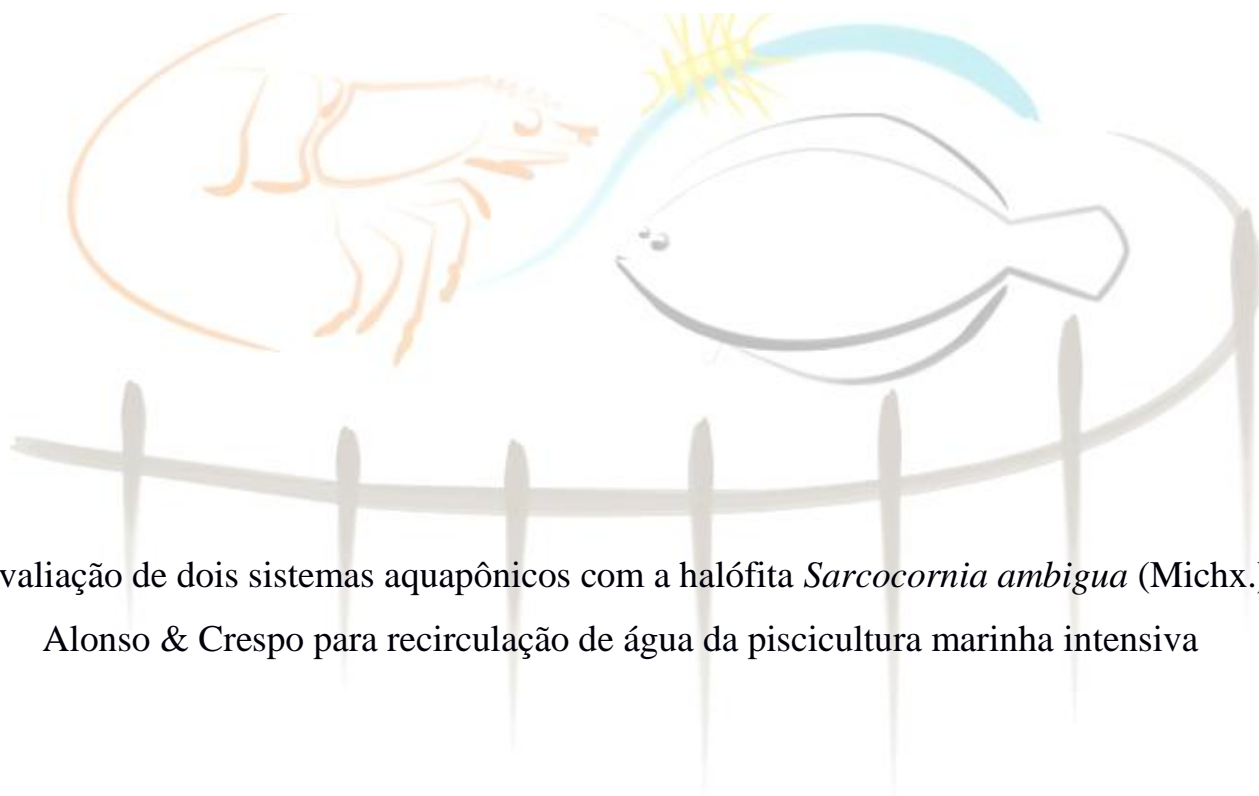




PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG



Avaliação de dois sistemas aquapônicos com a halófita *Sarcocornia ambigua* (Michx.)
Alonso & Crespo para recirculação de água da piscicultura marinha intensiva

Glauce da Silva Oliveira

Rio Grande – RS – Brasil

Março 2017

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG

Avaliação de dois sistemas aquapônicos com a halófito *Sarcocornia ambigua* (Michx.)
Alonso & Crespo para recirculação de água da piscicultura marinha intensiva

Glauce da Silva Oliveira

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Aquicultura no Programa de Pós-graduação em Aquicultura da Universidade Federal do Rio Grande-FURG.

Orientador: Dr. César Serra Bonifácio Costa
Co-orientador: Dr. Luis Henrique da Silva Poersch

Rio Grande – RS – Brasil
Março2017

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELAS	V
AGRADECIMENTOS	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Piscicultura marinha e a qualidade de água em sistemas intensivos	1
1.2 Integração de sistemas aquapônicos á piscicultura marinha intensiva	2
1.3 O uso da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> para aquaponia.....	3
2. OBJETIVO	5
2.1 Objetivos específicos	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.1 Produção de mudas.....	6
3.2 Descrição dos sistemas aquapônicos de recirculação de água	7
3.3 Origem da água e desenho experimental	9
3.4 Análises de parâmetros físico-químicos, nutrientes e clorofila <i>a</i> da água nos sistemas aquapônicos.....	10
3.5 Avaliação do crescimento da <i>S. ambigua</i> nos dois sistemas aquapônicos.....	11
3.6 Análise Estatística	12
4. RESULTADOS	14
4.1 Parâmetros meteorológicos e variáveis da qualidade de água.....	14
4.2 Fatores determinantes da variação nas concentrações dos nutrientes da água nos RAS aquapônicos	15

4.3	Concentrações, remoções e acúmulos de nutrientes ao longo do tempo de retenção.....	20
4.4	Crescimento da <i>S. ambigua</i> nos dois sistemas aquapônicos.....	28
5.	Discussão.....	31
5.1	Qualidade da água captada do cultivo de bijupirá.....	31
5.2	Efeitos da recirculação da água do cultivo do bijupirá nos sistemas aquapônicos com <i>S. ambigua</i>	33
5.3	Crescimento e produtividade da <i>S. ambigua</i>	37
6.	Conclusão.....	38
7.	Referências Bibliográficas.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fotografias dos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água avaliados. (A) Bancada do sistema NFT e (B) detalhe das plantas de *Sarcocornia ambigua* nos tubos de PVC por onde passava a água. (C) Tanque de cultivo do sistema DWS e (D) detalhe das plantas nas bandejas flutuantes.....8

Figura 2: Tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá (*Rachycentron canadum*), localizados na Estação Marinha de Aquicultura (EMA) da FURG, cuja água foi utilizada no experimento de avaliação de sistemas aquapônicos de recirculação de água.....9

Figura 3: Avaliação do percentual da remoção de nitrato (N-NO₃) da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e DWS (B) para os ciclos de recirculação ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).....23

Figura 4: Avaliação do percentual da remoção de nitrito (N-NO₂) da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e DWS (B) para os ciclos de recirculação ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).....24

Figura 5: Avaliação do percentual da remoção de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e DWS (B) para os ciclos de recirculação C3 ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).....25

Figura 6: Avaliação do percentual da remoção do fosfato da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A, C, E) e DWS (B, D e F) para os ciclos de recirculação C1, C2 e C3 ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).....27

Figura 7: Taxas mensais (por 30 dias) do desenvolvimento da *Sarcocornia ambigua* nos sistemas aquapônicos NFT e DWS nos períodos de aclimação e do experimento de

recirculação	de	água	do	cultivo	de	
bijupirá.....						30

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Características dos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água avaliados.....8
- Tabela 2.** Variação temporal das características da água captada dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá para o experimento com os dois sistemas aquapônicos de *Sarcocornia ambigua*. Amostras foram coletadas no início dos ciclos de recirculação da água analisados (C1, C2, C3)..... 15
- Tabela 3.** Valores médios (\pm erro padrão), mínimos e máximos das características da água em cada ciclo de recirculação da água (ao longo das 72 horas) dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos dois sistemas aquapônicos de *Sarcocornia ambigua*. C1, C2, C3 são ciclos de recirculação da água analisados (n= 8) e os resultados de Análises de Variância de uma via de comparação entre ciclos são apresentados. Letras diferentes na mesma linha significam médias significativamente ($p < 0,05$) diferentes conforme o teste de Tukey 15
- Tabela 4.** Resultados no ciclo de recirculação C1 das concentrações médias (\pm erro padrão; em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção)..... 17
- Tabela 5.** Resultados no ciclo de recirculação C2 das concentrações médias (\pm erro padrão; em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção)..... 17
- Tabela 6.** Resultados no ciclo de recirculação C3 das concentrações médias (\pm erro padrão; em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao

longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS. Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção)..... 18

Tabela 7. Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrato (N-NO₃) na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator..... 18

Tabela 8. Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrito (N-NO₂) na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator..... 19

Tabela 9. Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrogênio amoniacal total (NAT-N) na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.....19

Tabela 10. Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de fosfato (P-PO₄) na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.....20

Tabela 11. Resultados das ANOVA fatorial de uma via da variação dos teores de nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e fosfato na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá entre quatro tempos de retenção nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS). Os resultados de cada ciclo de recirculação (C1, C2 e C3) são apresentados. Legenda: gl= graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator..... 22

Tabela 12. Resultados das ANOVA de medidas repetidas do desenvolvimento das plantas de *Sarcocornia ambigua* durante 20 dias do período de aclimação nos dois sistemas de recirculação de água testados. Os valores dos efeitos do tempo de cultivo, tipo de sistema de cultivo, a interação entre estes efeitos (T*S), os graus de liberdade (gl), as médias dos quadrados (MS) e os valores dos testes “F” de Fisher são apresentados (n=120)..... 28

Tabela 13. Avaliação do desenvolvimento das plantas de *Sarcocornia ambigua* durante 20 dias do período de aclimação nos dois sistemas de recirculação de água testados. Valores das médias (\pm erro padrão) para cada parâmetro biométrico entre datas de medição e diferença (Dif.) entre médias são apresentadas (n=120)..... 29

Tabela 14. Avaliação do desenvolvimento das plantas de *Sarcocornia ambigua* após 88 dias da poda de seus caules nos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água testados. São apresentados os valores médios (\pm erro padrão) para cada parâmetro biométrico, componente da biomassa e percentagem da biomassa investida na formação de caules ao final do terceiro ciclo de recirculação de água. A produção de biomassa fresca de caule foi estimada para uma densidade de 184 plantas por RAS aquapônico. Todos os testes “t” realizados foram significativamente diferentes ($p < 0,001$) e as diferenças (Dif) entre as médias dos sistemas aquapônicos são apresentadas de forma percentual.....30

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela força em todos os momentos;

Ao meu Orientador Prof. César Costa que me deu suporte no decorrer da construção desse trabalho, pelos conselhos e ensinamentos;

Aos meus Pais Mariete e Gilberto e meus irmãos: Glauber, Thamys e Cláudio por toda confiança, carinho e apoio ao longo desses dois anos;

Aos meus amigos Jhessica, Silvano, Clarisse e Ahiana pelas palavras de incentivo e conforto em todas as horas, inclusive às de desespero.

Aos colegas do Laboratório BTHalo e ECOVECO por todas as reuniões e trocas de conhecimento.

Aos amigos que fiz no programa de pós-graduação, em especial Ana Paula, Juan, Hellyjunior, Janaina e Nathalia, podem ter certeza que levarei vocês comigo para sempre.

Aos professores e colaboradores do Programa de Pós Graduação em Aquicultura, pelos conhecimentos repassados e as ótimas conversas.

Ao cassino pelas amizades e pelas experiências extraordinárias ao longo desses dois anos.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e pela minha estadia em Rio Grande.

RESUMO

O tratamento da água da aquicultura em ciclo fechado através da produção hidropônica de biomassa vegetal com interesse econômico é denominado de aquaponia. O cultivo aquapônico pode ser realizado em basicamente dois tipos de sistemas, o “deep water system” ou flutuante (DWS) e o “nutrient film technique” ou leito cultivado (NFT). A *Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo (Amaranthaceae) é um subarbusto perene, nativo das marismas temperadas e tropicais da costa atlântica da América do Sul e capaz de atingir alta produtividade quando irrigado com efluentes salinos da maricultura. Estas características sugerem um grande potencial desta planta para utilização em sistemas de recirculação de água (RAS; abreviatura inglesa de *Recirculating Aquaculture Systems*), indispensáveis aos modernos sistemas intensivos de ciclo fechado da maricultura intensiva. O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de remoção de compostos nitrogenados e fosfatos da água de recirculação de uma piscicultura marinha intensiva através de dois RAS aquapônicos, constituídos de plantas de *S. ambigua* crescendo em sistemas NFT e DWS, além de quantificar o crescimento e a produção de biomassa dessa planta. O NFT foi montado em uma bancada hidropônica comercial, com 8 tubos de PVC com 6 m de comprimento acomodando um total de 120 plantas, recebendo água de uma caixa d’água contendo 450 L, com um fluxo de 385,2 L/hora e uma taxa de renovação diária da água de 20,5 vezes. O DWS era composto por um tanque plástico de cultivo (1,89m x 1,26m x 0,42m) de 1000 L com 6 balsas flutuantes contendo um total de 120 plantas, que recirculava água com uma caixa plástica coletora de 60 L, com um fluxo de 61,2 L/hora e uma taxa de renovação diária de 1,5 vezes. O delineamento experimental do trabalho foi composto dos dois RAS aquapônicos citados acima, que receberam água salgada de recirculação de tanques de engorda do cultivo intensivo em ciclo fechado do peixe marinho bijupirá (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766). A eficiência na remoção dos nutrientes nos dois RAS aquapônicos foi avaliada em três ciclos de recirculação (C1, C2 e C3) com duração de 72 horas, sendo coletadas amostras de água a cada 24 horas para análises dos compostos nitrogenados, fosfatos e parâmetros da qualidade de água, assim como clorofila *a*. O desenvolvimento das plantas foi avaliado através de biometria periódica e coleta final da biomassa de caules e raízes. As concentrações de N-NO₃, N-NO₂, N-NAT (nitrogênio amoniacal total) e P-PO₄, bem como salinidade, temperatura e pH durante o experimento se mantiveram dentro dos limites recomendados para o bijupirá. Os cultivos aquapônicos demonstraram um bom potencial de uso para remoção de composto nitrogenados do cultivo intensivo do bijupirá, mas particularmente para o NAT (até 93,3% em 72 horas) e com menor eficiência para o nitrato (até 67,4% em 72 horas). Nos dois RAS, houve grandes

variações nas taxas de remoção entre ciclos e entre os tempos de retenção nos ciclos, bem como incorporações de nitrito (até 0,15 mg N-NO₂/L) e nitrato (até 55,8 mg N-NO₃/L) na água de recirculação. Condições significativamente mais acidificadas, associadas aos eventos de incorporações de nitrito e nitrato (marcadamente em DWS durante C2 e C3), sugerem o estabelecimento de uma comunidade de microrganismos caracteristicamente mais nitrificante. Os teores médios de fosfato na água dos tanques de bijupirá aumentaram ao longo das três semanas de experimentação (de 0,56 para 7,60 mg P-PO₄/L). Em ambos RAS aquapônicos e em todos os ciclos, o fosfato apresentou altas taxas de incorporação (até 257,1% após 72 horas) na água em recirculação, provavelmente resultante da mineralização do fósforo orgânico dissolvido, originado tanto da comida ofertada como de células fitoplanctônicas mortas. Concentrações médias globais significativamente menores de todos nutrientes ocorreram NFT. As plantas de *S. ambigua* mostraram um bom desenvolvimento em aquaponia. Um maior crescimento individual foi observado no NFT, onde 88 dias após poda dos caules, as plantas apresentaram médias de altura do caule de 26,4 cm, 5,4 ramificações por caule com comprimento máximo médio de 16,5 cm e uma massa fresca de caule de 36,2 g. O menor crescimento das plantas no DWS pode ter sido ocasionado por baixa oxigenação das raízes, devido ao menor fluxo de água e a ausência de aeração no tanque de cultivo. A produção potencial de biomassa fresca de caules de *S. ambigua* variou entre 0,62 (NFT) e 1,10 kg/m²/88dias (DWS). Apesar no menor crescimento das plantas, a maior produção de biomassa em DWS ocorreu devido ao maior número de indivíduos por área de cultivo (50,4 plantas/m²) do que no NFT (11,1 plantas/m²). Ambos os sistemas apresentaram um bom potencial de remoção de nutrientes da piscicultura marinha intensiva do bijupirá. Um mais rápido desenvolvimento de plantas de *S. ambigua* pode ser obtido no NFT, mas um menor uso de espaços e maiores produtividades primárias por área de plantio podem ser obtidas no DWS.

Palavras chave: Aquaponia, halófitas, sistema de recirculação de água, cultivo hidropônico, nitrogenados.

ABSTRACT

The water treatment of closed-circuit aquaculture systems through the hydroponic production of plant biomass of economic interest is named aquaponics. The aquaponic cultivation can be performed in basically two types of systems, the deep water system or floating (DWS) and the nutrient film technique (NFT). *Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo (Amaranthaceae) is a perennial sub-shrub, native to the temperate and tropical marshes of the Atlantic coast of South America and capable of achieving high productivity when irrigated with saline effluents from mariculture. These characteristics suggest a great potential of this plant for use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS), indispensable to the modern intensive closed-circuit mariculture. The aims of this study was to evaluate the capacity of nitrogen and phosphate removal from the recirculating water of an intensive marine fish culture through two aquaponic RAS, consisting of *S. ambigua* plants growing in NFT and DWS systems, as well as to quantify the growth and biomass production of this plant. The NFT was set up on a commercial hydroponic bench, with 8 PVC pipes 6 m long accommodating a total of 120 plants, which received water from a water tank containing 450 L, with a flow of 385.2 L / hour and a daily water renewal rate of 20.5 times. The DWS consisted of a 1000 L plastic pool (1.89m x 1.26m x 0.42m) with 6 floating rafts containing a total of 120 plants, which recirculated water with a 60 L collecting plastic box, with a flow of 61.2 L / hour and a daily water renewal rate of 1.5 times. The experimental design of the work was composed of the two aquaponic RAS mentioned above, which received saline water from recirculation of fattening tanks from an intensive of closed-circuit aquaculture systems of the bijupirá marine fish (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766) in Rio Grande (RS, Brazil). The efficiency of nutrient removal in the two aquaponic RAS was evaluated in three cycles (C1, C2 and C3) with a duration of 72 hours, and water samples were collected every 24 hours for analysis of nitrogen compounds, phosphates and quality parameters As well as chlorophyll a. The development of the plants was evaluated through periodic biometry and final biomass collection of stems and roots. The concentrations of NO₃-N, NO₂-N, NAT-N (total ammoniacal nitrogen) and PO₄-P, as well as salinity, temperature and pH during the experiment were kept within the limits recommended for bijupirá. The aquaponic cultures showed a good potential of use for the removal of nitrogen compounds from intensive bijupirá cultivation, but particularly for NAT (up to 93.3% in 72 hours) and less efficient for nitrate (up to 67.4% in 72 Hours). In both RAS, there were large variations in the nutrient removal rates between cycles and between retention times inside the cycles, as well as inputs of nitrite (up to 0.15 mg NO₂-N / L) and nitrate (up to 55.8 mg NO₃-N / L) occur in the recirculated

water. Significantly more acidified conditions, associated to input events of nitrite and nitrate (markedly in DWS during C2 and C3), suggest the establishment of more nitrifying microbial community. The mean phosphate levels in the water of bijupirá tanks increased during the three weeks of experimentation (from 0.56 to 7.60 mg PO₄-P / L). Concentration of phosphate showed fast increase (up to 257.1% after 72 hours) in the recirculated water, probably due to mineralization of the dissolved organic phosphorus originated from both the rest of food offered and dead phytoplankton cells. Significantly lower overall mean concentrations of all nutrients occurred NFT. *S. ambigua* plants showed a good development in aquaponics. A higher individual growth was observed in the NFT, where 88 days after cutting of the shoots, the plants reached averages shoot height of 26.4 cm, 5.4 branches per shoot with a maximum branch average length of 16.5 cm and a fresh shoot biomass of 36.2 g. The lowest plant growth in DWS may have been cause by low root oxygenation, due to the slow water flow and the absence of aeration in the pool. Potential production of fresh biomass of *S. ambigua* shoots ranged from 0.62 (NFT) to 1.10 kg / m² / 88 days (DWS). Despite of the lower plant growth, the highest biomass production in DWS occurred due to its higher density of cultivation (50.4 plants / m²) than in the NFT (11.1 plants / m²). Both systems presented good potential for nutrient removal from closed-circuit aquaculture systems of the bijupirá. A faster development of *S. ambigua* plants can be obtained in NFT, but less use of spaces and higher primary productivity per planting area can be obtained in the DWS.

