

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

RAYNE SUBTIL LEITE  
CAIO DELLA COLLETA VIANNA

Implantação e acompanhamento de uma aquaponia experimental, com ênfase na coleta de  
sólidos sedimentáveis

São Carlos  
2017



RAYNE SUBTIL LEITE  
CAIO DELLA COLLETA VIANNA

Implantação e acompanhamento de uma aquaponia experimental, com ênfase na coleta de  
sólidos sedimentáveis

Monografia apresentada ao curso de Graduação  
em Engenharia Ambiental da Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de  
São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando André Salles

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos  
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA  
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,  
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L533i            Leite, Rayne Subtil  
                  Implantação e acompanhamento de uma aquaponia  
                  experimental, com ênfase na coleta de sólidos sedimen-  
                  táveis / Rayne Subtil Leite, Caio Della Colleta Vianna;  
                  orientador Fernando André Salles. - São Carlos, 2017.

                  Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola  
                  de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
                  2017.

                  1. Aquaponia. 2. Aquicultura de recirculação.  
                  3. Sólidos sedimentáveis. 4. Decantador de fluxo radial.  
                  I. Vianna, Caio Della Colleta. II. Título.



# FOLHA DE JULGAMENTO

---

Candidato(a): **Caio Della Colleta Vianna e Rayne Subtil Leite**

Data da Defesa: 01/11/2017

Comissão Julgadora:

Resultado:

**Prof. Dr. Fernando André Salles (Orientador(a))**

Aprovado

**Dr. Marcello Villar Boock**

APROVADO

**Dr. Wesley Aparecido Saltarelli**

Aprovado



**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação



*Em nome de Rayne: “Tenho a impressão de ser uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”.*

*(Isaac Newton)*

*Em nome de Caio: Dedico esta monografia ao meu pai Eduardo,  
à minha mãe Claudia e ao meu irmão André por todo o  
apoio necessário durante a graduação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em nome de Rayne e Caio,

Ao nosso orientador e amigo, Pesquisador Dr. Fernando André Salles, por todo apoio, crítica, paciência e suporte durante o desenvolvimento do trabalho, a quem nós dedicamos e agradecemos por todo nosso crescimento acadêmico e pessoal durante a graduação.

Ao Prof. Dr. Marcelo Zaiat pelo apoio imensurável, desde a orientação inicial na primeira reunião do Trabalho de Graduação até a colaboração financeira com grande parte das análises de água realizada neste estudo.

À Agência Paulista de Tecnologia em Agronegócios (APTA) e todos os seus funcionários do polo regional de Ribeirão Preto – SP, pela disponibilidade, paciência e apoio na parte experimental do desenvolvimento do estudo.

A Ribersolo pela cooperação durante as análises laboratoriais de macro e micronutrientes presentes na água.

Aos demais professores, amigos e pesquisadores com os quais tivemos contato durante a graduação pelos ensinamentos acadêmicos e pessoais, os quais levaremos para toda a vida. Em especial, ao Professor Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espindola, pela amizade e aprendizados que levaremos para a vida toda.

Em nome de Rayne,

Primeiramente a Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

Aos meus Pais, Simone e Fernando, pelas lições de amor que sempre prezaram em me oferecer e por terem colocado minha educação, tanto na escola quanto na vida, como extrema prioridade. Vocês são meus heróis!

Ao meu Irmão, Raony, meu exemplo de homem, meu melhor amigo, meu parceiro e meu porto seguro.

A todos os professores com quem tive a honra de aprender, obrigada por me despertarem para a aventura da vida. Em especial, a Roberta, que me permitiu permanecer e me presenteou com sua amizade, seu amor e todo seu carinho.

Ao meu primo, Eduardo, por ter aberto meus horizontes, me apresentado e incentivado com o tema. Que a natureza continue nos unindo.

Ao meu parceiro de TCC, Zunde, obrigada por me resgatar no meio da reunião no começo do ano e aceitar compartilhar essa jornada comigo, não poderia imaginar parceiro melhor.

À minha prima, que também é minha melhor amiga, Thifanny, por acolher minhas reclamações, me confortar e me incentivar. Afinidade genética, sintonia de alma.

À Bruna, meu pequeno bem mais valioso e precioso, você é luz essencial na minha vida, você é parte de mim.

À Natalia, por ser paz, obrigada por segurar minha mão e me guiar com tamanha suavidade e amor a entender muitas questões da vida.

À Shot, por dividir não só o apartamento, como também alegrias, risadas, chocolates, resumos e infinitas histórias.

Aos meus amigos (Pedro, Bia, Marina, Fer, Vi, Ana, Dedini, Costela, Gari, Paródia, Remorso, Prego, Mensalão, Garça, Jew e Taísa) pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas. Com vocês, as pausas entre um parágrafo e outro de produção melhora tudo o que tenho produzido na vida.

A Amb 013, vocês são a melhor sala que já existiu.

A todos que deixaram suas marcas em mim de alguma maneira, meu muito obrigada.

Em nome de Caio,

Aos meus amigos e companheiros da República Santo Grau por todos os anos de companheirismo e histórias com os quais adquiri conhecimento e experiências que eu levarei para toda a vida, juntamente com a amizade de cada um.

Aos amigos que fiz ao longo da graduação na Escola de Engenharia de São Carlos, obrigado por me participarem da minha vida. Cada um de vocês foi essencial para meu crescimento pessoal e profissional, e fizeram a minha graduação muito mais agradável e divertida, em todos os sentidos.

Aos amigos/irmãos, Gabriel Foizer, Francesco Falco e Giuseppe Falco por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida, sejam eles tristes ou alegres, além de me proporcionarem as lembranças mais marcantes e únicas.

Aos irmãos de graduação e grandes parceiros de pescaria, Hugo Higashi e Arthur Max Salewski, obrigado por todas as inúmeras aventuras que passamos ao longo desses anos de amizade, que mais se parecem como amizades nas quais nem lembramos de quando nos conhecemos.

À minha família por todo o apoio, dedicação e confiança depositada em mim, estando sempre dispostos a me ouvir nos momentos difíceis, me cobrar nos momentos certos e comemorar nos momentos de vitória. Em especial a minha mãe, pelo carinho incalculável e sabedoria ímpar. Ao meu pai, por todo o suporte financeiro e exemplo de dedicação e profissionalismo. Ao meu irmão, pela parceria fiel e inigualável a qual não se encontra duas na mesma vida.

À Amb012, pelo companheirismo e alegria que me proporcionaram durante esses incríveis 6 anos.

A todos, sem exceção, que durante esses anos estiverem presentes na minha vida proporcionando aprendizados e lições, meu muito obrigado.



## RESUMO

LEITE, S. R.; VIANNA, D. C. C. **Implantação e acompanhamento de uma aquaponia experimental, com ênfase na coleta de sólidos sedimentáveis**. 2017. 83p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

A aquaponia é uma modalidade de cultivo de alimentos que envolve a integração entre a aquicultura e a hidroponia em sistemas de recirculação de água e nutrientes. Esse tipo de co-produção apresenta-se como alternativa para a produção de peixes e hortaliças com as principais vantagens de utilizar pouca água, possibilitar a produção de alimentos em ambientes urbanos e em sistemas super intensivos, aproveitar integralmente insumos como água e ração e minimizar o uso de químicos e agrotóxicos. É uma tecnologia pouco difundida no Brasil, mas que vem ganhando espaço nos últimos anos com um maior número de adeptos e de estudos. No presente estudo, implantou-se um sistema aquapônico com substrato semi seco, utilizando-se lambari (*Astyanax bimaculatus*) e alfaces (*Lactuca sativa*) com ênfase no acompanhamento da produção do lodo residual. Os resultados confirmaram que a aquaponia é um sistema que utiliza muito menos água que os sistemas convencionais e que a produção de resíduos pode ser quantificada a partir da coleta dos mesmos. Com relação aos parâmetros de qualidade de água, também como previsto, manutenções foram necessárias para o controle e estabilidade do mesmo. As informações do presente estudo demonstram a viabilidade técnica e prática da aquaponia em pequena escala, bem como a funcionalidade de um decantador de fluxo radial como opção para a retirada de sólidos do sistema, e poderão nortear novos experimentos vinculados a aquaponia, incentivando o desenvolvimento de metodologias que sejam mais benéficas ao meio ambiente, capazes de produzir alimentos de modo mais sustentável, além de fornecerem ao mercado consumidor produtos de alta qualidade.

Palavras chave: Aquaponia. Aquicultura de recirculação. Sólidos sedimentáveis. Decantador de fluxo radial.



## ABSTRACT

LEITE, S. R.; VIANNA, D. C. C. **Implantation and monitoring of an experimental aquaponics, with emphasis on the settable solids collection.** 2017. 83p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

Aquaponics is a food culture modality that involves the integration between aquaculture and hydroponics in water and nutrient recirculation systems. This type of co-production is as an alternative for the production of fish and vegetables with the main advantages of using a small amount of water, making possible to produce food in urban environments and in super intensive systems, to take full advantage of inputs such as water and feed and to minimize the use of chemicals and agrochemicals. It is a technology not widespread in Brazil, but has been gaining space in recent years with a greater number of enthusiasts and studies. In the present study, a media-based aquaponic system was implemented, using lambari (*Astyanax bimaculatus*) and lettuce (*Lactuca sativa*), with emphasis on the monitoring of solid waste production. The results confirmed the aquaponic system is a technique that uses lesser water than conventional systems and that the amount of waste can be quantified within its the collection. With regard to water quality parameters, also as planned, maintenance was required for most parameters to achieve stability. The information in the present study demonstrates the technical and practical feasibility of small-scale aquaponics, as well as the functionality of a radial flow settler as an alternative to solids removal of the system, and can guide new experiments linked to aquaponics, encouraging the development of methodologies that are more environmentally friendly, capable of producing food in a more sustainable way, to the consumer market high quality products.

Keywords: Aquaponics. Recirculating aquaculture systems. Settable solids. Radial flow settler.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Curva de inicialização típica para um filtro biológico.....	42
Figura 2: Decantador de fluxo radial Pentair Aquatic Eco-Systems RFS 45.....	48
Figura 3: Layout do sistema aquapônico. Os componentes do sistema são: sump integrado com reator de leito móvel com biofilme - MBBR (1), Bancada hidropônica (2), Tanque de cultivo dos peixes (3) e Decantador (4).....	49
Figura 4: Sistema aquapônico experimental.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 5: Biometria do Lambari do rabo amarelo .....	54
Figura 7: Mudanças de alface livres de substrato na raiz.....	55
Figura 8: Gráfico da temperatura máxima e mínima do ar durante o experimento.....	60
Figura 9: Filtro de fibra de vidro aderido ao fundo da placa de Petri após secagem térmica ..	66
Figura 10: Gráfico da eficiência de remoção de SST no decantador (%) x concentração de SST na entrada do decantador (mg/L).....	67
Figura 11: Formação de massa bacteriana na entrada de água do decantador de fluxo radial.	69
Figura 12: Matéria seca retirada no decantador (g/dia) de acordo com a quantidade de ração ofertada (g/dia) .....	70
Figura 13: Foto 1 (19/09/17), Foto 2 (28/09/17), Foto 3 (02/10/17), Foto 4 (06/10/17).....	74
Figura 14: Foto 5 (12/10/17) , Foto 6 (16/10/17).....	74



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Perdas e adições de água no sistema .....	56
Tabela 2: Resultados das análises de água in situ .....	57
Tabela 3: Resultados da análise de água pela Ribersolo .....	58
Tabela 4: Observações e manutenções realizadas .....	59
Tabela 5: Eficiência de remoção de SST (%) e entrada de SST no decantador (mg/L), por dia de coleta.....	65
Tabela 6: Volume e matéria seca encontrada no lodo aquapônico.....	68
Tabela 7: Relação entre ração ofertada e matéria seca no lodo aquapônico .....	71



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARI – Aquicultura de recirculação intensiva

C – Carbono

C.E. - Condutividade elétrica;

Ca - Cálcio;

Ca(OH)<sub>2</sub> - Hidróxido de cálcio

Cl - Cloro;

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbônico

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> - Carbonato

Cu – Cobre;

DO – Oxigênio Dissolvido

DWC – Deep water culture

Fe – Ferro;

GH – Dureza total

H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - Ácido carbônico

H<sub>2</sub>O – Água

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Bicarbonato

IBC – Intermediate bulk container

K - Potássio;

KH – Dureza em carbonatos

KOH - Hidróxido de potássio

Mg - Magnésio;

Mn – Manganês;

N - Nitrogênio

Na - Sódio;

NFT - Nutrient Film Technique

NH<sub>3</sub> - Amônia;

NH<sub>4</sub> – Amônio

NO<sub>2</sub><sup>2-</sup> - Nitrito

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Nitrato;

O<sub>2</sub> – Oxigênio

PB – Proteína bruta

pH - Potencial hidrogeniônico;

PO<sub>4</sub> - Fosfato;

SAR – Sistemas de aquicultura de recirculação

SO<sub>4</sub> - Sulfato.

SS - Sólidos sedimentáveis

SST - Sólidos suspensos totais

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>27</b>
<b>3.1.</b>	<b>HISTÓRICO</b>	<b>27</b>
<b>3.2.</b>	<b>PRINCÍPIOS BIOLÓGICOS DA AQUAPONIA</b>	<b>28</b>
<b>3.3.</b>	<b>COMPONENTES DO SISTEMA</b>	<b>30</b>
3.3.1.	Ambiente de Criação dos Peixes	30
3.3.2.	Filtro de Sólidos	31
3.3.3.	Sistema de Aeração	32
3.3.4.	Ambiente de Cultivo dos Vegetais	32
3.3.4.1	Media-filled bed (MFD) ou Gravel bed (GB)	33
3.3.4.2	Canaletas ou NFT (Nutrient Film Technique)	34
3.3.4.3	Bandejas flutuantes ou Cultura de águas profundas	35
<b>3.4.</b>	<b>PEIXES E PLANTAS MAIS ADEQUADOS</b>	<b>36</b>
<b>3.5.</b>	<b>PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	<b>39</b>
3.5.1.	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	39
3.5.2.	NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO	40
3.5.3.	CICLO DO NITROGÊNIO	41
3.5.4.	AMÔNIA	42
3.5.5.	NITRITO	43
3.5.6.	NITRATO	43
3.5.7.	TEMPERATURA	44
3.5.8.	pH	44
3.5.9.	ALCALINIDADE	45
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>SISTEMA EXPERIMENTAL</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>QUALIDADE DA ÁGUA</b>	<b>50</b>
<b>4.3</b>	<b>ANIMAIS EXPERIMENTAIS</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>PLANTAS EXPERIMENTAIS</b>	<b>54</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>QUANTIDADE DE ÁGUA NO SISTEMA</b>	<b>56</b>

5.2	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	57
5.3	REMOÇÃO DE SST NO DECANTADOR DE FLUXO RADIAL	63
5.4	REMOÇÃO DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (SS) NO DECANTADOR DE FLUXO RADIAL	67
5.4.1	ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO	71
5.5	PRODUTIVIDADE DA ALFACE	72
6.	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXO I	85





## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os problemas ambientais relacionados com a agricultura têm sido colocados cada vez mais em pauta. A produção de alimentos em grande escala é necessária para atender todo o mercado e toda a população, no entanto, a preocupação com as consequências causadas pela agricultura convencional aplicada hoje está cada vez maior. Com a degradação dos solos, poluição das águas e do ar e até mesmo problemas decorrentes dos agrotóxicos nos alimentos, novas alternativas de cultivo estão ganhando espaço tanto no cenário nacional, quanto internacional.

Neste contexto, contrapondo-se com a aquicultura tradicional, a aquaponia emerge como um sistema alternativo. Esse modo de cultivo possibilita altas produtividades em pequenas áreas juntamente com o uso racional de água. A aquaponia pode ser entendida como a combinação entre a hidroponia, cultivo de plantas terrestres em uma solução aquosa (RAKOCY, 2012), e o cultivo intensivo, em sistemas de recirculação, de organismos aquáticos. O objetivo desse sistema é a utilização dos efluentes dos organismos aquáticos para a nutrição das plantas, transformando-a numa produção menos agressiva ao meio ambiente e seus recursos (DIVER, 2006).

Devida à restrição no uso de agrotóxicos no controle de pragas, que podem prejudicar a produção de peixes pois ambos os sistemas de cultivos estarão interligados a aquaponia permite que os produtos apresentem algumas vantagens para os consumidores que se preocupam com a questão da segurança alimentar, tais como a ingestão de pesticidas e agrotóxicos através das hortaliças e frutas.

A aquaponia é um meio de cultivo tido como novidade no Brasil nos últimos anos. No entanto, alguns países como Canadá, Estados Unidos, Alemanha e Austrália já possuem grande avanço nos estudos e pesquisas relacionados a essa prática, assim como investimentos em estruturas para a produção em grande escala (CARNEIRO et al., 2015; CORSO, 2010).

O ciclo aquapônico é de fácil compreensão. O sistema contém um tanque de cultivo de peixes e uma estrutura para crescimento de hortaliças. A ração dada aos peixes é o principal insumo, eles se alimentam e suas excretas são convertidas por bactérias em compostos que as plantas são capazes de absorver de forma mais eficaz. Sendo assim, uma das maiores

vantagens do sistema é a economia de água que, devido à recirculação constante, as perdas são significativamente mais baixas que na agricultura e piscicultura comuns.

O presente estudo constata não só essa baixa perda de água como também faz uma análise dos resíduos sólidos gerados pelo sistema para que se conheça as quantidades, suas características e supostas destinações corretas.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo principal deste estudo consistiu na observação da funcionalidade e desempenho de um decantador de fluxo radial, primariamente na remoção de sólidos sedimentáveis (SS) e secundariamente, na remoção de sólidos suspensos totais (SST), em sistema aquapônico utilizando-se substrato semi-seco. Também foi possível analisar a influência do decantador de fluxo radial nos parâmetros físico-químicos de qualidade da água.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. HISTÓRICO

A aquaponia é uma técnica que permite, de forma integrada, a aquicultura convencional (criação de organismos aquáticos como peixes e crustáceos) associada à hidroponia (cultivo de plantas em água) (CARNEIRO et al., 2015).

