.; PAN, L. Q.; ZHAO, D. H.; HUANG, J. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. **Aquaculture**, v. 350, p. 147-153, June 2012. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.04.003.

ZACARIAS, S.; SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; GALASSO, H.; PINHEIRO, I.; ESPIRITO SANTO, C.; VINATEA, L. Effect of different concentrations of potassium and magnesium on performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in low-salinity water and a biofloc system. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 31, n. 1, p. 85-96, 2019. DOI: 10.1080/10454438.2018.1536009

Anexo I

Tabela A1. Porcentual de amônia tóxica (NH_3) na faixa de salinidade de 23 g/L–27 g/L em diferentes temperaturas e pH.

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,0	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44	0,48	0,52	0,55	0,59	0,63	0,67	0,72	0,77	0,83
7,1	0,42	0,45	0,48	0,52	0,56	0,60	0,65	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,97	1,04
7,2	0,52	0,56	0,61	0,65	0,70	0,75	0,81	0,87	0,93	1,00	1,07	1,14	1,22	1,30
7,3	0,66	0,71	0,76	0,82	0,88	0,94	1,02	1,09	1,16	1,25	1,34	1,43	1,53	1,63
7,4	0,82	0,89	0,95	1,02	1,10	1,19	1,28	1,36	1,46	1,56	1,67	1,79	1,91	2,05
7,5	1,03	1,11	1,20	1,29	1,38	1,47	1,61	1,71	1,83	1,96	2,10	2,24	2,39	2,57
7,6	1,30	1,40	1,51	1,62	1,74	1,87	2,01	2,14	2,29	2,45	2,62	2,81	2,99	3,20
7,7	1,63	1,76	1,88	2,02	2,17	2,34	2,52	2,68	2,86	3,06	3,28	3,50	3,74	3,99
7,8	2,04	2,20	2,36	2,53	2,72	2,93	3,12	3,33	3,57	3,82	4,08	4,35	4,65	4,95
7,9	2,55	2,75	2,95	3,16	3,39	3,66	3,89	4,17	4,44	4,76	5,09	5,43	5,78	6,17
8,0	3,19	3,44	3,69	3,95	4,24	4,57	4,85	5,18	5,56	5,92	6,30	6,71	7,19	7,63
8,1	3,98	4,29	4,61	4,93	5,26	5,68	6,02	6,45	6,90	7,35	7,83	8,33	8,85	9,43
8,2	4,97	5,35	5,71	6,13	6,54	7,05	7,46	8,00	8,47	9,09	9,71	10,31	10,87	11,63
8,3	6,17	6,62	7,09	7,58	8,13	8,72	9,26	9,80	10,53	11,11	11,89	12,66	13,33	14,08
8,4	7,65	8,16	8,70	9,31	9,95	10,72	11,30	12,02	12,84	13,59	14,34	15,33	16,17	17,09
8,5	9,44	10,02	10,73	11,42	12,25	13,10	13,76	14,66	15,58	16,41	17,34	18,43	19,44	20,43

Fonte: Samocha et al. (2017).

Tabela A2. Porcentual de amônia tóxica (não ionizada) na faixa de salinidade de 18 g/L–22 g/L em diferentes temperaturas e pH.

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,0	0,35	0,37	0,40	0,43	0,46	0,51	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,75	0,80	0,86
7,1	0,44	0,46	0,50	0,54	0,58	0,64	0,67	0,71	0,76	0,82	0,88	0,94	1,01	1,08
7,2	0,56	0,58	0,63	0,67	0,72	0,81	0,84	0,90	0,96	1,03	1,10	1,18	1,26	1,35
7,3	0,70	0,73	0,79	0,85	0,91	1,01	1,06	1,12	1,20	1,29	1,38	1,48	1,59	1,69
7,4	0,88	0,92	0,99	1,06	1,14	1,28	1,33	1,41	1,51	1,62	1,73	1,85	1,98	2,12
7,5	1,11	1,15	1,24	1,34	1,43	1,59	1,66	1,77	1,89	2,09	2,17	2,32	2,48	2,65
7,6	1,39	1,45	1,56	1,68	1,80	2,01	2,09	2,21	2,37	2,54	2,72	2,90	3,10	3,31
7,7	1,74	1,82	1,95	2,09	2,25	2,51	2,61	2,77	2,96	3,17	3,39	3,62	3,87	4,13
7,8	2,18	2,28	2,44	2,62	2,81	3,14	3,23	3,45	3,69	3,95	4,21	4,50	4,81	5,13
7,9	2,73	2,85	3,06	3,28	3,51	3,91	4,03	4,31	4,61	4,93	5,25	5,62	5,99	6,37
8,0	3,41	3,56	3,82	4,10	4,39	4,88	5,03	5,38	5,71	6,13	6,51	6,94	7,41	7,87
8,1	4,26	4,44	4,76	5,10	5,46	6,07	6,25	6,67	7,09	7,58	8,09	8,62	9,17	9,71
8,2	5,30	5,52	5,92	6,33	6,76	7,62	7,75	8,26	8,77	9,35	9,97	10,64	11,24	11,90
8,3	6,58	6,85	7,35	7,87	8,40	9,28	9,52	10,20	10,87	11,49	12,18	12,99	13,70	14,49
8,4	8,15	8,44	9,02	9,66	10,28	11,40	11,62	12,51	13,26	14,05	14,89	15,73	16,62	17,58
8,5	10,00	10,37	11,13	11,86	12,65	13,84	14,15	15,26	16,08	16,97	17,91	18,91	19,98	21,03

Fonte: Samocha et al. (2017).