Keywords: Aquaponics, halophytes, recirculating aquaculture systems, hydroponic culture, nitrogen compounds.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Piscicultura marinha e a qualidade de água em sistemas intensivos

A aquicultura de água salgada é uma importante atividade provedora de alimentos. A escala de produção é muito variável e a intensidade desses cultivos é determinada pela densidade de estocagem, quantidade de água, ração e fertilizantes utilizados, bem como pela necessidade de aeração suplementar (Wasielesky et al. 2006, Macedo & Sipaúba-Tavares 2010). Dados da FAO (2016) mostram que os peixes de cativeiro somam $\frac{3}{4}$ do volume de produção total da aquicultura mundial. Os peixes produzidos na aquicultura renderam 73,8 milhões toneladas, o que foi estimado em um valor de primeira venda de 160 milhões de dólares, sendo a maior parte desse valor constituído por peixes ósseos (49,8 milhões de toneladas). Todos os continentes têm mostrado uma tendência geral de aumento da percentagem da produção aquícola na produção total de peixes.

Para Brandini et al. (2000), o potencial da piscicultura marinha brasileira é imensurável frente às condições climáticas e hidrográficas adequadas em grandes extensões do litoral, além da elevada diversidade de peixes de interesse comercial. Contudo, essa atividade ainda é incipiente no Brasil, com tentativas de desenvolvimento muito pontuais. Pesquisas apontam várias espécies detentoras de características importantes para o sucesso do cultivo. Tsuzuki (2006) destaca o robalo-peva (*Centropomus paralellus* Poey, 1860), o robalo-flecha (*Centropomusun decimalis* Bloch, 1792), o linguado (*Paralichthys orbignyanus* Valenciennes, 1839), a garoupa (*Epinephelus marginatus* Lowe, 1834) e o olhete (*Seriola lanlandi* Valenciennes, 1833). Mais recentemente peixes oceânicos com rápido ganho de peso têm recebido atenção do mercado consumidor. Uma destas espécies é bijupirá (*Rachycentron canadum* Linnaeus, 1766), que apesar de ser encontrada em todos os oceanos, tem grande parte da produção concentrada na China e Taiwan, sendo a produção mundial entre os anos de 2012-2014 variou entre 40-50 mil toneladas anuais (FAO-CASIP 2016).

No Brasil, a aquicultura marinha registra alguns projetos de engorda de bijupirá em tanques rede na Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e São Paulo (Cavalli et al. 2011), e mais recentemente a atividade de engorda dessa espécie vem sendo introduzida, junto com a manutenção de reprodutores e crescimento de juvenis, em tanques em terra com sistemas de recirculação de água (RAS; abreviatura inglesa de *Recirculating Aquaculture Systems*)(Sampaio et al. 2010, Rodrigues et al. 2011).Acredita-se que quando

33 superados os obstáculos iniciais dessa nova atividade produtiva, a criação de bijupirá deverá
34 servir de base para o desenvolvimento sustentável da piscicultura marinha no Brasil (Cavalli
35 et al. 2011).

36 Quanto mais intensivo é o cultivo, mais elevadas tendem a serem as concentrações de
37 compostos nitrogenados e fosfatados, matéria orgânica em suspensão e dissolvida na água,
38 resultantes principalmente da degradação da ração por microrganismos e da produção de
39 excretas pelos organismos cultivados (Wasielesky et al. 2006, Sampaio et al. 2010, Gaona et
40 al. 2011, Rodrigues et al. 2011, Fróes et al. 2012, Krummenauer et al. 2012). Em sistemas
41 como tanques, torna-se difícil manter a qualidade da água, onde essa deve ser renovada ou
42 reciclada através de sistemas de depuração, bem como minimizada a emissão de efluentes
43 para prevenir efeitos deletérios no ambiente do entorno do cultivo e até mesmo a qualidade da
44 água do próprio abastecimento (Macedo & Sipaúba-Tavares 2010, Sampaio et al. 2016).

45

46 **1.2 Integração de sistemas aquapônicos á piscicultura marinha intensiva**

47 Plantas vasculares aquáticas podem ser integradas a piscicultura marinha intensiva,
48 como parte de sistemas de recirculação de água (RAS), objetivando principalmente a absorção
49 de compostos inorgânicos dissolvidos nitrogenados e do fosfato (Henry-Silva & Camargo
50 2008, Moya et al. 2014, Quintã et al. 2015). O tratamento da água da recirculação associado a
51 produção hidropônica de biomassa vegetal com interesse econômico é denominado de
52 aquaponia (Hundley & Navarro 2013). Os nutrientes oriundos da água podem servir para
53 irrigar e fertilizar as plantas, bem como suas raízes, caules e folhas podem também degradar,
54 imobilizar e/ou volatilizar os contaminantes na água (Hundley & Navarro 2013, Quintã et al.
55 2015). A integração da aquaponia na piscicultura marinha intensiva depende da identificação
56 de plantas vasculares capazes de crescerem em água salgada (halófitas). Algumas halófitas já
57 estão sendo cultivadas com águas salinas (Ventura et al. 2011, Ventura & Sagi 2013) e com
58 efluente salino originado da maricultura (Costa 2006, 2011, Shi et al. 2011, Buhmann &
59 Papenbrock 2013, Buhmann et al. 2015, Pavan et al. 2015, Quintã et al. 2015).

60 As plantas vasculares absorvem ativamente minerais por suas raízes e podem também
61 intensificar os processos de nitrificação e de oxidação de compostos reduzidos (Buhmann &
62 Papenbrock 2013), diminuindo teores de nitrogênio e fósforo presentes na água (Mendonça &
63 Costa 2008, Buhmann et al. 2015). Estes sistemas com halófitas podem remover entre 23-82%
64 de compostos nitrogenados inorgânicos e 20-89% de fosfato de efluentes salinos da
65 aquicultura (Costa 2011, Sousa et al. 2011, Webb et al. 2012).

66 Os cultivos aquapônicos são realizados basicamente em dois tipos de sistemas
67 hidropônicos: DWS e NFT. No sistema de camada profunda (“deep water system”, DWS) ou
68 também chamado de tipo flutuante ("floating rafts"), as plantas são colocadas em bandejas ou
69 balsas flutuantes boiando em um reservatório com a água de recirculação e aeração (Henry-
70 Silva & Camargo 2008, Hundley & Navarro 2013, Pavan et al. 2015, Quintã et al. 2015). No
71 sistema de camada filtrante (“nutrient film technique”, NFT), o cultivo das plantas é realizado
72 em uma camada rasa de água em fluxo contínuo, sendo a água coletada em um reservatório e
73 recirculada pelo sistema. No NFT as plantas ficam fixadas ao longo de canais (leitos) ou de
74 tubos, por onde corre a água enriquecida em nutrientes do cultivo, e onde as raízes ficam
75 submersas (Hundley & Navarro 2013). Variantes do NFT são denominadas banhados
76 artificiais (“constructed wetlands”) ou sistema de leito cultivado (“cultivated bed”), onde
77 ocorre o preenchimento dos canais com substrato poroso, como seixos ou brita, onde as
78 plantas são fixadas e o efluente ou água para recirculação pode fluir em uma fina lâmina
79 recobrando a superfície ou em subsuperfície (Webb et al. 2012, Moya et al. 2014). Nos NFTs
80 o fluxo contínuo visa evitar a estagnação do oxigênio e acúmulo de compostos tóxicos
81 reduzidos (*ex.* sulfetos), resultantes de microorganismos anaeróbicos. Em todos RAS
82 aquapônicos, o biofilme microbiano sobre raízes, paredes dos recipientes e substratos exercem
83 papel determinante na eficiência de filtragem dos nutrientes.

84 Plantas halófitas de ambiente costeiro, frequentemente alagado por marés, podem ser
85 utilizadas para construção de ambos os tipos de sistemas aquapônicos citados acima, que
86 podem ser incorporados como RAS na piscicultura marinha intensiva (Buhmann &
87 Papenbrock 2013, Moya et al. 2014, Buhmann et al. 2015, Quintã et al. 2015). Entretanto,
88 nem todas as espécies possuem as características agrônômicas desejáveis para condições de
89 solo e estresse ambiental (Glenn et al. 2013, Ventura & Sagi 2013), biomassa com alto valor
90 nutricional ou farmacológico (Costa 2006, Sousa et al. 2011, Costa et al. 2014, Webb et al.
91 2012, Pavan et al. 2015) e capacidade de depurar grandes quantidades de macronutrientes dos
92 efluentes (Buhmann & Papenbrock 2013, Buhmann et al. 2015, Pavan et al. 2015, Quintã et
93 al. 2015). Conseqüentemente existe uma necessidade de estudos-piloto para avaliação de
94 espécies halófitas a serem cultivadas.

95 **1.3 O uso da halófita *Sarcocornia ambigua* para aquaponia**

96 O Brasil possui uma rica flora de plantas halófitas com ampla distribuição (Costa &
97 Davy 1992, Costa et al. 2009, Costa & Herrera 2016), que dominam diferentes habitats da
98 costa e constituem um imenso potencial biotecnológico a disposição da aquicultura e

99 agricultura de regiões com solos salinos. As halófitas podem ser indicadas como
100 potencialmente utilizáveis para o desenvolvimento de sistemas de reciclagem da água e
101 integração destes na aquicultura marinha intensiva, entre elas podemos citar o aspargo
102 marinho *Sarcocornia ambigua* (Michx.) Alonso & Crespo.

103 A *S. ambigua* é um subarbusto perene da família Amaranthaceae, que apresenta ampla
104 distribuição nas marismas temperadas e tropicais da costa atlântica da América do Sul (Costa
105 & Davy 1992, Medina et al. 2008, Freitas & Costa 2014, Costa & Herrera 2016). Propaga-se
106 através de sementes e por crescimento vegetativo em solos com salinidades próximas da água
107 do mar (16-55dS/m) e até hipersalinas (Costa & Neves 2006, Costa et al. 2006, Freitas &
108 Costa 2014). Plantios de *S. ambigua* irrigada com efluente da carcinicultura marinha no
109 estado do Ceará e no Rio Grande do Sul apresentaram, respectivamente, rendimentos de 8,9 e
110 59,5ton./hectare de peso fresco após 100-150 dias de cultivo (Costa 2006, Costa 2011, Costa
111 et al. 2014, Costa & Herrera 2016, Doncato & Costa 2017).Recentemente, o cultivo
112 hidropônico de *S. ambigua* com efluente da carcinicultura intensiva mostrou uma
113 produtividade de 8,2kg/m² após 77 dias de cultivo (Pinheiro et al. 2016).Em 2010, no
114 Laboratório de Biotecnologia de Halófitas (BTH, da FURG), teve início um programa de
115 seleção genética de *S.ambigua*, através da identificação de diferentes biótipos e cruzamento
116 dentro de linhagens puras desta espécie autógama. Esse programa resultou na obtenção da
117 variedade BTH2, com fenótipo verde na maturidade, crescimento ereto e alta produtividade
118 vegetativa de caules. Testes de campo com plantas irrigadas com efluentes salinos do cultivo
119 de camarões (Doncato & Costa 2017) mostraram consistência entre gerações consecutivas na
120 biometria, produção e composição elementar da biomassa desta linhagem. Progênie BTH2
121 apresentaram maior desenvolvimento (20-40%) em altura e número de ramificações dos
122 caules do que as progênie de outras linhagens estudadas e plantas selvagens. Novas
123 cultivares de *S. ambigua* apresentam-se como alternativas para a produção de alimentos
124 utilizando efluentes salinos da aquicultura na costa brasileira, reduzindo a contaminação
125 ambiental e melhorando a sustentabilidade dos sistemas aquícolas (Doncato & Costa 2017).

126 A composição química da *S. ambigua* tem levado a uma crescente demanda de seus
127 caules pela gastronomia de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs). A análise da
128 composição química dos caules e sementes da *S. ambigua* (Concha et al. 2000, Medina et al.
129 2008, Bertin et al. 2014) demonstra altos teores proteicos (respectivamente, 7,6-8,4% e 12%)
130 e de cinzas (27-30% e 7,4%). Os teores médios de N, K, P e Ca nos caules de variedades
131 cultivadas de *S. ambigua* encontram-se dentro do limite médio-superior do conteúdo mineral

132 de vegetais gourmets (Bertin et al. 2014, Doncato & Costa 2017). A extração de óleo das
133 sementes de *S. ambigua* obteve um rendimento de lipídeos totais de 13%, sendo os principais
134 componentes o ácido linoleico (ω -6) (42,9%) e o ácido palmítico (20,4%), e este poderia ser
135 recomendado para o consumo animal ou produção de biodiesel (D'Oca et al. 2012). Os caules
136 podem atingir um rendimento lipídico de 5.2% da massa seca (Costa et al. 2014), sendo os
137 ácidos graxos poli-insaturados mais abundantes o ácido linoleico- ω 6 (C18:2; 21,4%) e o ácido
138 oléico (C18:1; 18,3%). Entretanto, 56% dos lipídios no caule de *S. ambigua* são saturados e o
139 ácido palmítico (C16:0) é a principal fração (19.8%). Todos os lipídios citados possuem
140 propriedades bioativas reconhecidas (D'Oca et al. 2012, Costa et al. 2014). Os caules possuem
141 β -sitosterol e estigmasterol (EPAGRI 2008), bem como vários compostos fenólicos que
142 também demonstram propriedades bioativas (Bianciotto et al. 2006, Costa et al. 2006, Bertin
143 et al. 2014, Pinheiro et al. 2016).

144 Quanto a capacidade de depurar macronutrientes de efluentes salinos, sistemas de leito
145 cultivado com *S. ambigua* com 40-90m² de superfície demonstraram serem capazes de
146 remover 43-56% do nitrogênio amoniacal (teor inicial médio=TI= 0,110-1,660 mg N-
147 NAT/L), 23-54% do nitrato (TI= 0,010-0,194 mg N-NO₃/L) e 19-67% do fosfato (TI= 0,219-
148 0,225 mg -O₄/L) de efluentes da carcinicultura, após apenas 10 minutos de fluxo de
149 passagem (Costa et al. 2011). Na piscicultura marinha intensiva em tanques, elevadas
150 concentrações de compostos inorgânicos dissolvidos nitrogenados e do fosfato tendem a se
151 acumular no sistema, podendo chegar a níveis tóxicos aos peixes. Devido às altas
152 produtividades alcançadas, a sua composição química economicamente interessante para o
153 mercado gastronômico, de rações e de suplementos alimentares, além de boa capacidade para
154 depurar nutrientes de efluentes, a halófito *S. ambigua* poderia ser integrada através do cultivo
155 aquapônico à piscicultura marinha intensiva, como parte de sistemas de recirculação de água
156 (RAS). Esta dissertação avaliou este potencial aquapônico frente a condições reais da água de
157 recirculação do cultivo intensivo de bijupirá em tanques.

158

159 2. OBJETIVO

160 O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de remoção de compostos
161 nitrogenados (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato) e fosfatos da água de recirculação de
162 uma piscicultura marinha intensiva do bijupirá através de dois RAS aquapônicos, constituídos
163 de plantas da halófito *S. ambigua* crescendo em sistemas NFT e DWS, além de quantificar o
164 crescimento e a produção de biomassa dessa planta.

165 **2.1 Objetivos específicos**

- 166 • Quantificar a redução da carga de compostos nitrogenados e fosfatos dissolvidos na
167 água para recirculação da piscicultura marinha do bijupirá por RAS aquapônicos DWS
168 e NFT com a halófito *S. ambigua* ao longo de um ciclo de produção.
- 169 • Avaliar possíveis efeitos da alteração da carga de nutrientes na água de recirculação ao
170 longo do ciclo de cultivo do bijupirá sobre a eficiência dos RAS aquapônicos DWS e
171 NFT.
- 172 • Quantificar o crescimento e a produção de biomassa das plantas de *S. ambigua* em
173 RAS aquapônicos DWS e NFT.

174

175 **3. MATERIAL E MÉTODOS**

176 **3.1 Produção de mudas**

177 As plantas de *Sarcocornia ambigua*, linhagem BTH2, foram germinadas de sementes
178 do germoplasma do Laboratório de Biotecnologia de Halófitas do Instituto de Oceanografia –
179 FURG, transferidas para tubetes plásticos de 50 ml de volume com solo constituído por
180 composto orgânico e areia, na proporção de 1:1, e cultivadas em estufa não climatizada por 90
181 dias. Após este período, os caules clorofilados foram cortados em fragmentos com 4 cm de
182 comprimento para propagação vegetativa pelo método de estaquia(Costa & Herrera 2016). Os
183 fragmentos de caule, contendo nós com gemas foram colocados em bandejas de germinação
184 de isopor, com solo constituído por composto orgânico e areia, na proporção de 1:1, que foi
185 mantido saturado por 30 dias, permitindo-se a formação de raízes e brotos de caules a partir
186 das gemas.