Apesar de ser uma técnica tida como nova, principalmente no Brasil, antropólogos descobriram que nossos ancestrais praticavam esse tipo de cultivo muitos anos atrás. As Chinampas, como eram conhecidas as ilhas astecas de cultivo agrícola construídas nos séculos XIV e XV, utilizavam um sistema no qual se cultivavam plantas em ilhas fixas (e às vezes móveis), construídas sob lagos rasos com peixes (LOPES, 2012). E, mais recentemente, temos exemplos de sistemas aquapônicos remotos no sul da China, Tailândia e Indonésia, que cultivavam campos de arroz inundados em combinação com peixes (MCMURTRY; NELSON; SANDERS, 1988).

A palavra "Aquaponia" vem justamente da junção das duas práticas que ela integra, "aquicultura" e "hidroponia". Com o passar dos anos, a aquicultura foi passando de grandes lagoas escavadas para sistemas menores com recirculação de água. Com a ampliação da produção, aliada a diminuição do espaço, os agricultores se depararam com o problema de lidar com os resíduos dos peixes e começaram a analisar a capacidade de plantas aquáticas filtrarem essa água, levando aos sistemas atuais chamados aquapônicos (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

A água residual da aquicultura é rica em matéria orgânica (contém dejetos e excretas dos organismos e restos de ração), podendo causar problemas ao meio ambiente quando descartada inadequadamente (VAN RIJIN, 2013). No sistema de aquaponia, essa água residual é reaproveitada para o cultivo de plantas, que usam os nutrientes contidos nessa água para se alimentarem (com a ajuda de bactérias que fazem a decomposição da matéria orgânica) e, em seguida, essa mesma água é retornada para os peixes (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

A disseminação do sistema aquapônico e o desenvolvimento de mais estudos e trabalhos sobre essa maneira de cultivo teve seu início nos EUA, na Universidade Estadual da Carolina do Norte, com Mark McMurtry e colaboradores, responsáveis pelo "*New Alchemy Institute*", uma série de pesquisas relacionadas a trazer benefícios ao planeta.

Inspirado pelos sucessos do "*New Alchemy Institute*", e pelas técnicas alternativas desenvolvidas pelo instituto, outros logo seguiram o exemplo. Em 1997, o Dr. James Rakocy e seus colegas da Universidade das Ilhas Virgens pesquisaram e desenvolveram o uso de canais de hidroponia por DWC (*Deep Water Culture* – Cultura em águas profundas) em sistemas aquapônicos de larga escala. A primeira pesquisa em aquaponia no Canadá foi um pequeno sistema adicionado à uma já existente pesquisa em aquicultura, em uma estação de pesquisa em Lethbridge, em Alberta. No Canadá ocorreu um crescimento em instalações de aquaponia durante a década de 90 e fez com que o país adentrasse entre os que colaboram no campo de desenvolvimento científico dessa prática.

Uma reportagem da BBC, apresentada como "*Fish farming in a high-rise world*", afirma que a comunidade aquapônica é extremamente solidária, jardins aquapônicos de todo o mundo têm se reunido em sites de comunidades *online* e fóruns, para compartilhar suas experiências e promover o desenvolvimento desta forma de jardinagem, assim como criar extensos recursos em como construir sistemas caseiros.

Apenas nos últimos anos foi observado maior interesse sobre esse assunto, e pesquisadores de algumas universidades brasileiras e da Embrapa iniciaram seus primeiros ensaios experimentais. A literatura brasileira ainda é escassa no que se refere a aquaponia, com apenas algumas publicações recentes (ABREU, 2012; BRAZ FILHO, 2014; HUNDLEY; NAVARRO, 2013; JORDAN et al., 2013; SILVA; LOSEKANN; HISANO, 2013).

Há grande expectativa de que essa técnica de produção de alimento se torne mais popular no mundo e no Brasil num futuro próximo, a exemplo da sua rápida disseminação em outros países. Contudo, a aquaponia, seja para fins comerciais ou domésticos, envolve conhecimentos específicos para seu pleno funcionamento e o sucesso de sua aplicação requer a compreensão dos elementos biológicos envolvidos no sistema para que os organismos possam crescer e amadurecer em sincronia e saudáveis (CARNEIRO et al., 2015).

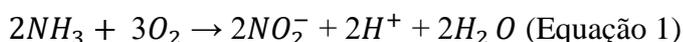
### **3.2. PRINCÍPIOS BIOLÓGICOS DA AQUAPONIA**

O princípio básico da aquaponia é a reutilização total da água, evitando seu desperdício e diminuindo, ou até eliminando, a liberação do efluente contendo matéria orgânica no meio ambiente. Quando comparado aos sistemas tradicionais, nota-se uma enorme redução no volume de água utilizado, maior que 40% quando comparado aos sistemas

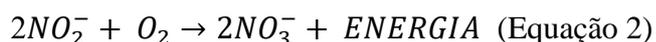
de aquicultura, já que, uma vez abastecido e funcionando, deve-se apenas repor o volume de água perdido devido a evaporação e a evapotranspiração das folhas e as colheitas (CARNEIRO et al., 2015).

A ração dada aos peixes é a entrada de insumo mais importante de todo o sistema. Os peixes se alimentam da ração e produzem excretas que são convertidas nos nutrientes e essas, posteriormente, serão absorvidos pelas plantas. O fluxo de nutrientes é contínuo e ocorre por meio de ciclos biológicos naturais, promovidos por bactérias. Bactérias nitrificantes dos gêneros *nitrosomonas* e *nitrobacter* são responsáveis pela conversão da amônia ( $\text{NH}_3$ ) em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e este em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), transformando substâncias tóxicas produzidas pelos peixes em nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas. Dessa forma, as plantas e as bactérias atuam como filtro biológico da água, propiciando que esta, quando retorna ao tanque de peixe, retorne em condições adequadas para o desenvolvimento dos organismos. (CARNEIRO et al., 2015).

Equação de oxidação do amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) dando nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ):



Equação de oxidação do nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), formando nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), com liberação de energia:



O nitrato é a forma sob a qual quase todo o nitrogênio se move do solo e da água para o interior das raízes.

O principal macronutriente requerido pelas plantas é o nitrogênio, que é absorvido com maior eficiência quando disponível na forma de nitrato. O nitrato por sua vez, é um composto produzido pelas bactérias nitrificantes. O surgimento dessas bactérias num sistema de aquaponia se dá de forma natural em todo o sistema, mas de forma mais intensiva em um ambiente chamado de filtro biológico, o qual por sua vez pode ser estimulado pela introdução de água trazida de outro local onde é conhecida sua presença. Geralmente são necessários entre 20 a 40 dias após a introdução dos peixes para que um sistema aquapônico apresente seu ciclo de nitrificação em equilíbrio e seja possível o início da introdução das plantas e dos peixes (SANTOS; SANTOS; MIRANDA, 2013).

Além da questão das bactérias, outro ponto tido como essencial dentro do sistema refere-se ao pH (TYSON et al., 2008). Pelo fato da aquaponia envolver num mesmo corpo d'água três organismos muito distintos (peixes, plantas e bactérias) é de fundamental importância que o pH da água seja mantido numa faixa que atenda a todos satisfatoriamente. A maioria das espécies de peixes de água doce de interesse econômico, indicados para a utilização em um sistema aquapônico, assim como as bactérias nitrificantes que são predominantemente aeróbicas, possuem o pH ótimo no intervalo entre 6,5 e 7,5 (levemente ácido para levemente alcalino). Contrapondo-se a isso, a maioria das plantas cultivadas em hidroponia desenvolvem-se melhor em pH entre 5,5 e 6,5 (acidificado) (CARNEIRO et al., 2015). Interseccionando-se os valores, recomenda-se que o pH da água seja mantido entre 6,5 e 7,0 para atender satisfatoriamente a todos os componentes biológicos presentes num sistema (CARNEIRO et al., 2015).

Vale ressaltar que o bom funcionamento do filtro biológico, após a colonização pelas bactérias e o estabelecimento do equilíbrio de um sistema aquapônico, pode ser notado pela tendência de diminuição dos valores de pH. No entanto, faz-se necessária a contínua correção do pH para atender às necessidades dos três componentes biológicos envolvidos, para que esse valor não se altere a ponto de prejudicar todo o sistema interligado (CARNEIRO et al., 2015). Dentre as opções de substâncias tamponantes que podem ser utilizadas para a correção e estabilização do pH em aquaponia, aquelas à base de potássio (K) e cálcio (Ca) são as mais indicadas uma vez que se trata de nutrientes normalmente presentes em sistemas de aquaponia em quantidades inferiores às exigidas por muitos vegetais (BRAZ FILHO, 2000; SÁ, 2012).

### **3.3. COMPONENTES DO SISTEMA**

#### ***3.3.1. Ambiente de Criação dos Peixes***

O tanque de criação dos peixes dentro de um sistema aquapônico é geralmente de material resistente e durável. Pode-se utilizar diversos tamanhos e volumes de tanques, adequando-se a espécie e quantidade de animais que viverão nele (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006). Como se trata de um ambiente onde estarão presentes organismos vivos, com fins de produção alimentícia, é muito importante também que sejam utilizados materiais que não liberem substâncias tóxicas na água. Em sistemas aquapônicos de pequeno porte

costuma-se utilizar toneis de 200 L e containers tipo IBC (*intermediate bulk container*) de 1.000 L (CARNEIRO et al., 2015).

Um aspecto muito importante relacionado ao tanque é o fluxo de água, que engloba tanto a velocidade da água quanto a taxa de renovação. A velocidade da água pode influenciar no desenvolvimento e bem-estar dos peixes ou crustáceos, isso porque se essa estiver muito alta dentro do tanque pode gerar um esforço natatório demasiado dos peixes e, por outro lado, se a velocidade estiver muito baixa, os dejetos produzidos pelos peixes podem se acumular e ter a retirada prejudicada. A taxa de renovação está relacionada positivamente à densidade de estocagem dos peixes criados dentro do tanque, devendo ser de pelo menos metade do volume do tanque a cada hora para densidades de até  $10 \text{ kg/m}^3$  (CARNEIRO et al., 2015).

A relação entre a superfície e o volume do tanque de criação também deve ser levada em consideração, a quantidade de peixe por  $\text{m}^3$  de água pode variar entre 1 e 8 peixes, dependendo do tamanho da espécie, independentemente do seu formato. Essa relação tem importância por estar relacionada à capacidade de trocas gasosas (ex.: entrada de oxigênio) entre o corpo d'água presente no tanque e a atmosfera, e que ocorre predominantemente na superfície da água. Se a área superficial for muito pequena quando comparada ao volume, a troca gasosa pode ser prejudicada (BRAZ FILHO, 2014).

Fica claro que é necessário proporcionar as melhores condições ambientais para os peixes de um sistema aquapônico, para que se obtenha sucesso e produtividade, dessa forma, o estudo e aplicação de parâmetros já existentes deve ser empregado no planejamento e no projeto.

### **3.3.2. Filtro de Sólidos**

Sistemas aquapônicos com baixa biomassa de peixes produzem poucos resíduos sólidos. Estes, por sua vez, são normalmente capturados e degradados dentro do próprio filtro biológico. Entretanto, quando essa biomassa e a densidade são mais elevadas deve-se utilizar de artifícios para a constante retirada dos resíduos sólidos. Caso haja resíduos mais densos, estes podem ser separados por algum filtro que promova sua sedimentação (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006). As opções de filtros decantadores são várias, porém o mais eficiente é o de fundo cônico, no qual os resíduos se sedimentam e podem ser retirados por meio de uma válvula instalada na sua base (CARNEIRO et al., 2015). O resíduo sólido

recolhido no filtro decantador possui vários destinos úteis. Como se trata de um material rico em matéria orgânica, basicamente composto por fezes de peixes, ele pode ser aplicado diretamente ao solo como adubo orgânico na agricultura. Outra forma de aproveitamento desse material é através da biodigestão, tanto anaeróbica quanto aeróbica, abrindo-se a possibilidade de produção de gás, no caso da anaeróbica, e de um composto rico em nutrientes que pode ser devolvido ao sistema, no caso da aeróbica (DANAHER et al., 2013).

Outra categoria de resíduos sólidos, conhecida como sólidos em suspensão, não é retida pelos filtros decantadores e necessita ser retirada do sistema por meio de um filtro de telas ou peneiras finas. É importante ressaltar que essas telas devem ser vistoriadas e limpas periodicamente para evitar entupimento e desequilibrar todo o sistema (VAN RIJN, 2013).

### **3.3.3. Sistema de Aeração**

Na aquaponia a aeração é exigida não apenas pelos peixes, mas também pelas plantas e bactérias nitrificantes (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006). A concentração de oxigênio dissolvido na água deve sempre ser superior a 3 mg/L para que se garanta o suprimento mínimo necessário aos três componentes biológicos presentes. A aeração deve ser fornecida diretamente na água do tanque de criação dos peixes, normalmente feita através de difusores e sopradores, porém, dependendo da configuração do sistema aquapônico, equipamentos de ar também devem ser instalados em outros compartimentos como no mineralizador ou mesmo no ambiente de cultivo de vegetais quando se tratar do sistema flutuante (CARNEIRO et al., 2015).

### **3.3.4. Ambiente de Cultivo dos Vegetais**

Geralmente, são três os tipos de ambientes mais utilizados para o cultivo de vegetais em aquaponia (LENNARD; LEONARD, 2006):

- 1) Argila expandida, pedra brita ou outro substrato com alta relação superfície:volume (*media-filled bed* ou *gravel bed*);
- 2) Canaleta ou NFT (*Nutrient Film Technique*);
- 3) Bandejas flutuantes ou cultura de água profundas (*floating raft system* ou *deep water culture*).

Apesar de todos esses citados possuírem técnicas hidropônicas já conhecidas, cada um possui suas particularidades para que a água da aquaponia seja utilizada como fonte de nutrientes. Os equipamentos necessários, bem como as produtividades possíveis de serem alcançadas, variam muito entre estes ambientes. Deve-se conhecer bem o vegetal para que este seja cultivado na melhor estrutura. Como regra geral o ambiente conhecido como gravel bed é uma boa opção quando são utilizadas baixas densidades de estocagem de peixes. A opção pelas canaletas ou pelo flutuante normalmente é preferida em sistema de aquaponia de média ou grande escala (LENNARD; LEONARD, 2006).

#### ***3.3.4.1 Media-filled bed (MFD) ou Gravel bed (GB)***

Devido à praticidade e funcionalidade esse é o sistema mais utilizado na aquaponia de pequena escala. A estrutura deste faz com que o mesmo substrato que dá suporte aos vegetais seja colonizado por bactérias nitrificantes, ou seja, esse ambiente também funciona como filtro biológico. Por essa razão, a relação superfície:volume do substrato a ser utilizado deve ser alta, para permitir o desenvolvimento adequado de muitas colônias de bactérias e, com isso, aumentar a eficiência do processo de nitrificação da amônia produzida pelos peixes. Deve-se dar atenção para evitar problemas de entupimento ao utilizar material com partículas muito pequenas, principalmente quando o sistema não contar com filtragem prévia para a retirada de sólidos (CARNEIRO et al., 2015).

Em condições de baixa concentração de oxigênio, as bactérias aeróbias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* podem perder espaço para bactérias anaeróbias que produzem substâncias tóxicas e causam alterações indesejáveis na qualidade da água, principalmente em relação ao pH, isso porque o entupimento pode criar zonas anaeróbias que prejudicam o desenvolvimento das raízes das plantas e das bactérias nitrificantes (SANTOS; SANTOS; MIRANDA, 2013). O aumento do pH da água é um forte indicador da colonização do filtro biológico por bactérias anaeróbias e um alerta sobre a ocorrência de má circulação de água pelo substrato, sendo necessária a verificação de possível acúmulo de matéria orgânica. Portanto, fica evidente que o tipo de substrato pode influenciar todo o sistema e deve-se ter uma noção em relação ao entupimento do filtro biológico por matéria orgânica, sendo muitas vezes necessárias limpezas periódicas desse tipo de substrato para manter a qualidade da água do sistema em boas condições (NELSON, 2007).

Quanto aos substratos, deve-se optar pelo inertes, como argila expandida, pedra brita, seixos de leito de rio, rochas vulcânicas, areia grossa, perlita, entre outros. Os dois primeiros são os substratos mais comumente utilizados. A argila expandida mostra-se como um excelente substrato por apresentar alta relação superfície:volume e baixa densidade, facilitando seu manuseio. Por outro lado, é um material de valor elevado e que pode aumentar o custo de implantação. A pedra brita é um material facilmente encontrado no mercado da construção civil e apresenta custo muito inferior ao da argila expandida. Por outro lado, por ser um material de alta densidade apresenta inconvenientes relacionados ao seu manuseio. De qualquer forma, ambos se apresentam como adequados ao desenvolvimento das raízes dos vegetais e das colônias de bactérias em um sistema de aquaponia (CARNEIRO et al., 2015).

A água vinda do tanque de criação dos peixes deve ser distribuída de maneira uniforme nesse ambiente, podendo ser utilizado um tubo de PVC com varias perfurações para esse propósito. A saída geralmente é feita por um sifão do tipo sino que permite o enchimento e o esvaziamento cíclico desse ambiente. Essa é uma condição importante pois garante a oxigenação constante e homogênea, tanto das raízes das plantas quanto das colônias de bactérias (VAN RIJN, 2013).

#### ***3.3.4.2 Canaletas ou NFT (Nutrient Film Technique)***

O sistema NFT foi desenvolvido em 1965 por Allen Cooper na Inglaterra e tem sido considerado o mais viável comercialmente para o cultivo de diferentes culturas, em especial para as hortaliças folhosas (COMETTI, 2003).

O sistema hidropônico NFT é uma técnica de cultivo em água, no qual as plantas crescem tendo o seu sistema radicular dentro de um canal ou canaleta através do qual circula uma solução nutritiva composta de água e nutrientes. A nomenclatura Nutrient Film Technique sugere que os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas serão todos retirados fluxo da solução nutritiva que passa através das raízes destas. No entanto, deve-se atentar a completa submersão das raízes para que não ocorra asfixia radicular (ENDUT et al., 2010).

