

Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 113

Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia

*Julio Ferraz de Queiroz
Thiago Archangelo Freato
Alfredo José Barreto Luiz
Márcia Mayumi Ishikawa
Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente/
SAC: www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretário-Executivo
Cristina Tierni Shoyama

Membros
Rodrigo Mendes, Joel Leandro de Queiroga, Marco Antonio Ferreira Gomes, Maria Cristina Tordin, Nilce Chaves Gattaz, Ricardo Antonio Almeida Pazianotto, Vera Lucia Ferracini, Victor Paulo Marques Simão

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão

Tratamento das ilustrações
Silvana Cristina Teixeira

Projeto gráfico
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Foto da capa
Thiago Archangelo Freato

1ª edição eletrônica (2017)

Todos os direitos reservados.

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio Ambiente

Queiroz, Julio Ferraz de

Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia / Julio Ferraz Queiroz, Thiago Archangelo Freato, Alfredo José Barreto Luiz, Márcia Mayumi Ishikawa, Rosa Toyoko Shirraishi Friguetto. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 2017.

29 p. – (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4961; 113).

1. BPM 2. Qualidade da água 3. Filtragem 4. Digestibilidade 5. Desempenho zootécnico 6. Agentes patogênicos 7. Hortaliças 8. Controle de pragas 9. Avaliação econômica I. Freato, Thiago Archangelo, II. Luiz, Alfredo José Barreto. III. Ishikawa, Márcia Mayumi. IV. Friguetto, Rosa Toyoko Shirraishi. V. Título. VI. Série.

CDD 639.31

© Embrapa, 2017

Autores

Julio Ferraz de Queiroz

Oceanógrafo, doutor em Ciências Agrárias, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Thiago Archangelo Freato

Zootecnista, pós-doutor em Nutrição de Peixes, pesquisador da Symbiotec - Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda, Piracicaba, SP.

Alfredo José Barreto Luiz

Engenheiro-agrônomo, pós-doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Márcia Mayumi Ishikawa

Médica veterinária, doutora em Parasitologia Veterinária, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Rosa Toyoko Shiraishi Frighetto

Química, doutora em Química Orgânica, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Apresentação

A aquaponia – definida como a integração da aquicultura com a hidroponia - cada vez mais se consolida em nível mundial como uma atividade de grande importância para o agronegócio. Isso tem levado a que essa prática deixe de ser indicada apenas para produção em pequena escala. Como o sistema tem por base a reciclagem da água (*RAS - Recirculation Aquaculture System*), ele promove a minimização da geração de efluentes ricos em nutrientes e evita, assim, a eutrofização dos corpos d'água receptores.

Embora apresente várias vantagens comparativas com relação aos métodos tradicionais de produção de organismos aquáticos em sistemas de recirculação, ainda é preciso envidar esforços para superar vários gargalos tecnológicos relacionados à implantação e funcionamento dos sistemas de aquaponia. Também é necessário aprimorar o entendimento dos processos físicos, químicos e microbiológicos para tratamento, manutenção e monitoramento da qualidade da água e da sanidade dos peixes e das plantas.

Nesse sentido, este documento tem como objetivo a indicação de um conjunto de Boas Práticas de Manejo (BPM) para aprimoramento do manejo produtivo e sanitário dos sistemas de aquaponia. O grau de ineditismo deste documento se baseia justamente no fato de que as BPM propostas poderão ser aplicadas à produção em múltiplas escalas (desde o pequeno produtor até a escala empresarial), assim como em regiões com restrições de água e áreas rurais e periurbanas.

Marcelo Boechat Morandi
Chefe-Geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução	7
Carência de pesquisas no Brasil relacionadas à aquaponia	7
Sistemas de aquaponia mais comuns em uso no Brasil.....	9
BPM aplicadas ao manejo produtivo dos sistemas de aquaponia	12
Avaliação da eficiência das unidades de filtragem.....	13
Monitoramento e manutenção da qualidade da água.....	15
Determinação da digestibilidade das rações: manejo e densidade de estocagem dos peixes	19
Avaliação dos índices de desempenho zootécnico dos peixes	20
Avaliação do estado da saúde e prevenção de agentes patogênicos dos peixes para garantir o bem-estar animal.....	21
Desenvolvimento de BPM para otimizar o manejo do cultivo de hortaliças e controle de pragas e doenças.....	23
Avaliação econômica	25
Impactos potenciais das BPM.....	25
Recomendações de difusão das BPM para sistemas de aquaponia	25
Referências	27

Introdução

O maior desafio na fase atual de desenvolvimento da aquaponia no Brasil é assegurar que essa atividade venha contribuir diretamente para a produção intensiva de alimentos em áreas rurais e peri-urbanas (ganhos de produção e produtividade), para o desenvolvimento e validação de sistemas fechados e integrados, garantindo o uso múltiplo e racional dos recursos hídricos, a maximização no aproveitamento dos nutrientes e a consequente redução na geração de efluentes (ganhos ambientais), além de proporcionar mais oportunidades de emprego e renda (ganhos sociais e econômicos).

Diante disso, o objetivo deste documento é indicar um conjunto de Boas Práticas de Manejo (BPM) para aprimorar o monitoramento da qualidade da água e da avaliação do desempenho produtivo dos sistemas de aquaponia em uso no país, bem como em outros modelos (ou sistemas) aplicáveis a nossa realidade. Vale destacar, que não se trata de comparar diferentes sistemas de aquaponia, já que essa questão é bastante discutida em vários trabalhos que comprovam as vantagens e desvantagens de cada um (FAO, 2016; PATTILLO, 2017). O propósito é justamente indicar um conjunto de BPM para melhoria da qualidade da água e prevenção de doenças de peixes e plantas em sistemas de aquaponia.

Carência de pesquisas no Brasil relacionadas à aquaponia

Apesar de existirem vários sistemas de aquaponia em uso em outros países como, por exemplo, nos EUA, Canadá, França, Alemanha e Austrália, são poucos os empreendimentos de aquaponia funcionando em escala comercial no Brasil. EMERENCIANO et al., (2015) destacam quais são as principais informações já existentes, e também as perspectivas para o crescimento da atividade no Brasil. Afirmam que "no Brasil, a aquaponia comercial ainda não emergiu, mas em outros lugares do mundo ela já é uma realidade". Indicam que os sistemas aquapônicos de pequena escala ou "hobby" vem cada vez mais ganhando adeptos", enquanto, que as iniciativas comerciais ainda são isoladas e com pouca divulgação a nível nacional. Citam como um exemplo relevante a Aquaponia Kovalski localizada em Curitiba, voltada para o atendimento do mercado local <https://pt-br.facebook.com/Aquaponia-Kovalski-1481057102223547/>

Por outro lado, segundo o Censo Agropecuário dos EUA, havia 650 sistemas de aquaponia em atividade naquele país em 2013, por exemplo, (USDA, 2017). Praticamente não existem pesquisas sobre o desenvolvimento e proposição de BPM para monitoramento da qualidade da água e avaliação do desempenho produtivo.

Muitas incertezas associadas aos sistemas de aquaponia ainda precisam ser esclarecidas, principalmente, com relação à manutenção da qualidade da água (HILL; WEBSTER, 2008; HUNDLEY, 2013; HUNDLEY et al., 2013). Devido à complexidade inerente à aquaponia a busca de soluções para esses problemas se torna mais difícil. Portanto, é fundamental que seja adotado um conjunto específico de BPM para cada uma das diferentes etapas do processo produtivo. Para isso, devem ser observados diversos indicadores ou índices que podem auxiliar o produtor na tomada de decisão. Por exemplo, um indicador muito simples e útil ao produtor seria o tempo necessário para a realização do manejo para limpeza e manutenção dos módulos (ou unidades) produtivos. Ou seja, avaliar/quantificar o trabalho que deve ser feito diariamente para limpeza dos

filtros para tratamento da água das unidades de produção de peixes e das bancadas de hidroponia para produção de vegetais. Se apesar de produtivo, um sistema demonstrar uma necessidade excessiva de manutenção, isso pode ser um fator determinante para o insucesso da produção, devido ao aumento excessivo dos custos com mão de obra e tempo de ociosidade (ou inatividade) do sistema.