187 Em outubro de 2015, as plantas originadas dos fragmentos foram transferidas para
188 tubetes de 50 ml com o mesmo solo, e mantidas por mais 6 meses para maior
189 desenvolvimento dos caules e das raízes. Durante todo período de crescimento das plantas,
190 estas foram irrigadas com água doce de torneira proveniente da rede pública, sendo a cada 15
191 dias borrifada água salgada para aclimação das plantas. Foi borrifado também inseticida
192 Malathion Pikapau® para evitar a ação de afídeos, na quantidade de 1ml do produto para 1L
193 de água, conforme descrito na embalagem.

194 Em abril de 2016, as plantas foram removidas dos tubetes e suas raízes separadas do
195 solo através de submersão em água doce corrente. As plantas foram transferidas para copos
196 plásticos de 200 ml com substrato de pedrisco (brita com 1-2 cm) e colocadas em bandejas
197 com água doce de torneira por uma semana para ambientação ao meio hidropônico.

198 3.2 Descrição dos sistemas aquapônicos de recirculação de água

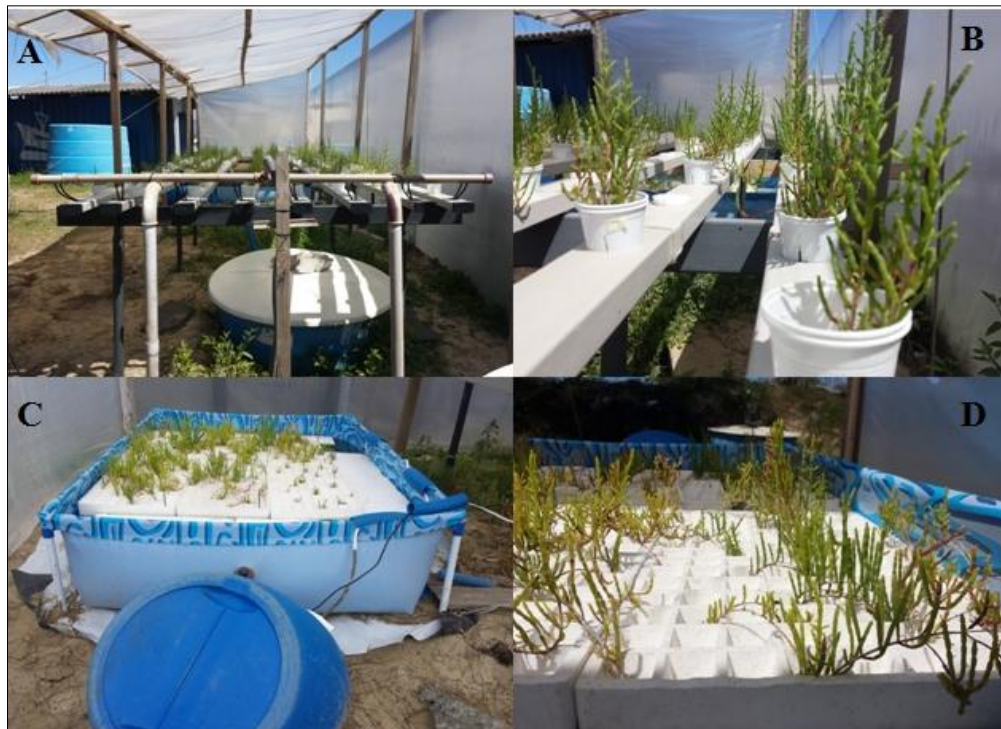
199 As plantas de *S. ambigua* foram transferidas em 13/04/2016 para dois sistemas
200 aquapônicos de recirculação de água, instalados na Estação Marinha de Aquicultura Prof.
201 Marcos Alberto Marchiori (EMA), do Instituto Oceanográfico (IO) da Universidade Federal
202 do Rio Grande (FURG), localizada na praia do Cassino, Rio Grande, RS (32° 19' S, 52° 15'
203 W). O primeiro, um sistema de camada filtrante (NFT) foi montado em uma bancada
204 hidropônica de PVC com tubos 85 X 45 mm e 6 m de comprimento (Figura 1: A,B). Nesse
205 sistema, 120 plantas foram distribuídas aleatoriamente em 8 tubos, sendo 15 plantas em cada
206 tubo. O sistema de circulação de água era composto por uma caixa d'água, com capacidade de
207 500L, contendo 450L, de onde água com nutrientes era retirada através de uma bomba de
208 recalque até um tubo injetor que distribuía a água para os tubos com as plantas enraizadas. A
209 água descia pelos tubos por gravidade, devido a um decaimento de 1 cm/60 cm de tubulação,
210 até uma caixa coletora e desta através de mangueira sanfonada retornava para a caixa d'água.
211 A bomba d'água foi mantida 15 minutos ligada e 15 minutos desligada, através de um
212 temporizador, totalizando um período de 12 horas de irrigação diária, a vazão desse sistema
213 foi estimado em 385,2L/hora, com uma taxa de renovação diária da água de 20,5 vezes
214 (Tabela 1).

215 O segundo sistema aquapônico utilizado foi de camada profunda (DWS), composto
216 por um tanque plástico (1,89m x 1,26m x 0,42m) de 1000L com 6 balsas flutuantes (bandejas
217 de isopor medindo 0,60m x 0,35m)(Figura 1: C,D). Neste sistema foram estabelecidas 120
218 plantas em buracos nas bandejas, sendo 20 plantas por bandeja, e as raízes das plantas
219 permaneceram completamente submersas em uma coluna d'água de 0,35 m. A recirculação de
220 água no tanque plástico foi realizada através de uma bomba de aquário submersa, que ficava
221 dentro de uma caixa plástica com capacidade aproximada de 60L, onde água com nutrientes
222 eram armazenados, e transferia a água para o tanque de cultivo através de uma mangueira
223 plástica. A água retornava do tanque de cultivo para a caixa plástica por gravidade através de
224 uma torneira acoplada. A entrada e a saída da água do tanque de cultivo foram localizadas em
225 lados opostos, para permitir um maior tempo de residência da água na tanque de cultivo. A
226 vazão do sistema DWS foi estimada em 61,2 L/hora, com uma taxa de renovação diária de 1,5
227 vezes (Tabela 1).

228 As plantas foram cultivadas durante 155 dias nos dois sistemas aquapônicos antes do
229 início do experimento com água do cultivo do bijupirá. Durante este período, denominado de
230 aclimatação, as plantas foram irrigadas com uma solução com 5g/L de NaCl, obtida pela
231 mistura de água proveniente da rede pública e sal marinho, com a adição de solução nutritiva

232 Hoagland na concentração final de 5%. A solução de irrigação foi trocada a cada duas
 233 semanas durante o período de aclimação. O objetivo do período de aclimação foi
 234 principalmente o desenvolvimento do sistema radicular das plantas dentro das tubulações da
 235 banca hidropônica e da coluna d'água do tanque de cultivo, criando uma extensa rede de
 236 raízes para absorção de nutrientes.

237



238

239

240 **Figura 1:** Fotografias dos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água avaliados. (A)
 241 Bancada do sistema NFT e (B) detalhe das plantas de *Sarcocornia ambigua* nos tubos de PVC
 242 por onde passava a água. (C) Tanque plástico de cultivo do sistema DWS e (D) detalhe das
 243 plantas nas bandejas flutuantes.

244

245

246 **Tabela 1.** Características dos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água avaliados.

247

SISTEMA	TIPO DE BOMBA	VAZÃO (L/hora)	VOLUME DIÁRIO (L)	VOLUME RESERVATÓRIO	TAXA DE RENOVAÇÃO (DIÁRIA)
NFT	Recalque ASKOLL 34W	385,2	3.244	450 L	20,5
DWS	SARLOBETTER Mod. Mini-a 2W	61,2	1.543	1000 L	1,5

248

249

250

251 3.3 Origem da água e desenho experimental

252 O experimento foi composto por três (3) ciclos de incubações consecutivas em regime
253 de batelada (sem renovação) da água da piscicultura marinha intensiva nos sistemas NFT e
254 DWS. A água utilizada no experimento foi obtida de dois tanques de engorda do cultivo
255 intensivo de bijupirá (*Rachycentron canadum*), localizados dentro de um galpão fechado na
256 Estação Marinha de Aquicultura (EMA) da FURG (Figura 2), com a temperatura da água
257 mantida em cerca de 26°C, e controle da qualidade da água através de filtros mecânico e
258 biológico: decantação, “skimmer”, esterilização da água com UV (SIBRAPE- PC-95) e filtro
259 de areia (SIBRAPE – SBPRO900). Cada tanque de bijupirá com capacidade de 15000 L de
260 água salgada abastecido com 6500 L, continham 127 peixes juvenis com comprimento e peso
261 médios de cerca de, respectivamente, 52 cm e 1000 g. Os peixes eram alimentados duas vezes
262 ao dia com ração específica para a espécie, com 38% de proteína bruta (Vittamar Beijupirá)
263 até a saciedade aparente. A água utilizada nos RAS aquapônicos foi captada do tanque de
264 sedimentação (*sump*) pela manhã após a alimentação dos peixes, através de bomba de
265 recalque de 1 HP. Da água captada no *sump* para os ciclos, metade da água vinha dos tanques
266 de engorda sem passar pelos filtros. A outra parte da água recebida no *sump* sofria uma
267 filtragem prévia, nos sistemas mecânicos e biológicos, com exceção do filtro de areia, pois a
268 água que seria retrolavada no dia era aproveitada para que não houvesse maiores gastos.
269



270

271 **Figura 2:** Tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá (*Rachycentron canadum*),
272 localizados na Estação Marinha de Aquicultura (EMA) da FURG, cuja água foi utilizada no
273 experimento de avaliação de sistemas aquapônicos de recirculação de água (Fonte: Marcelo
274 Okamoto).

275 Foram testados três tempos de recirculação (retenção) da água do cultivo de bijupirá
276 nos sistemas aquapônicos, através da coleta de amostras da água em cada RAS: no início do
277 período de recirculação (as 12h00min do dia; tempo 0 hora), após 24 horas, após 48 horas e
278 após 72 horas. Foram avaliados três ciclos de recirculação, doravante denominados C1, C2 e
279 C3. Os ciclos de recirculação foram realizados nos dias 19/09/2016 a 22/09/2016 (C1),
280 26/09/2026 a 29/09/2016 (C2) e 03/10/2016 a 06/10/2016 (C3), sendo todos intercalados por
281 um período de três dias. A replicação temporal (ciclos consecutivos) avaliou a eficiência e
282 repetibilidade do processo de tratamento da água, que ocorreu nos dois RAS aquapônicos,
283 frente à variação temporal do processo de engorda do bijupirá, ao manejo dos tanques de
284 cultivo (renovação de água, quantidade de ração etc.) e às variações ambientais no período de
285 cultivo (flutuações de temperatura, etc.). A água do cultivo do bijupirá era mantida nos dois
286 sistemas aquapônicos entre o final das 72 horas de avaliação e o início do próximo ciclo. No
287 início de cada ciclo, toda água dos sistemas NFT e DWS era descartada, e tanto a caixa
288 d'água (NFT) quanto o tanque de cultivo-caixa plástica (DWS) eram lavadas por escovação
289 com água da torneira, antes da recepção da água do cultivo do bijupirá.

290

291 **3.4 Análises de parâmetros físico-químicos, nutrientes e clorofila *a* da água nos** 292 **sistemas aquapônicos.**

293

294 Dados de radiação solar incidente e temperatura do ar foram obtidos da estação
295 meteorológica automática do INMET/FURG, localizada cerca de 20km do local da área de
296 estudo.

297 A salinidade, o pH e a condutividade da água nos dois sistemas aquapônicos foram
298 medidas uma vez por semana durante o período de aclimatação e a cada dia nos ciclos de
299 recirculação, respectivamente, com um refratômetro portátil (HandHeld, Atago - Japão),
300 pHmetro (Mettler Toledo®- made in China) e condutivímetro portátil (HI 9835 - HANNA®).

301 Durante os ciclos de recirculação, a cada dia foram coletados 2,5L de água de cada
302 sistema aquapônico e levados ao laboratório. No primeiro dia de cada ciclo, o preenchimento
303 da caixa d'água do NFT e do tanque de cultivo-caixa plástica do DWS com água do cultivo
304 do bijupirá demorava entre 1-2 horas, logo a água permaneceu nos sistemas aquapônicos de 2-
305 3 horas antes de ser coletada ao meio dia. As amostras de água coletadas foram filtradas
306 através de uma bomba a vácuo com filtros de acetato de celulose (Exacta®), com 47 mm de
307 diâmetro e porosidade 0,45µm. O volume total do filtrado foi posteriormente subdividido em
308 4 frascos plásticos (Naugene®) com tampa de enroscar de 120 mL, que foram congelados a -

309 18 °C para a quantificação por espectrofotometria das frações dissolvidas de nitrogênio
310 amoniacal total (NAT), nitrito, nitrato e ortofosfato (Baumgarten et al. 2010). Para cada dia de
311 coleta, duas subamostras obtidas (cada uma de um frasco diferente) foram utilizadas para
312 análise de cada nutriente avaliado. Todas as subamostras foram analisadas
313 espectrofotometricamente (espectrofotômetro SP1105, BEL Engineering, Itália). As colunas
314 redutoras (de cádmio) utilizadas para a análise de nitrato apresentaram rendimentos superiores
315 a 94% para redução de nitrato a nitrito; valores próximos ao recomendado por Baumgarten et
316 al. (2010; p. 127). As concentrações de nitrogênio amoniacal total (NAT) foram medidas
317 conforme metodologia preconizada pela UNESCO (1983), o nitrito (N-NO₂) conforme
318 Bendschneider & Robinson (1952), o nitrato (N-NO₃) e fosfato (P-PO₄) foram mensurado
319 seguindo a metodologia de Aminot & Chaussepied (1983).

320 Adicionalmente, dos 2,5L de água coletada diariamente de cada sistema aquapônico,
321 uma amostra de 100 ml foi filtrada em filtro de acetato de celulose com 0,45µm de porosidade
322 (Exacta®), para quantificação da clorofila *a* através do método Welschmeyer (1994). Estas
323 amostras de clorofila foram extraídas com acetona 90% no escuro a 4°C por 24 h e analisadas
324 fluorimetricamente (Fluorímetro TD-700, Turner, EUA). A análise de clorofila *a* foi realizada
325 para verificação do crescimento de microalgas nos sistemas de engorda do bijupirá (amostra
326 do d0) e RAS aquapônicos (demais dias), que poderiam ser em parte responsáveis pela
327 remoção dos nutrientes durante a recirculação.

328

329 **3.5 Avaliação do crescimento da *S. ambigua* nos dois sistemas aquapônicos.**

330 O crescimento das plantas de *S. ambigua* nos dois sistemas aquapônicos foi avaliado
331 durante o período de aclimação as condições hidropônicas e durante os ciclos de
332 recirculação da água do cultivo de bijupirá. Em ambos os períodos, foram medidas
333 periodicamente a altura do caule principal, o número de ramificações do caule principal e o
334 comprimento da maior ramificação do caule de todas as plantas nos dois RAS aquapônicos.
335 Durante o período de aclimação, as plantas foram medidas em 20 de abril de 2016 e em 10
336 de maio de 2016 (um intervalo de 20 dias de cultivo).

337 Após 64 dias de aclimação nos dois sistemas aquapônicos (em 14/07/2016), os
338 caules de todas as plantas foram cortados a uma altura de 4 cm de suas bases com tesoura de
339 poda, sendo permitido o rebrote dos caules. Estudos anteriores mostraram o rápido
340 crescimento vegetativo de plantas enraizadas de *S. ambigua* após a poda dos seus caules
341 (Costa 2006, 2011, Costa & Herrera 2016), assim a poda visou estimular a formação de
342 biomassa e consequente incorporação de nutrientes nas plantas. Ao final do último ciclo de

343 recirculação da água do cultivo de bijupirá, os caules das plantas rebrotadas foram novamente
344 medidos (88 dias após a poda; em 06/10/2016). Todos os parâmetros biométricos
345 quantificados na aclimatação foram novamente quantificados. Adicionalmente, ao final do
346 terceiro ciclo de recirculação foi realizada a coleta de 16 plantas do NFT e 12 plantas do
347 DWS, para quantificação da biomassa rebrotada de caules (BC) e da biomassa de raízes (BR).
348 Após a coleta, as plantas foram secas em papel toalha e os pesos frescos dos dois
349 componentes da biomassa estimados em balança de precisão (0,01 g). O percentual de
350 biomassa alocada (PC) para a formação de caules foi estimado para cada sistema aquapônico
351 pela equação 1:

$$352 \quad PC = BC / (BC + BR) * 100 \quad [1]$$

353

354 **3.6 Análise Estatística**

355 Os dados dos parâmetros físico-químicos da água, das concentrações de nutrientes e
356 de desenvolvimento das plantas de *S. ambigua* foram testados quanto à homocedasticidade e
357 normalidade (Zar 2010), sendo necessária a transformação matemática de algumas variáveis
358 antes das análises paramétricas. Dados de nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e fosfato foram
359 transformados através das funções: nitrato e ortofosfato através de $\text{Log}_{10}(x)$; nitrito e
360 nitrogênio amoniacal total através de $\text{Log}_{10}(100x+1)$. Dados de biomassa de caules e raízes
361 foram transformados através da função $\text{Log}_{10}(10x)$ e os valores de percentual de biomassa
362 alocada para caules através da função raiz quadrada. Os dados em tabelas e figuras foram
363 apresentados sem transformações.

364 Para cada RAS aquapônico, os parâmetros da qualidade de água (pH, temperatura da
365 água, salinidade, condutividade e clorofila *a*) foram comparados entre ciclos de reciclagem
366 através de Análises de Variância (ANOVA) de uma via. Diferenças na concentração dos
367 nutrientes entre os dias de recirculação dentro de cada ciclo foram analisadas por ANOVAs
368 de uma via. Adicionalmente foi realizada uma ANOVA fatorial de três vias para cada
369 nutriente, onde os Tipos de sistemas aquapônicos, Ciclo de recirculação e Tempo de
370 incubação foram considerados fatores fixos. Foram incluídas nos modelos destas ANOVAs
371 apenas interações de segunda ordem dos tratamentos. Quando diferenças significativas ($p <$
372 $0,05$) foram detectadas nas ANOVAs, médias foram comparadas através do teste *post-hoc* de
373 Tukey HSD ($p < 0,05$).

374 Para cada sistema aquapônico, as diferenças percentuais entre os valores médios
375 iniciais dos nutrientes (N_0) e os valores nos outros tempos de recirculação da água (N_i) foram

376 utilizadas como estimativas da taxa de remoção (R%) dos nutrientes ao longo dos ciclos de
377 recirculação, conforme a Equação 2.