Esse é o método mais famoso utilizado mundialmente na produção de vegetais hidropônicos. Trata-se de sistema indicado para as plantas comumente produzidas em hidroponia, classificadas como folhosas (alface, rúcula, ervas aromáticas) pela praticidade de colheita e comercialização (CARNEIRO et al., 2015). Diferente do sistema *gravel bed*, nesse

sistema as raízes das plantas estão sempre limpas e não há a necessidade de lavagem após a colheita, o que diminui gastos dos recursos hídricos e com mão de obra. Outra vantagem importante desse sistema é sua ergonomia, pois as canaletas são geralmente dispostas em uma bancada mais alta que o solo, facilitando manejos como o transplante e a colheita (CARNEIRO et al., 2015).

Nesse sistema várias canaletas são dispostas paralelamente e com desnível entre 0,3 a 2 % para permitir a passagem da água por gravidade (VAN OS; GIELING; LIETH, 2008). Tubos circulares de PVC podem ser utilizados, porém tem-se resultados melhores de crescimentos das plantas quando utilizados tubos de fundo plano. Na hidroponia convencional as canaletas são abastecidas individualmente por mangueiras de pequeno calibre, porém, na aquaponia essas mangueiras precisam ser mais grossas para diminuir as chances de entupimento. De qualquer forma, quando utilizado esse ambiente de cultivo de vegetais em aquaponia, a água que sai dos tanques de criação dos peixes precisa passar por um sistema de filtragem de sólidos bastante eficiente para evitar que partículas sejam depositadas nas raízes das plantas e, com isso, surjam problemas com sua nutrição e oxigenação. Adicionalmente é vital que haja um filtro biológico uma vez que a superfície molhada das canaletas não é suficientemente grande para o processo de nitrificação da amônia produzida pelos peixes (GRABER; JUNGE, 2009).

#### ***3.3.4.3 Bandejas flutuantes ou Cultura de águas profundas***

A hidroponia do tipo Flutuante também é conhecida como DWC (*Deep Water Culture*) ou Piscina. Esse sistema leva esse nome, pois nele não existem vários canais de cultivo, mas apenas um único espaço onde permanecem as plantas e uma lâmina de solução nutritiva. Por isso o nome piscina, pois diferentemente dos outros sistemas de hidroponia, há uma espessa camada aquosa. Nessa piscina são colocadas bandejas de isopor para o desenvolvimento do sistema radicular das mudas, mantendo o substrato úmido e permitindo a absorção dos nutrientes (LENNARD; LEONARD, 2006).

Nesse sistema a planta é cultivada em bandejas de isopor de alta densidade contendo um substrato, para sustentação, e uma solução nutritiva, para nutrição. Fica evidente a importância da oxigenação para manter o nível de O<sub>2</sub> adequado para o crescimento, já que, no sistema floating de hidroponia, as raízes das plantas permanecem com uma parte no substrato

e a outra na solução nutritiva. Uma alternativa é a instalação no sistema de um tubo “Venturi” para permitir a oxigenação da solução, impedindo dano ao cultivo hidropônico (LENNARD; LEONARD, 2006).

No sistema de bandejas flutuantes, dentro de um sistema aquapônico, a filtragem de sólidos da água que sai do tanque de cultivo dos peixes deve ser muito eficiente, tanto quanto o sistema de canaletas, para evitar acúmulo de matéria orgânica nos canais, o que diminuiria a eficiência do processo de nitrificação e prejudicaria o desenvolvimento dos peixes e plantas (CARNEIRO et al., 2015).

Há algumas diferenças importantes entre os sistemas de canaletas (NFT) e o de bandejas flutuantes, sendo a mais marcante o maior volume de água utilizado por este último. Cerca de 75% da água de um sistema de aquaponia com flutuante está alocado nos canais de cultivo comparado com cerca de 25% presente nas canaletas no sistema NFT. Quanto maior o volume de água do sistema aquapônico, maior será sua estabilidade térmica e, com isso, alterações nos parâmetros de qualidade da água serão mais lentas. Sendo assim, ao optar pelo sistema NFT o produtor deve estar ciente que sua atenção terá que ser maior com relação ao monitoramento dos parâmetros de qualidade da água (CARNEIRO et al., 2015).

### **3.4. PEIXES E PLANTAS MAIS ADEQUADOS**

A alta densidade de peixes, característica de muitos sistemas intensivos com recirculação de água, e dentre eles inclui-se a aquaponia, é um limitador na definição da espécie a ser utilizada. A espécie de peixe deve ser tolerante a altas densidades de estocagem e a manejos frequentes. Algumas espécies já avaliadas em sistemas intensivos e que podem apresentar bons resultados em sistemas de aquaponia são: tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*), bacalhau australiano (*Maccullochella peelii*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), lambari do rabo amarelo (*Astyanax bimaculatus*), truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e pacu (*Piaractus mesopotamicus*). A tilápia-do-nilo, por ser um peixe rústico e resistente, apresentar boa conversão alimentar, tolerar altas densidades de estocagem, ter seu pacote tecnológico de cultivo difundido por todo o mundo e por ter, em geral, um bom valor comercial, tem sido o peixe mais utilizado em sistemas de aquaponia, com resultados financeiramente vantajosos (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

O cultivo de peixes ornamentais é considerado hoje um dos setores mais lucrativos da piscicultura brasileira. Ao lado da produção extrativista, abastece um mercado consumidor que, só na América do Norte, abrange mais de 100 milhões de aquários residenciais. O cultivo desses é uma outra boa opção para a aquaponia.

A carpa colorida, também conhecida como Koi ou Nishikigoi, é uma espécie muito resistente a variações nos parâmetros de qualidade da água e tolerante a altas densidades de estocagem. Apesar de também poder ser destinada ao abate, a carpa colorida pode alcançar preços muito mais elevados quando comercializada como peixe ornamental. Muito mais do que seu peso ou tamanho, seu valor de mercado é ditado em função de seus padrões de coloração. Essa particularidade confere uma grande vantagem à criação da carpa colorida em aquaponia de pequena escala, pois possibilita a criação de peixes de diversos tamanhos em um mesmo tanque (CARNEIRO et al., 2015).

Muitas outras espécies cultivadas em escala comercial têm seus pacotes tecnológicos de manejo e reprodução já dominados pelos criadores mundiais, a exemplo do Acará Bandeira (*Pterophyllum scalare*) com os mais variados tipos: negro, marmorato, véu, ouro, zebra e etc. Por este motivo, o Acará Bandeira representa um sucesso no negócio de peixes ornamentais. Outro exemplo de sucesso aconteceu com o Acará-disco *Symphysodon discus* juntamente com outras espécies e sub-espécies do gênero. O Disco, como é carinhosamente chamado, é tido como o mais nobre dos peixes de água doce. Para exemplificar a importância desta espécie como representação do binômio cultivo x extrativismo, um exemplar de Acará Disco pode alcançar o valor de mercado de aproximadamente US\$ 15 mil (LIMA, 2004).

O cultivo de peixes ornamentais ainda é pouco explorado. A captura natural representa 80% desse comércio, portanto, a criação em cativiero pode ser uma excelente alternativa para a aquaponia, já que a grande parte desses animais é de pequeno porte, o que permite densidade de criação maiores (LIMA, 2004).

Algumas espécies de crustáceos de água doce são criadas comercialmente em muitos países e poderiam gerar expectativas sobre sua possibilidade de criação em aquaponia. Porém, geralmente essas espécies não são criadas em sistemas de recirculação e são pouco tolerantes a altas densidades de estocagem. Portanto, a criação de crustáceos de água doce em aquaponia apresenta restrições por não produzir excretas em quantidade suficiente para fornecer nutrientes necessários ao cultivo de vegetais (SAVIDOV, 2004).

Várias espécies de peixes de água salgada são criadas comercialmente em sistemas de recirculação e em altas densidades de estocagem, o que as colocaria como candidatas ao sistema de aquaponia, porém os vegetais normalmente cultivados em aquaponia são pouco tolerantes a altas salinidades (CARNEIRO et al., 2015). Ainda há poucas iniciativas testando espécies vegetais marinhas em sistemas de aquaponia, porém há boas perspectivas nessa temática, com ênfase ao cultivo de algas marinhas com demanda pela culinária asiática ou com potencial para uso como ingredientes em ração animal, ou ainda para a produção de biocombustível (BUHMANN; PAPENBROCK, 2013).

No início dos estudos com aquaponia pensava-se que apenas plantas menos exigentes como as folhosas poderiam ser cultivadas neste sistema. Porém hoje já se sabe que é possível produzir uma gama muito grande de espécies vegetais em aquaponia como alface (*Lactuca sativa*), manjerição (*Ocimum basilicum*), agrião (*Nasturtium officinale*), repolho (*Brassica oleracea*), rúcula (*Eruca sativa*), morango (*Fragaria vesca*), pimenta (*Capsicum spp.*), tomate (*Solanum lycopersicum*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), pepino (*Cucumis sativus*) e muitas outras (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

Espécies vegetais adaptadas à hidroponia são sempre recomendadas para a aquaponia, uma vez que a maioria delas toleram altos teores de água em suas raízes e oscilações nos teores de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva sem apresentar sintomas graves de deficiência nutricional. A seleção das espécies de plantas a serem cultivadas em sistemas de aquaponia comercial deve ter como critério primeiramente o mercado (GRABER; JUNGE, 2009). Com base nas necessidades do mercado é possível desenhar um sistema de aquaponia capaz de produzir, teoricamente, qualquer vegetal de pequeno e médio porte. Basicamente, o desenho dos sistemas deve observar as necessidades e limitações das plantas relacionadas a espaço, nutrição, aeração, hidratação, temperatura, radiação solar, dentre outros fatores.

Como a aquaponia ainda está apenas iniciando no Brasil, pouco se conhece sobre o comportamento de nossas espécies nativas neste sistema. Portanto, ao avaliar uma espécie nativa é importante considerar alguns fatores como temperatura da água do sistema, densidade de estocagem, disponibilidade de alevinos/juvenis e de ração e preferências do consumidor final. Planejando-se da maneira correta existem milhões de possibilidades de combinações que podem ser feitas que atendem a demanda requerida (CARNEIRO et al., 2015).

### **3.5. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA**

Os parâmetros de qualidade da água são muito importantes na identificação de perigos e na avaliação do risco de várias operações na aquicultura. Dessa forma, podemos afirmar que os parâmetros de qualidade da água dos sistemas aquapônicos possuem essa mesma importância.

Os peixes criados em sistemas aquapônicos requerem boas condições de qualidade da água, o que significa que parâmetros como oxigênio dissolvido, dióxido de carbono, amônia, nitrato, nitrito e pH devem estar dentro de limites específicos das espécies que estão no sistema. Mudanças súbitas na densidade de peixes, taxa de crescimento, taxa de alimentação ou volume de água podem provocar mudanças rápidas na qualidade da água, deixando evidente que a medição regular desses parâmetros críticos da qualidade da água é essencial (MACINTRYE et al., 2008).

A deterioração dos parâmetros de qualidade da água afeta a fisiologia dos peixes, podendo ocasionar mudanças patológicas e mesmo a mortalidade em condições extremas (PERSON-LE RUYET et al., 2008).

Em termos de sistemas aquapônicos e considerando-se os possíveis impactos ambientais, a capacidade de carga é uma grande preocupação para manter o equilíbrio entre os requisitos de plantas e peixes em um meio de co-cultura. A capacidade de carga expressa a biomassa máxima de peixes no sistema com limites aceitáveis de qualidade da água. Esta é determinada pela taxa de consumo de oxigênio dos peixes e suas respostas à amônia, CO<sub>2</sub> e outros resíduos metabólicos potencialmente tóxicos que são produzidos (PERSON-LE RUYET et al., 2008).

A avaliação das condições ambientais e a compreensão de seus potenciais efeitos deletérios sobre os peixes, são de extrema importância em qualquer sistema que contenha peixes em cativeiro. Para o bem-estar dos peixes em um sistema aquapônico, a qualidade da água é a principal consideração ambiental com o potencial de afetar de forma marcante a saúde do peixe (MACINTRYE et al., 2008).

#### **3.5.1. OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos principais parâmetros de qualidade da água, não só para sistemas aquapônicos, mas como também em outras unidades de aquicultura. O peixe extrai oxigênio da água por difusão passiva através das brânquias. É necessária uma

concentração adequada de OD na água para facilitar a difusão passiva através de um gradiente de concentração da água para o sangue (COLT; TOMASSO, 2002). De acordo com Jones (1971), se as concentrações de OD caírem abaixo dos requisitos dos peixes, então os mesmos não poderão converter a energia de forma eficiente, resultando em redução na taxa de crescimento, na eficiência alimentar e na capacidade de natação.

Colt e Tomasso (2002) contribuíram com estudos sobre a concentração de oxigênio dissolvido e alguns fatores que afetam essa dissolução:

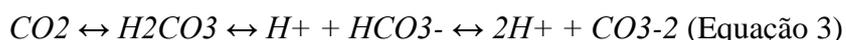
- a temperatura elevada e a respiração, aumenta o metabolismo e a demanda de oxigênio do peixe, diminuindo a concentração de OD na água;
- os peixes aumentam a sua absorção de oxigênio após a alimentação devido à demanda de oxigênio necessária para o processamento dos alimentos, chamada ação dinâmica específica;
- o consumo de oxigênio é proporcional ao tamanho e ao número de peixes em um determinado sistema;
- os peixes menores usam mais oxigênio por unidade de peso do que os peixes maiores;
- condições estressantes, como a função da brânquia prejudicada e a diminuição da capacidade de transporte de oxigênio levam ao aumento da demanda de oxigênio do peixe.

Em geral, o limite recomendado para os níveis de OD na cultura de peixes gira em torno de 6 mg/L para o peixe de água fria e 4 mg/L para os peixes de água quente para proteger a saúde (WEDEMEYER, 1996).

### ***3.5.2. NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO***

O CO<sub>2</sub> é considerado um composto tóxico para os peixes. Uma maior concentração de CO<sub>2</sub> na água reduzirá o gradiente de difusão de CO<sub>2</sub> entre o sangue dos peixes e a água inspirada, resultando em acidificação do sangue, levando a uma redução da capacidade de transporte de oxigênio no sangue arterial e a redução da absorção de oxigênio (SANNI; FORSBERG, 1996).

Na grande maioria dos casos, os peixes ventilam o CO<sub>2</sub> (um subproduto do metabolismo) através de suas brânquias como gás molecular de CO<sub>2</sub>, quando o gás reage com a água produz ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) e o equilíbrio das reações depende dos valores de pH da água, em uma relação exponencial inversa entre pressão parcial de CO<sub>2</sub> e valores de pH da água, conforme equação a seguir (SANNI; FORSBERG, 1986):



Ao se deslocar a reação para a direita, a formação de H<sup>+</sup> é favorecida, tornando o meio aquático mais ácido.

### 3.5.3. CICLO DO NITROGÊNIO

Na aquaponia, o ciclo do nitrogênio é um fator crítico. O ciclo começa com a introdução de proteínas na alimentação do peixe, que é digerida e depois excretada na fase aquosa na forma de nitrogênio amoníaco total (NH<sub>3</sub> e NH<sub>4</sub>). O amoníaco é primeiramente oxidado para nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) por bactérias oxidantes de amônia (principalmente *Nitrosomonas spp.*) e depois convertido em nitrato (NO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) por bactérias também (principalmente *Nitrobacter spp.*). Em um sistema aquapônico, a maioria da amônia encontrada é produzida pelos peixes, como nos sistemas de aquicultura. A amônia é o metabolito de lixo primário produzido pelo peixe a partir do catabolismo da proteína contida na alimentação (CHOE; EVANS; PIERMARINI, 2005).

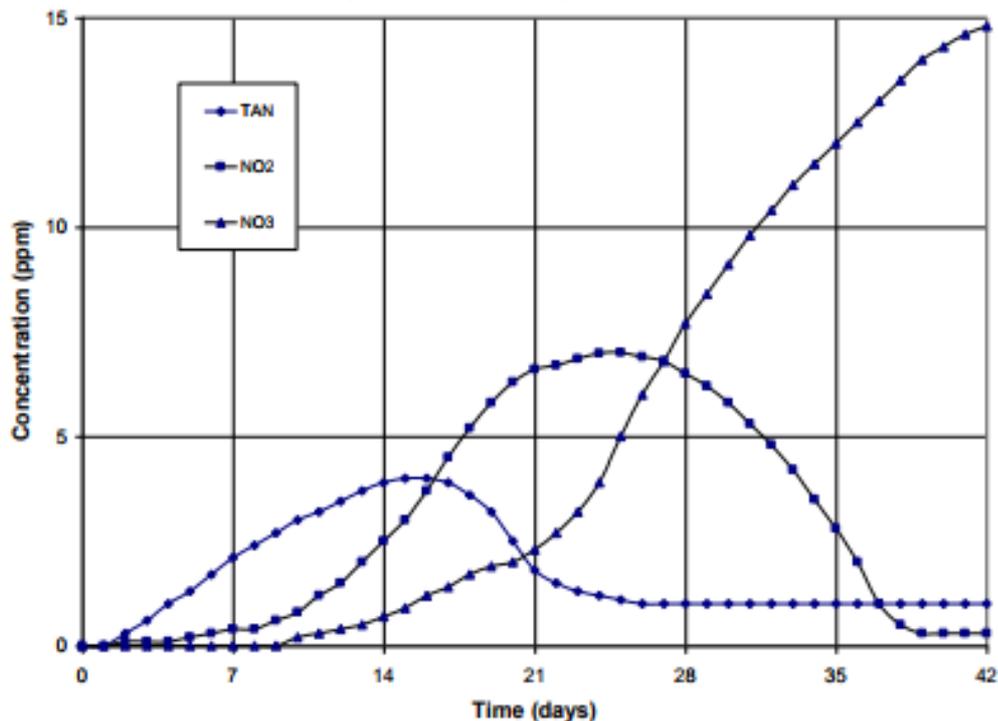
O nitrogênio orgânico presente nos restos de ração não ingeridos pelos peixes e nos dejetos sólidos dos peixes é decomposto em amônia por inúmeros microrganismos heterotróficos presentes na água, podendo acumular no sistema até atingir o ponto de toxicidade para os peixes e até mesmo para as plantas. A maior parte da amônia dissolvida na água necessita ser convertida em nitrato, forma de apresentação do nitrogênio de preferência da maioria das plantas de interesse em aquaponia (TOKUYAMA et al., 2004).