Outro indicador importante é a necessidade de suplementação nutricional para os vegetais cultivados. A suplementação nutricional poderá variar de acordo com vários fatores, como fase de cultivo dos peixes, composição da ração, temperatura e demais parâmetros de qualidade de água e taxa de fluxo da água no sistema, entre outros. Conseqüentemente, esse processo precisa ser realizado com critério ou poderá colapsar o sistema produtivo. O indicador econômico é outro fator de grande importância. Para isso, devem ser observados os valores de mercado normalmente praticados, assim como, o valor agregado pelo sistema aquapônico. Isso é válido para cada produto de origem animal e vegetal nas suas diferentes fases de cultivo, tais como, a venda de alevinos ou juvenis de peixes, e, sobretudo de produtos vegetais diferenciados como o *baby leaf* (folhas jovens) e microgreens (microvegetais). Esses produtos possuem maior valor de mercado e, certamente, poderão determinar o sucesso do empreendimento.

O conceito *baby leaf* integra hortaliças como alface, agrião, beterraba e rúcula, entre outras espécies, com folhas ainda não expandidas completamente e colhidas precocemente em relação ao tempo em que tradicionalmente se costuma colher para consumo <http://www.grupocultivar.com.br/artigos/pequenas-e-promissoras>

Por outro lado, um microgreen não é nada mais que um micro vegetal comestível – hortaliça, erva aromática, legume, etc. O seu nome “micro” é devido ao tamanho, que varia entre 5 a 10 centímetros (da folha até a raiz). Os microgreens são surpreendentes em termos de sabor e são utilizados, em termos estéticos para intrigar clientes, sem contar que fazem bem à saúde <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/38-no-mundo/2169-microgreens-pequenos-vegetais-podem-ser-cultivados-em-casa-e-tem-cerca-de-40-vezes-mais-nutrientes.html>

XIAO et al., (2012) comparam o nível de nutrientes dos pequenos vegetais em relação aos mesmos vegetais adultos. A conclusão é que os pequenos vegetais apresentam de quatro a 40 vezes mais nutrientes do que os mesmos vegetais na sua fase final.

Nesse sentido, é preciso observar que transferir tecnologia para o pequeno produtor só faz sentido se acompanhada de inovações que lhes permitam apropriar-se do valor adicionado, ou de parte substantiva dele. Caso contrário, continuarão produzindo riqueza para outros. De acordo com SALLES-FILHO e BIN (2014), o que precisa de escala não deve ser produzido sem escala. E, as marcas individuais e coletivas, selos, acesso e uso de informação técnica, comercial e gerencial, marketing organizacional e institucional são tão importantes quanto às tecnologias em si.

HARRISON et al., 2013 observaram que 18% - total de 226 produtores de pequeno e médio porte – não costumam conservar seus produtos sob refrigeração para a venda. E, 38% dos produtores envolvidos com aquaponia em escala comercial não possuem um plano de segurança alimentar. Um plano dessa natureza é fundamental para reduzir a possibilidade de propagação de doenças transmitidas por alimentos, o que demonstra a necessidade de adoção de boas práticas de manejo sanitário.

Partindo-se do fato de que há muitas possibilidades para indicação de BPM, devido às características do próprio produtor e da área onde está localizado seu empreendimento, é preciso sugerir medidas práticas para otimizar a produção para a média e pequena produção. Ademais,

a aquaponia em si, é um tema que integra diferentes disciplinas, o que necessitará de inovação para a proposição de novos métodos de manejo. A adoção de BPM apropriadas contribuirá para a melhoria dos índices de desempenho zootécnicos, fitotécnicos, econômicos e sanitários da produção intensiva de peixes e hortaliças nos sistemas de aquaponia.

Sistemas de aquaponia mais comuns em uso no Brasil

Em geral, os sistemas de aquaponia são constituídos basicamente pelos tanques para criação de peixes, filtros para tratamento da água e pelas bancadas de hidroponia. Em todos os sistemas de aquaponia, os tanques de criação de peixes são interligados a um módulo de filtragem. Normalmente, esse módulo é constituído por um decantador/clarificador para remoção de sólidos, um filtro biológico para reciclagem de nutrientes e um tanque provido com forte aeração para eliminação de gases – a aeração forte agita a água do tanque e contribui para a eliminação dos gases com concomitante oxigenação da água.

Os sistemas de filtragem ainda contem um tanque “sump” para coleta da água das bancadas de hidroponia. Interligado ao “sump” é conectado um tanque para adição de hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e/ou hidróxido de potássio KOH para controle do pH. Uma bomba elétrica é instalada no interior do “sump” para retornar a água para os tanques de criação de peixes (RAKOCY, 2009; BERNSTEIN, 2011). O reservatório “sump” também pode estar localizado imediatamente após o filtro, bombeando a água diretamente para as bancadas de hidroponia. E, em seguida a água desce por gravidade para os tanques de criação de peixes. Isso ocorre, principalmente, em sistemas construídos em terrenos planos e que utilizam o cultivo hidropônico em canaletas ou em cama com substrato, e que podem estar mais altos que os tanques de piscicultura.

Os sistemas de aquaponia comerciais mais comuns em uso no Brasil são: NFT - *Nutrient Film Technique* - os tanques para criação de peixes são interligados a um sistema de hidroponia convencional com fluxo laminar de água em canaletas de PVC (Figura 1), e DFT - *Deep Film Technique ou Floating* - os tanques para criação de peixes são interligados a tanques retangulares “raceways” providos de placas de isopor para suporte das hortaliças (Figura 2). Considerando a aquaponia doméstica, o sistema mais usado é o substrato semi-seco. Existem ainda outros modelos de cultivos, por exemplo, o sistema de substrato semi-seco ou *Media Bed Technique* (MBT), o qual é muito utilizado em módulos domésticos por ser mais compacto. Entretanto, esse sistema não é muito indicado para aquaponia em escala comercial, devido ao difícil manejo para limpeza e manutenção das camas de cultivo que são preenchidas com os meios filtrantes.



Figura 1. Detalhe das bancadas do sistema de hidroponia NFT - *Nutrient Film Technique*.

Embora o sistema de NFT ainda seja o mais tradicionalmente usado no Brasil, o DFT talvez seja o mais viável principalmente para regiões de clima mais quente, com grande oscilação térmica, como por exemplo, no estado de São Paulo. No sistema DFT há uma menor variação de temperatura e demais parâmetros de qualidade de água, estando o oxigênio dissolvido associado à velocidade do fluxo da água no sistema, e afeta positivamente o processo oxidativo do nitrito (WONKIEW et al., 2017). Apesar da maior relação volume de água/planta, quando a troca diária de água foi menor que 3,6%, DELAIDE et al., (2017) observaram acúmulo de nutrientes na água circulante.

