MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA ENTRE SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Davi Lustosa Santunioni; Nágila Scarpi Nespoli; Matheus de Morais Alves; Dayane Vitoria Silva Mello; Wallace Luís de Lima; Pedro Pierro Mendonça.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, BR 482, Alegre x Cachoeiro de Itapemerim, km 72, distrito de Rive – 29520-000, município de Alegre, ES, Brasil, davilustosa40@gmail.com , nagila.sn@gmail.com , Matheusdemoraiis@gmail.com , daymellovitoria@gmail.com , wallace@ifes.edu.br , ppierrom@gmail.com

Resumo
A qualidade da água refere-se às suas características químicas, físicas e biológicas. Na piscicultura e produção vegetal em sistemas de recirculação, analisam-se pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, componentes nitrogenados e fósforo total. Este trabalho objetivou verificar o comportamento desses parâmetros em três sistemas de recirculação em pequena escala, sem a pretensão de corrigi-los durante 45 dias. Foram desenvolvidos os tratamentos: hidroponia (T1), piscicultura em recirculação (T2) e aquaponia (T3), com quatro repetições cada, totalizando 12 unidades experimentais. Utilizaram-se 480 mudas de cebolinha e 160 juvenis de tilápia-do-Nilo (25g). As mensurações de pH, oxigênio, condutividade e temperatura foram realizadas três vezes por semana com equipamentos digitais. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5%. Concluiu-se que, sem correção dos parâmetros, os efluentes da aquicultura não apresentaram potencial poluidor por compostos nitrogenados, mantendo a qualidade da água em nível aceitável, exceto para temperatura e fósforo total, demonstrando potencialidade para o tratamento sustentável da água.
Palavras-chave: Aquicultura. Hidroponia. Qualidade da água. Recirculação.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias.

Introdução

A produção de organismos aquáticos depende diretamente da manutenção de condições de água compatíveis com as exigências biológicas das espécies. Em sistemas de criação, a qualidade da água resulta da interação entre origem da água, densidade de estocagem, alimentação, metabolismo dos animais e manejo, de modo que alterações físicas e químicas podem repercutir sobre o desempenho produtivo (Lourenço *et al.*, 1999; Macedo; Sipaúba-Tavares, 2010). Entre os componentes de maior interesse estão pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e compostos nitrogenados e fosfatados.

O nitrogênio e o fósforo merecem atenção porque o acúmulo desses nutrientes pode comprometer tanto o ambiente de cultivo quanto os corpos receptores. A amônia não ionizada é particularmente relevante para os peixes, enquanto nitrogênio e fósforo, quando lançados em excesso, favorecem processos de eutrofização (Resende, 2002; Kubitza, 2006). Sistemas de recirculação de água (SRA) reduzem a necessidade de renovação contínua e utilizam filtragem mecânica e biológica; no biofiltro, a nitrificação converte formas nitrogenadas e contribui para a manutenção da água em condições de cultivo (Ridha; Cruz, 2001).

A aquaponia amplia essa lógica ao integrar a piscicultura à produção vegetal sem solo. Os nutrientes derivados da alimentação e do metabolismo dos peixes podem ser aproveitados pelas plantas, ao passo que a circulação entre tanque, filtros e canaletas cria uma unidade produtiva integrada. Hidroponia e aquaponia, contudo, dependem do acompanhamento da solução circulante, pois pH, temperatura, oxigenação e disponibilidade iônica condicionam a absorção mineral e o funcionamento do sistema (Hundley; Navarro, 2013; Somerville *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2017).

Diante disso, objetivou-se comparar o comportamento dos parâmetros de qualidade da água em três sistemas de recirculação em pequena escala — hidroponia, piscicultura em SRA e aquaponia — e, nos sistemas com peixes, verificar a dinâmica de amônia, nitrito, nitrato e fósforo total, mantendo-se os parâmetros sem correção ao longo do período experimental.

Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais (LNPEO), setor de Aquicultura do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus de Alegre (20°45'37,0" S; 41°27'04,0" O), durante 45 dias e com autorização do Comissão de Etica no Uso de Animais (CEUA) do IFES nº 23149.001883-2020-90. Antes do ensaio definitivo, um protótipo de aquaponia foi operado por 30 dias, entre julho e agosto de 2020, para padronização do dimensionamento, fluxo, declividade das canaletas, posição do biofiltro, conexões e dinâmica de circulação.

Adotou-se delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições, totalizando 12 unidades experimentais: T1, hidroponia com solução nutritiva - formulada a partir de fertilizantes solúveis comerciais-; T2, piscicultura em SRA; e T3, aquaponia. Cada unidade utilizou tanque de polietileno com capacidade de 150 L e volume útil de 120 L. As unidades permaneceram em área protegida por tela antipássaro e sombrite de 50% nas laterais e na cobertura.

Nos tratamentos com produção vegetal (T1 e T3), foram utilizadas 480 mudas de cebolinha (*Allium fistulosum L*., cultivar Ano Todo), distribuídas em 60 mudas por unidade, quatro plantas por orifício. A cama de cultivo do tipo NFT foi formada por três perfis de PVC de 75 mm de diâmetro e 1,15 m de comprimento, espaçados em 13 cm, com cinco orifícios de 5 cm por perfil, distantes 15 cm entre si. A declividade foi de até 10%, conforme Carneiro *et al.* (2016).

Nos tratamentos com peixes (T2 e T3), foram estocados 20 juvenis de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) por tanque, com peso inicial médio de 25 g, alimentados com ração comercial extrusada contendo 40% de proteína bruta. A circulação foi realizada por bombas submersas com vazão de 400 –1000 L/h. T2 e T3 receberam filtragem mecânica com lã de perlon e sombrite e biofiltro de 65 L preenchido com argila expandida e brita nº 1; o dimensionamento do biofiltro seguiu a faixa indicada por Somerville *et al.* (2014). No T3, após as canaletas, a água passava pelo filtro mecânico, biofiltro e retornava ao tanque; no T2, seguia do tanque aos filtros e retornava ao reservatório; no T1, a solução nutritiva circulava entre reservatório e canaletas, sem filtragem.

Temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD) e condutividade elétrica (CE) foram mensurados in loco três vezes por semana, no período matutino, com termômetro digital, peagâmetro, oxímetro e condutivímetro digitais, respectivamente. Na hidroponia, a CE foi mantida na faixa de 1,4–2,2 mS/cm indicada para a condução da cultura (Leal *et al.*, 2005).

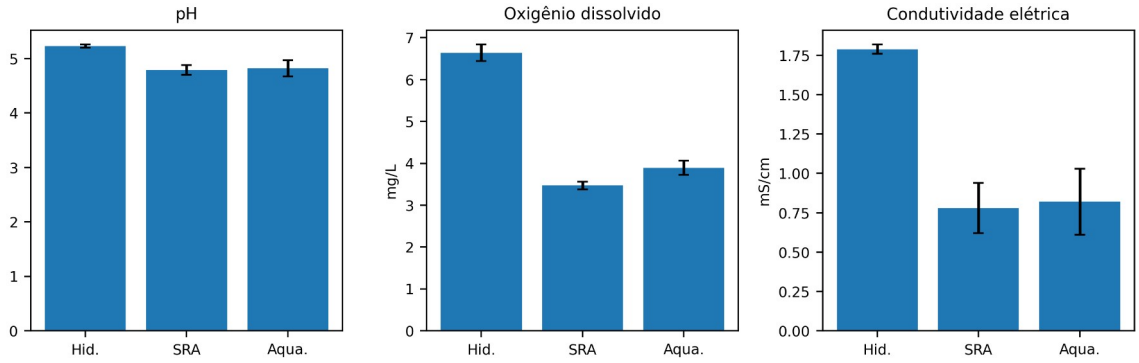
As análises químicas foram realizadas semanalmente apenas em T2 e T3. Na aquaponia, as amostras foram obtidas após as canaletas, na saída do biofiltro e no reservatório dos peixes; na piscicultura em SRA, no reservatório e na saída do biofiltro. Utilizaram-se frascos PET de 500 mL. Amônia, nitrito e nitrato foram determinados segundo Eaton *et al.* (2005), e fósforo total segundo Valderrama (1981), com leitura espectrofotométrica no Laboratório de Química Aplicada do IFES. Não foi analisado ortofosfato. Durante os 45 dias não houve correção dos parâmetros físicos e químicos, exceto a reposição de solução nutritiva no T1; a maturação do biofiltro ocorreu durante o próprio experimento.