No processo de nitrificação as bactérias dos gêneros nitrossomonas e nitrobacters oxidam a amônia inicialmente para nitrito, que pode ser tóxico, e, posteriormente, para nitrato, este tóxico em concentrações muito altas. Estas bactérias os seres vivos responsáveis por grande parte do processo de nitrificação biológica no meio ambiente (TOKUYAMA et al., 2004).

O ambiente apropriado para a realização da nitrificação é o próprio filtro biológico do sistema. Além desse ambiente, o meio de suporte das plantas nas mesas e calhas de hidroponia servem para fixação de bactérias em ambiente onde a água é corrente e está em constante oxigenação, sendo o oxigênio de suma importância para todos os processos (BARBOSA, 2011; BRAZ, 2000; RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

Os biofiltros demoram cerca de 2 a 4 semanas para começar a funcionar após a população de bactérias ser estabelecida, sendo essencial a espera do pico de nitrito, ilustrada na Figura 1 aproximadamente no dia 24, para se ter certeza que os níveis de amônia estarão seguros para a inserção dos peixes no sistema e que já haverá nitrato suficiente para as plantas absorverem.

Figura 1: Curva de inicialização típica para um filtro biológico que ilustra o tempo de colonização por bactérias nitrificantes



Fonte: Timmons et al. (2002)

#### 3.5.4. AMÔNIA

Garantido o fornecimento de oxigênio, a produtividade do sistema será limitada pela concentração de amônia na água. É recomendável que a concentração de amônia não ionizada não exceda 0,05 mg/L. para peixes tropicais e 0,012 mg/L para salmonídeos (MERCANTE et al., 2004).

A exposição dos peixes a concentrações de amônia acima destes limites pode resultar em reduzido crescimento e baixa eficiência alimentar. Águas com pH neutro ou

ligeiramente ácido (6,0 a 7,0) permitem uma maior capacidade de suporte, visto que a concentração de amônia não ionizada aumenta com a elevação do pH. A concentração de amônia excretada pelos peixes pode ser calculada com base na quantidade de proteína consumida. Em média, cerca de 40% da proteína bruta (PB) presente em uma ração completa é utilizada como energia, resultando na produção de amônia (ALVES DE OLIVEIRA, 2001).

### 3.5.5. NITRITO

Nitrito é o produto intermediário da transformação da amônia em nitrato, por ação de bactérias do gênero *Nitrossomonas* e suas concentrações estão relacionadas à decomposição de componentes das proteínas da matéria orgânica. A exposição contínua a concentrações sub-letais de nitrito (0,3 a 0,5 mg/L) pode causar redução no crescimento e na resistência dos peixes à doença (THURSTON; RUSSO; SMITH, 1978).

A amônia, o nitrato e o nitrito estão presentes no mesmo ciclo e relacionam-se nas transformações realizadas pelas bactérias do tipo *Nitrossomas* e *Nitrobacter*.

*Nitrossomonas* – que oxidam amônio a nitrito:



*Nitrobacter* – que oxidam o nitrito a nitrato:



Os processos que ocorrem no ciclo do nitrogênio são predominantemente aeróbios e, como tal, ocorre somente nas regiões onde há oxigênio disponível (comumente na coluna d'água e na superfície do sedimento) (VON SPERLING, 1999).

### 3.5.6. NITRATO

O  $\text{NO}_3^-$  é o produto final do processo de nitrificação e estes são mais facilmente assimilados pelas plantas, tanto terrestres como aquáticas. Portanto, os nitratos são importantes para o desenvolvimento do fitoplâncton, pois, após serem absorvidos, são transformados em proteínas. Sua acidez pode ser reduzida pela adição de cálcio e cloretos ao meio. Como Timmons et al. (2002) nota, o nitrato é considerado o produto de nitrogênio

menos tóxico, sendo prejudicial em concentrações superiores a  $1000 \text{ mg.L}^{-1}$  para a maioria das espécies.

Dessa forma, a presença do nitrato abaixo dessa elevada concentração não representa qualquer risco para a aquicultura (RANDALL; TSUI, 2002).

### **3.5.7. TEMPERATURA**

A temperatura da água é um dos fatores mais importantes nos fenômenos químicos e biológicos existentes em um viveiro. Todas as atividades fisiológicas dos peixes (respiração, digestão, reprodução, alimentação) estão intimamente ligadas à temperatura da água, inclusive a temperatura corporal dos mesmos. Cada espécie tem uma temperatura na qual melhor se adapta e se desenvolve, sendo essa temperatura chamada de temperatura ótima (MALLASEN; BARROS; YAMASHITA, 2008). As temperaturas acima ou abaixo do ótimo influenciam de forma a reduzir seu crescimento. Em caso de temperaturas extremas, podem acontecer mortalidades, pois os peixes apresentam uma baixa tolerância às variações bruscas de temperatura (choque térmico) (MALLASEN; BARROS; YAMASHITA, 2008).

A temperatura tem um efeito pronunciado nos processos químicos. O metabolismo dos peixes é maior à medida que aumenta a temperatura. Os peixes de águas tropicais geralmente vivem bem com temperaturas entre  $20 - 28^{\circ}\text{C}$  e seu apetite máximo será entre  $24 - 28^{\circ}\text{C}$ . Entre  $20 - 24^{\circ}\text{C}$ , eles se alimentam bem, mas abaixo desse patamar o apetite decresce rapidamente e acima de  $28^{\circ}\text{C}$  perdem-no totalmente (MERCANTE et al., 2004).

Por ser tão importante para o cultivo dos peixes, um equipamento fundamental para a piscicultura é o termômetro de mercúrio. Deve-se ter o cuidado de se medir tanto a temperatura da superfície como a do meio e do fundo do tanque. Em viveiros rasos e com alta transparência, quase não há diferença de temperatura. Já os locais com mais de 1 metro de profundidade a diferença de temperatura entre a superfície e o fundo pode ser de 2 a  $4^{\circ}\text{C}$  (MERCANTE et al., 2004).

### **3.5.8. pH**

A concentração de bases e ácidos na água determina o pH. Os peixes sobrevivem e crescem melhor em água com pH entre 6 - 9. A respiração, fotossíntese, adubação, calagem e poluição são os cinco fatores que causam a mudança de pH na água (VON SPERLING, 1996). Alterações no pH da água podem provocar até mesmo altas mortalidades em peixes,

especialmente em espécies que apresentam maior dificuldade de estabelecer o equilíbrio osmótico ao nível das brânquias, o que determina grandes dificuldades respiratórias.

O baixo pH é tipicamente associado ao baixo nível de oxigênio dissolvido. Já o alto pH está associado com o alto nível de oxigênio dissolvido (MINELLO et al., 2010).

Os processos oxidativos, como a respiração, causam fortes diminuições na curva de oxigênio na água pois, no caso desta, ocorre o aumento da concentração de gás carbônico (MERCANTE et al., 2004).

### ***3.5.9. ALCALINIDADE***

A alcalinidade, popularmente conhecida como dureza da água, mede a capacidade da dessa de neutralizar os ácidos, ou seja, controlar o pH de uma solução. Os valores de alcalinidade entre 200 e 300 mg/L, suavizam as variações de pH (KATO, 1983). Esses valores indicam a presença de sais minerais dissolvidos na água tais como os carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) e Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3$ ), medidos em  $\text{mg.L}^{-1}$ .

Se ao analisar a água forem encontrados concentrações entre 20 e 300 mg/L de alcalinidade, isso indica boas quantidades daqueles sais minerais para a piscicultura e aquicultura (MINELLO et al., 2010).



## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 SISTEMA EXPERIMENTAL

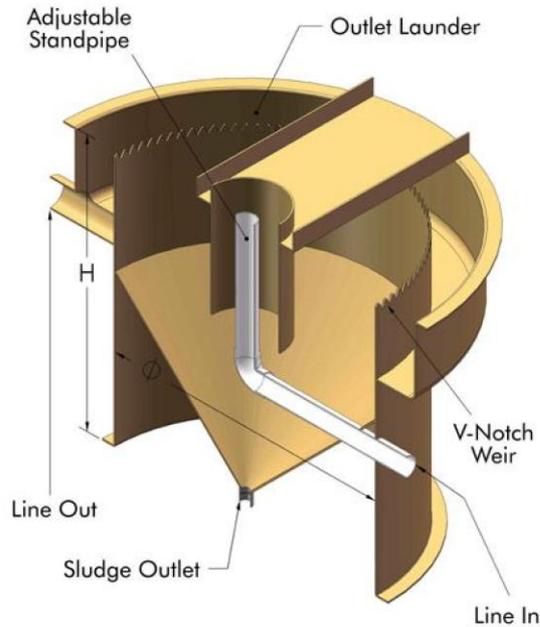
Um estudo de 2 semanas foi realizado em um sistema aquapônico ao ar livre, localizado no Polo Centro-Leste na APTA (Agência Paulista de Tecnologia em Agronegócios), em Ribeirão Preto – SP, durante o período de 25 de agosto a 18 de outubro de 2017. O estudo consistiu na avaliação da funcionalidade e desempenho de um decantador de fluxo radial, de apenas um sistema aquapônico utilizando-se substrato semi-seco.

O decantador de fluxo radial utilizado no presente estudo, foi adaptado de uma incubadora de peixes, com volume total de aproximadamente 210 litros e com 1,07 m de altura e 0,83 m de diâmetro no topo. A incubadora é composta por uma seção cilíndrica de 0,45 m de altura e 0,63 m de diâmetro, e uma seção cônica de 60° com altura 0,43 m e diâmetro da base igual ao do cilindro. No fundo do cone, há um registro borboleta, conectado a uma mangueira cristal de 2 m de comprimento, por onde foi realizada a coleta dos SS diariamente.

Para converter a incubadora de fibra de vidro em um decantador de fluxo radial, a incubadora foi modificada primeiramente ao se instalar uma seção cilíndrica de aço inoxidável, com 0,20 m de altura e 0,63 m de diâmetro, na porção cilíndrica interna para formar o vertedouro. A mesma, foi fixada e vedada com silicone para evitar possíveis vazamentos. A próxima etapa foi a instalação do tubo de entrada de água (o mesmo que drena o tanque dos peixes), com diâmetro de 32 mm, no ponto médio da altura da incubadora, o qual se estendeu até o centro da incubadora. Um cotovelo com um ângulo de 45°, direcionou o fluxo d'água de forma ascendente, saindo do mesmo logo abaixo da flor d'água.

Além disso, foi instalado um cilindro de amortecimento da turbulência (tubo de PVC de esgoto de 0,2 m diâmetro por 0,45 m de altura) perpendicularmente ao tubo influente, para suavizar a turbulência no ponto de injeção de água. Ao se introduzir o fluxo na superfície da água, no centro do cilindro de amortecimento da turbulência, a água é forçada primariamente a fluir para baixo, permitindo aos sólidos que se decantarem e se concentrem no fundo do cone de 60°, enquanto o volume d'água é transbordado radialmente para o vertedouro liso, no perímetro do tanque de decantação. A Figura 2, ilustra um decantador de fluxo radial da Pentair Aquatic Eco-Systems®, modelo RFS 45, o qual se assemelha com o utilizado no presente estudo, destacando para a principal diferença sendo o vertedouro liso ao invés do vertedouro em V (V-Notch Weir).

Figura 2: Decantador de fluxo radial Pentair Aquatic Eco-Systems RFS 45



Fonte: Pentair Aquatic Eco-Systems (data)

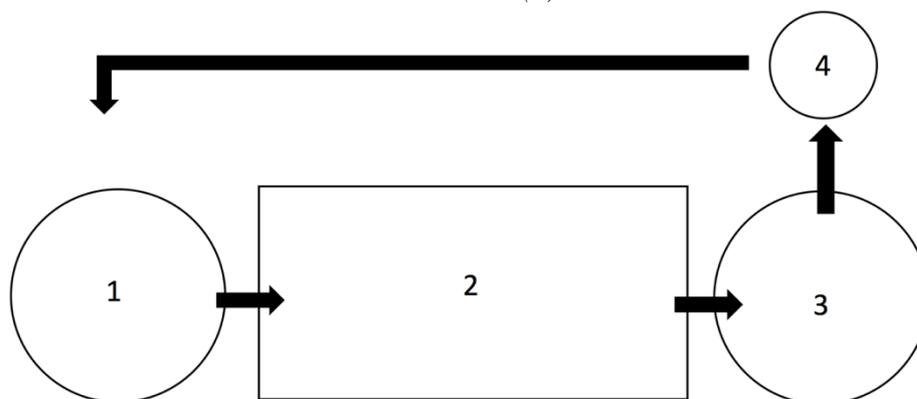
Para evitar a exposição ao sol e o conseqüente crescimento de algas, o tanque de cultura de peixe, bem como o *sump* e o decantador de fluxo radial, foram cobertos com suas respectivas tampas de polietileno opacas.

A Figura 3, ilustra o *layout* esquemático do sistema experimental utilizado no presente estudo. O sistema experimental (Figura 4) consistiu em uma caixa d'água FORTLEV® de polietileno, com capacidade total de 500 L para o tanque de cultivo dos peixes (1,22 m diâmetro e 0,73 m de altura e volume útil aproximado de 450 L), um decantador de fluxo radial, o qual foi analisado, funcionando como único sistema de filtragem mecânica, uma masseira plástica como bancada hidropônica (2,12 m de comprimento x 1,12 m de largura x 0,25 cm de profundidade, com um volume útil aproximado de 100 L) na qual utilizou-se argila expandida como substrato de cultura e uma caixa d'água FORTLEV® de polietileno, com capacidade total de 500 L para o *sump* integrado com o reator de leito móvel com biofilme – MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) - (1,22 m diâmetro e 0,76 m de altura e volume útil aproximado de 400 L). Aproximadamente 150 L de Mídia MBBR +HC de polipropileno, da NanoPlastic®, com altura/diâmetro de 15 mm x 30 mm, foram adicionadas ao *sump* para seu funcionamento integrado com o MBBR. O *sump* pode ser definido como um reservatório, no qual a água fica retida até ser bombeada para a bancada hidropônica.

Apesar da água que sai da bancada hidropônica se locomover através da gravidade até o tanque dos peixes e na sequência, até o decantador, no *sump*, foram adicionadas bombas para movimentar a água dentro do mesmo e para elevar a água até a bancada hidropônica novamente. Uma bomba centrífuga Sarlo Better® de 30 W com vazão de 2000 L/h, foi usada para retornar a água até a bancada hidropônica, a uma vazão estimada de 9 L/min. Em adição, duas bombas centrífugas Sarlo Better® de 30 W com vazão de 2000 L/h, foram utilizadas para suspender a Mídia MBBR +HC de polipropileno, as quais fazem parte do conjunto *sump* – MBBR. A primeira, foi posicionada no centro, com a saída de água direcionada em um fluxo ascendente. Já a segunda, foi posicionada a meia altura, na porção lateral da caixa d'água, conferindo um caráter hidrodinâmico circular as mídias. Logo, o *Hydraulic Loading Rate* (HLR) e o *Surface Loading Rate* (SLR) para o decantador de fluxo radial foi de 43 m<sup>3</sup> / m<sup>2</sup> / dia. A perda de água devido à remoção diária de resíduos, evaporação, e a evapotranspiração das plantas foi substituída com água da rede, a qual foi armazenada em uma caixa d'água FORTLEV® de polietileno, com capacidade total de 310 L.

A quantidade de água adicionada ao sistema foi mensurada utilizando-se um balde graduado com capacidade para 8 L, sendo adicionado sempre que o nível d'água abaixava do ponto delimitado dentro do *sump*. Na bancada hidropônica, não foram utilizados mecanismos de aeração. No tanque dos peixes, a partir da segunda semana de coleta, foram introduzidas 3 bombas de aeração, com uma pedra de aeração na ponta de cada, totalizando um *input* de 1,7 L/min de ar. Já no *sump*, em uma das bombas centrífugas, criou-se um efeito Venturi para ajudar na aeração do sistema de um modo geral.

Figura 3: Layout do sistema aquapônico. Os componentes do sistema são: *sump* integrado com reator de leito móvel com biofilme - MBBR (1), Bancada hidropônica (2), Tanque de cultivo dos peixes (3) e Decantador (4).



OBS (Figura 3): A água circula na direção das setas por gravidade até chegar no *sump* (1), onde uma bomba elétrica eleva a água até a bancada hidropônica. Água da rede foi armazenada em uma caixa d'água de 310 L, para reposições de água relativas a coleta diária de amostras, evaporação e evapotranspiração das plantas.

Fonte: Próprio Autor

O sistema foi maturado entre os dias 25/08/17 e 18/09/17, período o qual foram adicionados um total de 70 g de ração (Socil ® Laguna Alevinos - pellet de 2,6 mm e 45% PB), em 3 adições distintas. Amônia, nitrito e nitrato foram monitorados semanalmente para se observar os picos e a acumulação dos mesmo no sistema aquapônico.

## 4.2 QUALIDADE DA ÁGUA

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD), temperatura, pH e condutividade elétrica (CE) foram monitoradas coletando-se 2 litros de amostra d'água, em um béquer graduado, do sistema aquapônico semanalmente. Tanto OD como temperatura, pH e CE foram monitorados usando um medidor multiparâmetro AKSO®, modelo AK88. Um total de 40 g de hidróxido de cálcio [Ca(OH)<sub>2</sub>] e 35 g de hidróxido de potássio (KOH) foram adicionados para neutralizar o pH quando os valores estavam abaixo de 6,8 e para suplementar o cálcio e o potássio. Ferro na forma EDDHA (YaraVita™ rexolin M48, Fe 6,5%) foi adicionado inicialmente para manter uma concentração de ferro de 2 mg/L a fim de prevenir a deficiência de nutrientes das plantas. Semanalmente, uma amostra de 2 L de água foi retirada do tanque de cultura dos peixes para medir alguns parâmetros de qualidade da água, em um Laboratório na Estação Experimental de Zootecnia do APTA – polo regional de Ribeirão Preto, SP. Foi utilizado o kit *Freshwater Master Test Kit*, da marca API®, para se analisar pH, amônia tóxica, nitrito e nitrato. Já para dureza total (GH) e dureza em carbonatos (KH), utilizou-se o kit Labcon test de dureza KH e GH, da marca ALCONpet®. A metodologia para a análise padronizada das amostras pode ser encontrada no Anexo I.