No sistema NFT a água proveniente dos módulos de filtragem é bombeada para tanques mais elevados e, em geral, segue por gravidade para as canaletas de PVC, formando uma fina lâmina d'água que irriga as raízes das hortaliças. As bancadas de hidroponia podem ser construídas com pilares de concreto e armação de alumínio para suporte das calhas de PVC. Em geral, as canaletas possuem aproximadamente 6 metros de comprimento, 10 cm de largura e 7 cm de espessura e com aberturas de 5 cm de diâmetro a cada 30 cm para inserção das mudas de hortaliças (FAQUIN e FURLANI, 1999; FURLANI et al., 1999; FURLANI, 2008), podendo variar de acordo com a espécie, fase e manejo utilizado – 20 a 25 cm para alface e 15 cm para rúcula. GEISENHOFF et al. (2016) utilizaram espaçamento de 20 cm para alface.

No sistema DFT a água proveniente dos módulos de filtragem segue por gravidade para os canteiros hidropônicos, também chamados de “raceways”, os quais são providos de placas de EPS (isopor) ou de XPS (poliestireno extrudado) para suporte das hortaliças. Frequentemente, a técnica de DFT é empregada com a utilização de uma lâmina profunda de água (25 a 40 cm), onde as plantas são acondicionadas em mesas planas ou “raceways” onde a água circula por meio de bombeamento e/ou gravidade (AMINI, 2013) (Figura 2).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 2. Vista geral dos módulos de aquaponia (*DFT - Deep Film Technique ou Floating*).

Para a construção dos “raceways” podem ser utilizados tanques retangulares construídos com placas de compensado naval de 25 mm de espessura e recobertos com uma lona de plástico, ou outro tipo de estrutura (Figuras 3 e 4). Os “raceways” devem ser providos de pedras de aeração com espaçamento de 1,0 metro entre elas. Pode-se utilizar também uma mangueira porosa central disposta longitudinalmente em todo o canteiro hidropônico para garantir o fornecimento de uma quantidade adequada de oxigênio para as plantas (6,0 a 8,0mg/L/min). A taxa de renovação de água para “raceways” via recirculação, a princípio deve ser mantida entre 1 a 4 horas para renovação de 100% do volume total dos canteiros hidropônicos (RAKOCY, 2009; SOMERVILLE et al., 2014).



Foto: Julio F. Queiroz

Figura 3. Vista geral do interior de uma estufa agrícola com o sistema de aquaponia (*DFT - Deep Film Technique ou Floating*).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 4. Detalhe das placas de EPS (isopor) ou de XPS (poliestireno extrudado) para suporte das hortaliças.

BPM aplicadas ao manejo produtivo dos sistemas de aquaponia

O objetivo das BPM é promover o aprimoramento do manejo e dos índices de produtividade e sustentabilidade dos sistemas de aquaponia de forma ininterrupta e contínua. Esse aprimoramento deve ser feito com base em indicadores de desempenho zootécnico, fitotécnico e econômico. E, também dos pontos positivos e negativos de funcionalidade e praticidade de cada sistema. A definição dos pontos positivos e negativos de cada sistema poderá contribuir para atender de forma diferenciada as demandas de cada produtor em particular, de acordo com suas respectivas condições sócio econômicas e do mercado que pretendem atender sem, ainda, deixar de considerar as condições ambientais e da infraestrutura existentes em suas propriedades.

Uma das formas para organizar e analisar objetivamente essas informações pode ser feita a partir do uso de uma caderneta de campo onde devem ser anotadas todas as informações referentes à qualidade da água, manejo dos peixes e das hortaliças. E, também de métodos baseados em análises multicritério projetados para facilitar a tomada de decisões (REZAEI-MOGHADDAM e KARAMI, 2008).

Para a avaliação da efetividade das BPM é preciso entender que não há um delineamento estatístico específico que se possa utilizar para a comparação entre sistemas de aquaponia distintos. Mas sempre se pode comparar sistemas através de seus indicadores zootécnicos, fitotécnicos e econômicos. Se em um sistema, os peixes atingirem, por exemplo, o tamanho desejado em 45 dias e no outro em 60, isso é um indicativo. Se em um sistema mais de 75 % das hortaliças produzidas atingiram qualidade comercial enquanto no outro esse valor foi menor que 50%, é outro indicativo.

Os resultados serão tão mais confiáveis ou, as BPM mais efetivas, quanto melhor for à condução da produção e mais detalhado o registro de todas as atividades realizadas. Se for possível confiar

que o processo produtivo foi conduzido de forma correta pelo produtor e que foi adotado o conjunto de BPM mais adequado e, ainda, que nada do que foi realizado foi esquecido ou ocultado ao avaliar os resultados, os produtores terão em mãos à descrição do sistema, seus defeitos e qualidades, ficando por conta deles à decisão que melhor se adequar a cada um dos casos.

Certamente os produtores serão capazes de avaliar corretamente os resultados referentes à produção de peixes e hortaliças sem a necessidade de utilizar métodos estatísticos e analíticos de difícil aplicação e interpretação.

Avaliação da eficiência das unidades de filtragem

Explicação:

Uma das primeiras providências a ser tomada antes do início de qualquer ciclo produtivo é avaliar a eficiência dos filtros dos sistemas de aquaponia. Para isso, pode-se realizar um teste rápido para determinar a concentração de amônia, nitrito e nitrato na água. A amônia é o principal resíduo resultante do metabolismo dos peixes e da degradação da matéria orgânica (rações) (KUBITZA, 1999). O acúmulo de amônia nos sistemas de recirculação (aquaponia) resulta na redução da produção, no aumento do estresse dos peixes e, conseqüentemente, no aumento da ocorrência de doenças provocando grandes perdas devido às mortalidades elevadas (FRANCIS et al., 2015).

Níveis de amônia tóxica NH_3 (forma não-ionizada) entre 0,70 e 2,40 mg L^{-1} podem ser letais para os peixes, quando expostos por curto período de tempo. Concentrações de amônia não ionizada acima de 0,16 mg L^{-1} podem afetar o estado de saúde geral dos peixes e interferir no seu crescimento e reprodução, contribuindo dessa forma para o insucesso do sistema de produção (PEREIRA e MERCANTE, 2005; MARTINEZ et al., 2006).

Após a determinação inicial expedita com o uso de um kit comercial de qualidade de água deverá, então, ser determinado por meio de outros métodos mais precisos o número de pontos de amostragem. Numa primeira etapa os seguintes parâmetros devem ser medidos diariamente: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), pH (unidades de pH), turbidez (NTU), condutividade elétrica específica ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$), sólidos totais dissolvidos (mg L^{-1}) e, também a alcalinidade total (mg L^{-1}), e dureza total (mg L^{-1}), para determinação do poder tampão da água.

O número de pontos de amostragem nos sistemas de aquaponia e a frequência das medições a serem consideradas para monitoramento da qualidade da água devem ser determinadas assim que os primeiros resultados obtidos forem avaliados. Isso permitirá definir qual deverá ser o número total de amostras, e também quais os locais mais adequados para medição dos parâmetros de qualidade de água.

Existem várias técnicas de amostragem para controle de qualidade de processos contínuos de aplicação prática e simples, entre elas, as cartas de controle permitem avaliar o desempenho de processos e mostram a variação da característica de interesse em função do tempo através do uso de gráficos. O Instituto Adolfo Lutz publicou um manual para elaboração de cartas de controle que pode ser útil na adoção dessa técnica para o controle de qualidade da água no sistema (OLIVEIRA et al., 2013).

BPM

- Analisar a cada quinze dias os compostos nitrogenados – amônia, nitrito e nitrato – pode-se usar um kit para análises de água para monitoramento do N-amoniaco total até obter valores de equilíbrio no sistema de produção. A análise quinzenal deve ser efetuada no laboratório. E, para fósforo total e dissolvido utilizar um espectrofotômetro portátil tipo HACH, ou enviar as amostras para o laboratório (Figura 5)
- Quinzenalmente, também devem ser determinadas por titulação a alcalinidade total (mg L^{-1}), e a dureza total (mg L^{-1}), (enviar as amostras para o laboratório).
- Instalar, na medida do possível, sensores de temperatura, pH e oxigênio dissolvido para monitoramento automatizado desses parâmetros de forma contínua nos sistemas de aquaponia. O objetivo é determinar as variações diárias e os limites máximos e mínimos dessas variáveis, a fim de orientar o estabelecimento de um padrão para monitoramento da qualidade da água (Figura 6).