378

$$379 \quad R\% = 100 - (N_i / N_0 * 100) \quad [2]$$

380

381 Onde: N_i é a concentração do nutriente no tempo de retenção “i” de C1, C2 ou C3; N_0 é a
382 concentração do parâmetro no tempo inicial. Quando as concentrações dos nutrientes ao longo
383 do ciclo de reciclagem foram maiores do que em N_0 , a equação da taxa de remoção gerou
384 valores negativos. Nestes casos foi ressaltado na descrição do resultado que ocorreu um
385 aumento da concentração ao invés de remoção.

386 O crescimento das plantas de *S. ambigua* no período de aclimação foi avaliado para
387 cada sistema aquapônico através de testes “t” pareados das medidas biométricas (duas datas
388 separadas por 20 dias) de cada planta (Zar 2010). A comparação do desenvolvimento médio
389 das planta entre os tipo de sistema aquapônico de recirculação de água (NFT e DWS) neste
390 mesmo período foi realizada através de Análises de Variância de medidas repetidas (Zar
391 2010). A interação Tipo de sistema aquapônico x Tempo de cultivo foi incluída no modelo da
392 ANOVA para avaliar diferenças na forma de crescimento das plantas (alongamento dos
393 caules e ramificações, como de formação de ramificações do caule) entre os tipos de sistema
394 aquapônico.

395 Os dados biométricos, de biomassas de caules e de raízes da segunda avaliação do
396 crescimento das plantas de *S. ambigua*, que ocorreu entre a poda das hastes e o final dos
397 ciclos de recirculação (duas datas separadas por 88 dias), foram comparados entre tipos de
398 sistemas aquapônicos através de testes “t” (Zar 2010).

399

400

401 **4. RESULTADOS**

402 **4.1 Parâmetros meteorológicos e variáveis da qualidade de água**

403 Durante o período de aclimação (13/04 a 19/09/2016) as plantas de *S. ambigua* nos
404 RAS aquapônicos ficaram expostas a temperatura média do ar de 15,1°C (variou de 2,7 a
405 34,2°C), sendo submetida a radiação solar diária incidente média de 10,5 MJ/m²/dia (variou
406 de 7,7 a 15,2 MJ/m²/dia). Durante o experimento de recirculação (19/09 a 06/10/2016), a
407 temperatura média do ar foi de 15,0°C (variou de 7,5 a 22,4°C) e a radiação solar diária média
408 foi de 17,5 MJ/m²/dia (variou de 10, a 24,6MJ/m²/dia).

409 A água captada dos tanques de engorda do bijupirá, no início de cada ciclo de
410 recirculação de água, nos RAS aquapônicos apresentou os valores médios conforme Tabela 2.
411 Na coleta da água de C3 foi possível observar uma diferença na coloração da água, que se
412 apresentou amarelo clara em contraste ao aspecto transparente dos dois primeiros ciclos. Em
413 C3 também foi observado o maior valor de clorofila *a* (3,11 µg/L).

414 Na comparação entre ciclos, dos valores médios das características da água que
415 recirculou 72 horas nos RAS aquapônicos, foi observado um aumento da salinidade de C1
416 para C3, simultaneamente com um aumento de cerca de 2°C na temperatura e redução do pH
417 em 0,15 (este último parâmetro, com uma diferença significativa no sistema DWS; Tabela 3).
418 Um maior valor médio de clorofila *a* também foi observado durante C3 no sistema DWS, no
419 entanto não sendo verificada diferença significativa ($p>0,05$) entre ciclos em ambos os RAS
420 aquapônicos (Tabela 3).Adicionalmente, em todos os ciclos o pH da água no DWS foi menor
421 do que no NFT.

422

423 **Tabela 2.** Variação temporal das características da água captada dos tanques de engorda do
424 cultivo intensivo de bijupirá para o experimento com os dois sistemas aquapônicos de
425 *Sarcocornia ambigua*. Amostras foram coletadas no início dos ciclos de recirculação da água
426 analisados (C1, C2, C3).

427

Parâmetros	C1	C2	C3
pH	7,93	7,75	7,73
Temperatura °C	20	21,2	22,8
Salinidade (‰)	28	30	31
Condutividade (mS/cm)	45,2	41,7	47,8
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	0,08	0,3	1,57

428

429 **Tabela 3.** Valores médios (\pm erro padrão), máximos e mínimos das características da água em
 430 cada ciclo de recirculação da água (resultados globais das 72 horas) dos tanques de engorda
 431 do cultivo intensivo de bijupirá nos dois sistemas aquapônicos de *Sarcocornia ambigua*. C1,
 432 C2, C3 são ciclos de recirculação da água analisados (n= 8) e os resultados de Análises de
 433 Variância de uma via de comparação entre ciclos são apresentados. Letras diferentes na
 434 mesma linha significam médias significativamente ($p < 0,05$) diferentes conforme o teste de
 435 Tukey.

436

Parâmetros para NFT	C1	C2	C3	F	p
pH	8,03 \pm 0,03 8,09– 7,94	7,92 \pm 0,05 8,01 – 7,78	7,91 \pm 0,06 7,99 – 7,73	1,52	ns
Temperatura °C	18,7 \pm 1,23 20,9 - 15,3	18,6 \pm 0,86 20,8 – 16,7	20,2 \pm 0,99 22,6 – 17,8	0,716	ns
Salinidade (‰)	28	30	31	-	-
Condutividade (mS)	45,5 \pm 1,03ab 47,9 – 43,3	43,1 \pm 0,67c 44,5 – 41,3	47,0 \pm 0,78a 48,5– 44,8	5,451	*
Clorofila a (μ g/L)	0,05 \pm 0,04 0,16 – 0	0,07 \pm 0,03 0,15 – 0	0,07 \pm 0,04 0,2 – 0	0,043	ns
Parâmetros para DWS	C1	C2	C3	F	p
pH	7,85 \pm 0,04a 7,93– 7,43	7,71 \pm 0,01b 7,73 – 7,68	7,69 \pm 0,03b 7,73 – 7,6	7,4	*
Temperatura (°C)	18 \pm 0,82 20 – 16	18,2 \pm 1,18 21,7 – 16,6	19,4 \pm 1,23 23,1 – 18	0,518	ns
Salinidade (‰)	28	30	31	-	-
Condutividade (mS)	47,2 \pm 0,40a 48,3 – 46,6	42,6 \pm 0,39b 43,6 – 41,9	46,2 \pm 0,96a 48,4 – 43,8	14,11	*
Clorofila a (μ g/L)	0,02 \pm 0,02 0,09 – 0	0,51 \pm 0,06 0,61 – 0,36	1,27 \pm 0,61 3,11 – 0,59	3,13	ns

437 * $p < 0,05$, ns: não significativo ($p > 0,05$).

438

439 **4.2 Fatores determinantes da variação nas concentrações dos nutrientes da água nos** 440 **RAS aquapônicos**

441 Ocorreram marcantes variações nas concentrações dos nutrientes na água dos tanques
 442 de bijupirá dentro dos dois RAS aquapônicos durante o experimento (Tabelas 4-6). A análise
 443 global dos resultados através de ANOVAs de três vias mostrou que as diferenças
 444 significativas mais expressivas dos valores médios foram observadas entre ciclos e entre RAS
 445 aquapônicos, ocorrendo remoções dos nutrientes dissolvidos em algumas situações.

446 As concentrações de nitrato foram significativamente ($p < 0,001$) reduzidas pelos RAS
447 aquapônico (Tabela 7). Menores teores globais de nitrato foram detectados no NFT ($p <$
448 $0,001$) e no C1 ($p < 0,001$) em relação, respectivamente, o DWS e os demais ciclos de
449 recirculação (Tabelas 4-6). ANOVA de três vias mostrou que estes resultados foram
450 consequência da maior redução deste nutriente ao longo das 72h em NFT do que em DWS
451 (interação Sistema x Tempo de retenção significativa; $p < 0,05$), bem como no C1 do que em
452 C2 e C3 (interação Ciclos x Tempo de retenção significativa; $p < 0,001$).

453 O NFT também apresentou uma concentração média global de nitrito menor ($p <$
454 $0,001$) do que o DWS (Tabela 8), mas os teores deste nutriente reduziram ($p < 0,001$) entre C1
455 e C2-C3, bem como de forma geral o nitrito aumentou ($p < 0,01$) ao longo do tempo de
456 retenção. Todas as interações de segunda ordem da ANOVA do nitrito apresentaram valores
457 significativos, indicando que os padrões gerais acima variaram entre os fatores fixos (Tabela
458 4-6). Por exemplo, em C1 as concentrações de nitrito no NFT aumentaram com o tempo de
459 retenção enquanto no DWS os valores diminuíram, porém durante C2 e C3 este padrão
460 temporal foi invertido (valores diminuíram em NFT e aumentaram em DWS).

461 Os resultados globais do NAT (Tabela 9) foram em parte semelhantes aos do nitrato,
462 com menor valor global em NFT do que em DWS e uma redução significativa ao longo do
463 tempo de retenção, que foi mais acentuada ao longo das 72h em NFT do que em DWS
464 (interação Sistema x Tempo de retenção significativa; $p < 0,001$). Uma maior concentração
465 média global de nitrogênio amoniacal também foi observada em C3, particularmente em
466 DWS (interação significativa Sistema x Ciclos), quando o valor deste nutriente oscilou entre
467 os tempos de retenção em ambos os RAS aquapônicos (Tabela 6), ao invés de decair como foi
468 observado em C1 e C2 (Tabelas 4-5; interação Ciclos x Tempo de retenção significativa na
469 Tabela 9).

470 A análise global do fosfato mostrou que a concentração deste nutriente manteve-se
471 mais alta no DWS, aumentou significativamente entre C1 e C3, bem como ao longo do tempo
472 de retenção em todos os ciclos e em ambos os RAS aquapônicos (Tabela 10). A diferença na
473 concentração média de fosfato entre NFT e DWS aumentou entre C1 e C3 (Tabelas 4-6),
474 resultando em uma interação significativa Sistema X Ciclos. Durante os ciclos, o acúmulo de
475 fosfato ao longo do tempo de retenção foi sempre mais rápido no DWS do que no NFT
476 (interação significativa Sistema x Tempo), entretanto o aumento da concentração deste
477 nutriente em relação à concentração inicial foi reduzindo entre C1 e C3 (interação
478 significativa Ciclos x Tempo).

479

480 **Tabela 4.** Resultados no ciclo de recirculação C1 das concentrações médias (\pm erro padrão;
 481 em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao
 482 longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS.
 483 Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme
 484 o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção).

Sistema NFT				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	24,4 \pm 0,60 a	0,14 \pm 0,01 a	0,15 \pm 0,02 a	0,61 \pm 0,05 ab
24	20,6 \pm 0,05 b	0,30 \pm 0,0 b	0,06 \pm 0,0 a	0,36 \pm 0,11 a
48	16,05 \pm 0,05 c	0,30 \pm 0,01 b	0,04 \pm 0,02 a	1,00 \pm 0,03 b
72	7,95 \pm 0,65 d	0,22 \pm 0,0 b	0,02 \pm 0,01 a	1,05 \pm 0,05 b

Sistema DWS				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	39,0 \pm 1,0 a	0,33 \pm 0,02 a	0,15 \pm 0,02 a	0,56 \pm 0,06 c
24	25,0 \pm 0,0 b	0,20 \pm 0,0 c	0,14 \pm 0,04 a	0,83 \pm 0,09 bc
48	14,3 \pm 0,50 c	0,26 \pm 0,01 b	0,04 \pm 0,0 b	1,29 \pm 0,05 ab
72	13,6 \pm 1,25 c	0,24 \pm 0,01 bc	0,04 \pm 0,01 b	2,0 \pm 0,10 a

485

486

487 **Tabela 5.** Resultados no ciclo de recirculação C2 das concentrações médias (\pm erro padrão;
 488 em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao
 489 longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS.
 490 Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme
 491 o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção).

Sistema NFT				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	21,85 \pm 2,05 a	0,10 \pm 0,01 a	0,3 \pm 0,0 a	4,75 \pm 0,15 a
24	21,90 \pm 2,0 a	0,09 \pm 0,0 a	0,06 \pm 0,01 ab	5,33 \pm 0,17 a
48	25,90 \pm 0,0 a	0,09 \pm 0,01 a	0,10 \pm 0,04 a	5,60 \pm 0,60 a
72	23,90 \pm 0,0 a	0,08 \pm 0,0 a	0,01 \pm 0,01 b	6,95 \pm 0,95 a

Sistema DWS				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	25,90 \pm 0,0 ab	0,09 \pm 0,0 c	0,09 \pm 0,01 a	5,03 \pm 0,13 b
24	23,90 \pm 0,0 b	0,10 \pm 0,0 bc	0,08 \pm 0,0 a	5,20 \pm 0,30 b
48	30,80 \pm 5,0 ab	0,12 \pm 0,01 ab	0,05 \pm 0,0 c	7,85 \pm 0,45 b
72	39,80 \pm 0,0 a	0,13 \pm 0,0 a	0,01 \pm 0,0 b	11,35 \pm 1,05 a

492

493

494 **Tabela 6.** Resultados no ciclo de recirculação C3 das concentrações médias (\pm erro padrão;
 495 em mg /L) dos nutrientes da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá ao
 496 longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h) nos sistemas aquapônicos NFT e DWS.
 497 Letras minúsculas diferentes indicam médias significativamente diferentes ($p < 0,05$) conforme
 498 o teste de Tukey, realizado após ANOVA de uma via (entre tempos de retenção).
 499

Sistema NFT				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	34,90 \pm 0,0 a	0,08 \pm 0,0 a	0,10 \pm 0,01 a	7,20 \pm 0,20 a
24	33,90 \pm 0,0 a	0,07 \pm 0,0 ab	0,01 \pm 0,0 b	7,40 \pm 0,0 a
48	30,90 \pm 5,0 a	0,06 \pm 0,0 b	0,10 \pm 0,0 a	6,90 \pm 0,40 a
72	30,90 \pm 0,0 a	0,05 \pm 0,0 b	0,09 \pm 0,0 a	9,55 \pm 0,85 a
Sistema DWS				
	NO3	NO2	NAT	PO4
Tempo (h)	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP	Média \pm EP
0	39,90 \pm 2,0 bc	0,09 \pm 0,0 b	0,10 \pm 0,0 ab	7,60 \pm 0,28 b
24	35,90 \pm 0,0 c	0,09 \pm 0,0 b	0,08 \pm 0,0 b	8,30 \pm 0,0 b
48	55,80 \pm 2,0 a	0,14 \pm 0,00 a	0,18 \pm 0,02 a	13,90 \pm 0,99 a
72	45,80 \pm 2,0 ab	0,15 \pm 0,01 a	0,08 \pm 0,01 ab	13,20 \pm 0,0 a

500
501

502 **Tabela 7.** Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrato (N-NO₃) na
 503 água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas
 504 aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A
 505 interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de
 506 liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.

507

Parâmetro	gl	MS	F	p
SISTEMA	1	0,1738	57,86	<0,0001
CICLOS	2	0,4013	133,66	<0,0001
TEMPO	3	0,0289	9,61	<0,0001
SISTEM*CICLOS	2	0,0002	0,05	0,9473
SISTEM*TEMPO	3	0,0131	4,35	0,0116
CICLOS*TEMPO	6	0,0803	26,74	<0,0001
Resíduo	30	0,0030		

508
509

510 **Tabela 8.** Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrito (N-NO₂) na
 511 água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas
 512 aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A
 513 interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de
 514 liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.
 515

Parâmetro				
	gl	MS	F	p
SISTEMA	1	11,8296	12155,11	<0,0001
CICLOS	2	0,3115	320,10	<0,0001
TEMPO	3	0,0056	5,72	0,0042
SISTEM*CICLOS	2	0,3173	325,99	<0,0001
SISTEM*TEMPO	3	0,0072	7,38	0,0011
CICLOS*TEMPO	6	0,0143	14,69	<0,0001
Resíduo	24	0,0010		

516

517

518 **Tabela 9.** Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de nitrogênio amoniacal
 519 total (NAT-N) na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada
 520 nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de
 521 retenção. A interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl=
 522 graus de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.
 523

Parâmetro				
	gl	MS	F	p
SISTEMA	1	2,52066	104,52	<0.0001
CICLOS	2	0,62052	25,73	<0.0001
TEMPO	3	0,22528	9,34	0.0002
SISTEM*CICLOS	2	0,67130	27,84	<0.0001
SISTEM*TEMPO	3	0,18711	7,76	0.0006
CICLOS*TEMPO	6	0,07249	3,01	0.0202
Resíduo	30	0,02412		

524

525

526

527

528

529 **Tabela 10.** Resultados das ANOVA fatorial de três vias para os teores de fosfato (P-PO₄) na
 530 água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá recirculada nos sistemas
 531 aquapônicos (NFT e DWS), nos três ciclos de recirculação e quatro tempos de retenção. A
 532 interação de terceira ordem não foi incluída no modelo de ANOVA. Legenda: gl= graus de
 533 liberdade;MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.
 534

Parâmetros				
	gl	MS	F	p
SISTEMA	1	33,272	33,89	<0,0001
CICLOS	2	287,207	292,50	<0,0001
TEMPO	3	20,475	20,85	<0,0001
SISTEM*CICLOS	2	7,943	8,09	0,0015
SISTEM*TEMPO	3	7,497	7,63	0,0006
CICLOS*TEMPO	6	3,954	4,03	0,0045
Resíduo	30	0,982		

535

536

537 **4.3 Concentrações, remoções e acúmulos de nutrientes ao longo do tempo de** 538 **retenção.**

539 Em C1 observou-se reduções significativas ($p < 0,001$) das concentrações médias do
 540 nitrato ao longo do tempo de recirculação nos dois RAS aquapônicos (Tabela 11). No NFT,
 541 os valores médios decaíram de 24,4 para 7,95 mg N-NO₃/L, gerando uma taxa de remoção do
 542 nitrato de 67,4% em 72 horas, enquanto no DWS a redução foi de 39,0 para 13,6 mg N-
 543 NO₃/L em 72 horas e taxa de remoção de 65,3% (Tabela 4; Figura 3-5). A diferença entre as
 544 concentrações iniciais do nitrato dos sistemas NFT e DWS, também para outros nutrientes e
 545 em outros ciclos (veja abaixo), foi estabelecida no período entre a colocação da água nos RAS
 546 aquapônicos e a coleta para análises químicas (2-3horas; veja Material e Métodos). O
 547 estabelecimento dessas diferenças possivelmente está relacionado a condições mantidas na
 548 rizosfera das plantas, única parte dos RAS aquapônicos que não era limpa/perturbada antes no
 549 início de cada ciclo. Neste ciclo inicial também foram observadas quedas significativas das
 550 concentrações de nitrito (maior em DWS; remoção de 25% em 72 horas), mas mais
 551 marcadamente do nitrogênio amoniacal total (Tabela 4), cujas concentrações iniciais de
 552 0,15mg NAT-N/L reduziram no NFT e DWS, respectivamente, 86,7% e 93,3% em 72horas
 553 (Tabela 4, Figura 3-5).