Em um recipiente de 1000 mL, foram retiradas quatro amostras (a primeira no dia em que o sistema foi enchido; a segunda no dia em que os peixes foram introduzidos no sistema; a terceira, 7 dias após o início do experimento; e a última, no dia em que as coletas foram encerradas) do tanque de cultura dos peixes, e enviado para a Ribersolo – Laboratório de análises agrícolas Ltda. - para análise de macronutrientes e micronutrientes. Para a análise de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Zinco (Zn), utilizou-se a espectrofotometria de absorção atômica, respectivamente, com os seguintes comprimentos de onda: 422,7 nm; 285,2 nm; 248,3 nm; 279,5 nm; 324,7 nm; e 213,9 nm. Para determinação do Fósforo (P) utilizou-se espectrofotometria (amarelo de vanadato, com leitura a 420 nm). Sódio (Na) e Potássio (K) foram quantificados através da fotometria de

chama. Enxofre foi analisado a partir da turbidimetria, com leitura a 420 nm. Já Boro (B), foi mensurado através da espectrofotometria (azometina – H, com leitura a 420 nm). O nitrogênio-nitrato e o nitrogênio-amônio foram determinados por destilação por arraste a vapor.

SST, entrando e saindo do decantador de fluxo radial, foram amostrados diariamente, 1 hora após a alimentação da manhã durante a primeira semana. A partir da segunda semana, a retirada da amostra passou a ser realizada previamente a alimentação da manhã. Para se realizar a amostragem de SST entrando no decantador de fluxo radial, um recipiente de plástico de 1 L era inserido a uma altura média de 40 cm da superfície, no tanque de cultivo dos peixes. Já para se realizar a amostragem de SST saindo do decantador de fluxo radial, um recipiente de plástico de 1 L foi posicionado na tubulação de saída do decantador, a qual retorna diretamente para o *sump* – MBBR.

A concentração de SST foi quantificada por meio de filtração da amostra em bomba a vácuo, utilizando-se 1000 ml de amostra de água. Um sistema composto por um kitassato, filtro de fibra de vidro de 1  $\mu\text{m}$  (PALL Corporation®, tipo A/E, diâmetro de 47 mm), uma garra metálica, e uma bomba a vácuo, foi montado para realizar-se as análises. Os filtros de fibra de vidro foram pesados em uma balança analítica de precisão. Levou-se os mesmos para a secagem em estufa a 70 C°, por 24 horas, para se verificar a porcentagem de umidade. Nenhuma alteração no peso foi observada. Sendo assim, foram utilizados diretamente da caixa onde foram comercializados. Como procedimento, lavou-se o filtro de fibra de vidro com jatos de água destilada, previamente a filtragem da amostra. Realizando-se esse primeiro passo, a amostra a ser analisada foi filtrada. Quando houve entupimento do filtro de fibra de vidro de 1  $\mu\text{m}$ , a bomba foi desligada, o filtro entupido foi guardado em uma placa de Petri, e um novo filtro foi posicionado para se continuar a filtração da amostra.

Em uma segunda etapa, levou-se o filtro de fibra de vidro a estufa para secagem em cerca de 70°C, por 24 horas, em uma placa de Petri. Em seguida, o material já seco foi retirado da estufa e colocado na bancada para repouso, até atingir temperatura ambiente. Por fim, realizou-se a pesagem do filtro de fibra de vidro já seco em uma balança analítica de precisão. Para fins de cálculo, respeitou-se a seguinte equação:

$$\frac{\text{mg}}{\text{L}} = \left( \frac{(b-a) \times 1000}{v} \right) \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

a: peso do filtro de fibra de vidro em g;

b: peso do filtro de fibra de vidro com resíduo após secagem em g;

V: volume da amostra em L.

Os resíduos sólidos foram descarregados do decantador de fluxo radial uma vez ao dia, uma hora após a alimentação durante a primeira semana. Já durante a segunda semana, as descargas ocorreram previamente a alimentação matinal. O efluente foi descarregado baseando-se no conceito de pressão hidrostática. Uma válvula de esfera, conectada a uma mangueira cristal de 2 metros de comprimento, foi aberta para permitir que os sólidos depositados no fundo do cone fossem expelidos, sendo fechada imediatamente quando o efluente foi de uma aparência marrom escuro a cor limpa.

A concentração de SS foi quantificada diariamente, utilizando-se um cone Imhoff e metodologia da Norma Técnica Interna SABESP – NTS 013 (1999). A matéria seca contida no resíduo sólido do decantador foi quantificada através de filtração gravitacional. Um sistema composto por um coador de café, tamanho 103, e um filtro 103 de papel de café foi montado para se realizar as análises. Previamente a filtração, os filtros de café foram pesados em uma balança analítica e seu respectivo peso foi anotado. Realizando-se esse primeiro passo, a amostra a ser analisada foi filtrada até que a água excedente dentro do coador diminuísse. Em uma segunda etapa, levou-se o filtro de papel a estufa para secagem em cerca de 70°C, por 48 horas, em um béquer de vidro. Em seguida, o material já seco foi retirado da estufa e colocado na bancada para repouso, até atingir temperatura ambiente. Por fim, realizou-se a pesagem do papel de filtro já seco em uma balança analítica de precisão.

Para fins de cálculo, respeitou-se a seguinte equação:

$$g_{SS} = a - b \text{ (Equação 7)}$$

Onde:

a: Peso do papel de café, em gramas;

b: Peso do papel de café com resíduo após secagem, em gramas;

$g_{SS}$ : Quantidade de resíduo sólido, já seco, em gramas.

Ao final da primeira semana do estudo, o fundo do decantador de fluxo radial foi agitado manualmente para suspender sólidos presos ao fundo do mesmo devido a atividade bacteriana.

### 4.3 ANIMAIS EXPERIMENTAIS

No dia 20 de setembro, aproximadamente 600 lambaris do rabo amarelo (*Astyanax bimaculatus*) foram adquiridos da piscicultura sobradinho, em Buritizal – SP. Dentre os 600 lambaris, 10 exemplares foram escolhidos aleatoriamente e realizou-se uma pesagem e medição dos mesmos (Figura 5). Após esse procedimento, os lambaris foram colocados em sacos de papel marrom, previamente pesados. Os sacos foram colocados em uma estufa de temperatura controlada, a 70 ° C por 48 h, para se determinar a porcentagem de umidade. O restante dos lambaris foram aclimatado e estocado no tanque de cultivo dos peixes no mesmo dia.

Assim sendo, a unidade experimental foi abastecida com aproximadamente 600 peixes, pesando em média  $3,36 \pm 0,81$  g (média e desvio padrão) e comprimento médio foi de  $67,9 \pm 4,0$  mm (média e desvio padrão), totalizando 1333 peixes/m<sup>3</sup> ou 4 kg/m<sup>3</sup>.

O lambari do rabo amarelo foi alimentado com uma dieta extrusada contendo 45% PB (Socil ® Laguna Alevinos - pellet de 2,6 mm – 90% de matéria seca), duas vezes por dia (09:00 e 16:00 h).

No presente estudo, os peixes foram alimentados até a saciedade aparente durante a primeira semana, sempre se atentando para a taxa de alimentação recomendada para sistemas aquapônicos de água quente, de 60-100 g de ração/m<sup>2</sup> de área de cultivo de plantas hidropônicas / dia (RAKOCY et al., 2003). Na segunda semana, foi observado um acúmulo de amônia no sistema, e com isso, a alimentação foi cessada por 3 dias. As alimentações seguintes foram aumentadas gradativamente, até se atingir a saciedade aparente novamente. Durante cada alimentação, os peixes tinham 5 minutos para atingir a saciedade, caso contrario a alimentação seria encerrada e retomada na próxima administração.

Figura 5: Biometria do Lambari do rabo amarelo



Fonte: Próprio Autor

#### 4.4 PLANTAS EXPERIMENTAIS

Em 19 de setembro, 100 mudas de alface crespa variedade Isadora (*Lactuca sativa L.*) foram adquiridas, das quais 50, de aproximadamente 26 dias, foram plantadas em 2 m<sup>2</sup> de bancada hidropônica. Dentre as 100 mudas, 10 mudas foram escolhidas aleatoriamente e realizou-se uma pesagem e medição das mesmas (Figura 6). Após esse procedimento, as mudas foram colocadas em sacos de papel marrom. Os sacos foram colocados em uma estufa de temperatura controlada, a 70 ° C por 24 h para se determinar a porcentagem de umidade. O peso médio das mudas foi de  $0,9 \pm 0,11$  g (média e desvio padrão) e o comprimento médio foi de  $59,9 \pm 6,5$  mm (média e desvio padrão). As 50 mudas selecionadas para plantio, foram higienizadas em bandejas plásticas com água para se retirar o excesso de substrato nas raízes (Figura 7). Esse procedimento foi repetido até que a água na bandeja estivesse limpa, como ilustrado na Figura 7.

As alfaces, já limpas, foram colocadas no substrato de argila expandida, atentando-se para que a ponta das raízes entrasse em contato com a água. Nenhum tipo de defensivo agrícola para controle pragas foi utilizado durante o experimento. 25 mudas foram colhidas, intervalando-se uma a uma na bancada hidropônica. No dia 18 de outubro, 29 dias após o plantio, realizou-se uma limpeza nas raízes das mesmas para se retirar as argilas expandidas que acabaram ficando retidas. Posteriormente, as partes não comercializáveis (caule e raiz)

foram cortadas e armazenadas para serem pesadas e contabilizadas no peso total húmido. As folhas que estavam em estado não comercializável (amaareladas, murchas, soltas) foram reservadas e também foram pesadas para se contabilizar o peso total húmido. No dia 24 de outubro, o restante das alfaces foi retirado, realizando-se o mesmo procedimento descrito acima. A produção total de alfaces não inclui a biomassa do caule colhida e o peso das raízes, apenas a folha comercializável. Foram ainda contabilizados o peso total dos resíduos aéreos e peso total do caule e das raízes.

*Figura 6: Mudanças de alface lavadas, prontas para irem para estufa*



*Fonte: Próprio Autor*

*Figura 7: Mudanças de alface livres de substrato na raiz*



*Fonte: Próprio Autor*

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 QUANTIDADE DE ÁGUA NO SISTEMA

Uma das maiores vantagens da aquaponia é a pouca utilização de água. Uma vez instalado o sistema as perdas de água ocorrem somente por retiradas, caso seja necessário, por osmose dos peixes e por evapotranspiração (água utilizada pelas plantas para execução de seus processos biológicos) (DIVER, 2006).

A Tabela 1 expõe as quantidades de água que foram perdidas e adicionadas, assim como a origem dessa perda.

*Tabela 1: Perdas e adições de água no sistema*

<b>Volume total estimado do sistema (L)</b>	1000
<b>Total de água adicionada (L)</b>	144
<b>Total de água retirada para análise (L)</b>	47
<b>Total de água perdida por evaporação e evapotranspiração (L)</b>	97
<b>Total de água perdida por evaporação e evapotranspiração em relação ao volume total do sistema (%)</b>	9,7
<b>Total de água perdida por evaporação e evapotranspiração em relação ao volume total do sistema, por dia (%)</b>	0,6

*Fonte: Próprio autor*

Uma vez que o sistema não possui perda direta de água, perda por escoamento, irrigação ou infiltração, logo, nota-se que a perda de água é extremamente baixa, com uma taxa de 0,6 % ao dia do volume total do sistema, mesmo estando localizado em uma região com altas temperaturas devido ao microclima e a estação quente do ano. Al-Hafedh, Alam e Beltag (2008), Danaher, Schultz e Rakocy (2011) e Danaher et al. (2013), reportaram valores de perdas de água no sistema de 1,4 %, 1,6% e 1,5%, respectivamente, em um sistema aquapônico de bandejas flutuantes, utilizando-se tilápia e espinafre d'água, em regiões de clima quente.

A baixa taxa de água perdida diariamente pode ser explicada por alguns fatores. O primeiro deles diz respeito à escala do sistema. No presente estudo, utilizou-se uma escala pequena, onde o tanque de cultivo e o sump permaneceram cobertos com suas respectivas

tampas, reduzindo-se a perda de água de forma considerável. Em escala comercial, essa prática se torna inviável uma vez que os tanques de cultivo de peixes têm dimensões grandes, inviabilizando a cobertura dos mesmos. Soma-se a isso, o fato de utilizar-se o sistema de substrato semi-seco, o qual faz com que a água fique menos tempo em contato com o ar quando comparado com os sistemas de calhas ou de águas profundas.

## 5.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os resultados obtidos pelas análises das amostras de águas estão expostos nas Tabelas 2 e 3. A Tabela 2 mostra os resultados das análises realizadas *in situ*, enquanto os resultados da Tabela 3 são de um laboratório privativo chamado Ribersolo.

*Tabela 2: Resultados das análises de água in situ*

Parâmetros	Dia						
	25/08/2017	30/08/2017	06/09/2017	13/09/2017	20/09/2017	27/09/2017	04/10/2017
pH kit	8,1	-	-	-	7	6,6	-
pH aparelho	7,9	7,9	7,9	7,8	7,2	6,8	6,4
Amônia (ppm)	0	0	0,25	0	0,25	4	0,25
Nitrito (ppm)	-	0	0	0	0	0	0
Nitrato (ppm)	-	-	entre 0 e 5	entre 0 e 5	10	50	100
Dureza total em carbonatos KH (ppm CaCO <sub>3</sub> )	≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	≤25	50
Dureza total GH (ppm CaCO <sub>3</sub> )	17,9	35,8	35,8	35,8	35,8	35,8	≤17,9
Condutividade (μS)	74,1	82,3	83,9	92,3	172,1	283,4	301
OD (mg/L)	-	6,2	5,1	9,2	5,7	4,2	5,4
Temperatura da água (°C)	25,2	26,3	27,4	30,3	31	30,3	25,8

*Fonte: Próprio autor*

Tabela 3: Resultados da análise de água pela Ribersolo

Paramêtro	Dia da coleta			
	25/08/17	20/09/17	28/09/17	05/10/17
Nitrogênio-nitrato (mg/L)	0,9	5,1	17,6	23,1
Nitrogênio-amônio (mg/L)	0,7	0	2,3	<0,1
Fósforo (mg/L)	0,3	0,3	2,1	2,9
Potássio (mg/L)	4,4	7,7	10,7	13,7
Cálcio (mg/L)	6,4	8,1	14,8	22,9
Magnésio (mg/L)	1,8	2	2,7	3,1
S - Sulfato (mg/L)	2,7	4,6	3,3	3,7
Sódio (mg/L)	3,7	15,5	17	17,8
pH	7,9	7,6	6,9	6,5
Condutividade elétrica ( $\mu$ S)	80	180	270	310
Ferro (mg/L)	0,12	1,05	0,8	0,31
Manganês (mg/L)	0,03	0,02	0,01	<0,01
Cobre (mg/L)	0,01	<0,01	0,02	0,01
Zinco (mg/L)	0,01	0,02	0,02	0,03
Boro (mg/L)	0,04	<0,01	<0,01	<0,01

Fonte: Próprio autor

O monitoramento da qualidade da água deve ser realizado periodicamente, e isso pode ser feito através de kits de análise encontrados com facilidade em lojas de pesca e casas de peixes ornamentais. Os tratamentos para corrigir a qualidade da água devem ser realizados de forma gradativa, evitando um impacto no sistema (BRAZ FILHO, 2000).

Conforme as análises foram sendo feitas durante o estudo, algumas manutenções químicas foram realizadas para que o sistema permanecesse estável. Esse tipo de manutenção, como adição de solução tampão, pedras de aeração, adição de minerais, são comuns, principalmente em sistemas novos que ainda estão entrando em equilíbrio. Isso porque as taxas de respiração e fotossíntese se somam de modo desigual, as excretas dos peixes causam alterações de pH, há influência da temperatura ambiente e do filtro biológico, as plantas podem necessitar de alguma vitamina ou mineral, fazendo com que seja necessária a intervenção para que o ambiente continue saudável (BRAZ FILHO, 2000).

Tabela 4: Observações e manutenções realizadas

26/09/2017	Foi observado no período da tarde, que o OD estava muito baixo pois os lambaris estavam boquejando na flor da água. O OD medido foi de 2,5 mg/L. Assim sendo, foram adicionadas 3 pedras de aeração, e a tampa da caixa d'água foi deixada aberta durante a noite. No dia seguinte (27/09), verificou-se o OD novamente, o qual tinha aumentado para 5 mg/L. Porém, 13 peixes foram encontrados mortos pois pularam para fora da caixa durante a noite.
28/09/2017	Devido a queda considerável do pH e da elevada concentração de amônia no sistema, foi preparada uma solução de $\text{Ca(OH)}_2$ com 5 g em 40 L, a qual foi adicionada em um intervalo de tempo de 12 horas.
29/09/2017	Devido a queda considerável do pH e da elevada concentração de amônia no sistema, foi preparada uma solução de KOH com 5 g em 40 L, a qual foi adicionada em um intervalo de tempo de 12 horas.
02/10/2017	Para controle do pH, foi preparada uma solução de $\text{Ca(OH)}_2$ com 5 g, a qual foi adicionada em um intervalo de tempo de 12 horas.
03/10/2017	Para controle do pH, foi preparada uma solução de $\text{Ca(OH)}_2$ com 5 g e uma solução de KOH com 5 g, os quais foram adicionados num intervalo de tempo de 12 horas.
04/10/2017	Para controle do pH, foi preparada uma solução de KOH com 5 g, a qual foi adicionada em um intervalo de tempo de 12 horas.
06/10/2017	Para controle do pH, foi preparada uma solução de $\text{Ca(OH)}_2$ com 5 g, a qual foi adicionada em um intervalo de tempo de 12 horas.