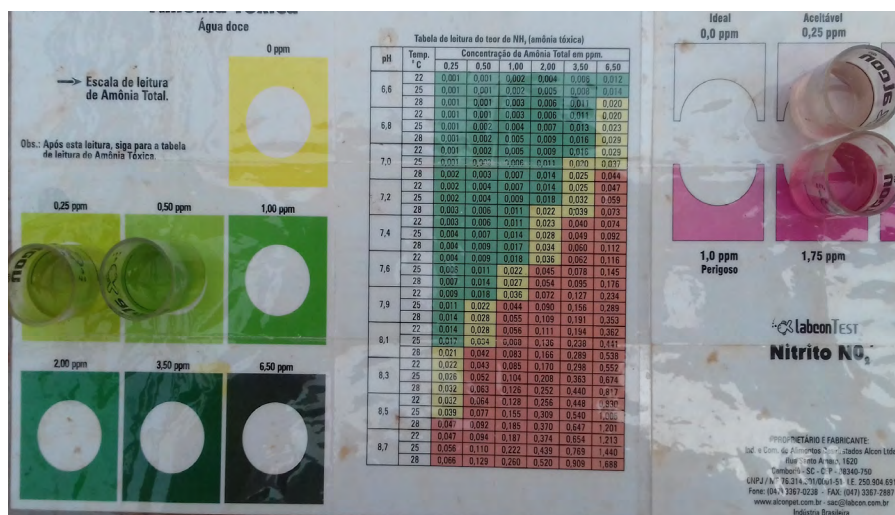


Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 5. Detalhe da tabela com escala de valores para determinação da concentração de amônia não ionizada e nitrito, e pH de um kit para monitoramento da qualidade de água.



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 6. Termômetros para medição da temperatura da água dos tanques de criação de peixes e para monitoramento da temperatura máxima e mínima do ar da estufa.

- Monitorar diariamente a temperatura, oxigênio dissolvido e o pH. Manter, na medida do possível, o valor do pH o mais próximo possível de 7,0 e a temperatura da água em torno de 26 °C, satisfazendo, assim a linha tênue entre a exigência das diferentes culturas – peixes e hortaliças – e, evitando o aumento do percentual de amônia não ionizada (NH_3) que é tóxica aos peixes em concentrações entre de 0,16 e 0,20 mg L^{-1} (MARTINEZ et al., 2006; QUEIROZ e BOEIRA, 2007).
- Monitorar quinzenalmente a concentração de amônia por meio da coleta e análise de amostras de água ou uso de kits. Se a concentração de amônia e nitrito estiveram altas ($> 0,2 \text{ mg L}^{-1}$ para amônia tóxica e $> 0,5 \text{ mg L}^{-1}$ para nitrito), isto indicará que o filtro biológico não está funcionando adequadamente, de modo que a área superficial do biofiltro deverá ser aumentada (Figura 7).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 7. Detalhe dos filtros biológicos com argila expandida utilizada como mídia para fixação de bactérias.

- Se a concentração de nitrato estiver elevada ($>150 \text{ mg L}^{-1}$) por semanas consecutivas, uma parte da água deverá ser removida e substituída por água limpa. A água removida poderá ser usada para irrigação de outras plantas.

Monitoramento e manutenção da qualidade da água

Explicação:

Em geral, nos sistemas de aquaponia, os níveis de nutrientes recomendados são inferiores com relação aos níveis utilizados na hidroponia, isto porque, os tanques de cultivo de peixes estão constantemente produzindo efluentes. Isso significa que os efluentes dos tanques de cultivo de peixes podem fornecer níveis adequados de macro e micronutrientes.

Para manter os parâmetros de qualidade de água dentro de limites satisfatórios e assegurar um crescimento satisfatório dos peixes e das hortaliças nos sistemas de aquaponia as seguintes medidas de controle devem ser feitas:

BPM

- Instalar todos os módulos (tanques de criação de peixes e bancadas de hidroponia) no interior de casas de vegetação ou estufas agrícolas, com mecanismo de sombreamento, para aumentar o controle de fatores como luminosidade, temperatura ambiente e parâmetros de qualidade da água (Figura 8).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 8. Vista geral de uma estufa agrícola com sistema de cortinas flexíveis e captação de água da chuva para a aquaponia.

- Manter a concentração de oxigênio dissolvido acima de 3 mg L^{-1} por meio de um sistema de aeração composto por um soprador e pedras de aeração ou mangueira porosa, que devem ser instaladas nos tanques de criação dos peixes e, no caso de sistema Floating (DFT), nos raceways de hidroponia (Figuras 9 e 10).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 9. Compressor radial de 2,35 cv, equipado com filtro de ar e válvula de alívio, utilizado para o sistema de aeração dos módulos de aquaponia.



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 10. Tanque de criação de peixes e detalhes do dreno central de água, e aeração do fundo (mangueira e pedras porosas) e da superfície da água (tubo tipo “venturi”).

- Utilizar tubos de PVC tipo “venturi” na saída da água das bombas elétricas para recirculação dos sistemas de aquaponia para contribuir com o aumento da concentração de oxigênio dissolvido (Figura 11).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 11. Detalhe do tubo de PVC tipo “venturi” utilizado na entrada de água dos tanques de criação de peixes para aumentar a concentração de oxigênio dissolvido.

- Manter o pH em torno de 7,0 adicionando alternadamente ao “sump” hidróxido de cálcio (CaOH_2) e hidróxido de potássio (KOH). Ambos aumentam o pH, de modo que para manter o equilíbrio, em alguns casos excepcionais, poderá ser preciso utilizar algum produto que abaixe o pH. Normalmente, para acidificar, usa-se o ácido fosfórico, ácido nítrico, vinagre ou sulfato de alumínio. E, para alcalinizar pode usar também carbonato de cálcio.
- Manter a turbidez em torno de 100 NTU através do controle de sólidos em suspensão e limpeza rotineira do sistema de filtros para decantação das fezes e dos resíduos de ração não consumida pelos peixes (Figuras 12 e 13).



Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 12. Detalhe do tanque utilizado como decantador de sólidos em suspensão (resíduos de ração e fezes) acoplado ao tanque de criação de peixes.

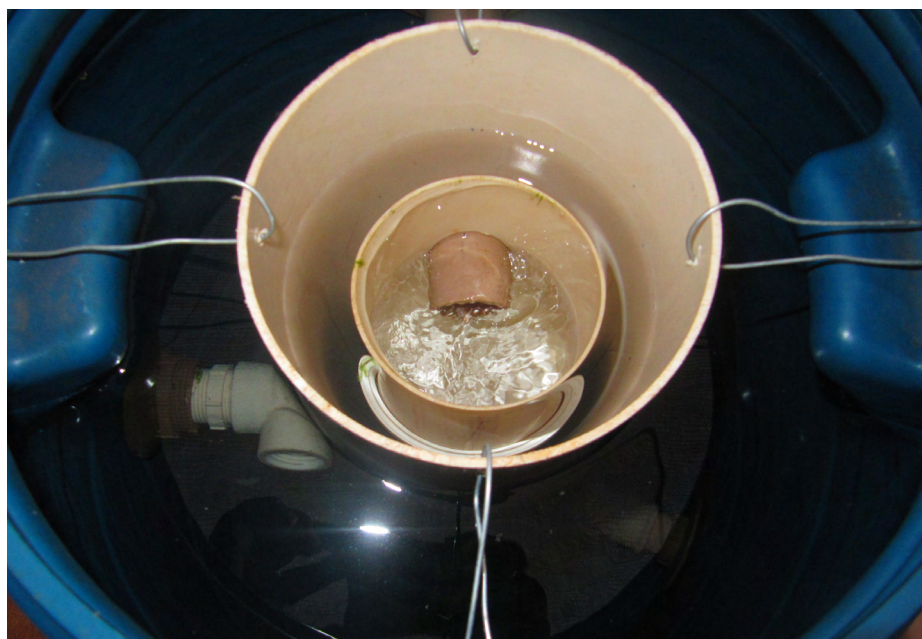


Foto: Thiago Archangelo Freato

Figura 13. Detalhe do funcionamento do decantador de sólidos em suspensão (resíduos de ração e fezes).