554 No C2 e C3, não ocorreu remoção de nitrato no NFT (média C2= 21,8-23,9 mg N-
 555 NO₃/L; C3= 30,9-34,9 mg N-NO₃/L) e este nutriente aumentou ($p < 0,05$) no DWS entre

556 14,8% (C3; até um máximo observado de 55,8 mg N-NO₃/L) e 53,6% (C2) ao longo das 72
557 horas de retenção (Tabelas 5-6, Figuras 3-5). As concentrações de nitrito no NFT mostraram-
558 se estáveis (C2) ou sofreram uma remoção de 41,2% (C3), contrastando com DWS onde
559 incorporações de 44,4-66,7% ocorreram, elevando os valores médios até 0,15 mg N-NO₂/L
560 (Tabelas 5-6, Figuras 3-5). Como comentado na análise global do experimento (seção 4.2),
561 em ambos os RAS aquapônicos, altas taxas de remoção do nitrogênio amoniacal total (88,8-
562 92,8%) com reduções significativas de valores de 0,13-0,14 mgNAT-N/L para 0,01 mgNAT-
563 N/L ocorreram durante C2 (Tabelas 5-6, Tabela 11), enquanto em C3 remoções seguidas de
564 incorporações se alternaram ao longo das 72 horas (Figuras 4-5).

565

566

567

568 **Tabela 11.** Resultados das ANOVA fatorial de uma via da variação dos teores de nitrato,
 569 nitrito, nitrogênio amoniacal e fosfato na água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de
 570 bijupirá entre quatro tempos de retenção nos sistemas aquapônicos (NFT e DWS). Os
 571 resultados de cada ciclo de recirculação (C1, C2 e C3) são apresentados. Legenda: gl= graus
 572 de liberdade; MS= médias dos quadrados; F= teste de Fisher; p= significância do fator.

573

574 **(A) Nitrato**

Sistema NFT		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,0926	133,9	0,0001	0,0026	1,618	0,3180	0,0015	2,46	0,2021
Resíduo	4	0,0007			0,0016			0,0006		

Sistema DWS		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,095	96,65	0,0003	0,0179	7,554	0,0400	0,0137	25,38	0,0046
Resíduo	4	0,001			0,0024			0,0005		

575 **(B) Nitrito**

Sistema NFT		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,054	37,69	0,0020	0,0022	0,663	0,6160	0,0138	12,48	0,0168
Resíduo	4	0,001			0,0033			0,0011		

Sistema DWS		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,0151	37,67	0,0021	0,0105	16,00	0,0110	0,0305	57,38	0,0009
Resíduo	4	0,0004			0,0007			0,0005		

576 **(C) Nitrogênio Amoniacal**

Sistema NFT		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,311	5,30	0,7030	0,3692	13,25	0,0150	0,4917	252,0	<0,0001
Resíduo	4	0,059			0,0279			0,0019		

Sistema DWS		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,244	19,97	0,0071	0,3956	263,5	<0,0001	0,0398	13,37	0,0149
Resíduo	4	0,012			0,0015			0,0030		

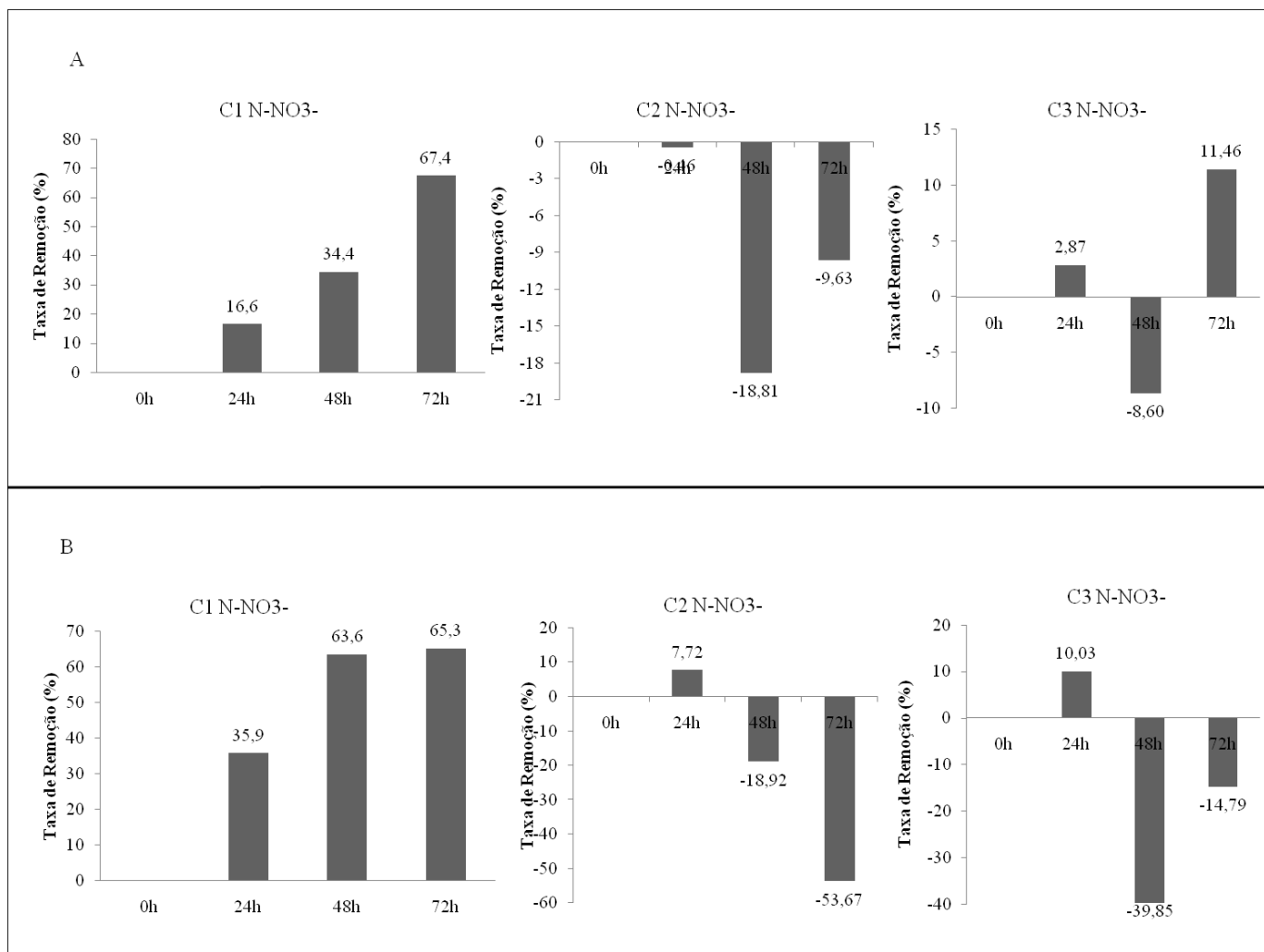
577 **(D) Fosfato**

Sistema NFT		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,103	9,889	0,0250	1,001	1,522	0,3380	2,924	6,341	0,0532
Resíduo	4	0,010			0,658			0,461		

Sistema DWS		C1			C2			C3		
Fatores	gl	MS	F	p	MS	F	p	MS	F	p
Tempo	3	0,114	41,35	0,0018	17,519	24,838	0,0050	21,233	80,126	0,0005
Resíduo	4	0,003			0,705			0,265		

578

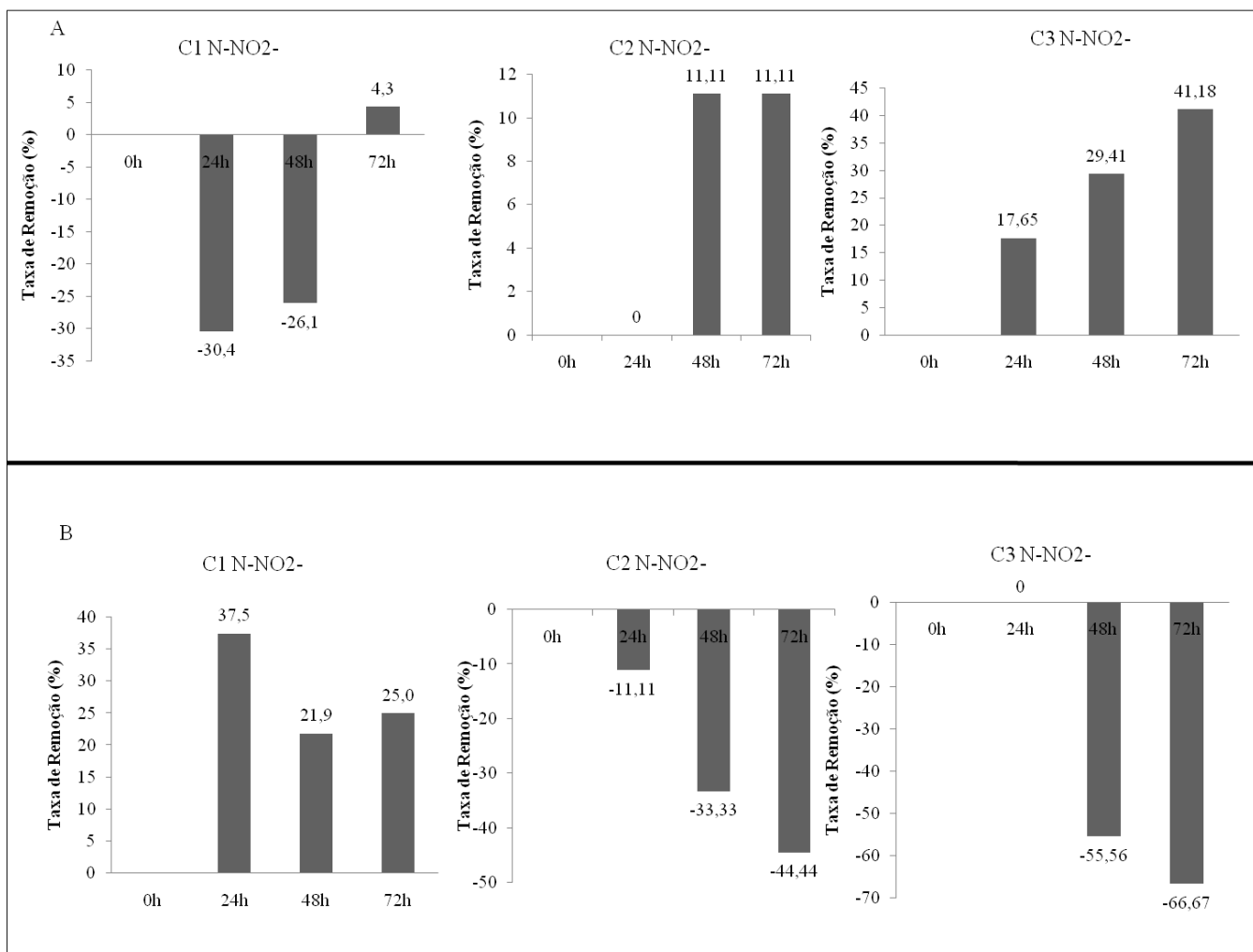
579



580

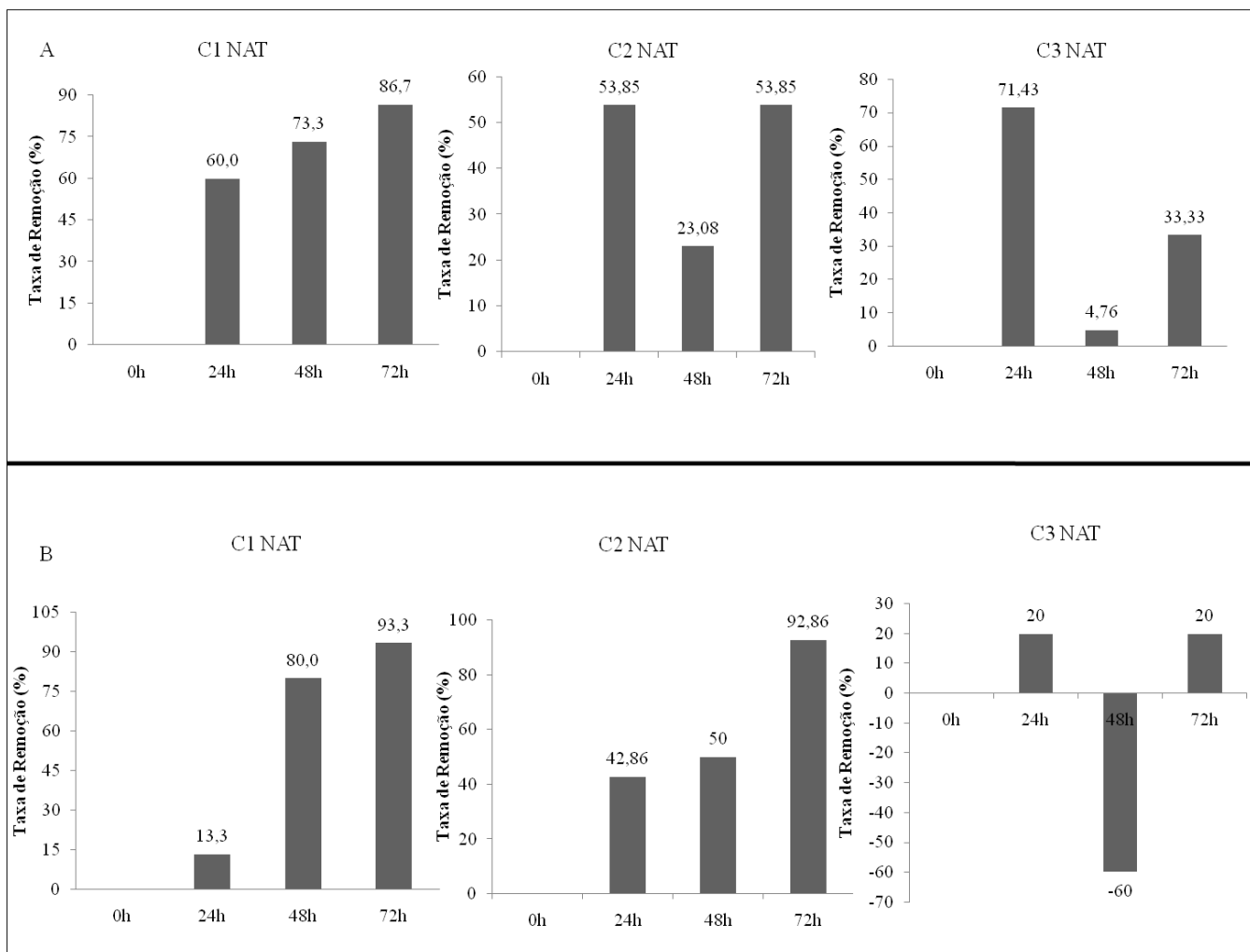
581 **Figura 3:** Avaliação do percentual da remoção do nitrato (N-NO₃) da água dos tanques de
 582 engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e DWS (B) para
 583 os ciclos de recirculação ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).

584



585

586 **Figura 4:** Avaliação do percentual da remoção de nitrito (N-NO₂) da água dos tanques de
 587 engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e DWS (B) para
 588 os ciclos de recirculação ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).

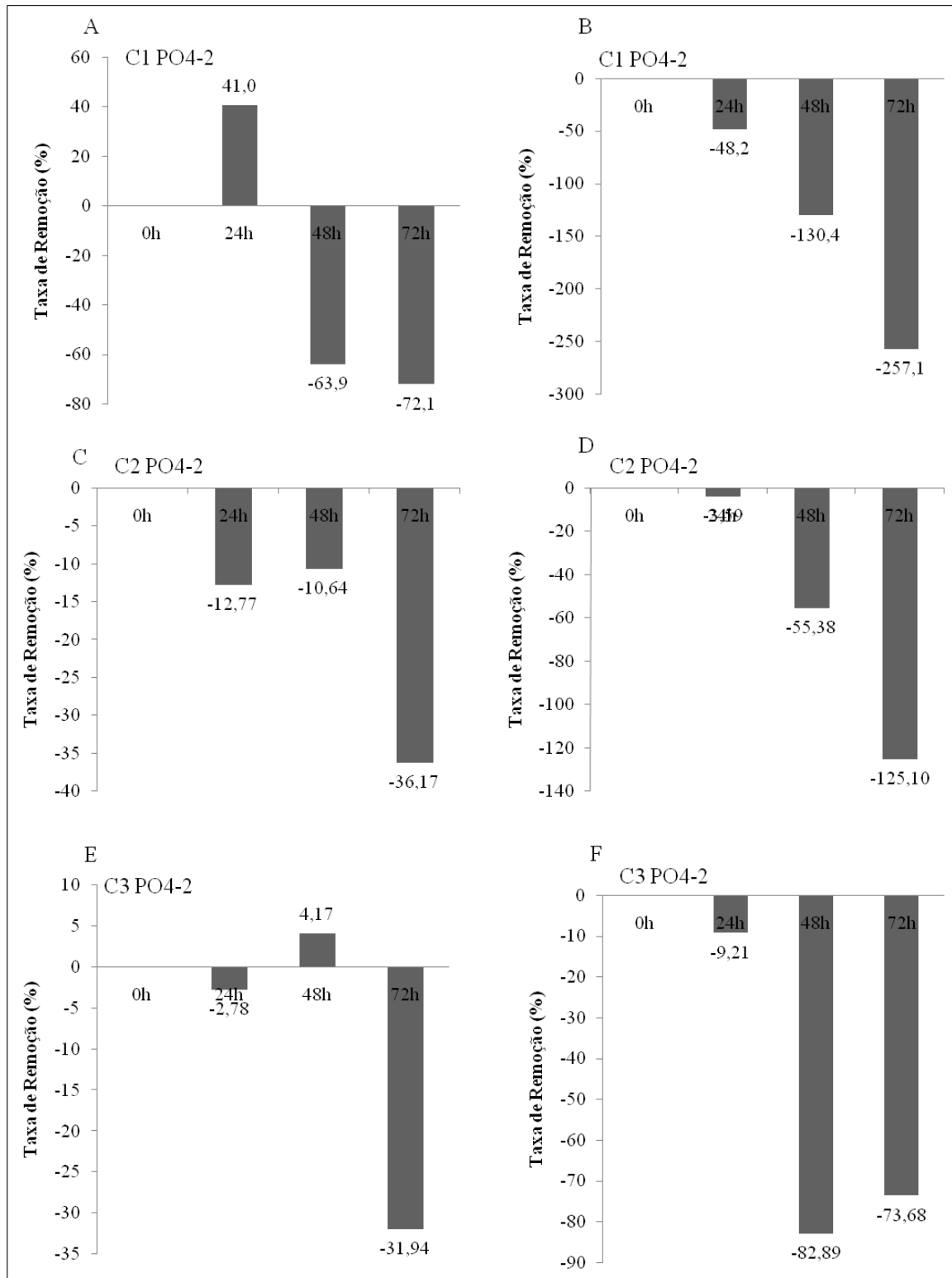


589

590 **Figura 5:** Avaliação do percentual da remoção de nitrogênio amoniacal total (NAT) da água
 591 dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A) e
 592 DWS (B) para os ciclos de recirculação ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).