Os dados médios foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando identificado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados

Os sistemas apresentaram respostas distintas para os parâmetros físicos da água. O pH foi maior na hidroponia (5,23±0,03) e semelhante entre piscicultura em SRA (4,79±0,09) e aquaponia (4,82±0,15). O OD apresentou a maior média na hidroponia (6,64±0,20 mg/L), seguida da aquaponia (3,89±0,17 mg/L) e da piscicultura em SRA (3,47±0,09 mg/L). A CE também foi superior na hidroponia (1,79±0,03 mS/cm), enquanto SRA e aquaponia apresentaram 0,78±0,16 e 0,82±0,21 mS/cm, respectivamente (Figura 1).

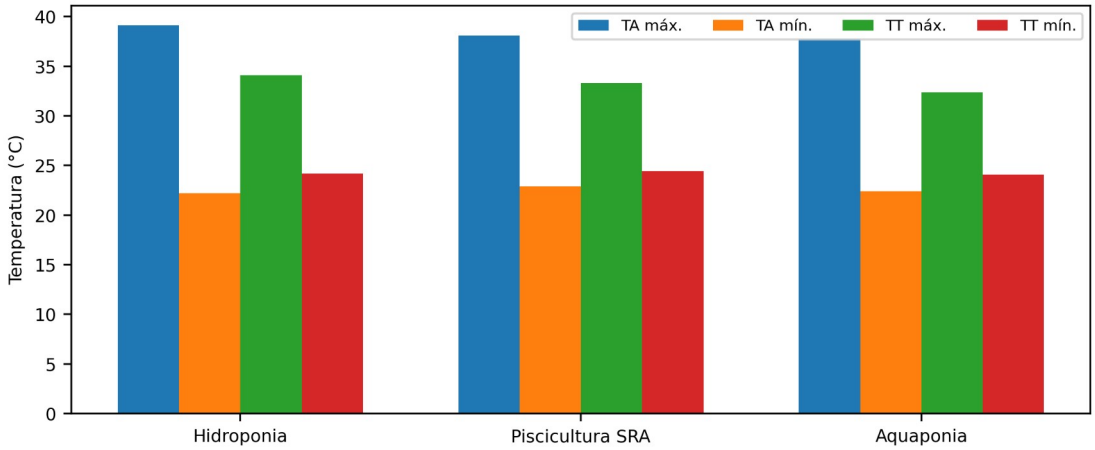
Figura 1 - pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica nos três sistemas de recirculação.



Fonte: dados da pesquisa.

A temperatura ambiente máxima e mínima não diferiu entre os tratamentos. Para a temperatura da água, apenas a máxima apresentou diferença significativa: hidroponia registrou 34,10±0,81 °C, aquaponia 32,36±0,93 °C e piscicultura em SRA 33,30±0,55 °C, esta última sem diferir das demais. As temperaturas mínimas da água permaneceram próximas de 24 °C (Figura 2).