- Medir diariamente a condutividade elétrica específica com o auxílio de uma sonda multiparâmetros ou de um condutivímetro portátil para verificar se a necessidade da planta está sendo atendida de 2 mS/cm^2 podendo reduzir até $1,7 \text{ mS/cm}^2$ em épocas muito quentes (GONDIM et al., 2010).
- Manter a concentração de amônia total inferior a $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ para não estressar os peixes e prejudicar o seu crescimento. Para isso é preciso fazer um acompanhamento diário da oferta e do consumo de ração.
- Manter a concentração de nitrito inferior a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$, e quando superar essa concentração utilizar cloreto de potássio na proporção de 100 mg L^{-1} para evitar a intoxicação dos peixes.
- Manter a concentração de nitrato em torno de 10 mg L^{-1} para assegurar um bom crescimento das hortaliças na hidroponia.
- Manter a alcalinidade total e a dureza total em torno de 50 mg L^{-1} por meio da adição de calcário agrícola ou de hidróxido de sódio e hidróxido de potássio.
- Não utilizar qualquer tipo de solução nutritiva para o cultivo de hortaliças na hidroponia, ao contrário, dos procedimentos padrão adotados para o cultivo de hortaliças nos sistemas de hidroponia tradicionais.
- Fazer uma suplementação de cálcio, potássio e ferro. O cálcio e o potássio já são normalmente suplementados devido ao uso do hidróxido de cálcio e hidróxido de potássio para manutenção do pH. Porém, é preciso adicionar ferro quelado na concentração de 2 mg L^{-1} .
- Verificar se há necessidade de fazer uma suplementação com cálcio, potássio e ferro. Para isso, é preciso realizar análises dos nutrientes que normalmente faltam no sistema (potássio, magnésio, cálcio e ferro), para que a suplementação, com quelatos de ferro, hidróxidos de cálcio e potássio e/ou calcário dolomítico, seja feita da forma correta. Na impossibilidade de realização dessas análises, adicionar ferro quelado na concentração de 2 mg L^{-1} (RAKOCY, 2009).

Determinação da digestibilidade das rações: manejo e densidade de estocagem dos peixes

Explicação:

O objetivo de avaliar ou conhecer a digestibilidade da ração que será fornecida aos peixes é determinar qual seria a disponibilidade de nutrientes na água de modo a estabelecer a biomassa inicial de peixes nos tanques de criação, e a relação ideal entre quantidade de ração fornecida e capacidade de produção vegetal. Isso deve ser feito para assegurar uma concentração adequada de nutrientes na água nos sistemas de aquaponia. O objetivo é obter uma boa produtividade de hortaliças, e também a manutenção da qualidade da água para promover bom crescimento e bem estar dos peixes.

Em função da disponibilidade de nutrientes é possível determinar a quantidade de hortaliças que será possível cultivar na hidroponia. E, conseqüentemente, determinar qual será a biomassa inicial de peixes necessária para manter esse ciclo em equilíbrio.

A avaliação da digestibilidade das rações que serão utilizadas para alimentar os peixes nos sistemas de aquaponia permitirá determinar a quantidade de nutrientes excretados pela biomassa de peixes mantidos nos tanques de criação. E, ainda, avaliar se a quantidade de nutrientes excretados

atenderá satisfatoriamente à necessidade de nutrientes e minerais exigidos para a produção de hortaliças na hidroponia.

No caso da aquaponia, o conhecimento do potencial do efluente gerado pelos peixes, em relação à concentração de nutrientes exigidos pelas hortaliças, é essencial, tanto para o dimensionamento da produção vegetal, quanto do animal. A determinação ou o conhecimento prévio da digestibilidade aparente da ração poderá facilitar objetivamente a estimativa da densidade de peixes mais adequada para assegurar a produtividade esperada. É importante destacar que na literatura científica nacional e mundial esta abordagem sobre o conhecimento do potencial dos efluentes dos tanques de criação de peixes para dimensionamento da produção é pouco utilizada.

A avaliação do coeficiente de digestibilidade aparente não só permite determinar o valor nutricional de dietas, ingredientes dietéticos e nutrientes, mas também quantificar o volume potencial de material fecal originado pelo manejo alimentar (CYRINO et al., 2010). Concluídos os ensaios preliminares ou de posse de informações referenciadas sobre a digestibilidade da ração pode-se então definir a biomassa inicial dos peixes e o ciclo produtivo poderá então ser iniciado com mais segurança.

BPM

- Manter, a princípio, uma taxa de alimentação diária na proporção de 60 a 100 gramas de ração/m² área de hidroponia/dia (40 a 50 g para folhosas e de 50 a 100 g para vegetais frutíferos), com 20 a 25 plantas/m². Em geral, essa taxa é considerada ótima para a produção de plantas na hidroponia, equilíbrio do sistema e redução de problemas relacionados à qualidade de água (RAKOCY, 2009; SOMERVILLE et al., 2014).
- Estimar a biomassa inicial de peixes em função da quantidade máxima de plantas que poderá ser cultivada no sistema de aquaponia. Para isso, recomenda-se determinar ou buscar informações sobre a digestibilidade das rações antes de estocar os peixes nos tanques de cultivo.
- Usar a seguinte equação para estimar a quantidade de nutrientes disponíveis na água: concentração de nutrientes (CN) = densidade de peixes/m³ nos tanques de criação X quantidade de ração que deve ser ofertada aos peixes/dia X digestibilidade das rações.

Avaliação dos índices de desempenho zootécnico dos peixes

Explicação:

Os seguintes parâmetros de desempenho zootécnico devem ser avaliados: ganho de peso total (g) (GPT): diferença entre a média de peso dos peixes no final e no início do ciclo de produção; ganho de peso/dia (g/dia) (GPD): diferença entre a média de peso dos peixes no final e no início do ciclo de produção dividido pelo número de dias do ciclo de produção; conversão alimentar aparente (CAA): relação entre a média de consumo de ração e a média de ganho de peso durante o ciclo de produção; taxa de sobrevivência (%) (TS): relação percentual entre o número de peixes no final e no início do ciclo de produção e o fator de condição (K): relação entre o peso e o comprimento padrão dos peixes em um determinado momento.

BPM

- Fazer biometria a cada 30 dias com cerca de 5% do número de peixes (5% do número total inicial de peixes/tanque).
- Retirar os peixes de cada um dos tanques de criação e sedar cada um deles com cloridrato de benzocaína (100 mg L^{-1}) ou óleo de cravo (80 mg L^{-1}) (DELBON, 2006). (Figura 14).



Foto: Márcia Mayumi Ishikawa

Figura 14. Medida do comprimento (cm) de uma tilápia durante o processo de biometria.