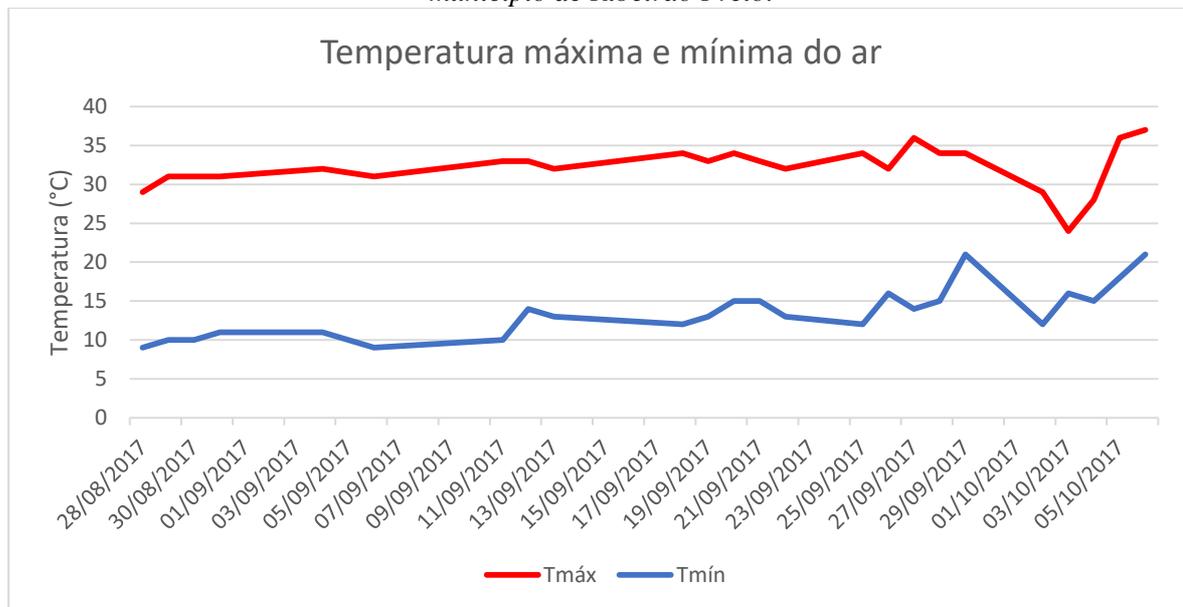
Fonte: Próprio autor

De acordo com Oliveira et al. (1995), um dos fatores de maior importância nos fenômenos biológicos no viveiro é a temperatura. Todas as atividades dos peixes como respiração, digestão, excreção, alimentação, movimentação, estão ligadas à temperatura da água, assim como a quantidade de oxigênio dissolvido. Nota-se que a maior temperatura do tanque foi de 31°C, isso se deve, além da alta temperatura ambiente, também ao fato de tanque ser pequeno, permitindo que a água es quente mais rapidamente, o que não é um fator interessante para a sobrevivência dos animais. Além desse dia de máxima temperatura, registrou-se mais dois dias os quais a temperatura ultrapassou o desejado, nos restantes ela encontrou-se no intervalo adequado.

O OD que, de acordo com as análises teve concentração mínima de 4,2 mg/L e máxima de 9,2 mg/L. Evidencia-se que no dia de maior temperatura, tanto ambiente como da água, foi necessária a adição de pedras de aeração devido a baixa concentração de oxigênio da água, comprovando a relação inversamente proporcional entre a solubilidade de OD e a temperatura. Após esse dia as taxas de oxigênio mantiveram-se em níveis adequados para a sobrevivência dos peixes, acima de 5 mg/L.

A Figura 8 apresenta a variação de temperatura do ar ao longo dos dias nesse período, observando-se a Tabela 2 e a Figura 9, nota-se que as maiores temperaturas da água do tanque de cultivo dos peixes ocorreram nos dias em que a temperatura ambiente era mais elevada.

Figura 8: Gráfico da temperatura máxima e mínima do ar durante o período do experimento, no município de Ribeirão Preto.



Fonte: Próprio Autor

A CE, indica a capacidade da água em conduzir corrente elétrica e fornece importantes informações sobre o metabolismo do tanque, ajudando a detectar fontes poluidoras no sistema, além de poder avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos. Os valores altos indicam grau de decomposição elevado e o inverso, valores reduzidos, indicam acentuado desenvolvimento primário com a produção de algas e microrganismos aquáticos (GASTALDINI; MENDONÇA, 2001). No trabalho realizado, nota-se que a condutividade foi crescente, visto que o sistema estava amadurecendo e o maior valor registrado foi na última medição (310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), como é de se esperar até que este atinja o equilíbrio.

Esse aumento na condutividade pode ser relacionado com as adições de soluções de  $\text{CaOH}_2$ ,  $\text{KOH}$  e  $\text{Fe}$ . Entre a análise realizada no dia 13/09 e a realizada no dia 20/09, foram adicionados 16,6 gramas de ferro na forma EDDHA (Fe 6,5%) e nas semanas seguintes adições de K e Ca. Esses compostos em soluções aquosas produzem íons (cátions) capazes de aumentar a condutividade do meio.

Quanto ao pH, sistemas que apresentam elevada acidez da água ou elevada alcalinidade, exigem controle cuidadoso do pH para garantir o desenvolvimento dos peixes.

Os valores de pH, tanto os medidos pelo aparelho, como os recebidos pelas análises do laboratório, estabeleceram-se numa faixa entre 6,4 e 7,9. Faixa satisfatória para a sobrevivência dos peixes e das bactérias, no entanto insatisfatória para as plantas, que sobrevivem melhor numa faixa de pH entre 5,5 e 6,5 (CARNEIRO et al, 2015).

Nota-se que foram realizadas constantes manutenções para o controle do pH com adição de soluções de  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{KOH}$  e água, o que é de se esperar visto que o sistema estava ainda entrando em equilíbrio e as taxas de respiração, fotossíntese, decomposição e nitrificação provocam muitas alterações nesse parâmetro.

A alcalinidade da água é a sua capacidade quantitativa de neutralizar um ácido forte, e os valores indicados para uma boa quantidade de sais minerais na aquicultura devem permanecer entre 20 e 300 mg/L de alcalinidade (RODRIGUES, 2013). O sistema em questão sofreu com a falta de alcalinidade. Nas análises realizadas, desde a medição zero a água foi identificada como muito mole (pouca presença de  $\text{CaCO}_3$ ).

De acordo com Forsberg (1997), para o funcionamento correto de um sistema aquapônico faz-se necessário uma quantidade mínima de alcalinidade, uma vez que para a degradação de 1 g de  $\text{NH}_3$  são consumidos 7,14g de alcalinidade na forma de  $\text{CaCO}_3$ . Dessa forma, fez-se necessária adição das soluções contendo hidróxidos para elevar esses níveis e manter o equilíbrio do sistema. Evidencia-se o aumento na dureza da água na última medição justamente devido a adição de uma solução de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Os níveis de amônia variaram de  $<0,01$  até  $0,025$ , intervalo de concentração adequado (até  $0,05$  mg/L) para o sistema (RODRIGUES, 2013), exceto em uma das medições. Nesta, os níveis foram de  $4$  mg/L para o resultado *in situ* e de  $2,3$  mg/L para o resultado da Ribersolo, ambos acima do recomendado. Infere-se que esses valores podem ter sido atingidos devido ao aumento da quantidade de ração que foi dada aos animais nesse período.

Na piscicultura intensiva, a principal fonte de compostos nitrogenados incorporados à água é a alimentação. No início das criações, quando a biomassa é ainda pequena, observam-se baixos níveis de amônia – compostos resultantes do catabolismo das proteínas, que aumentam proporcionalmente ao aumento da quantidade de alimento fornecido e da biomassa (HURVITZ et al.<sup>1</sup>, 1997 *apud* CAVERO et al., 2004). Na criação de peixes carnívoros, essa situação pode ser agravada pelos elevados níveis de proteína das rações. Dessa forma, quanto mais ração, mais excretas e, conseqüentemente, maior será a quantidade de amônia.

---

<sup>1</sup> HURVITZ et al. (1997)

Aliado a isso notou-se um acúmulo de massa bacteriana no decantador de fluxo radial, fazendo com que os resíduos ficassem aderidos no mesmo, aumentando o processo de decomposição, gerando mais amônia para o sistema e consumindo mais oxigênio. Devido a esse aumento optou-se por cessar o arraçamento até que os níveis de amônia se estabelecessem dentro de uma faixa não prejudicial novamente. Uma possível solução para esse problema seria a realização diária de uma limpeza na parede do decantador de fluxo radial para não deixar que essas partículas se acumulem no mesmo, causando alterações nos parâmetros de qualidade de água.

Os níveis de nitrito permaneceram em 0 ppm, não prejudicando a saúde dos peixes. Já os níveis de nitrato sofreram uma grande alteração, principalmente nas últimas três medições, no entanto, o acúmulo do mesmo é natural em um sistema aquapônico (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006), sendo este pouco tóxico para os peixes, a não ser que atinja níveis muito elevados – acima de 1000 mg/L (TIMMONS et al., 2002).

Apesar de não ser sua função, o decantador de fluxo radial pode acabar desempenhando um papel muito interessante no sistema. O mesmo pode auxiliar na qualidade dos parâmetros biológicos e físico-químicos da água do sistema. Ao se retirar uma porção considerável dos SS e uma fração dos SST, o decantador reduz a quantidade dessas partículas que estariam livres no sistema, as quais podem ocasionar problemas tanto no *sump* como na bancada hidropônica. No *sump*, essas partículas poderiam atrapalhar a colonização das bactérias no MBBR uma vez que acabariam ocupando o espaço interno da mídia. Além disso, essas partículas livres no *sump* podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, levando a possível problema na saúde do sistema e conseqüentemente dos peixes e plantas. Soma-se a isso, problemas de entupimento de tubulações bem como no bombeamento de água para o restante do sistema. Já na bancada hidropônica, esse material é facilmente acumulado no substrato, o qual possui uma alta superfície de contato, afetando a distribuição correta das nutrientes. Pontos de anaerobiose serão formados, uma vez que não há espaço suficiente para o ar entrar no substrato, levando ao apodrecimento e possível geração de doenças nas raízes das plantas.

Por fim, analisando os valores dos macro e micro nutrientes, podemos notar um aumento no Cálcio (Ca) e no Potássio (K) devido a adição das soluções contendo esses compostos para o controle do pH e da dureza da água do sistema. Outra adição direta que causou elevação da quantidade do composto é o ferro (Fe), no entanto esse foi sendo consumido pelas plantas ao longo dos dias para o crescimento das mesmas. Danaher et al. (2013), reportou comportamento semelhante dos elementos Ca, K e Fe, uma vez que foram

adicionados constantemente na aquaponia para suplementar a deficiência dos mesmos na ração bem como controle do pH no caso do Ca e do K.

Quanto aos outros minerais (Mn, Cu, Zn e B), foi observado que podem variar de acordo com a quantidade presente em cada tipo de ração, são minerais utilizados tanto para o crescimento dos peixes, quanto para o crescimento das plantas e, dessa forma, suas quantidades no sistema serão próximas a esses valores em sistemas aquapônicos de águas quentes (DANAHER; SHULTZ; RAKOCY, 2011; DANAHER et al. 2013; RAKOCY, 1997; RAKOCY et al. 2003).

### 5.3 REMOÇÃO DE SST NO DECANTADOR DE FLUXO RADIAL

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos a partir da análise da filtração das amostras de água retiradas do tanque de cultivo dos peixes e da saída do decantador de fluxo radial. É importante ressaltar que esse valores, são valores pontuais, e expressam, os valores de entrada e saída de SST instantâneos, não devendo-se extrapolar seus valores para se calcular a média encontrada ao longo do dia ou período de avaliação. Observa-se na Tabela 5, tanto para a eficiência de remoção de SST no decantador quanto para a concentração de SST na entrada no decantador, valores negativos. Devido a falta de equipamentos corretos, a metodologia de análise de SST foi modificada, promovendo uma série de erros dos quais três merecem maior destaque. O primeiro, foi relacionado ao manuseio e preservação da amostra. O *National Institute of Technical Teachers Training and Research (NITTTRC)*, desenvolveu um manual de experimentação para se determinar os SST em águas, sendo estabelecido uma série de metodologias e boas práticas a serem realizadas as análises. O manual cita que, tanto a característica quanto a quantidade de sólidos podem ser alteradas, caso a amostra demore para ser analisada ou ainda seja congelada. No presente estudo, quase a totalidade das amostras foram congeladas devido a dificuldade na obtenção do material para se realizar as análises. Todas as amostras que foram congeladas, apresentaram uma dificuldade considerável no momento da filtração a vácuo, através do filtro de fibra de vidro de 1  $\mu\text{m}$ . Nesses casos, foram necessários entre 2 e 4 filtros para concluir a filtração de 1 L da amostra, ao invés de um único filtro quando a amostra foi processada na hora.

O segundo erro, ainda relativo a metodologia, foi relacionado ao recipiente utilizado para a secagem do filtro. No presente estudo, novamente devido a falta de recursos, foram utilizadas placas de Petri ao invés de cadinhos, os quais são comumente utilizados nas

metodologias mundo a fora. Uma vez secos, os papéis de filtro acabavam grudando consideravelmente no fundo da placa de Petri, falseando a pesagem dos mesmos (Figura 10). A pesagem prévia da placa de Petri e posteriormente, do conjunto placa + filtro, solucionaria esse problema.

O terceiro, foi relacionado a pesagem dos filtros de fibra de vidro de 1  $\mu\text{m}$ , antes de serem utilizados na filtração. Ao se pesar 10 filtros em uma balança analítica de precisão, verificou-se que seu peso variava entre 0,1180 g e 0,1189 g. Sendo assim, optou-se por utilizar o valor médio de 0,1187 g. Porém, ao se iniciar a pesagem dos filtros já secos, após a filtragem, verificou-se que a variação de peso estava justamente na quarta casa decimal da grama, onde foi feita a aproximação do peso médio do filtro.

Portanto, somando-se esses 3 erros, verificou-se uma série de valores negativos na concentração de SST na entrada do decantador quanto na concentração de SST na saída do decantador, resultando, em muitos casos, em uma eficiência de remoção de SST para o decantador de fluxo radial acima de 100% ou menor que 0%. Davidson e Summerfelt (2005), compararam a eficácia de um decantador de fluxo radial e um separador com fluxo em vórtex, na remoção de sólidos em uma aquicultura de recirculação intensiva (ARI) de água gelada. Para o decantador de fluxo radial, a eficiência na remoção de SST foi de 77,9 %. Ao se avaliar a remoção de sólidos em uma ARI cultivando-se salmão, Couturier, Buil e Conroy (2009) encontrou uma eficiência de remoção de SST para o decantador de fluxo radial de 63%.

Danaher, Shultz e Rakocy (2011) avaliou o efeito na qualidade da água, ao se comparar um filtro parabólico com um decantador de fluxo radial, em uma aquaponia (sistemas de bandejas flutuantes), utilizando-se tilápia e espinafre d'água. Ao aplicar uma taxa de alimentação de 70 g / m<sup>2</sup> de bancada hidropônica / dia, a qual se aproxima bastante da utilizada no presente estudo (74,4 g / m<sup>2</sup> de bancada hidropônica / dia), obteve-se uma eficiência de remoção de SST para o decantador de 31 %. Em um estudo mais recente, Danaher et al. (2013) comparou a eficiência na remoção de sólidos na aquaponia (sistemas de bandejas flutuantes), utilizando-se tilápia e espinafre d'água, entre um decantador de fluxo radial e um separador em vortex. Ao utilizar-se da uma taxa de arraçoamento de 103 g / m<sup>2</sup> de bancada hidropônica / dia (no presente estudo utilizou-se uma taxa média de 74,4 g / m<sup>2</sup> de bancada hidropônica / dia), Danaher et al. (2013) obteve uma eficiência para decantador de fluxo radial na remoção de SST de 58 %.

Utilizando-se dois tipos de ração diferentes (uma tradicional, com farinha de peixe e outra baseada em grãos, livre de farinha de peixe), Davidson et al. (2013) avaliou o impacto

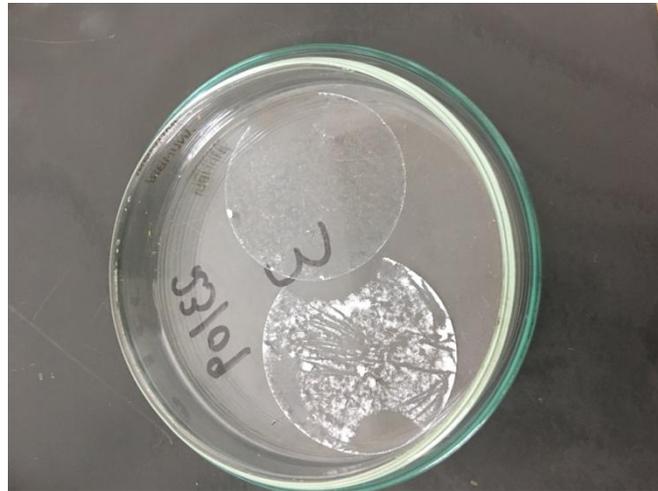
das mesmas na qualidade da água e na produção de resíduos, em uma ARI com trutas arco íris. Ao utilizar-se de um filtro rotativo, instalado antes do decantador de fluxo radial, a eficiência do mesmo foi reduzida drasticamente já que o filtro rotativo reteve quase que a totalidade dos SST (DAVIDSON et al., 2013). Assim, para a dieta livre de farinha de peixe a eficiência de remoção de SST no decantador de fluxo radial foi de 36%, e para a dieta baseada na farinha de peixe a eficiência de remoção caiu para 15%. Em um estudo mais recente, Davidson et al. (2016), realizou um estudo muito similar ao apresentado em 2013, modificando-se a espécie de peixe utilizada, substituindo a truta arco íris pelo salmão do atlântico, bem como a dieta apropriada para a mesma. Logo, para a dieta sem de farinha de peixe a eficiência de remoção de SST no decantador de fluxo radial foi de 60%, e para a dieta baseada na farinha de peixe a eficiência de remoção foi de 40%. Davidson et al. (2016), atribuiu esse aumento na eficiência de remoção de SST na unidade de decantação devido a modificação na composição da ração, a qual continha uma quantidade considerável de proteína de soja, a qual fez com que as fezes dos salmonídeos se tornassem menos estáveis, aumentando a quantidade de material particulado fino devido a desintegração do material fecal.