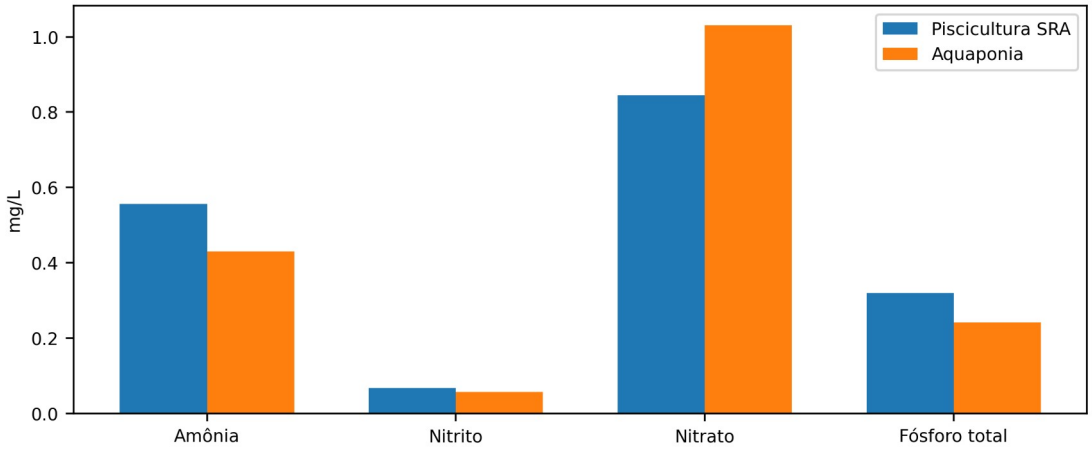
Figura 2 - Temperaturas ambiente (TA) e da água dos tratamentos (TT), máximas e mínimas.



Fonte: dados da pesquisa.

Nos parâmetros químicos, não houve diferença significativa entre piscicultura em SRA e aquaponia para nitrito, nitrato e fósforo total. As médias gerais foram, respectivamente, 0,068 e 0,057 mg/L para nitrito; 0,845 e 1,031 mg/L para nitrato; e 0,320 e 0,241 mg/L para fósforo total. A amônia apresentou médias de 0,556 mg/L no SRA e 0,430 mg/L na aquaponia; dentro da aquaponia, houve diferença entre pontos de coleta, com concentração na canaleta superior à observada no biofiltro. O fósforo total, em ambos os sistemas com peixes, permaneceu acima dos valores de referência da Resolução CONAMA nº 357/2005 (Figura 3).

Figura 3 - Concentrações médias dos parâmetros químicos nos sistemas com peixes.



Fonte: dados da pesquisa.

Discussão

A semelhança de pH entre piscicultura em SRA e aquaponia é coerente com a presença, em ambos, da mesma densidade de peixes e da mesma oferta alimentar, fontes de matéria orgânica e de produtos metabólicos capazes de modificar o equilíbrio ácido-base da água. Embora a aquaponia incorporasse plantas, sua presença não foi suficiente para produzir separação estatística do pH em relação ao SRA. O valor próximo de 4,8 caracteriza um meio ácido; ainda assim, Rebouças *et al.* (2015) demonstraram que juvenis de tilápia podem tolerar acidificação gradual. Essa tolerância não elimina a necessidade de controle: pH interfere simultaneamente na fisiologia dos peixes, na atividade das bactérias nitrificantes e na disponibilidade de nutrientes às plantas.

A acidez observada também modifica a interpretação da amônia. Em pH baixo, o equilíbrio químico desloca-se para a forma ionizada NH4+, menos tóxica aos peixes que a amônia não ionizada. Assim, a avaliação do risco não pode ser feita apenas pela concentração total de amônia, mas deve considerar pH e temperatura. Pereira e Mercante (2005) destacam que a toxicidade da fração não ionizada aumenta à medida que as condições favorecem sua formação. No presente sistema, portanto, o pH ácido provavelmente contribuiu para reduzir o risco agudo aos juvenis, embora represente uma condição operacional que pode limitar outros componentes do sistema.

A maior CE da hidroponia decorre da própria natureza da solução nutritiva, preparada para fornecer íons minerais às plantas. Em SRA e aquaponia, a carga iônica depende principalmente da alimentação, metabolismo dos peixes, mineralização dos resíduos e relação entre biomassa animal e vegetal. A proximidade entre os valores desses dois tratamentos reforça que, nas condições experimentais, a incorporação da cebolinha não alterou suficientemente a concentração global de íons dissolvidos. Esse resultado não significa ausência de absorção vegetal, mas indica que a CE, por ser uma medida integrada, não discrimina quais nutrientes foram consumidos, transformados ou acumulados.