Avaliação do estado da saúde e prevenção de agentes patogênicos dos peixes para garantir o bem-estar animal

Explicação:

Os critérios adotados atualmente, pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para medir o grau de bem-estar animal definem que para atingir um alto grau de bem-estar, o animal precisa estar: sadio, seguro, saudável, confortável, livre para expressar comportamentos naturais e livre de sentimentos negativos. A teoria da sustentabilidade contemplada pela FAO descreve como sendo, garantia dos direitos e do bem-estar humanos, sem reduzir a capacidade do planeta em manter a vida e sem ocorrer às custas do bem-estar de outros. Em relação ao que contemplava a teoria de 1990, observa-se algumas mudanças, onde a palavra necessidades foi substituída pela palavra bem-estar e acrescentou-se ainda, que a garantia do bem-estar dos humanos não deve ocorrer às custas do bem-estar de outros. Neste contexto observa-se que os produtores precisarão cada vez mais se preocupar com as questões éticas dos consumidores, demonstrando a importância da inclusão do bem-estar dos animais como recomendações nas Boas Práticas de Produção (GAMEIRO, 2014).

A avaliação do estado da saúde e a prevenção de agentes patogênicos dos peixes com vistas ao desenvolvimento de Boas Práticas de Manejo Sanitário (BPMS) contempla os critérios para o bem-

estar animal. Esta prática visa também, garantir a qualidade do produto e agregação de valor ao produto final. Peixe saudável garante melhor desempenho, assim como valorização e aceitação do produto pelo consumidor.

A avaliação do estado de saúde dos peixes deve ser realizada na chegada dos peixes, no decorrer do período de produção e no final de cada ciclo. Os métodos de diagnósticos de doenças de peixes utilizados rotineiramente, como por exemplo, análises parasitológicas podem ser adaptadas de acordo com a metodologia descrita por JERÔNIMO et al., 2012, de forma a atender a prevenção de doenças no sistema de aquaponia. E, as análises dos distúrbios hematológicos podem ser realizadas de acordo com a metodologia descrita por SATAKE et al. in: TAVARES-DIAS, 2009.

O protocolo de Boas Práticas de Monitoramento Sanitário (BPMS) para a aquaponia pode ser resumido na descrição abaixo:

BPM

- Realização de período de quarentena em tanques de cultivo isolados do sistema de recirculação principal, para observação do comportamento e aparecimento de sinais clínicos em lotes de peixes advindos de outras pisciculturas, mesmo que de procedência idônea.
- Fazer uma avaliação clínica dos peixes a partir da observação do estado geral como, por exemplo, comportamento, cor de mucosa, produção de muco, aspecto das brânquias e avaliação de peso e comprimento.
- Observar cuidadosamente se existem alterações macroscópicas como deformidades no corpo, infecções na pele e nas brânquias, ectoparasitas etc.
- Utilizar, quando possível, parâmetros hematológicos e parasitológicos como exames complementares para a avaliação do estresse e do estado de saúde que deve ser supervisionado pelo responsável técnico da propriedade, ou enviado para laboratório especializado, pois ainda não existe metodologia específica validada para uso na aquaponia (Figura 15).



Foto: Márcia Mayumi Ishikawa

Figura 15. Detalhe do exame de ectoparasitos nas brânquias de tilápia.

- Realizar o diagnóstico de agentes patogênicos dos peixes sempre que algum exemplar apresentar sintomas sugestivos de doenças que deve ser supervisionado pelo responsável técnico da propriedade, ou enviado para laboratório especializado, pois ainda não existe metodologia específica validada para uso na aquaponia.
- Garantir o impedimento da presença de predadores e visitantes sem as devidas medidas de biossegurança.
- Providenciar EPIs e utensílios exclusivos para cada ciclo ou sistema.
- Observar se a ocorrência de doenças ou qualquer outro indicativo de estresse dos peixes está relacionado com algum problema devido à qualidade da água, ao manejo ou problemas no sistema/estrutural.
- Manter uma planilha contendo biometrias, frequência alimentar, parâmetros de qualidade de água, parasitofauna, mortalidade e eventuais tratamentos em local de fácil acesso aos tratadores.
- Garantir a execução das BPM de monitoramento e manutenção da qualidade da água acima descritas.

Desenvolvimento de BPM para otimizar o manejo do cultivo de hortaliças e controle de pragas e doenças

Explicação:

O desenvolvimento de BPM para otimizar o manejo do cultivo de hortaliças deve ser feito a partir da identificação e seleção dos procedimentos mais efetivos. Para isso devem ser consideradas a redução da intensidade de mão de obra, limpeza e manutenção dos sistemas de hidroponia, assim como, o uso de insumos e equipamentos exigidos durante o ciclo de produção.

Um dos aspectos primordiais para nortear o desenvolvimento das BPM deve assegurar um número satisfatório de plantas com padrão mínimo de tamanho, peso e coloração exigido pelo mercado, ou seja, a quantidade de plantas produzidas não deve ser o fator determinante para definir a eficiência de um determinado sistema de hidroponia, mas sim a quantidade de plantas com valor de mercado. Também se deve observar o tempo gasto para as plantas alcançarem o tamanho comercial e, ainda, a ausência de ocorrência de doenças, por exemplo, podridão das raízes.

Em geral, a sementeira das sementes de hortaliças é feita na casa de vegetação em bandejas próprias para a finalidade e preenchidas com substrato comercial. Frequentemente, após 3 semanas as mudas são transplantadas para o cultivo em sistema de hidroponia (GEISENHOF et al., 2016) que poderá ser com fluxo laminar ou flutuante. Ao final do ciclo produtivo para a avaliação do desempenho produtivo recomenda-se fazer a pesagem do sistema radicular e da parte aérea das hortaliças para determinação do crescimento. Ao final dos ciclos de produção devem ser feitas as análises foliares de P, K, Na, Ca, Mg, Mn, S, Fe, Cu, Zn e Bo, e também de nitrato para avaliação do sistema produtivo e possíveis intervenções.

A determinação das taxas de fotossíntese em hortaliças é fundamental para subsidiar a avaliação dos sistemas de hidroponia, principalmente, com relação à adequação da luminosidade incidente sobre as plantas nas estufas. As moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio assimiladas são transformadas em moléculas orgânicas pela fotossíntese, formando cerca de 96% do total de massa

seca de uma planta típica (MARSCHNER, 1995). Portanto, a mensuração da troca gasosa é fundamental em vários aspectos fisiológicos da planta, pelo fato de a fotossíntese ser o parâmetro central do metabolismo nutricional das plantas.

Em relação ao manejo de doenças, principalmente podridões radiculares os documentos de SUTTON et al. (2006) e LOPES et al. (2015) apresentam detalhes relacionados às boas práticas recomendadas para esse manejo. Dentre as medidas de controle de pragas e doenças de hortaliças em sistemas de hidroponia convencionais, a adição de microrganismos antagônicos ao patógeno e promotores de crescimento de plantas na solução nutritiva se destaca como uma medida eficiente e ecologicamente viável contra doenças (CORREA et al., 2015). No caso de pragas, recomenda-se a utilização de inimigos naturais, como predadores, parasitoides ou entomopatógenos. Entretanto, considerando que nos sistemas de aquaponia a utilização de solução nutritiva é limitada a suplementações pontuais, a adição de pesticidas ou fungicidas químicos não poderá ser feita, de modo que os métodos alternativos (biológico, radiação ultravioleta, ultrafiltração, adição de silicato de potássio, ozônio) devem ser utilizados como principal controle de doenças, assim como, outras práticas do manejo integrado de pragas – MIP (MOURA, 2015).