*Tabela 5: Eficiência de remoção de SST (%) e entrada de SST no decantador (mg/L), por dia de coleta*

<b>Dia</b>	<b>Eficiência de remoção SST (%)</b>	<b>Entrada de SST no decantador (mg/L)</b>
22/09/17	11,4	10,2
23/09/17	104,3	7,5
25/09/17	63,8	19,5
26/09/17	42,1	11,4
27/09/17	-189,5	1,2
28/09/17	-41,9	12,9
29/09/17	-36,7	0,5
02/10/17	-94,1	1,1
03/10/17	18,2	-2,2
04/10/17	-35,3	-1,7
05/10/17	-114,3	-0,7
06/10/17	-63,6	-1,1

*Fonte: Próprio Autor*

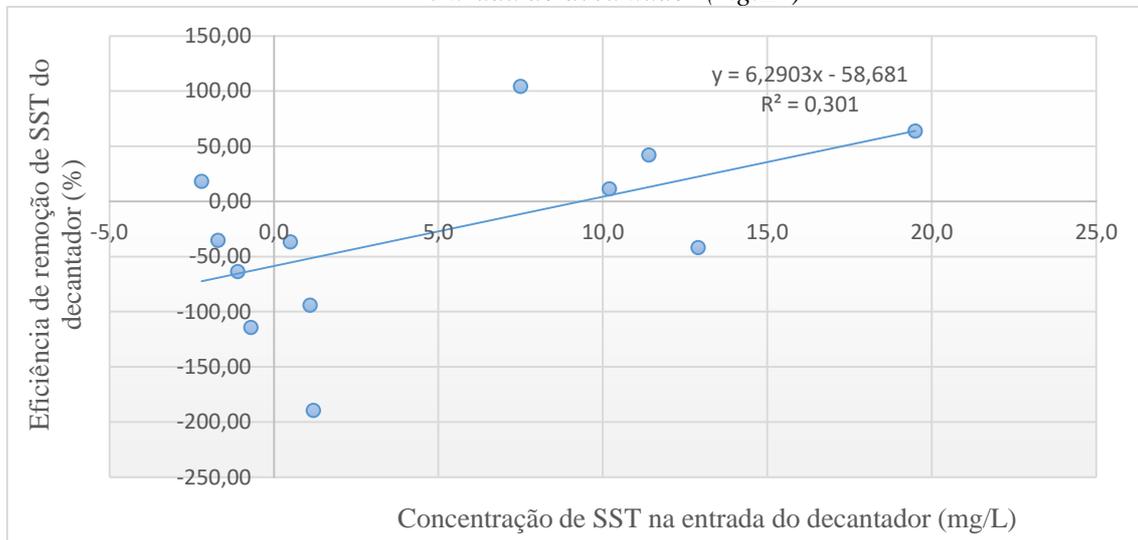
*Figura 9: Filtro de fibra de vidro aderido ao fundo da placa de Petri após secagem térmica*



*Fonte: Próprio Autor*

A Figura 11 ilustra a relação entre a concentração de SST na entrada do decantador (mg/L) com a eficiência de remoção de SST no decantador (%). Como discutido anteriormente, ocorreram muitos erros ao longo do presente estudo, levando a uma série de valores negativos no gráfico. Pode-se inferir do gráfico que ao se aumentar a concentração de SST no decantador, sua eficiência de remoção sobe também. Davidson e Summerfelt (2005), estudaram a remoção de sólidos em uma ARI de água geladas, comparando-se a eficiência de um decantador de fluxo radial e um separador de fluxo vórtex, e encontraram um coeficiente de inclinação da reta muito semelhante ao encontrado no presente estudo, a partir da construção deste mesmo gráfico. Sendo assim, apesar de todos os erros intrínsecos, foi possível estabelecer algum tipo de relação entre os dois parâmetros. Para se obter uma dispersão mais realista, sugere-se a correção de todos os erros mencionados acima, atentando-se sempre as normas e protocolos pré-estabelecidos pela literatura.

Figura 10: Gráfico da eficiência de remoção de SST no decantador (%) x concentração de SST na entrada do decantador ( $\text{mg.L}^{-1}$ )



Fonte: Próprio Autor

#### 5.4 REMOÇÃO DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (SS) NO DECANTADOR DE FLUXO RADIAL

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos a partir da análise das amostras retiradas do dreno localizado no fundo do decantador de fluxo radial. Durante os primeiros cinco dias, observa-se um aumento no volume de lodo produzido de acordo com o aumento gradual da ração ministrada. Isso se deve ao aumento da ingestão de alimento, a qual por sua vez faz que os lambaris defequem em maior quantidade, refletindo diretamente no aumento do volume diário de lodo produzido. Entre os dias 28/09/17 e 03/10/17, observou-se uma irregularidade na relação ração ofertada e lodo produzido. No dia 02/10/17, ao se levantar a tampa protetora do decantador de fluxo radial, observou-se a formação de uma considerável massa bacteriana aderida ao cano de entrada de água (Figura 12). Foi possível identificar partículas sólidas retidas na massa bacteriana, a qual contribuía para a variação no volume de lodo produzido.

No dia 03/10/17, devido ao baixo volume de sólidos coletado, foi feito um revolvimento do fundo do decantador de fluxo radial, no período da tarde, na tentativa de desprender qualquer material que estivesse ficando retido na proção inferior do mesmo. No dia 04/10/17, ao se coletar a amostra, uma grande quantidade de sólidos foi descarregada, evidenciando que os sólidos estavam ficando retidos no fundo do decantador. Davidson e

Summerfelt (2005), relataram em seu estudo com decantador de fluxo radial, que é aconselhável a drenagem completa e limpeza da unidade de decantação uma vez por semana, justamente para se evitar erros na amostragem de sólidos, como verificado no presente estudo. Uma vez que a observação experimental estava se aproximando do fim, não foi realizado qualquer tipo de drenagem e limpeza do decantador de fluxo radial. Apenas realizou-se o revolvimento do fundo do mesmo no último dia de amostragem para se obter uma amostra mais fidedigna do período estudado. Como observado na Tabela 6, os dias em que foram realizados o revolvimento do fundo do decantador, resultaram nos maiores volumes de sólidos medidos no Cone de Imhoff (245 mL/L e 410 mL/L). Para uma maior precisão na relação ração ofertada diária e quantidade de lodo gerada, sugere-se que o revolvimento do fundo do decantador seja realizado diariamente, sempre antes da coleta da amostra, aguardando-se, no mínimo, o tempo de detenção hidráulica (TDH) da unidade de sedimentação, sendo mais recomendado a espera de duas vezes o TDH para decantação das partículas revolvidas.

*Tabela 6: Volume e matéria seca encontrada no lodo aquapônico*

<b>Dia de coleta</b>	<b>Volume de sólidos (ml/L)</b>	<b>Matéria seca nos sólidos (g)</b>	<b>Ração ofertada (g/dia)</b>
21/09/17	-	-	53
22/09/17	6	0,0114	89
23/09/17	40	2,37	32
25/09/17	62	3,91	133
26/09/17	115	9,23	132
27/09/17	130	7,67	81
28/09/17	45	4,76	46
29/09/17	100	9,29	0
02/10/17	34	1,59	30
03/10/17	7,5	0,31	44
04/10/17	245	10,02	59
05/10/17	14	0,57	118
06/10/17	410	17,65	-
<b>Total</b>	<b>1208,5</b>	<b>67,4</b>	<b>817</b>

*Fonte: Próprio autor*

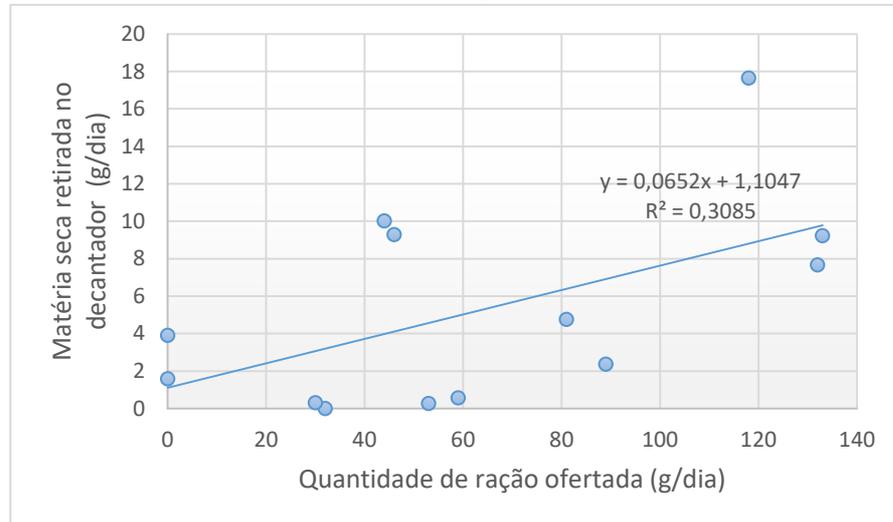
*Figura 11: Formação de massa bacteriana na entrada de água do decantador de fluxo radial*



*Fonte: Próprio Autor*

Com o intuito de deixar a relação produção de lodo – ração ofertada mais palpável, elaborou-se a Figura 13, a qual ilustra correlação da matéria seca retida no decantador de fluxo radial com a quantidade de ração ofertada diariamente. De acordo com a Figura 13, quanto maior a quantidade de ração ofertada, maior será a produção de matéria seca no lodo residual do decantador de fluxo radial. A partir da equação gerada pela linha de tendência do gráfico, pode-se inferir que a cada 100 g de ração (base úmida) ministrada para os lambaris do rabo amarelo, é possível obter 7,6 g de lodo aquapônico (base seca). Como já mencionado anteriormente, ocorreram erros na medição diária de lodo gerado, que se propagaram para a obtenção da relação direta entre ração ofertada por dia e lodo gerado diário.

Figura 12: Matéria seca retirada no decantador (g/dia) de acordo com a quantidade de ração ofertada (g/dia)



Fonte: Próprio Autor

Para obter-se o valor do percentual final de sólidos no lodo aquapônico, utilizou-se os dados apresentados na Tabela 7 para fins de cálculo. No total, foram ministrados 817 gramas de ração durante o período de 14 dias de acompanhamento. A ração utilizada no presente estudo, segundo o fabricante, é composta por 90 % de matéria seca. Sendo assim, foram ofertados 735 gramas de matéria seca aos lambaris. Ao longo do estudo, foram coletados 67,4 gramas de matéria seca no lodo, através da secagem térmica em estufa dos mesmos. Logo, dividindo-se o total de matéria seca ofertada aos lambaris, pela matéria seca total retirada do decantador de fluxo radial, obteve-se um percentual de 9,2% de sólidos no lodo aquapônico, ou seja, para cada 1 kg de ração ofertada (base seca), é possível produzir 92 g de matéria seca no lodo aquapônico. Portanto, ao utilizar-se a totalidade da ração ofertada aos lambaris ao invés da porção ofertada diariamente, foi possível reduzir o erro encontrado, encontrando um percentual final de sólidos no lodo aquapônico mais realista.

*Tabela 7: Relação entre ração ofertada e matéria seca no lodo aquapônico*

<b>Ração ofertada entre os dias 21/09/17 e 05/10/17 (g)</b>	817
<b>Matéria seca presente na ração ofertada entre os dias 21/09/17 e 05/10/17 (g)</b>	735
<b>Matéria seca presente nos sólidos (g)</b>	67,4
<b>Percentual final de sólidos no lodo seco (%)</b>	9,2

*Fonte: Próprio autor*

Twarowska, Westerman e Losordo (1997), relataram que separadores de sólidos utilizados em SAR para produção de peixes, como o decantador de fluxo radial, tem a capacidade de produzir um lodo com pouco volume, grande concentração de nutrientes e que contenha um teor de sólidos entre 4 % e 12%. Estudos mais recentes, apontam para valores muito similares ao encontrado no presente estudo. Sharrer et al. (2010) avaliaram a rentabilidade das tecnologias de espessamento de sólidos para retrolavagens em filtros bem como na recuperação de nutrientes em SAR. O conteúdo final de sólidos, com base na matéria seca, obtido no decantador de fluxo radial foi de 9,0%. Danaher et al. (2013), compararam a eficiência na remoção de sólidos da aquaponia (bandejas flutuantes), utilizando-se tilápia e espinafre d'água, entre um decantador de fluxo radial e um separador em vortex. O percentual final de sólidos obtidos no decantador de fluxo radial, com base na matéria seca, foi também de 9,0%. Shumman, Unger e Brinker (2017), avaliou um SAR em escala comercial para produção de trutas arco íris e relatou um percentual final de sólidos obtidos no decantador de fluxo radial, com base na matéria seca, de 10%.

#### **5.4.1 ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO**

Atualmente, há várias alternativas disponíveis para tratamento de resíduos de sistemas de aquicultura de recirculação (SAR) de água doce. Nos locais onde a disponibilidade e o custo da terra são menos restritos, estas instalações podem se basear no tratamento por meios de lagoas de estabilização e wetlands. Alternativamente, as estações de tratamento,

principalmente as utilizadas para tratamento de resíduos domésticos e industriais, com tratamento primário, secundário e terciário passos, também podem ser usados para tratar o efluente proveniente do SAR. Contudo, tratar lodo de aquicultura nestes últimos sistemas, parece ser um desperdício uma vez que as concentrações de componentes tóxicos e outros fatores que ameaçam a saúde no lodo da aquicultura, são baixas em comparação com as que estão em lodo de origem doméstica e industrial.

Como tal, o uso do lodo proveniente da aquicultura como adubo, para aplicação direta de terras (BERGHEIM; KRISTANSEN; KELLY, 1993; YEO; BINKOWSKI; MORRIS, 2004) ou seu uso para a produção de composto, através da compostagem (ADLER; SIKORA, 2004; DANAHER et al., 2011), parece ser uma alternativa mais sustentável e também economicamente viável. A compostagem pode exigir o ajuste da relação C / N e uma diminuição do teor de água do lodo, pela adição de um agente de volume carbonáceo, a fim de fornecer uma excelente condição aeróbia de decomposição (ADLER; SIKORA, 2004), ou ainda pela utilização de centrifugação mecânica, ou prensa hidráulica, para adensamento do mesmo (VAN HAANDEL; ALEM SOBRINHO, 2006). Como o lodo, a fração líquida dos efluentes do SAR, também pode ser usada para irrigação de culturas agrícolas. Enquanto a produção de composto é independente do local, o uso de resíduos sólidos e líquidos para fins fertilizantes depende da localização. A ausência de uma logística de aplicação na proximidade do SAR, pode inviabilizar esta última forma de disposição (YEO; BINKOWSKI; MORRIS, 2004).

## **5.5 PRODUTIVIDADE DA ALFACE**

As Figuras 14 e 15 apresentam a evolução da alface durante e após a coleta de dados apresentada no presente estudo.

Figura 13: Foto 1 (19/09/17), Foto 2 (28/09/17), Foto 3 (02/10/17), Foto 4 (06/10/17)



Fonte: Próprio Autor

Figura 14: Foto 5 (12/10/17) , Foto 6 (16/10/17)



Fonte: Próprio autor

Em 18 de outubro, o peso médio das alfaces foi de  $186 \pm 33$  g (média e desvio padrão). A produção total (comercializável) foi de 4470 g, os resíduos aéreos foram de 348 g e os resíduos dos caules e das raízes foram de 755 g. Nesse caso, os resíduos representaram 19 % do peso total produzido. Devido a irregularidade na distribuição da água na bancada hidropônica, a qual possuía apenas uma entrada e uma saída, bem como a alta densidade de plantas por  $m^2$ , as alfaces apresentaram uma variação grande no tamanho. O menor exemplar apresentou um peso de 130 g, enquanto o maior um peso de 246 g. Os maiores alfaces se encontraram próximo entrada de água na bancada hidropônica, ou seja, no local onde os nutrientes estavam em maior quantidade pois ainda não haviam sido consumidos pelas outras alfaces.

Em 24 de outubro, o peso médio das alfaces foi de  $302 \pm 64$  g (média e desvio padrão). A produção total (comercializável) foi de 7558 g, os resíduos aéreos foram de 786 g e os resíduos dos caules e das raízes foram de 1100 g. Nesse caso, os resíduos representaram 20 % do peso total produzido. O menor exemplar apresentou um peso de 198 g, enquanto o maior um peso de 430 g. Após a colheita das 25 alfaces no dia 18 de outubro, as 25 restantes ganharam um espaço considerável para se desenvolverem, fato que é comprovado pelo alto ganho de peso em apenas uma semana. Mantendo-se a lógica explicitada acima, os maiores alfaces se encontraram próximo entrada de água na bancada hidropônica.

O peso total final produzido, incluindo-se os resíduos, foi de 15 kg, sendo que 12 kg poderiam ser comercializados sem problema algum após 36 dias de cultivo. Vale ressaltar que apesar do calor excessivo para qualquer que seja o tipo de hortaliça, a alface não apresentou rigidez nas suas folhas, bem como não apresentou qualquer alteração palatável no seu gosto.



## 6. CONCLUSÃO

A aquaponia, apesar de ainda ser uma novidade, vem sendo adotada em muitos países por um número crescente de pessoas que buscam alternativas para produzir seus próprios alimentos de maneira mais saudável e por acreditarem estar assim contribuindo com a sustentabilidade do planeta, já que a mesma é muito menos agressiva para o meio ambiente que a piscicultura e a agricultura tradicionais. Apesar da aquaponia ser uma técnica pouco utilizada no Brasil, há fortes indícios de que esse quadro possa ser revertido em um curto prazo de tempo. Embora ainda pequeno, é crescente o número de brasileiros que vêm montando pequenos sistemas de aquaponia residenciais e comerciais. Junto a esse interesse popular, nos últimos anos vários pesquisadores e universidades vêm realizando seus ensaios experimentais, mostrando interesse crescente sobre o tema.