593

594 Em ambos os RAS aquapônicos e em todos os ciclos, o fosfato apresentou taxas de
595 incorporação significativas na água em recirculação (Tabela 11, Figura 6). Tanto valores
596 médios iniciais (C1= 0,61-0,56 mg P-PO₄/L; C2= 4,75-5,03 mg P-PO₄/L; C3= 7,20-7,60 mg
597 P-PO₄/L) como finais da retenção (C1= 1,05-2,00 mg P-PO₄/L; C2= 6,95-11,35 mg P-
598 PO₄/L; C3= 9,55-13,20 mg P-PO₄/L) aumentaram de C1 para C3 (Tabelas 4-6). No entanto,
599 as taxas de incorporação de fosfato nas 72 horas de recirculação reduziram entre C1 e C3 de
600 72,1% para 31,4% em NFT e de 257,1% para 73,7% em DWS (Figura 6).
601



602
603
604
605
606
607

Figura 6: Avaliação do percentual da remoção do fosfato da água dos tanques de engorda do cultivo intensivo de bijupirá nos sistemas aquapônicos NFT (A, C, E) e DWS (B, D e F) para os ciclos de recirculação C1, C2 e C3 ao longo dos tempos de retenção (0h, 24h, 48h e 72h).

608 **4.4 Crescimento da *S. ambigua* nos dois sistemas aquapônicos**

609 Durante o período de aclimação, onde foram realizadas duas biometrias com
 610 intervalo de 20 dias, as plantas de *S. ambigua* em ambos os RAS aquapônicos cresceram
 611 significativamente ($p < 0,001$ para o Fator tempo de todas variáveis; Tabela 12). Plantas no
 612 sistema NFT apresentaram maiores alturas de caule, número e comprimento de ramificações
 613 do que plantas no sistema DWS (Tabela 13; $p < 0,001$ para Fator sistema de todas variáveis,
 614 Tabela 12). As interações significativas ($p < 0,01$) Tempo de cultivo x Sistema aquapônico
 615 (Tabela 12) indicaram uma maior taxa de formação de ramificações no sistema NFT (ganho
 616 médio de 4,6 novas ramificações) e uma maior taxa de alongamento das ramificações (ganho
 617 de 1,2 cm) no sistema DWS (Tabela 13). Logo, o tipo de cultivo hidropônico induziu
 618 diferentes formas de crescimento para planta.

619

620

621 **Tabela 12.** Resultados das ANOVA de medidas repetidas do desenvolvimento das plantas de
 622 *Sarcocornia ambigua* durante 20 dias do período de aclimação nos dois sistemas de
 623 recirculação de água testados. Os valores dos efeitos do tempo de cultivo, tipo de sistema de
 624 cultivo, a interação entre estes efeitos (T*S), os graus de liberdade (gl), as médias dos
 625 quadrados (MS) e os valores dos testes “F” de Fisher são apresentados (n=120).

626

Parâmetro	Altura				Ramificações				Compri. Ramif.			
	gl	MS	F	p	gl	MS	F	p	gl	MS	F	p
Tempo	1	410,2	125,63	***	1	1391.53	34.82	***	1	190.08	35.13	***
Sistema	1	4394,6	142,33	***	1	555.24	234.37	***	1	1716.84	50.95	***
T*S	1	6,1	1,86	ns	1	176.85	29.79	***	1	33.37	6.17	**
Resíduo	231				231				203			

627 ns $p > 0,05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0,001$.

628

629

630 **Tabela 13.** Avaliação do desenvolvimento das plantas de *Sarcocornia ambigua* durante os 20
 631 dias do período de aclimação nos dois sistemas de recirculação de água testados. Valores
 632 das médias (\pm erro padrão) para cada parâmetro biométrico entre datas de medição e diferença
 633 (Dif.) entre médias são apresentadas (n=120).

Parâmetros	Sistemas de Cultivo			
	NFT		DWS	
	Média \pm EP	Dif.	Média \pm EP	Dif.
Altura Inicial (cm)	19,45 \pm 0,30		13,4 \pm 0,41	
Altura Final (cm)	21,05 \pm 0,36	+1,6	15,5 \pm 0,42	+2,1
Nº ramificações Inicial	3,22 \pm 0,25		2 \pm 0,21	
Nº ramificações Final	7,84 \pm 0,43	+4,6	4 \pm 0,28	+2,0
Comp. Ramificação Inicial (cm)	9,46 \pm 0,44		4,4 \pm 0,33	
Comp. Ramificação Final (cm)	9,70 \pm 0,54	+0,24	5,6 \pm 0,38	+1,2

634

635 Na segunda avaliação do crescimento das plantas de *S. ambigua*, entre a poda das
 636 hastes e a coleta final, também foi observado um desenvolvimento (Teste t; $p < 0,001$) de
 637 rebrotes no sistema NFT do que no DWS (Tabela 14). Plantas no NFT apresentaram médias
 638 do número de ramificações, do comprimento da maior ramificação e das biomassas dos caules
 639 e raízes produzidas após 88 dias, respectivamente, 311%, 143%, 155% e 674% maior do que
 640 das plantas no DWS. O percentual da biomassa total alocada para a formação de biomassa de
 641 caules da *S. ambigua* também foi significativamente diferente entre RAS aquapônicos. O
 642 menor investimento na biomassa de caules (60%) no NFT reflete o grande desenvolvimento
 643 das raízes, que certamente foi responsável pelo melhor desenvolvimento da planta neste
 644 sistema. Considerando um máximo número de plantas de 184, que podem ser acomodadas na
 645 bancada NFT comercial e no sistema DWS utilizados, a produção potencial de biomassa
 646 fresca de caules por área plantada no sistema DWS (1096,27 g/m²/88 dias) foi 78% maior do
 647 que do NFT (615,49g/m²/88dias; Tabela 14).

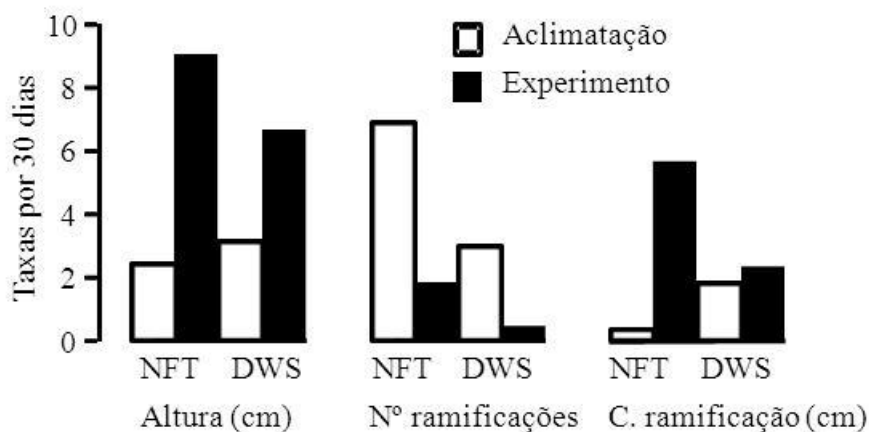
648 Apesar das avaliações por metodologias diferentes do desenvolvimento da *S. ambigua*
 649 nos RAS aquapônicos nos períodos de aclimação (medidas repetidas entre 20 dias) e após
 650 poda (88 dias), a comparação de taxas mensais (por 30 dias) permitiu observar aumento na
 651 velocidade do alongamento dos caules principais e de suas ramificações em ambos RAS
 652 aquapônicos no período de pós-poda (respectivamente, até 9,0 e 5,6 cm/30 dias no NFT), mas
 653 uma redução na formação de novas ramificações neste período de pós-poda (máximo 6,9
 654 ramificações por caule/30dias em NFT no período de aclimação) (Figura 7).

655

656 **Tabela 14.** Avaliação do desenvolvimento das plantas de *Sarcocornia ambigua* após 88 dias
 657 da poda de seus caules nos dois sistemas aquapônicos de recirculação de água testados. São
 658 apresentados os valores médios (\pm erro padrão) para cada parâmetro biométrico, componente
 659 da biomassa e percentagem da biomassa investida na formação de caules ao final do terceiro
 660 ciclo de recirculação de água. A produção de biomassa fresca de caule foi estimada para uma
 661 densidade de 184 plantas por RAS aquapônico. Todos os testes “t” realizados foram
 662 significativamente diferentes ($p < 0,001$) e as diferenças (Dif) entre as médias dos sistemas
 663 aquapônicos são apresentadas de forma percentual.
 664

Parâmetros	NFT	DWS	n	Teste t	Dif (%)
Altura (cm)	26,4 \pm 0,45	19,4 \pm 0,50	120	10,30	36,1
Número de ramificações	5,35 \pm 0,29	1,30 \pm 0,12	120	12,64	311,5
Comprimento de ramificação (cm)	16,52 \pm 0,48	6,79 \pm 0,55	120	13,16	143,3
Biomassa de caules(g)#	36,16 \pm 7,58	14,18 \pm 4,39	16/12	3,00	155,0
Biomassa de raízes (g)#	22,20 \pm 3,86	2,87 \pm 0,40	16/12	7,23	673,5
Alocação para caules (%)\$	60,26 \pm 2,15	78,46 \pm 2,49	16/12	-5,26	30,2
Produção de caules por área (g/m²/88dias)	615,49	1096,27			78,1

665 (#) transformado $\text{Log}_{10}(x)$; (\$) transformado raiz quadrada. Área da bancada NFT= 10,81m²;
 666 Área do tanque de cultivo DWS= 2,38m².
 667



668
 669
 670 **Figura 7:** Taxas mensais (por 30 dias) do desenvolvimento da *Sarcocornia ambigua* nos
 671 sistemas aquapônicos NFT e DWS nos períodos de aclimação e de pós-poda dos caules no
 672 experimento de recirculação de água do cultivo de bijupirá.
 673

674 5. Discussão

675 Os RAS aquapônicos com *S. ambigua* demonstraram potencial de utilização para
676 remoção de composto nitrogenados dissolvidos na água de recirculação da maricultura
677 intensiva do bijupirá, mas particularmente para o NAT (até 93,3% em 72 horas) e com menor
678 eficiência para o nitrato (até 67,4% em 72 horas). Grandes variações temporais nas taxas de
679 remoção e mesmo incorporações de nutrientes a água de recirculação, mostraram que a
680 eficiência destes sistemas é dependente das características da água a ser tratada e do
681 amadurecimento dos próprios RAS. O desenvolvimento das plantas de *S. ambigua* foi melhor
682 no NFT, sendo que esta diferença pode ter sido determinante da maior redução global da
683 concentração de nutrientes neste sistema do que no DWS. Abaixo detalhamos todos estes
684 achados.

685 5.1 Qualidade da água captada do cultivo de bijupirá

686 A qualidade da água captada dos tanques de engorda do bijupirá durante o
687 experimento estava dentro dos parâmetros recomendados para o crescimento desta espécie. A
688 larvicultura de bijupirá é realizada com temperatura entre 28 e 32°C em água salgada,
689 mantendo o pH ao redor de 8 (Sampaio et al. 2010). Melhores desempenhos em termos de
690 crescimento do bijupirá são obtidos com temperaturas de 27°C a 33°C (Sun & Chen 2014) e a
691 salinidade próxima dos 30‰ (Denson et al. 2003, Chen et al. 2007). A cor amarelada da água
692 do bijupirá na C3 esteve associada à presença de maiores teores de clorofila *a*, cuja origem foi
693 provavelmente a ocorrência de células fitoplanctônicas no reservatório de água salgada, de
694 onde era obtida água de renovação para os tanques de bijupirá. Os valores acima de 0,36 µg
695 /L em C2 e C3 estão acima do padrão recomendado para águas da aquicultura costeira na
696 Nova Zelândia e Austrália entre 0,1 e 0,4 µg /L (Nguyen et al. 2013). Nenhuma alteração da
697 rotina de tratamento dos filtros ou da alimentação dos peixes ocorreu entre C1 e C3.

698 As concentrações médias dos nutrientes dissolvidos na água captada também não
699 representavam níveis letais para o bijupirá. A toxicidade aguda frequentemente é estimada
700 pela concentração letal mediana (LC50), isto é, a concentração capaz de matar metade dos
701 organismos em testes de 24 a 96 horas. LC50 é frequentemente utilizada para definir níveis de
702 segurança de compostos tóxicos para organismos, sendo que para a maioria dos organismos
703 na aquicultura é adotado como nível de segurança a concentração da substância ou composto
704 equivalente a 10% do LC50 (Miranda Filho & Costa 2015). Esta definição é importante,

705 porque concentrações não letais podem ocasionar danos fisiológicos e debilitar os peixes,
706 aumentando a vulnerabilidade a patógenos (Poersch et al. 2007, Rodrigues et al. 2011).

707 As concentrações de nitrato da água utilizada no experimento entre 21,85-39,90 mg N-
708 NO₃/L foram muito inferiores a concentração letal (LC₅₀-96h) do nitrato para juvenis de
709 bijupirá, estimada em 1829 mg N-NO₃/L (Rodrigues et al. 2011). Entretanto concentrações
710 subletais causam alterações histopatológicas em brânquias, esôfago e cérebro de juvenis do
711 bijupirá em testes agudos (Rodrigues et al. 2011) e a exposição crônica (42 dias) a 200 mgN-
712 NO₃ /L mostrou ser capaz de reduzir o ganho de peso dos peixes (Sampaio et al. 2010).
713 Adicionalmente, Camargo et al. (2005), em sua revisão sobre toxicidade do nitrato,
714 caracterizaram que peixes marinhos mais sensíveis podem apresentar LC₅₀ de 573 mg N-
715 NO₃/L, e considera como nível de segurança do nitrato em cultivos de invertebrados e peixes
716 marinhos o valor de 20 mg N-NO₃/L. No Brasil, a resolução 357/2005 do CONAMA
717 recomenda que as concentrações de nitrato sejam inferiores a 10 mg N-NO₃/L em ambientes
718 de cultivo. Conseqüentemente, apesar de não letais os teores de nitrato na água dos tanques de
719 engorda do bijupirá devem ser reduzidos, mesmo que o destino desta água seja o descarte.

720 Os valores de nitrito da água captada variaram bastante entre ciclos ficando entre 0,08-
721 0,33 mg N-NO₂/L, mas foram de forma geral baixos. Os juvenis de bijupirá são bastante
722 resistentes ao nitrito e apenas 30% de mortalidade foi observada quando a concentração foi
723 atingida 210 mg N-NO₂/L, no entanto em teores de 76 mg N-NO₂/L a alimentação é
724 interrompida (Rodrigues et al. 2007). Juvenis da tainha *Mugil platanus* apresentam LC₅₀-96h
725 de 36,2 mg N-NO₂/L(Sampaio et al. 2002), mas outras espécies de peixe apresentam valores
726 de LC₅₀-96h tão baixos quanto 2 mgN-NO₂/L (Miranda Filho & Costa 2015).

727 As concentrações do NAT na água dos tanques de bijupirá apresentaram valores entre
728 0,09-0,30 mg N-NAT/L. Estas concentrações não são preocupantes, particularmente porque
729 na faixa de pH alcalino observada durante os ciclos de recirculação (7,69-8,03), ao maior
730 parte do nitrogênio amoniacal se encontrava na forma de amônia dissolvida (NH₄). No
731 entanto, metade dos juvenis de bijupirá cessam sua alimentação quando a concentração de
732 NAT na sua forma gasosa atinge 0,62 mg N-NH₃/L e a mortalidade para 50% da população
733 (LC₅₀) é observada em 1,13 mg N-NH₃/L (Rodrigues et al. 2007, Sampaio et al. 2010).

734 Os teores de fosfato na água dos tanques de bijupirá foram gradualmente aumentando
735 (de 0,56-7,60 mgP-PO₄/L) ao longo das três semanas de experimentação. Em sistemas de

736 bioflocos é possível identificar que o acúmulo de fosfato nos tanques se dá através do material
737 particulado acumulado no fundo dos reservatórios dos sistemas aquapônicos, que pode liberar
738 fósforo orgânico para a coluna d'água, onde pode ser mineralizado (Avnimelech & Ritvo
739 2003). Na falta de um sistema de absorção de fósforo apropriado em sistemas de RAS, o
740 fosfato acumulou rapidamente. Apesar dos teores de fosfato não serem tóxicos, eles podem
741 promover a formação de florações de cianofíceas que podem produzir compostos tóxicos aos
742 peixes.

743 **5.2 Efeitos da recirculação da água do cultivo do bijupirá nos sistemas aquapônicos** 744 **com *S. ambigua*.**

745 Remoções de todos os nitrogenados pelos dois RAS aquapônicos em C1, contrastaram
746 com valores estáveis ou oscilações entre remoção e incorporação em C3, quando a água dos
747 tanques do bijupirá apresentou-se com cor amarelada e com um maior teor de clorofila *a*. Ao
748 longo do experimento ocorreu uma gradual acidificação da água em recirculação, mas de
749 forma mais marcada e significativa em DWS. Rubin et al. (2015) também observaram um
750 processo de acidificação da água (de 7,7 para 5,5) de um cultivo de peixe amazônico, após
751 retenção por 24 horas em um DWS com macrófita flutuante *Eichhornia crassipes*. Estes
752 autores relacionaram a redução do pH a presença de microorganismos associados a rizosfera
753 da macrófita, que poderiam ocasionar trocas no pH circundante devido os processos de
754 respiração e decomposição. A absorção de nitrogênio inorgânico pelas plantas superiores
755 também poderia influenciar o pH da água em contato com as raízes. As plantas absorvem o
756 nitrogênio preferencialmente na forma de nitrato, mas também na forma de amônia dissolvida
757 (NH₄⁺). Porém em ambos os casos o nitrogênio deve ser convertido metabolicamente em
758 amônia gasosa (NH₃⁺) que é a forma utilizada na produção dos aminoácidos. No caso
759 específico de plantas crescendo em águas com pH neutro-alcálico no entorno de suas raízes, a
760 conversão do NH₄⁺ em NH₃⁺ produz íons H⁺, que podem reagir com nitrato remanescente
761 na água e formar HNO₃, levando a uma acidificação do meio (Bidwell 1979). Este processo
762 poderia também ser responsável pela acidificação ao longo dos ciclos.