BPM

- Determinar o número de plantas que atingiram o padrão mínimo de tamanho, peso e coloração exigido pelo mercado, ou seja, a quantidade de plantas produzidas não deve ser o fator determinante para definir a eficiência de um determinado sistema de hidroponia, mas sim, a quantidade de plantas com valor de mercado.
- Anotar qual foi o tempo gasto para as plantas alcançarem o tamanho comercial e, ainda, a ausência de ocorrência de doenças, por exemplo, podridão das raízes (*Pythium sp*), e de pragas como o pulgão (*Dactynotus sonchi*) e a tripses (*Thrips sp*).
- Coletar amostras dos fragmentos de raízes das plantas para avaliar a ocorrência de podridão da raiz causada por *Pythium* e também por outros patógenos.
- Controlar diariamente a luminosidade e a temperatura ambiente no interior da estufa agrícola, com um luxímetro e um termômetro, para realização do manejo da abertura e fechamento das telas da cobertura lateral.
- Realizar semanalmente durante todo o ciclo produtivo das hortaliças, e quando for possível, medidas de fotossíntese das plantas. Para isso, pode-se utilizar analisadores de gás por infravermelho (LI-6400 XT, LI-COR Inc., Nebraska, USA). A metodologia utilizada é proposta por HE et al., (2007).
- Ao final de cada ciclo de produção, realizar as análises foliares de P, K, Na, Ca, Mg, Mn, S, Fe, Cu, Zn e Bo, e também de nitrato para avaliação do sistema produtivo e possíveis intervenções nos próximos ciclos.

Avaliação econômica

Explicação:

A avaliação econômica dos sistemas de aquaponia é primordial. A análise dos custos de produção deve ser feita durante todo o processo produtivo de modo a identificar os pontos positivos e negativos do sistema de produção que devem ser aprimorados no sentido de contribuir para a melhoria dos índices de produtividade e rentabilidade. Uma das metodologias recomendadas considera uma série de variáveis que devem ser calculadas de acordo com a metodologia citada por SCORVO FILHO et al., (2004).

BPM

- Determinar: 1) Custo Operacional Efetivo (COE); 2) Custo Operacional Total (COT); 3) Rendimento (kg ciclo⁻¹); 4) Preço de Venda (R\$ kg⁻¹); 5) Receita Bruta (R\$); 6) Receita Líquida Financeira (Receita Bruta – COE) (R\$); 7) Lucro Operacional (Receita Bruta – COT) (R\$).

Impactos potenciais das BPM

A adoção de BPM para monitoramento e manejo da qualidade da água e da produção de peixes e hortaliças em sistemas de aquaponia poderá promover os seguintes impactos positivos para a produção de alimentos:

- Melhoria da qualidade da água e do manejo produtivo dos sistemas de aquaponia, e aumento da segurança alimentar (inocuidade) por meio do monitoramento, manejo e prevenção de doenças de peixes e plantas sem uso de agroquímicos.
- Critérios para selecionar os sistemas de aquaponia de acordo com as características ambientais do local e das condições sócio econômicas dos produtores, e definição de quais são as BPM mais adequadas para a instalação, manutenção e manejo da qualidade da água e da produção de peixes e hortaliças.
- Garantir o bem-estar dos peixes e melhor aceitação do consumidor.
- Oportunidades para novos negócios e renda em áreas rurais e peri-urbanas e locais com restrição de água.
- Capacitação de piscicultores, técnicos, extensionistas e produtores rurais sobre sistemas de aquaponia.
- Possibilidade de aplicação de um sistema diversificado para múltiplas escalas de produção com foco na sustentabilidade ambiental.

Recomendações de difusão das BPM para sistemas de aquaponia

A transferência de tecnologia e de conhecimentos deve ter como objetivo principal treinar e capacitar produtores, técnicos e extensionistas desde a sua concepção, construção e funcionamento dos

sistemas de aquaponia, e a integração da produção animal e vegetal, deve envolver o conhecimento das BPM na produção.

A natureza integrada da aquaponia provê a experiência do aprendizado mão-na-massa (aprender fazendo), além da integração real das diversas disciplinas, como as engenharias, biologia, química, zootecnia, agronomia, administração, dentre outros, bem como a tecnologia de informação para o gerenciamento de dados (e também da gestão da produção), pois o sistema requer o equilíbrio do tripé plantas-água-peixe.

Na parte teórica, deve ser abordada a questão das fases de crescimento do peixe, suas relações com a nutrição e arraçoamento conforme as fases, e as consequências na qualidade da água. É importante entender que é preciso transferir esses conhecimentos através da metodologia “fazendo e acompanhando a evolução do sistema”, dessa forma os produtores e os técnicos estarão aptos a construir e reproduzir os sistemas em seus locais ou regiões.

Nos cursos de treinamento e capacitação devem ser abordados o manejo da criação de peixes, manutenção e monitoramento da qualidade da água, cultivo de hortaliças, nutrientes mínimos necessários e o ciclo de produção, conforme as espécies de plantas, acompanhado de noções sobre a sanidade animal e vegetal.

Os cursos de treinamento e transferência, bem como os dias-de-campo, devem ser acompanhados de material didático elaborado por instrutores capacitados. O modelo adotado só será passível de avaliação quando os primeiros participantes forem capazes de realizar a implantação de sua própria produção e a avaliação do valor apropriado.

A aquaponia poderá ser usada como veículo de interligação da lacuna existente entre a população em geral e o entendimento das técnicas agrônômicas, incluindo atividades sustentáveis congruentes, tais como, a coleta de água de chuva, reciclagem de nutrientes e produção sustentável de alimentos, que podem ser integradas nos planos de treinamento de diversas instituições governamentais.

Os módulos de cursos recomendados para difusão de BPM em sistemas de aquaponia podem ser compostos por:

- Curso de treinamento e capacitação I: apresentação dos principais aspectos teóricos e práticos sobre montagem, instalação, manejo e manutenção dos sistemas de aquaponia, e também alguns procedimentos para otimizar os índices de produtividade e rentabilidade para a produção de peixes e hortaliças em sistemas de aquaponia;
- Curso de treinamento e capacitação II: aspectos conceituais sobre manejo produtivo e manutenção da qualidade da água, e BPM sobre prevenção de doenças de peixes e das plantas para aprimorar a produção de peixes e hortaliças em sistemas de aquaponia.
- Dia de campo I: demonstração das técnicas e procedimentos para instalação, manejo e manutenção de sistemas de aquaponia com a apresentação dos procedimentos para construção e instalação, requisitos mínimos para escolha do local de instalação, definição de escala de produção, conceitos fundamentais sobre os sistemas de recirculação, construção e uso dos filtros de decantação e filtros biológicos, controle e manejo alimentar, qualidade da água e seu controle, manejo e manutenção de sistemas de aquaponia;
- Dia de campo II: aspectos teóricos e práticos sobre montagem, instalação, manejo e manutenção dos sistemas de aquaponia e também BPM para manejo sanitário dos peixes e das plantas e

para otimizar os índices de produtividade e rentabilidade para a produção de peixes e hortaliças em sistemas de aquaponia.

- Workshops e reuniões: criar momentos/oportunidades para trocas de experiências com aqueles que já atuam nos segmentos da cadeia produtiva da aquicultura sobre o manejo alimentar e manutenção da qualidade da água, da sanidade dos peixes e do vegetal, e BPM para a produção de peixes e hortaliças em sistemas de aquaponia e cálculo de custo econômico.

Referências

AMINI, A. **DIY Aquaponics: the definitive how to guide - grow your own premium food wherever and whenever you want.** Farm Tower Co., 212 pp. 2013.

BERNSTEIN, S. **Aquaponic Gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together.** New Society Publishers, 288 pp. 2011.