O gradiente de OD entre os tratamentos evidencia a demanda biológica criada pela integração de organismos e processos. A hidroponia não possuía peixes nem biofiltro, enquanto SRA e aquaponia concentravam respiração animal e atividade microbiana. Caselles-Osorio e Garcia (2007) relacionam a presença de microrganismos e matéria orgânica ao consumo de oxigênio. Na aquaponia, entretanto, o percurso da água pelas canaletas, filtros e retorno ao tanque favoreceu a incorporação física de oxigênio, o que ajuda a explicar sua média superior à piscicultura em SRA. Como a nitrificação é aeróbia, a oxigenação deixa de ser apenas requisito dos peixes e passa a ser variável central para a estabilidade do tratamento biológico.

A temperatura constitui outro ponto de integração entre os compartimentos. As máximas da água ultrapassaram a faixa de 20–25 °C indicada para sistemas hidropônicos por Carrijo e Makishima (2000), enquanto permaneceram próximas da faixa de 27–32 °C usualmente recomendada para tilápias por Kubitza (2000), especialmente na aquaponia. Essa diferença explicita um dos desafios da aquaponia: a mesma água precisa atender simultaneamente organismos com faixas ótimas distintas. Temperaturas elevadas ainda reduzem a solubilidade do oxigênio e aceleram processos metabólicos, ampliando a demanda respiratória justamente quando a disponibilidade de OD tende a diminuir.

A ausência de diferença entre tratamentos para nitrito e nitrato sugere que a presença das plantas, durante o período avaliado, não foi suficiente para gerar redução detectável desses compostos em

relação ao SRA. A maturação do biofiltro ocorreu durante o experimento, o que deve ser considerado na interpretação, pois a comunidade nitrificante ainda estava se estabelecendo. Mesmo assim, os valores de nitrito e nitrato permaneceram baixos. O resultado indica funcionamento do ciclo de transformação do nitrogênio, mas não autoriza atribuir a remoção exclusivamente às plantas: biofiltração, assimilação microbiana, mineralização e condições locais de oxigenação atuaram conjuntamente.

A diferença da amônia entre canaleta e biofiltro na aquaponia reforça essa dinâmica espacial. O acúmulo de matéria orgânica junto às raízes pode favorecer mineralização e gerar compostos nitrogenados, enquanto o biofiltro oferece superfície para microrganismos nitrificantes. Hu *et al.* (2015) demonstram que raízes também podem abrigar microrganismos relacionados às transformações do nitrogênio. Quando há excesso de sólidos, porém, zonas com menor oxigenação podem se formar e comprometer tanto as raízes quanto a eficiência das transformações microbianas, tornando a remoção mecânica de resíduos um componente indispensável do sistema.

O fósforo total foi o principal parâmetro ambientalmente crítico. Diferentemente do nitrogênio, que pode sofrer transformações que resultam em perdas gasosas, o fósforo tende a permanecer associado à água, aos sólidos e à biomassa até ser retirado por colheita, remoção de sólidos ou renovação da água. Silva *et al.* (2013) destacam esse potencial de acúmulo em efluentes aquícolas. Além disso, a cebolinha em fase de rebrota apresenta padrão de absorção mineral que não necessariamente acompanha a entrada de fósforo proveniente da ração e dos resíduos; Belfort e Haag (1983) observaram maior assimilação de outros macronutrientes nessa fase. Dessa forma, a simples presença de plantas não garante balanço entre entrada e retirada de fósforo.

Em conjunto, os resultados mostram que a recirculação reteve os nutrientes dentro das unidades, evitando seu descarte contínuo, mas também transferiu para o manejo interno a responsabilidade de impedir seu acúmulo. Essa é uma distinção importante: recircular água não equivale, por si só, a eliminar nutrientes. Para que o sistema funcione como estratégia sustentável, filtragem de sólidos, oxigenação, dimensionamento entre biomassa de peixes e plantas e eventual retirada de fósforo precisam estar articulados. A ausência deliberada de correções neste experimento permitiu identificar justamente esses pontos de vulnerabilidade operacional.