763 Outro processo que poderia ser responsável pela acidificação, por liberação de íons
764 H⁺, é a nitrificação (quando nitrogênio amoniacal é utilizado como uma fonte de energia por
765 bactérias autotróficas aeróbicas, formando nitrito, que é posteriormente oxidado a nitrato por
766 outra classe de bactérias; Miranda Filho & Costa 2015). Este processo é provavelmente
767 estimulado pelas raízes ricas em aerênquima da *S. ambigua*, que favorece a existência de
768 zonas microaeróbicas, propícias a sobrevivência de bactérias nitrificantes, como as dos

769 gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que têm pH ótimo para crescimento no intervalo entre
770 7,0 e 8,0 (Hundley & Navarro 2013); valores semelhantes aos observados no experimento. As
771 raízes das plantas de ambos RAS aquapônicos foram mantidas irrigadas mesmo entre os
772 ciclos de recirculação, conseqüentemente preservando suas floras microbianas na rizosfera (e
773 mesmo microalgas bentônicas). Logo, um processo de sucessão microbiana pode ter ocorrido
774 na rizosfera ao longo das três semanas de experimento, levando a uma comunidade
775 caracteristicamente mais nitrificante em C3. Esta hipótese de processo sucessional microbiano
776 na rizosfera deve ser avaliada em estudos futuros, para permitir uma melhor compreensão dos
777 fatores que influenciam flutuações na eficiência de RAS aquapônicos. No caso do cultivo do
778 bijupirá, o resgate da água do RAS aquapônico com leve acidificação não seria um problema,
779 uma vez que em sistemas de cultivo intensivo com águas com altos teores de NAT, o pH
780 elevado pode levar a uma maior proporção de amônia gasosa (NH₃), mais tóxica, do que a
781 iônica (NH₄⁺) (Miranda Filho & Costa 2015), e portanto é recomendado que o pH seja
782 mantido abaixo de 8 (Sampaio et al. 2010).

783 Durante C1, o nitrato em ambos os RAS sofreu taxas de remoção superiores a 60%,
784 reduzindo a concentrações próximas de 10 mg N-NO₃/L, valor recomendado pela resolução
785 357/2005 do CONAMA para água de cultivo. Este resultado mostra um alto potencial para
786 integração dos RAS aquapônicos de *S. ambigua* na maricultura intensiva devido à alta
787 toxicidade do nitrato e seu acúmulo em sistemas com circulação fechada. As melhores taxas
788 de remoção obtidas pelos RAS aquapônicos, foram semelhantes aos resultados de Henry-Siva
789 & Camargo (2006), trabalhando com o sistema DWS com a macrófita *Eichornia crassipes* no
790 tempo de residência de 33 horas que conseguiu remover 53% do nitrato da água do cultivo de
791 tilápia. Os valores também foram superiores aos obtidos do tratamento de efluente salinos de
792 carcinicultura com a grama halófito *Spartina alterniflora* em DWS, que apresentou remoção
793 de 31% do nitrato em 72 horas (Ribeiro 2013), e de banhados artificiais de fluxo superficial
794 com *S. ambigua*, que removeu 23-54% do nitrato em um tempo de residência de 15 minutos
795 (Greis 2009, Costa et al. 2011). Todas as taxas acima foram inferiores a remoção de 98% do
796 nitrato em um sistema de leito cultivado de *Salicornia europaea* com fluxo subsuperficial
797 contínuo, utilizado para tratar de uma fazenda comercial de maricultura (Webb et al 2012).

798 Os dois RAS aquapônicos não demonstraram uma capacidade de controlar os teores
799 de nitrito na água de recirculação. Ciclos com remoções (até 41%) alternaram com acúmulos
800 (aumentos de até 67%), e valores finais deste composto ficaram entre 0,05-0,24 mgN-
801 NO₂/L; que são valores inferiores as concentrações que afetam o crescimento do bijupirá

802 (Rodrigues et al. 2007). Resultados contrastantes também são observados na literatura, como
803 por exemplo, para DWS com macrófitas aquáticas flutuantes (*E. crassipes*) que não mostram
804 capacidade de depuração de nitrito (Rubin et al. 2015) ou permitem remoção de 21-36% desse
805 mesmo composto (Henry-Silva & Camargo 2006). Um padrão aparente distinto de
806 colonização microbiana entre os RAS aquapônicos pode indicar o principal mecanismo por
807 trás da variabilidade das concentrações do nitrito no experimento. No NFT, a remoção do
808 nitrito da água só ocorreu entre 48-72 horas de recirculação (em C1) e após isto foi
809 progressivamente aumentando no C2 e C3 (quando o maior valor foi observado).
810 Contrastantemente, no DWS, a maior remoção ocorreu nas primeiras 24 horas de C1 e após o
811 nitrito passou a se acumular no sistema até o valor máximo observado do último dia do
812 experimento. Estas respostas podem sugerir o desenvolvimento de comunidades microbianas
813 dominadas por diferentes bactérias. Segundo Sousa et al. (2011) o acúmulo de nitrito em
814 filtros de drenagem pode ser creditado à maior sensibilidade a depleção de oxigênio do
815 *Nitrobacter* (que convertem nitrito a nitrato) do que de *Nitrosomonas* (que convertem NAT
816 em nitrito). Logo, o DWS com maior tempo de residência da água em circulação, pode
817 oferecer um maior número de microhabitats pobres em oxigênio que favorecem a abundância
818 das *Nitrosomonas* e o acúmulo do nitrito. Recentemente, Pinheiro et al. (2016) observaram
819 acúmulo de amônio seguido de acúmulo de nitrito em sistema NFT de *S.*
820 *ambigua* recirculando água do cultivo de camarão marinho com bioflocos, chegando a valores
821 de 0,90mg N-NO₂/L. Estudos detalhados do desenvolvimento microbiano nas raízes de *S.*
822 *ambigua* nos RAS poderá verificar esta hipótese.

823 Para o NAT foram observados valores de remoção em sua maioria maiores que 90%,
824 mostrando uma alta eficiência dos dois RAS aquapônicos. Este resultado suporta a hipótese
825 discutida acima de forte instalação de bactérias nitrificantes, que degradam compostos
826 amoniacais a nitrito e depois a nitrato. Os valores finais de NAT (0,01-0,18 mg N-NAT/L)
827 não ultrapassaram os valores geralmente obtidos em RAS com filtros mecânicos e biológicos
828 comumente utilizados no cultivo de bijupirá, que é de 0,20 mg N-NAT/L (Sampaio et al.
829 2016). A eficiência de remoção do NAT foi semelhante a do sistema de leite cultivado de
830 *S. europaea* (91-100%; Webb et al 2012), mas superior das obtidas no tratamento de efluente
831 da carcinicultura salina com banhado artificial de fluxo vertical (82% após 7 dias de
832 recirculação; Sousa et al. 2011), tanques com fluxo estático com a macroalga *Ulva chlatrata*
833 após 3 dias (80%; Copertino et al. 2009) e banhados artificiais de *S. ambigua* (43-56%;
834 Greis 2009, Costa et al. 2011). A nitrificação e a assimilação por parte de bactérias e

835 microalgas (particularmente em C3 no DWS) são processos que podem ter atuado como
836 sumidouros do NAT no presente estudo, além da volatilização para atmosfera da porção
837 gasosa do NAT, a amônia. Em cultivo de *S. ambigua* em DWS com água de cultivo de
838 camarão com biofloco, Pinheiro et al. (2016) estimaram que após 73 dias apenas cerca de 6%
839 do nitrogênio dissolvido no sistema foi absorvido e incorporado na biomassa das plantas.

840 Como foi visto o fosfato foi o nutriente que sofreu mais variação ao longo do tempo
841 nos dois sistemas, havendo elevadas taxas de incorporação na água recirculada, sendo
842 observado após 72 horas valores até 257% maiores do que da água captada nos tanques do
843 bijupirá. Esse comportamento também foi verificado por Ribeiro (2013) em DWS com a
844 halófito *S. alterniflora*, onde após 72 horas o fosfato aumentou 1376%. O autor afirma que,
845 isso ocorreu devido a alta concentração de material particulado em suspensão na água do
846 cultivo intensivo de camarão, associada a uma grande quantidade de clorofila nos viveiros. A
847 deposição e rápida mineralização do material orgânico particulado resultariam no acúmulo de
848 fosfato. O mesmo processo pode estar envolvido nos resultados do presente estudo, sendo que
849 no caso da água da piscicultura intensiva, a principal fonte poderia ser o fósforo orgânico
850 dissolvido (que não foi quantificado), tanto da degradação da comida ofertada como de
851 células fitoplanctônicas. Copertino et al. (2009) descreveram um processo de regeneração de
852 fosfato que resultou na duplicação da concentração deste nutriente em dois dias em tanques de
853 sedimentação estáticos não vegetados durante tratamento de efluente de carcinicultura
854 marinha intensiva. Segundo Esteves (1988) após a morte do fitoplâncton, a liberação de
855 fosfato pode ocorrer de forma muito acelerada. As fosfatases das próprias células
856 fitoplanctônicas desfosforilam o fósforo orgânico particulado a fósforo orgânico dissolvido,
857 uma forma de fósforo de mais rápida decomposição por bactérias, resultando na rápida
858 liberação de fosfato.

859 Maiores regenerações de fosfato observadas no DWS podem estar associadas a menor
860 oxigenação da água neste sistema. Lillebo et al. (2007) também atribuem à degradação de
861 matéria orgânica em fundo anóxico a rápida incorporação de fosfato dissolvido na coluna
862 d'água em seu experimento em microcosmo de degradação de detrito da macrófito aquática
863 *Scirpus maritimus*. É importante destacar que, remoções significativas de fosfato de efluentes
864 da maricultura foram observadas em biofiltros com substratos, como sistema de leito
865 cultivado de *S. europaea* (90%; Webb et al. 2012) e banhados artificiais de fluxo superficial
866 com *S. ambigua* (19-67%; Greis 2009, Costa et al. 2011).

867 5.3 Crescimento e produtividade da *S. ambigua*

868 As plantas de *S. ambigua* mostraram um bom desenvolvimento em aquaponia,
869 inclusive em condições de temperatura, radiação e disponibilidade de nutrientes bem
870 diferentes, observadas no período de aclimatação e durante o experimento de recirculação de
871 água. Em ambas as situações, no entanto, um maior crescimento individual foi observado no
872 NFT. A biomassa de raízes do sistema DWS foi cerca de 10 vezes menor do que no sistema
873 NFT, refletindo assim em um menor desenvolvimento das plantas do DWS. Uma possível
874 explicação para o menor crescimento no DWS é pouca oxigenação das raízes das plantas,
875 devido o menor fluxo de água e ausência de aeração no tanque de cultivo do DWS.

876 A altura do caule é uma característica de interesse agrônomo para seleção de
877 variedades de *Sarcocornia* vendidas como “aspargo marinho”. Conforme as taxas de
878 crescimento vertical mensal calculada para as plantas do NFT e DWS, a altura comercial do
879 caule de 10 cm (adotada em Israel para espécies gourmet de *Salicornia* e *Sarcocornia*;
880 Ventura et al. 2011, Ventura & Sagi 2013) poderia ser atingida nos RAS aquapônicos em 5-7
881 semanas. Doncato & Costa (2017) caracterizaram que *S. ambigua* da variedade BTH2 (a
882 mesma variedade usada no experimento) atingiu altura comercial em 9-10 semanas de cultivo
883 em banhados artificiais de fluxo superficial irrigado com efluente da carcinicultura.
884 Adicionalmente, a alta taxa do comprimento da maior ramificação, observada em NFT
885 durante o experimento, de cerca de 7 cm por mês foi o dobro da observada para BTH2 em
886 canteiros com irrigação salina por Doncato (2016). Os ramos com tamanho comercial de 10
887 cm podem ser processados da mesma forma que os caules principais e vendidos *in natura*
888 e/ou industrializados como pickles. A taxa de formação de ramificações primárias dos caules
889 das plantas em aquaponia (3-7 ramos por 30 dias) foi menor do que da variedade BTH2 em
890 canteiros abertos (7 ramos por 30 dias; Doncato & Costa 2017). Outras espécies de
891 *Sarcocornia* demonstraram valores intermediários de ramificação; 2,5 ramos por 30 dias
892 (plantas de três ecotipos de *Sarcocornia fruticosa* cultivadas em Israel; Agawu 2012) e 4,4
893 ramos por 30 dias (*Sarcocornia perennis* crescendo em solução nutritiva a 35g NaCl L⁻¹;
894 Adams & Bate 1994). As plantas de *S. ambigua* em aquaponia mostraram uma ótima resposta
895 de crescimento dos caules e de ramificações apropriados para produção comercial de aspargo
896 marinho.

897 A média de biomassa fresca individual de caules de *S. ambigua* produzida ficou entre
898 14,2g (DWS) e 36,2g (NFT) em 88 dias ou cerca de 13 semanas. Estes valores estão no limite

899 inferior de produção de biomassa em relação a cultivos anteriores de *S. ambigua* com irrigação
900 salina (6-55dS m⁻¹) em canteiros (18,5g após as 17 semanas de cultivo em uma situação
901 subótima– Doncato & Costa 2017; 48g após 15 semanas - Costa 2006; 138,3g após as 22
902 semanas – Doncato 2016; 430g após 14 semanas - Greis 2009; 653g após 24 semanas - Costa
903 et al. 2014). Em parte este resultado é devido a *S. ambigua* mostrar um investimento em
904 biomassa aérea (60-78%) um pouco menor em aquaponia do que observado em cultivos de
905 canteiros. BTH2 produzida em canteiros investiu 89% da biomassa produzida em caules
906 (Doncato & Costa 2017).

907 A produção de biomassa por área na aquaponia é muito significativa, devido à
908 densidade de plantio. Em nosso experimento as plantas de *S. ambigua* foram cultivadas com
909 densidades de 11,1 (NFT) a 50,4 (DWS) plantas/m², enquanto que a maioria dos cultivos de
910 canteiro são realizados com densidades de 8 a 12,5 plantas/m² (espaçamento 0,4-0,5 m por
911 planta). A produção potencial de biomassa fresca de caules de *S. ambigua* variou entre
912 0,6(NFT) e 1,1 kg/m²/88dias (DWS). Este valor é bem inferior ao que Pinheiro et al. (2016)
913 reportaram para produtividade de *S. ambigua* de 8,2 kg/m² em 73 dias de cultivo DWS com
914 água de cultivo de camarão com bioflocos. Entretanto nossos valores são próximos dos
915 alcançados para outras halófitas. Shpigel et al. (2013) comparou seus dados de produtividade
916 com de outros cultivos de diferentes espécies de *Salicornia/Sarcocornia*, todos em sistemas
917 de leito cultivado com fluxo superficial e subsuperficial de efluente da maricultura, e
918 caracterizou valores entre 0,3-6,5 kg/m² após 90 dias (dados originais em kg/ m² / ano).
919 Adicionalmente, Simon & Trelles (2014) avaliou o rendimento do cultivo aquapônico de
920 alface (*Lactuca sativa*) em sistema NFT com efluentes do cultivo de tilápia e obteve um
921 rendimento de 2,26 kg/m² após 90 dias.

922

923 6. Conclusão

924 RAS aquapônicos com a halófitas *S. ambigua* apresentam-se como uma boa alternativa
925 para a remoção de compostos nitrogenados da água da piscicultura marinha intensiva do
926 bijupirá. Os maiores valores de remoção observados em 72 horas de recirculação de água
927 foram de 93,3% para o NAT e 67,4% para o nitrato, sendo que as concentrações finais destes
928 compostos ficaram abaixo dos níveis de segurança para o bijupirá e dos valores recomendados
929 pela legislação brasileira em ambientes de cultivo.

930 Novos estudos deverão ser realizados sobre o desenvolvimento da flora microbiana
931 associada às raízes da *S. ambigua* em aquaponia, para possibilitar melhor compreensão das

932 causas da variabilidade temporal na eficiência de remoção dos nitrogenados nos RAS.
933 Principal atenção deve ser dada as comunidades de bactérias nitrificantes e bactérias
934 heterotróficas que degradam dos compostos de fosfato orgânico dissolvidos, devido aos
935 eventos de incorporação de nitrito e fosfato detectados durante o experimento.

936 Ambos os sistemas apresentaram um bom potencial de remoção de nutrientes da
937 piscicultura marinha intensiva, sendo que as concentrações médias globais significativamente
938 menores de todos nutrientes ocorreram NFT. A rapidez no desenvolvimento das plantas de *S.*
939 *ambigua* foi obtida no NFT, mas um menor uso de espaços e maiores produtividades
940 primárias por área de plantio podem ser obtidas no DWS. O menor desenvolvimento
941 individual das plantas de *S. ambigua* no DWS, possivelmente associado à baixa oxigenação
942 que ocorreu, deve ser melhor investigado. Este menor crescimento pode ter prejudicado a
943 capacidade do DWS de remover nutrientes. Testes de aeração do DWS aquapônicos devem
944 ser realizados e, se o crescimento das plantas for melhorado, estes sistemas seriam altamente
945 recomendados para piscicultura marinha intensiva, devido o menor tamanho das estruturas
946 (melhor aproveitamento do espaço) e a alta produtividade de biomassa por área de plantio
947 (balsas). O tamanho atingido pelas plantas é um fator de interesse agrônomo e comercial na
948 hora da venda do aspargo marinho como vegetal gourmet.

949 Vale ressaltar que, estudos futuros podem ser realizados com diferentes halófitas ou
950 até mesmo a integração desse sistema de biofiltro com o sistema multitrófico marinho, para
951 um melhor aproveitamento dos ciclos de cultivo e redução do impacto ambiental da
952 maricultura.

953

954 **7. Referências Bibliográficas**

955 ADAMS, JB & GC BATE, 1995. Ecological implications of tolerance of salinity and
956 inundation by *Spartina maritima*. Aquatic Botany 52: 183–191.

957 AGAWU, ET. 2012. Comparison between *Salicornia* and *Sarcocornia* ecotypes to
958 optimize yield for vegetable production applying highly saline irrigation. Dissertação de
959 Mestrado. Israel: Ben-Gurion University of the Negev, 125 p.