CORREA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J.C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtilis* GB03 em alface hidropônica. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 4, p. 275-281, 2010.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; YUJI, S. R.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente - o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, suppl., p. 68-87, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>.

DELAIDE, B., DELHAYE, G., DERMIENCE, M., GOTT, J., SOYEURT, H., JIJAKLI, M.H. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. **Aquacultural Engineering**, v. 78, part B, p. 130-139, 2017. (<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>)

DELBON, M.C. Ação da Benzocaína e do Óleo de Cravo sobre parâmetros fisiológicos de tilápia, *Oreochromis niloticus*. Dissertação Mestrado. CAUNESP, Jaboticabal-SP, 91p., 2006.

EMERENCIANO, M. G. C.; MELLO, G. I.; PINHO, S. M.; MOLINARI, D.; BLUM, M. N. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 24-35, 2015.

FAO. Sobre sustentabilidade 2: <http://www.fao.org/nr/sustainability/en/>

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016.** Contributing to food security and nutrition for all. Rome. 200 pp. 2016.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, 1999.

FRANCIS-FLOYD, R.; WATSON, C.; PETTY, D.; POWDER, D. B. **Ammonia in aquatic systems.** University of Florida/ Fisheries and Aquatic Sciences Department. Document FA16, 5 pp., 2015. <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/FA/FA03100.pdf>

FURLANI, P. R. *Pythium* em sistemas hidropônicos danos e perspectivas para o controle: principais sistemas hidropônicos em operação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 34, (Supl.), p. S146-147, 2008.

FURLANI, P. R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L. C. P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 90-98, 1999.

GAMEIRO, A.H. Sustentabilidade e bem-estar animal: sim tudo a ver! **Boletim da APAMVET**, v.5, n1, 2014.

GEISENHOF, L.O., JORDAN, R.A., SANTOS, R.C., OLIVEIRA, F.C. de, GOMES, E.P. Effects of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 2, p. 291-299, 2016. (<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>).

GONDIM, A.R.O.; FLORES, M.E.P.; MARTINEZ, H.E.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, Nov./Dec. 2010.

- HARRISON, J. A.; GASKIN, J. W.; HARRISON, M. A.; CANNON, J. L.; BOYER, R. R.; ZEHNDER, G. W. Survey of food safety practices on small to medium-sized farms and in farmers markets. **Journal of Food Protection**, v. 76, n. 11, p. 1989–1993, 2013.
- HE, J.; AUSTIN, P. T.; NICHOLS, M. A.; LEE, S. K. Elevated root-zone CO₂ protects lettuce plants from midday depression of photosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 1, p. 94–101, 2007.
- HILL, D. R.; WEBSTER, T. High pH inhibits nitrifying bacteria. **American Water Works Association**, v.34, n. 7, p. 20-22, 2008.
- HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2013.
- HUNDLEY, G. M. C.; NAVARRO, R. D.; FIGUEIREDO, C. M. G.; NAVARRO, F. K. S. P.; PEREIRA, M. M.; RIBEIRO FILHO, O. P.; SEIXAS FILHO, J. T. Aproveitamento do Efluente da Produção de Tilápia do Nilo para Crescimento de Manjeriço (*Origanum basilicum*) e Manjerona (*Origanum majorana*) em Sistemas de Aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 51-55, 2013.
- JERÔNIMO, G. T.; TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L.; ISHIKAWA, M. M. **Coleta de parasitos em peixes de cultivo**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 36 p.
- KUBITZA, F. **Qualidade da água na produção de peixes**. 3. ed. Jundiaí: Degaspari. 97p. 1999.
- LOPES, C. A.; SILVA, J. B. C. da.; GUEDES, I. M. R. Doenças em cultivos hidropônicos e medidas de controle. Embrapa Hortaliças, Comunicado Técnico, 107. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 12p. (ISSN: 1414-9850) (<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127745/1/COT-107.pdf>)
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**, 2nd ed. London, UK: Academic Press, 889 pp., 1995.
- MARTINEZ, C.B.R.; AZEVEDO, F.; WINKALER, E.U. Toxicidade e efeitos da amônia em peixes neotropicais. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C. **Tópicos especiais em biologia aquática e aquicultura**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2006. p.81-95.
- MOURA, A. P. **Manejo Integrado de Pragas: Estratégias e Táticas de Manejo para o Controle de Insetos e Ácaros-praga em Hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2015. 12p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica 141).
- OLIVEIRA, C. C.; GRANATO, D.; CARUSO, M. S. F.; SAKUMA, A. M. **Manual para elaboração de cartas de controle para monitoramento de processos de medição quantitativos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2013. 76 p. ISBN 978-85-85472-09-2
- PATTILLO, D. A. **An Overview of Aquaponic Systems: Hydroponic Components**. NCRAC Technical Bulletins. 19. 2017. <http://lib.dr.iastate.edu/ncrachtechbulletins/19>
- PEREIRA, L.P.F.; C.T.J. MERCANTE. **A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão**. Inst. Pesca, São Paulo, 31(1): 81 - 88, 2005.
- QUEIROZ, J. F.; BOEIRA, R. C. **Boas Práticas de Manejo (BPMs) para Reduzir o Acúmulo de Amônia em Viveiros de Aquicultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2007 (Comunicado Técnico Embrapa No.44/2007).
- RAKOCY J. E. Acuiponía: la integración del cultivo de peces con el cultivo de hortalizas en sistemas hidropónicos. Cap. 19, p. 791-847. In: Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Piedrahita, R. H. (Eds.). **Acuicultura en sistemas de recirculación**. Cayuga Aqua Ventures, 959 pp., 2009.
- REZAEI-MOGHADDAM, K.; KARAMI, E. A multiple criteria evaluation of sustainable agricultural development models using AHP. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, n. 4, p. 407-426, 2008. doi: 10.1007/s10668-006-9072-1
- SALLES-FILHO, S.; BIN, A. Reflexões sobre o rumo da pesquisa agrícola. Parte 3, Cap. 3, p. 423-452. In: Antônio Márcio Buainain, A. M.; Alves, E.; Silveira, J. M.; Navarro, Z. (Eds.). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 1182 pp., 2014.
- SATAKE, F.; PÁDUA, S. B.; ISHIKAWA, M. M. Distúrbios morfológicos em células sanguíneas de peixes em cultivo: uma ferramenta prognóstica. Cap. 13, p. 330-345. In: TAVARES-DIAS, M. (Org.). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo**. 1ª ed. Macapá: Embrapa Amapá, 723 pp., 2009.
- SCORVO-FILHO, J. D.; MARTINS, M. I. E. G.; FRASCA-SCORVO, C. M. D. Instrumentos para análise da competitividade na piscicultura. Cap.17, p. 517-533. In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALLOSSI, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Eds.). **Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva**. São Paulo, TecArt, 533 pp., 2004.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production**. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO, 262 pp., 2014.

SUTTON, J. C.; SOPHER, C. R.; OWEN-GOING, T. N.; LIU, W.; GRODZINSKI, B.; HALL, J. C.; BENCHIMOL, R. L. Etiology and epidemiology of *Pythium* root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.32, n. 4, p.307-321, 2006.

USDA - NASS - Census of Agriculture. **Quick Stats**: Practices, aquaculture, production method, aquaponics - number of tanks. <https://quickstats.nass.usda.gov>. Consultado em 08/11/2017.

WONKIEW, S., POPP, B.N., KIM, H.J., KHANAL, S.K. Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 125, p. 24-32, 2017 (<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.08.006>)

XIAO, Z., LESTER, G.E., LUO, Y., WANG, Q. **Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens**. *J. Agric. Food Chem.*, 2012, 60 (31), pp 7644–7651.