Tabela A3. Porcentual de amônia tóxica (não ionizada) em água com salinidade de 10 g/L em diferentes temperaturas e pH.

pH	Temperatura (C°)				
	0	10	20	30	40
6	0,01	0,02	0,04	0,08	0,15
6,5	0,02	0,06	0,12	0,24	0,47
7	0,08	0,17	0,37	0,75	1,46
7,5	0,24	0,55	1,16	2,35	4,48
8	0,76	1,70	3,59	7,06	12,92
8,5	2,36	5,20	10,53	19,37	31,93
9	7,10	14,77	27,11	43,17	59,73

Fonte: Reis e Mendonça (2009).

Tabela A4. Porcentual de amônia tóxica (não ionizada) em água doce (sólidos dissolvidos totais – SDT = 0 mg/L) em diferentes temperaturas e pH.

pH	Temperatura (°C)													
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
7,0	0,395	0,425	0,457	0,491	0,527	0,564	0,607	0,651	0,697	0,747	0,797	0,855	0,914	0,977
7,1	0,498	0,535	0,575	0,617	0,663	0,711	0,763	0,818	0,876	0,938	1,00	1,07	1,15	1,23
7,2	0,625	0,673	0,723	0,776	0,833	0,894	0,958	1,03	1,10	1,18	1,25	1,35	1,44	1,54
7,3	0,786	0,845	0,908	0,975	1,05	1,12	1,20	1,29	1,38	1,48	1,58	1,69	1,81	1,93
7,4	0,988	1,06	1,14	1,22	1,31	1,41	1,51	1,62	1,73	1,85	1,98	2,12	2,26	2,42
7,5	1,24	1,33	1,43	1,54	1,65	1,76	1,89	2,03	2,17	2,32	2,48	2,65	2,83	3,03
7,6	1,56	1,67	1,80	1,93	2,07	2,22	2,37	2,54	2,72	2,91	3,11	3,32	3,54	3,78
7,7	1,95	2,10	2,25	2,41	2,59	2,77	2,97	3,18	3,40	3,63	3,88	4,14	4,42	4,71
7,8	2,44	2,63	2,82	3,02	3,24	3,47	3,71	3,97	4,24	4,53	4,84	5,16	5,50	5,86
7,9	3,06	3,28	3,52	3,77	4,04	4,33	4,53	4,94	5,28	5,64	6,01	6,41	6,83	7,27
8,0	3,81	4,10	4,39	4,70	5,03	5,37	5,75	6,15	6,56	7,00	7,44	7,94	8,44	8,98
8,1	4,76	5,10	5,47	5,85	6,25	6,69	7,14	7,62	8,12	8,65	9,21	9,79	10,40	11,05
8,2	5,92	6,34	6,79	7,25	7,75	8,27	8,82	9,40	10,00	10,70	11,30	12,02	12,80	13,50
8,3	7,34	7,86	8,39	8,96	9,56	10,20	10,90	11,50	12,30	13,00	13,80	14,70	15,50	16,40
8,4	9,07	9,69	10,30	11,00	11,70	12,50	13,30	14,10	15,00	15,90	16,80	17,80	18,80	19,90
8,5	11,13	11,90	12,70	13,50	14,40	15,21	16,20	17,20	18,20	19,20	20,26	21,40	22,60	23,80

Fonte: Samocha et al. (2017).



Pesca e Aquicultura

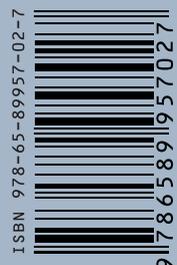
O *Litopenaeus vannamei* é uma espécie de camarão marinho com elevado interesse produtivo por apresentar características de adaptação a diversos gradientes de salinidade sem que seu desempenho produtivo seja afetado. No atual cenário da carcinicultura brasileira, muitos produtores e empreendedores têm iniciado cultivos do camarão marinho em zonas interioranas, com água de baixa salinidade proveniente de diversas fontes, como águas superficiais, poços artesianos ou afloramentos subterrâneos.

Apesar do potencial da espécie para criação em águas com baixa concentração de sais, a tecnologia de produção nesses ambientes ainda não está completamente estabelecida, havendo alguns entraves no processo produtivo que exigem acuidade de monitoramento e procedimentos corretos para alcançar uma boa produção. Um dos principais desafios é o controle dos compostos nitrogenados tóxicos [amônia não ionizada (NH_3) e nitrito (NO_2^-)] na água de cultivo. Esses compostos, em condições de baixa salinidade, têm sua toxicidade potencializada, acarretando a elevação da mortalidade nos cultivos.

Visando trazer informações indispensáveis aos produtores e empreendedores acerca desta problemática para cultivos em baixa salinidade, a obra *Manejo de compostos nitrogenados na carcinicultura* apresenta temas importantes, como a dinâmica dos compostos nitrogenados, as técnicas de manejo para o seu controle e também a importância do ajuste iônico da água.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 017495