960 AMINOT, A & M CHAUSSEPIED. 1983. Análise Instrumental. In: BAUMGARTEN
961 MGZ, WALLNER-KERSANACH M, NIENCHESKI LFH. 2010. Manual de Análises em
962 Oceanografia Química. Rio Grande: Editora da FURG, p. 114-118.

963 AVNIMELECH, Y & G RITVO. 2003. Shrimp and fish pond soils: processes and
964 management. *Aquaculture*, 220: 549–567.

965 BAUMGARTEN, MGZ, M WALLNER-KERSANACH & LFH NIENCHESKI. 2010.
966 Manual de análises em oceanografia química. Rio Grande, Brasil, Ed. da Universidade
967 Federal do Rio Grande, 2,p. 172.

968 BENDSCHNEIDER, K, & RJ ROBINSON. 1952. A new spectrophotometric method for
969 the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*. 11:87-96.

970 BERTIN, RL, LV GONZAGA, GDSC BORGES, MS AZEVEDO, HF MALTEZ, M
971 HELLER, GA MICKE, LBB TAVARES & R FETT. 2014. Nutrient composition and,
972 identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua*
973 (Amaranthaceae) using HPLC-ESI-MS/MS. *Food Research International*, 55: 404–411.

974 BIANCIOTTO, OA, LB PINEDO, N SAN ROMÁN, AY BLESSIO, EW KOCH&CSB
975 COSTA. 2006. Salt-marsh vegetation as biological indicator of increased solar UV-B
976 radiation consequence of ozone global depletion. In: Rabassa, J. & Borla, M.L. (Eds.),
977 Antarctic Peninsula & Tierra del Fuego: 100 years of Swedish-Argentine scientific
978 cooperation at the end of the world. London, CRC Press, 109-118.

979 BIDWELL, RGS. 1979. *Plant physiology*. 2ª. Edição. New York, MacMillan Publishing
980 Co. Inc., 769p.

981 BRANDINI, FP, AS SILVA, LAO PROENÇA. 2000. Oceanografia e maricultura. In:
982 VALENTI, WC et al (org.) *Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento*
983 *sustentável*. Brasília, CNPq/MCT, p. 107-141.

984 BRASIL. 2005. Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA,
985 de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o
986 seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes,
987 e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial da União [da República Federativa do
988 Brasil], nº 053, de 18/03/2005, Brasília, DF, p. 58-63.

989 BUHMANN, AK & J PAPENBROCKA, 2013. Biofiltering of aquaculture effluents by
990 halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and*
991 *Experimental Botany*, 92: 122-133.

992 BUHMANN, AK, U WALLERB, B WECKERC & J PAPENBROCKA. 2015.
993 Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as
994 biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management*, 149: 102–114.

995 CAMARGO, JA., A ALONSO, & A. SALAMANCA. 2005. Nitrate toxicity to aquatic
996 animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, v. 58, n. 9, p.
997 1255-1267.

998 CHEN, H, & IC LIAO. 2007. Nutritional research and feed development in cobia: status
999 and prospects In: LIAO, IC, LEAÑO, EM. (org.) Cobia aquaculture: research, development
1000 and commercial production. Department of Aquaculture National Taiwan Ocean University
1001 Keelung, Taiwan, p.89-96, 2007.

1002 CONCHA, VOC.,L. IEPSSEN, & W.AUGUSTO-RUIZ. 2000. Caracterização de talos e
1003 sementes da *Salicornia gaudichaudiana* Moq. In: Congresso de Iniciação Científica -
1004 CIC/CNPq, Pelotas, RS. p. 143.

1005 COPERTINO, MS, T TORMENA & U SEELIGER. 2009. Biofiltering efficiency, uptake
1006 and assimilation rates of *Ulva clathrata* (Roth) J. Agardh (Chlorophyceae) cultivated in
1007 shrimp aquaculture waste water. *J. Appl. Phycol.*, 21: 31-45.

1008 COSTA, CSB. & AJ DAVY. 1992. Coastal salt marsh communities of Latin America. In:
1009 Coastal plant communities of Latin America (Seeliger, U.; Ed.). Academic Press, San Diego,
1010 179-199.

1011 COSTA, CSB. 2006. A *Salicornia*: uma planta que pode ser utilizada no cultivo integrado
1012 com o camarão. *Panorama da Aquicultura*, nov./dez., p.28-33.

1013 COSTA, CSB & LS Neves. 2006. Respostas cromáticas de *Salicornia gaudichaudiana*
1014 Moq. (Chenopodiaceae) a diferentes níveis de radiação UV-b e salinidade. *Revista Atlântica*,
1015 28(1): 25-31.

1016 COSTA, CSB, R ARMSTRONG, Y DETRÉS, EW KOCH, M BERTILLER, A
1017 BEESKOW, LS NEVES, GM TOURN, OA BIANCIOTTO, LB PINEDO, AY BLESSIO
1018 AND N SAN ROMAN. 2006. Effect of Ultraviolet-B Radiation on Salt Marsh Vegetation:
1019 trends of the Genus *Salicornia* along the Americas. *Journal of Photochemistry and*
1020 *Photobiology, B-Biology*, 84(4): 205-213.

1021 COSTA, CSB, OO IRIBARNE & JM FARINA. 2009. Human impacts and threats to the
1022 conservation of South American salt marshes. In: *Salt Marshes Under Global Siege* (Silliman,
1023 B.R., Grosholtz, T. & Bertness, M. D.; Eds.). Chapter 17. University of California Press,
1024 Berkeley, 337-359.

1025 COSTA, CSB. 2011. Restoration of coastal salt marshes in Brazil using native salt marsh
1026 plants. In: Greipsson, S. (Ed.). *Restoration Ecology*. 1 ed. Sudbury (MA. U.S.A.), Jones and
1027 Bartlett Publishers, p. 333-338.

1028 COSTA, CSB, HERRERA, OB, GREIS, G, GESTEIRA, TCV & PEREIRA, JA. 2011.
1029 Reduction of shrimp farm effluente by *Sarcocornia ambigua* perennial halophyte crop. In:
1030 Abstracts of the World Aquaculture 2011. Natal(RN): World Aquaculture Society, p. 289.

1031 COSTA, CSB, JRM VICENTI, JA MORON-VILLARREYES, S CALDAS, LV
1032 CARDOZO, RF FREITAS & MGM D'OCA.2014. Extraction and characterization of lipids
1033 from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent
1034 irrigation. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 86(2), 935-943.

1035 COSTA CSB AND HERRERA OB. 2016. Halophytic life in Brazilian salt flats:
1036 biodiversity, uses and threats. In: Khan MA, Boër B, Azturk M, Clüsener-Godt M, Gul B and
1037 Breckle S-W (Eds), Sabkha ecosystems volume V: the Americas. Berlin:Springer, p. 11-27.

1038 CAVALLI, RO, EC DOMINGUES, S HAMILTON. 2011. Desenvolvimento da produção
1039 de peixes em mar aberto no Brasil: possibilidades e desafios. Revista Brasileira de Zootecnia.
1040 40: 155-164.

1041 DENSON, MR, KR STUART, TIJ SMITH.2003. Effects of salinity on growth, survival,
1042 and selected hematological parameters of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. Journal of
1043 the World Aquaculture Society, 34(4): 496-504.

1044 D'OCA, MGM, JA MORON-VILLARREYES, JS LEMOES, CSB COSTA. 2012. Fatty
1045 acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. Anais da
1046 Academia Brasileira de Ciências, 84: 865-870.

1047 DONCATO, KB. 2015. Avaliação do crescimento e qualidade nutricional de progênies
1048 selecionadas da halófitas *Sarcocornia ambigua* irrigadas com efluente salino da
1049 carcinicultura. Dissertação de Mestrado (PPG Aquicultura). Universidade Federal do Rio
1050 Grande, FURG, Rio Grande, RS, 75p.

1051 DONCATO, KB & CSB COSTA. 2017. Growth and mineral of two lineages of the sea
1052 asparagus *Sarcocorniaambigua* irrigated with shrimp farm saline effluent. Experimental
1053 agriculture, p.1-18.< <https://doi.org/10.1017/S0014479717000096>>.

1054 EPAGRI .2008. Panicêutico-Você sabe o que significa? Agropecuária Catarinense, 21(2):
1055 13

1056 ESTEVES, FA. 1988. Fundamentos de limnologia. Rio de Janeiro: Interciência-FINEP,
1057 575 p.

1058 FAO. 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food
1059 security and nutrition for all. Rome: Food and Agriculture Organization of the United
1060 Nations, 200 p.

1061 FAO-CASIP. 2016. *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766). Cultured Aquatic Species
1062 Information Programme. New York: Food and Agriculture Organization of the United
1063 Nations. Disponível em: <[http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Rachycentron_](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Rachycentron_canadum/en)
1064 [canadum/en](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Rachycentron_canadum/en)> Acesso em: 18/03/2017.

1065 FREITAS, RF & CSB COSTA. 2014. Germination responses to salt stress of two
1066 intertidal populations of the perennial glasswort *Sarcocornia ambigua*. Aquatic Botany, 117:
1067 12–17.

1068 FRÓES, C, G FÓES, D KRUMMENAUER, E BALLESTER, LH POERSCH & W
1069 WASIELESKY JR. 2012. Fertilização orgânica com carbono no cultivo intensivo em viveiros
1070 com sistema de bioflocos do camarão branco *Litopenaeus vannamei*. Atlântica, 34(1): 31-39.

1071 GAONA, CAP, LH POERSCH, D KRUMMENAUER, GK FOES & WJ WASIELESKY.
1072 2011. The effect of solids removal on water quality, growth and survival of *Litopenaeus*
1073 *vannamei* in a Biofloc Technology Culture System. International Journal of Recirculating
1074 Aquaculture, 12: 54-73.

1075 GLENN, EP, T ANDAY, R CHATURVEDI, R MARTINEZ-GARCIA, S
1076 PEARLSTEIN, D SOLIZ, SG NELSON, RS FELGER. 2013. Three halophytes for saline-
1077 water agriculture: an oilseed, a forage and a grain crop. Environ. Exp. Bot., 92: 110-121.

1078 GREIS, G. 2009. Cultivo de *Salicornia gaudichaudiana* Moq. irrigada com efluente de
1079 camarão no clima temperado na costa sul do Brasil. Dissertação de Mestrado (PPG
1080 Oceanografia Biológica). Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Rio Grande, RS, 63 p.

1081 HENRY-SILVA, GG & AFM CAMARGO. 2008. Tratamento de efluentes de
1082 carcinicultura por macrófitas aquáticas flutuantes. R. Bras. Zootec., 37(2): 181-188.

1083 HUNDLEY, GC & DR NAVARRO. 2013. Aquaponia: a integração entre piscicultura e
1084 hidroponia. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), 3(2): 52-61.

1085 KRUMMENAUER, D, CA SEIFERT Jr, LH POERSCH, GK FÓES, GR LARA & W
1086 WASIELESKY Jr. 2012. Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da
1087 reutilização da água. Atlântica, 34(2): 103-111.

1088 LILLEBO, AI, JP COELHO, MR FLINDT, HS JENSEN, JC MARQUES, CB
1089 PEDERSEN, MA PARDAL. 2007. *Spartina maritima* influence on the dynamics of
1090 phosphorus sedimentary cycle in a warm temperate estuary (Mondego estuary, Portugal).
1091 Hidrobiologia, 587, p.195-204.

1092 MACEDO, CF & LH SIPAÚBA-TAVARES. 2010. Eutrofização e qualidade da água na
1093 piscicultura: consequências e recomendações. Bol. Inst. Pesca, 36(2): 149–163.

1094 MEDINA, E, AM FRANCISCO, R WINGFIELD, OL CASAÑAS. 2008. Halofitismo en
1095 plantas de la costa caribe de Venezuela: halófitas y halotolerantes. Acta Bot. Venez., 31: 49-
1096 80.

- 1097 MENDONÇA, PT & CSB COSTA. 2008. Efeitos da disponibilidade de nitrogênio e
1098 fósforo no estabelecimento de *Spartina alterniflora* em um plano entremarés irregularmente
1099 alagado. *Neotropical Biology and Conservation*, 3(3): 135-148.
- 1100 MIRANDA FILHO, KBL & LDF COSTA. 2013. Deleterious effects of ammonia and
1101 nitrite to fish and crustaceans. *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*. Vol2. 335p.
- 1102 MOYA, EAE, CAA SAHAGUN, JMM CARRILLO, PJA ALPUCHE, CA ALVAREZ-
1103 GONZALEZ & R MARTINEZ-YAÑEZ 2014. Herbaceous plants as part of biological filter
1104 for aquaponics system. *Aquaculture Research*, 1-11.
- 1105 NGUYEN, H, G WENRESTI, K NITIN & H TRUONG. 2013. Cobia cage culture
1106 distribution mapping and carrying capacity assessment in PhuQuoc, KienGiang province.
1107 *Journal of Vietnamese Environment*, 4(1), 12-19.
- 1108 PAVAN, F, S BRESCHIGLIARO & M BORIN. 2015. Screening of 18 species for
1109 digestate phytodepuration. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4): 2455-2466.
- 1110 PINHEIRO, I, R ARANTES, CM ESPIRITO SANTO, FN VIEIRA, RR LAPA, LV
1111 GONZAGA, R FETT, JL BARCELOS-OLIVEIRA, WQ SEIFFERT. 2016. Production of the
1112 halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific White shrimp in an aquaponic system with
1113 biofloc technology. *Ecological Engineering*. 100: 261-267.
- 1114 POERSCH, LH, MHS SANTOS, K MIRANDA-FILHO, WJR WASIELESKY, 2007.
1115 Efeito agudo do nitrato sobre alevinos da tainha *Mugil platanus* (Pisces: Mugilidae). *Boletim*
1116 *do Instituto de Pesca* 33 (2), 247–252.
- 1117 QUINTÃ, R, R SANTOS, DN THOMAS & L LE VAY. 2015. Growth and nitrogen
1118 uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of
1119 aquaculture wastewater. *Chemosphere* 120: 414-421.
- 1120 RIBEIRO, JMS. 2013. Capacidade de remoção de nutrientes e da carga orgânica da água
1121 de cultivo intensivo de camarão marinho por meio de tanques de sedimentação estáticos com
1122 e sem a presença da grama halófitas *Spartina alterniflora* Loisel. Dissertação de Mestrado
1123 (PPG Aquicultura). Universidade Federal do Rio Grange, FURG,RS, 85p.
- 1124 RODRIGUES, RV, MH SCHWARZ, BC DELBOS, LA SAMPAIO, 2007. Acute toxicity
1125 and sublethal effects of ammonia and nitrite for juvenile cobia *Rachycentron canadum*.
1126 *Aquaculture* 271, 553–557.
- 1127 RODRIGUES, RV, MH SCHWARZ, BC DELBOS, EL CARVALHO, LA ROMANO,
1128 LA SAMPAIO. 2011. Acute exposure of juvenile cobia *Rachycentron canadum* to nitrate
1129 induce Gill, esophageal and brain damage. *Aquaculture*, 322-323: 223-226.

1130 RUBIM, MAL., PR. ISOLINO-SAMPAIO, &P. PAROLIN.2015. Biofilter efficiency of
1131 *Eichhornia crassipes* in wastewater treatment of fish farming in Amazonia. *Phyton* (Buenos
1132 Aires), 84(1):244-251.

1133 SAMPAIO, LA, WJR WASIELESKY, KC MIRANDA-FILHO. 2002. Effect of salinity
1134 on acute toxicity of ammonia and nitrite to juvenile *Mugil platanus*. *Bulletin of*
1135 *Environmental Contamination and Toxicology*, 68:668-674.

1136 SAMPAIO, LA, MB TESSER, WJR WASIELESKY.2010. Avanços da maricultura na
1137 primeira década do século XXI: piscicultura e carcinicultura marinha. R. Bras.
1138 Zootec., Viçosa , 39(supl.): 102-111.

1139 SAMPAIO, LA, MH OKAMOTO, RV RODRIGUES, MB TESSER. 2016. Piscicultura
1140 marinha: criação de bijupirá em sistemas de recirculação de água. Editora da Furg, 124p.

1141 SHI, Y, G ZHANG, J LIU, Y ZHU & J XU. 2011. Performance of a constructed wetland
1142 in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp
1143 growout systems. *Bioresource Technology*, 102: 9416–9424.

1144 SHPIGEL, M., D. BEN-EZRA, L. SHAULI, M. SAGI, Y. VENTURA, T. SAMOCHA,
1145 &J.J. LEE. 2013. Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents.
1146 *Aquaculture*, 412: 52-63.

1147 SIMÓN, EWM.,& AZ. TRELLES. 2015. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga,
1148 *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Revista Rebiol*, 34(2):60-72.

1149 SOUSA, WTZ, CMN PANITZ & SM THOMAZ. 2011. Performance of pilot-scale
1150 vertical flow constructed wetlands with and without the emergent macrophyte *Spartina*
1151 *alterniflora* treating mariculture effluent. *Braz. arch. biol. Technol.*, 54(2): 405-413.

1152 SUN, L, CHEN, H. 2014. Effects of water temperature and fish size on growth and
1153 bienergetics of cobia (*Rachycentrum canadum*). *Aquaculture*, 426-427: 172-180.

1154 TSUZUKI, MY. 2006. Cultivo de peixes marinhos. In: SOUZA-SILVA, A. T. (org.)
1155 Sanidade de organismos aquáticos no Brasil. Maringá: Abrapoa.

1156 UNESCO 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Manual
1157 and Guides 12, Intergovernmental Oceanographic Commission. Paris, France.

1158 VENTURA, Y, WA WUDDINEH, M MYRZABAYEVA, Z ALIKULOV, I KHOZIN-
1159 GOLDBERG, M SHPIGEL, TM SAMOCHA & M SAGI. 2011. Effect of seawater
1160 concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial
1161 *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 128: 189-196.

1162 VENTURA, Y & M SAGI. 2013. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and
1163 *Sarcocornia*. *Environmental and Experimental Botany*, 92: 144-153.

- 1164 WASIELESKY, WJR, H ATWOOD, A STOKES & CL BROWDY. 2006. Effect of
1165 natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture
1166 system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258: 396-403.
- 1167 WEBB JM, R QUINTÃ, S PAPADIMITRIOU, L NORMAN A, M RIGBY B, DN
1168 THOMAS, CL LE VAY, 2012. Halophyte filter beds for treatment of saline wastewater from
1169 aquaculture. *Water Research* 46: 5102-5114.
- 1170 WELSCHMEYER, NA. 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of
1171 chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnol.Oceanogr.* 39(8): 1985-1992.
- 1172 ZAR, JH. 2010. *Biostatistical analysis*. New York: Prentice-Hall, 944 p.