Conclusão

Os três sistemas apresentaram dinâmicas próprias de qualidade da água, determinadas pela presença de solução nutritiva, peixes, biofiltração e plantas. Nas condições avaliadas, a recirculação foi capaz de manter os compostos nitrogenados em níveis compatíveis com a continuidade do cultivo, mas não impediu o acúmulo de fósforo total. A integração aquapônica mostrou potencial para o reaproveitamento da água e dos nutrientes, porém seu desempenho depende do equilíbrio entre os compartimentos animal, vegetal e microbiano. Estudos posteriores devem avaliar estratégias de manejo de sólidos, suplementação de aeração, controle térmico e balanço de fósforo sem perder a eficiência hídrica proporcionada pela recirculação.

Referências

BELFORT, C. C.; HAAG, H. P. Nutrição mineral de hortaliças: LVI-carência de macro nutrientes em cebolinha (*Allium schoenoprasum*). **Anais** da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 40, p. 221-234, 1983.

CARNEIRO, P.C.F.; MARIA, A.N.; FUJIMOTO, R.Y.; NUNES, M.U.C. **Sistema familiar de aquaponia em canaletas**. Circular Técnica. EMBRAPA, 2016.

CARRIJO, O.A.; MAKISHIMA, N. **Princípios de hidroponia**. Circular Técnica, Embrapa, 2000.

CASELLES-OSORIO, A.; GARCIA, J. Impact of different feeding strategies and plant presence on the performance of shallow horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Scie. of the Tot. Env.**, v. 378, n. 3, p. 253-262, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 53, 18 mar. 2005.

EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GREENBERG, A.E. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

HU, Z. *et al.* Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, v. 188, p. 92-98, 2015.

HUNDLEY, G.C.; NAVARRO, R.D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 52-61, 2013.

KUBITZA, F. **Tilápia: um bom planejamento gera uma alta rentabilidade**. Panorama da Aquicultura, v. 10, n. 59, 2000.

KUBITZA, F. **Sistemas de Recirculação: sistemas fechados com tratamento e reuso da água**. Panorama da Aquicultura, v. 16, n. 95, 2006.

LEAL, F.R.R. *et al.* Efeito da concentração da solução nutritiva no cultivo do coentro e cebolinha em pó de coco. **In**: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45., 2005.

LOURENÇO, J.N.P.; MALTA, J.C. de O.; SOUSA, F.N. **A importância de monitorar a qualidade da água na piscicultura**. Embrapa Amazônia Ocidental, n. 5, p. 1-4, 1999.

MACEDO, C.F.; SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.

PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

REBOUÇAS, Vanessa Tomaz *et al.* Tolerance of Nile tilapia juveniles to highly acidic rearing water. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 3, p. 227-233, 2015.

RESENDE, Á.V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, n. 57, p. 1-29, 2002.

RIDHA, M.T.; CRUZ, E.M. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of Nile tilapia Oreochromis niloticus L. reared in a simple recirculating system. **Aquacultural Engineering**, v. 24, p. 157-166, 2001.

SANTOS, M.V.B. *et al.* Produção integrada de Tambacu e alface em sistema com recirculação de água. **ScientiaTec**, v. 4, n. 3, p. 37-45, 2017.

SILVA, M.S.G.M; LOSEKANN, M.E.; HISANO, H. **Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Documentos 95, 2013.

SOMERVILLE, C. *et al.* Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. Rome: FAO, **Fisheries and Aquaculture Technical Paper**, n. 589, 2014.

VALDERRAMA, J.C. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. **Marine Chemistry**, v. 10, p. 109-122, 1981.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo apoio institucional e infraestrutura concedidos ao Laboratório de Nutrição e Produção de Espécies Ornamentais para a execução desta pesquisa.