O presente estudo ilustrou a importância de um sistema de retirada de sólidos em uma aquaponia. A partir da implantação e acompanhamento de um decantador de fluxo radial, foi possível observar que a utilização do mesmo favoreceu a manutenção dos parâmetros de qualidade de água em um nível adequado. Também contribuiu de forma intensa para a manutenção da bancada hidropônica, diminuindo assim, tanto as manutenções periódicas como a probabilidade de entupimento da mesma, levando a um aumento da longevidade do sistema. Apesar de não ter sido um dos objetivos do presente estudo, a captura de sólidos proporcionou a geração de um subproduto (biosólido) rico em nutrientes e com alto potencial de utilização na agricultura, como descrito na literatura. Para futuros estudos, destaca-se a importância de se realizar uma limpeza diária no decantador do fluxo radial, bem como importância de se seguir fielmente a metodologia pré-estabelecida para a análise de água desejada, a fim de se evitar as adversidades encontradas no presente estudo.



## REFERÊNCIAS

- ABREU, S.P.M. **Sistema aquapônico**. Dossiê técnico. Serviço brasileiro de respostas técnicas. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico. CDT/UnB. 2012. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY4NA==2012>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017
- ADLER, P.R.; SIKORA, R.J. Composting fish manure from aquaculture operations. **BioCycle**, v.45, p.62–66, Nov. 2004.
- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; BELTAG, M.S. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.39, n.4, p.510–520, Aug. 2008.
- ALVES DE OLIVEIRA, R.C. **Monitoramento de fatores físico químicos de represas utilizadas para criação de Colossoma macropomum no Município de Carlinda, Mato Grosso**. 2001. 65p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, 2001.
- BERGHEIM, A.; KRISTANSEN, R.; KELLY, L., 1993. Treatment and utilization of sludge from land based farms for salmon. In: WANG, J.K. (Ed.). **Techniques for modern aquaculture**. St.Joseph: American Society for Agricultural Engineers, 2001. p.486–495.
- BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água**. 2000. 41p. Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo, 2000.
- BRAZ, M.; et al., **Agroindústria de processados**. São Roque, SP, 2010. DIVER, S. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service, p. 1-27, Washington, EUA. 2006.
- \_\_\_\_\_. Aquaponia: alternativa para sustentabilidade na aquicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 24., Vitória, 2014. **Anais...** Vitória: UFES, 2014.
- BUHMANN, A.; PAPENBROCK, J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: basic principles, current uses and future perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v.92, p.122-133, Aug. 2013.
- CARNEIRO, P. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Paulo César Falanghe Carneiro... [et. al.].- Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.
- COLT, J.E.; TOMASSO, J.R. Hatchery water supply and treatment. In: WEDEMEYER, G. (Ed.). **Fish Hatchery Management**. 2<sup>nd</sup>ed. Bethesda: American Fisheries Society, 2002.
- COMETTI, N.N. **Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica – sistema NFT**. 2003. 128p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 013: Sólidos: método de ensaio – revisão 1.** São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts013.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2017.

COUTURIER, M., TROFIMENCOFF, T., BUIL, J.U., CONROY, J., 2009. **Solids removal at a recirculating salmon-smolt farm.** *Aquacultural Engineering* 41 (3), 71–77.

DANAHER, J.J.; SHULTZ, R.C.; RAKOCY, J.E. Evaluation of two textiles with or without polymer addition for dewatering effluent from an intensive biofloc production system. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.42, n.1, p.66–72, Feb. 2011.

DANAHER, J.J. et al. Effect of a parabolic screen filter on water quality and production of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) in a recirculating raft aquaponic system. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v.12, p.35–53, 2011.

\_\_\_\_\_. Alternative solids removal for warm water recirculating raft aquaponic systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n.3, p.374-383, June 2013.

DAVIDSON, J.; SUMMERFELT, S.T. Solids removal from a coldwater recirculating system – comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. **Aquacultural Engineering**, v.33, n.1, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.11.002>.

DAVIDSON, J., GOOD, C., BARROWS, F. T., WELSH, C., KENNEY, B., SUMMERFELT, S., 2013. Comparing the effects of feeding a grain – or a fish meal based diet on water quality, waste production, and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance within low Exchange water recirculating aquaculture systems. **Aquaculture Engineering**. 52, 45-57.

DAVIDSON, J., 2016. Effects of feeding a fishmeal-free versus a fishmeal-based diet on post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* performance, water quality, and waste production in recirculation aquaculture systems. **Aquaculture engineering**. 78, 38 – 51.

ENDUT, A. et al. A Study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. **Bioresource Technology**, v.101, v.5, p.1511-1517, Mar. 2010.

EVANS, D.H.; PIERMARINI, M.P.; CHOE, K.P. The Multifunctional fish gill: dominant site of gas exchange, osmoregulation, acid-base regulation, and excretion of nitrogenous waste. **Physiological Reviews**, v.85, n.1, p.97-177, Mar. 2005.

FISH Farming in high-rise world. BBC News US & Canada, 30m Apr. 2012. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/av/world-us-canada-17861710/fish-farming-in-a-high-rise-world>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

FORSBERG, O.I. The Impact of varying feeding regimes on oxygen consumption and excretion of carbon dioxide and nitrogen in post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar* L. **Aquaculture Research**, v.28, n.1, p.29–41, Jan. 1997.

FRANCIS-FLOYD, R. et al. **Ammonia in aquatic systems**. Florida: University of Florida IFAS Extension, 2009. (Publication #FA16). Disponível em:<<http://edis.ifas.ufl.edu/FA031>>. Acesso em: 12 de setembro de 2017

GASTALDINI, M.C.C.; MENDONÇA, A.S.F. Conceitos para avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Org.). **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.420–430.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, v.246, n.1/3, p.147-156, Sept. 2009.

HUNDLEY, G.M.C.; NAVARRO, R.D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.3, n.1, p.52-61, dez. 2013.

JONES, D.R. The Effect of hypoxia and anemia on the swimming performance of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). **Journal of Experimental Biology**, v.55, n.2, p.541-551, Oct. 1971.

KATO, M.T. **Alcalinidade**: curso qualidade da água, do ar e do solo. São Caetano do Sul, Escola de Engenharia Mauá, 1983. Notas de aula.

LENNARD, W.A.; LEONARD, B.V. A Comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. **Aquaculture International**, v.12, n.6, p.539-553, Nov. 2004.

\_\_\_\_\_. A Comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. **Aquaculture International**, v.14, n.6, p.539-550, Dec. 2006.

LOPES, T. **As Chinampas astecas**. 2012. Disponível em:<<http://conscientesustentavel.blogspot.com.br/2012/12/as-chinampas-astecas.html>>. Acesso em: 15 set. 2017.

LOSORDO, T.M.; WESTERMAN, P.W. An Analysis of biological, economic, and engineering factors affecting the cost of fish production in recirculating aquaculture systems. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.25, n.2, p.193-203, June 2007.

MACINTRYE, M.C. et al. The Influences of water quality on the welfare of farmed rainbow trout: a review. In: BRANSON, E.J. (Ed.). **Fish Welfare**. Oxford: Blackwell, 2008. p.150–178.

MALLASEN, M.; BARROS, H.P.; YAMASHITA, E.Y. Produção de peixes em tanques-rede e a qualidade da água. **Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v.1, n.1, p.47-51, jun. 2008.

MCMURTRY, M.R.; NELSON, P.V.; SANDERS, D.C. Aqua-vegeticulture systems. **International Ag-Sieve**, v.1, n.3, 1988. Disponível em:<<http://www.fadr.msu.ru/rodale/agsieve/txt/vol1/3/art7.html>>. Acesso em: 12 de outubro de 2017.

MERCANTE, C.T.J. et al. Water quality in fee-fishing ponds located in the metropolitan region of São Paulo city, Brazil: an analysis of the eutrophication process. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.16, n.1, p.95-102, 2004.

NELSON, R.L. Ten aquaponic systems around the world. **Aquaponics Journal**, v.46, p.8-12, 2007.

OLIVEIRA, C.S. et al. **Recomendações técnicas para o cultivo de peixe no Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: EMPAER, 1995.

PERSON-LE RUYET, J. et al. Combined effects of water quality and stocking density on welfare and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). **Aquatic Living Resources**, v.21, n.2, p.185–195, Apr./June 2008.

RAKOCY, J.E. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. In: COSTA-PIERCE, B.A.; RAKOCY, J.E. (Ed.). **Tilapia aquaculture in the Americas**. Baton Rouge: World Aquaculture Society, 1997. p.163-184.

RAKOCY, J.E.; LOSORDO, T.M.; MASSER, M.P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics - integrating fish and plant culture**. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center, 2006. (Publications n<sup>o</sup>. 454).

RAKOCY, J.E. et al. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. **ISHS Acta Horticulturae**, n.648, p.63–69, 2004.

RANDALL, D.J.; TSUI, T.K.N. Ammonia toxicity in fish. **Marine Pollution Bulletin**, v.45, n.1/12, p.17-23, 2002.

RODRIGUES, P.T. **Manual de qualidade da água para aquicultura: piscicultura**. Florianópolis, 2013. Disponível em: <<http://cpamt.sede.embrapa.br/biblioteca/capacitacao-continuada-de-tecnicos-da-cadeia-produtiva-dapiscicultura/modulo-2/Manual-Qualidade-Agua-Aquicultura.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

ROOSTA, H.R.; MOHSENIAN, Y. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. **Scientia Horticulturae**, v.146, p.182-191, Oct. 2012.

SÁ, M.V.C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: UFC, 2012.

SANNI, S.; FORSBERG, O.I. Modelling pH and carbon dioxide in single-pass seawater aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v.15, n.2, p.91-110, 1986.

SANTOS, K.; SANTOS, H.; MIRANDA, C. Aquicultura em sistema fechado e controlado - integração biodigestor/aquaponia - produção sustentável de peixes, hortaliças e bioenergia. In: CONBRAVA – congresso sobre refrigeração, ar condicionado, ventilação, aquecimento e tratamento do ar, 13., São Paulo, 2013. **Anais...** São Paulo: ABRVA, 2013.

SAVIDOV, N. **Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta**. 2004. (Ids Initiatives Fund Final Report). Disponível

em:<<http://www.dfo-mpo.gc.ca/science/enviro/aquaculture/acrdp-pcrda/projects/reports-rapports/ca/CA-04-01-001.pdf>>. Acesso em: dia 12 de outubro de 2017.

SCHUMMAN, M.; UNGER, J.; BRINKER, A. Floating faeces: effects on solid removal and particle size distribution in RAS. **Aquaculture Engineering**, v.78, pt.A, p.75- 84, Aug. 2017.

SHARRER, M. et al. The Cost and effectiveness of solids thickening technologies for treating backwash and recovering nutrients from intensive aquaculture systems.

**Bioresource Technologies**, v.101, n.17, p.6630-6641, Sept. 2010.

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

THURSTON, R.V.; RUSSO, R.; SMITH, C.E. Acute toxicity of ammonia and nitrite to cutthroat Trout fry. **Transactions of the American Fisheries Society**, v.107, n.2, p.361-368, 1978.

TIMMONS, M.B. et al. **Recirculating aquaculture systems**. 2<sup>nd</sup>ed. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2002. (NRAC Publication N<sup>o</sup>.01-002).

TOKUYAMA, T. et al. Nitrosomonas communis strain YNSRA, an ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in an aquaponics plant. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.98, n.4, p.309-312, 2004.

TWAROWSKA, J.G.; WESTERMAN, P.W.; LOSORDO, T.M. Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. **Aquacultural Engineering**, v.16, n.3, p.133-147, May 1997.

TYSON, R.V.; TREADWELL, D.D.; SIMONNE, E.H. Opportunities and challenges to sustainability. **HortTechnology**, v.21, n.1, p.6-13, Feb. 2011.

TYSON, R.V. et al. Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. **HortScience**, v.43, p.719-724, June 2008.

VAN HAANDEL, A.C.; ALEM SOBRINHO, P. Produção, composição e constituição do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. (Coord.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap.2, p.7-28.

VAN OS, E.; GIELING, T.H.; LIETH, H.J. Technical equipment in soilless production systems. In: RAVIV, M.; LIETH, H.J. (Ed.). **Soilless culture: theory and practice**. Amsterdam: Elsevier, 2008. p.157-207.

VAN RIJN, J. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v.53, p.49-56, Mar. 2013.

VON SPERLING, E. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: ABES, 1996. v.3.

WEDEMEYER, G.A. **Physiology of fish in intensive culture systems**. New York: Chapman & Hall, 1996.

YEO, S.E.; BINKOWSKI, F.P.; MORRIS, J.E. **Aquaculture effluents and waste by-products characteristics, potential recovery, and beneficial reuse**. Iowa: NCRAC Publications Office; North Central Regional Aquaculture Center; Iowa State University, 2004. (NCRAC Technical Bulletins, 8-2004).



## ANEXO I

### **Teste de pH e High Range pH**

- 1) Encher o tubo de ensaio, previamente limpo, com 5 mL da água a ser analisada (Encher o tubo até a linha indicada no mesmo).
- 2) Adicionar 3 gotas da Solução do Teste de pH ou pH High Range, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de teste, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.
- 3) Fechar o tubo de ensaio, invertendo-o de **forma uniforme e constante** por 20 segundos, para misturar a solução.
- 4) Espere 3 minutos para a solução atingir sua coloração final.
- 5) Interprete o resultado do teste através da comparação da cor da solução com a Tabela de Cores de pH, disponibilizada pelo fabricante. O tubo de ensaio deve ser visto em um local com boa iluminação, de preferencia artificial, para que não haja variações na intensidade da luminosidade. Coloque o tubo na área branca da Tabela de Cores, próxima a escala de cores do pH. Escolha a coloração que mais se aproxima do tudo de teste, a qual indicará o pH na amostra de água. Lembrar de lavar o tudo de teste após utilização.

**OBS:** Quando não se tem ideia do pH da amostra a ser testada, realize o teste de pH normal primeiramente. Caso, a coloração final da amostra se aproxime muito da coloração máxima da escala de pH, realize em seguida, o teste High Range do pH para se obter um valor mais aproximado do real.

### **Teste de Amônia**

- 1) Encher o tubo de ensaio, previamente limpo, com 5 mL da água a ser analisada (Encher o tubo até a linha indicada no mesmo).
- 2) Adicionar 8 gotas da Solução do Teste de Amônia #1, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de ensaio, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.
- 3) Sem agitar o tubo, adicionar 8 gotas da Solução do Teste de Amônia #2, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de ensaio, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.

- 4) Fechar o tubo de ensaio, agitar **vigorosamente** por 5 segundos, para misturar a solução.
- 5) Espere 5 minutos para a solução atingir sua coloração final.
- 6) Interprete o resultado do teste através da comparação da cor da solução com a Tabela de Cores de Amônia, disponibilizada pelo fabricante. O tubo de ensaio deve ser visto em um local com boa iluminação, de preferência artificial, para que não haja variações na intensidade da luminosidade. Coloque o tubo na área branca da Tabela de Cores, próxima a escala de cores da amônia. Escolha a coloração que mais se aproxima do tudo de ensaio, a qual indicará em ppm (mg/L) de amônia na amostra de água. Lembrar de lavar o tudo de teste após utilização.

### **Teste de Nitrito**

- 1) Encher o tubo de ensaio, previamente limpo, com 5 mL da água a ser analisada (Encher o tubo até a linha indicada no mesmo).
- 2) Adicionar 5 gotas da Solução do Teste de Nitrito, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de ensaio, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.
- 3) Fechar o tubo de ensaio, invertendo-o de forma **uniforme e constante** por 5 segundos, para misturar a solução.
- 4) Espere 5 minutos para a solução atingir sua coloração final.
- 5) Interprete o resultado do teste através da comparação da cor da solução com a Tabela de Cores de Nitrito, disponibilizada pelo fabricante. O tubo de ensaio deve ser visto em um local com boa iluminação, de preferência artificial, para que não haja variações na intensidade da luminosidade. Coloque o tubo na área branca da Tabela de Cores, próxima a escala de cores do nitrito. Escolha a coloração que mais se aproxima do tudo de ensaio, a qual indicará em ppm (mg/L) de nitrito na amostra de água. Lembrar de lavar o tudo de teste após utilização.

### **Teste de Nitrato**

- 1) Encher o tubo de ensaio, previamente limpo, com 5 mL da água a ser analisada (Encher o tubo até a linha indicada no mesmo).

- 2) Adicionar 10 gotas da Solução do Teste de Nitrato #1, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de ensaio, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.
- 3) Fechar o tubo de ensaio, invertendo-o de forma **uniforme e constante** por 20 segundos, para misturar a solução.
- 4) Agitar **vigorosamente** Solução do Teste de Nitrato #2 por 45 segundos. Este passo é de extrema importância para a precisão do teste.
- 5) Adicionar 10 gotas da Solução do Teste de Nitrato #2, segurando o frasco de ponta cabeça e completamente vertical ao tubo de ensaio, o qual contém a água a ser analisada, para assegurar a uniformidade das gotas.
- 6) Fechar o tubo de ensaio, agitar **vigorosamente** por 1 minuto. Este passo é de extrema importância para a precisão do teste.
- 7) Espere 5 minutos para a solução atingir sua coloração final.
- 8) Interprete o resultado do teste através da comparação da cor da solução com a Tabela de Cores de Nitrato, disponibilizada pelo fabricante. O tubo de ensaio deve ser visto em um local com boa iluminação, de preferência artificial, para que não haja variações na intensidade da luminosidade. Coloque o tubo na área branca da Tabela de Cores, próxima a escala de cores da amônia. Escolha a coloração que mais se aproxima do tudo de ensaio, a qual indicará em ppm (mg/L) de nitrato na amostra de água. Lembrar de lavar o tudo de teste após utilização.

### **Teste de Dureza Total em Carbonatos (KH)**

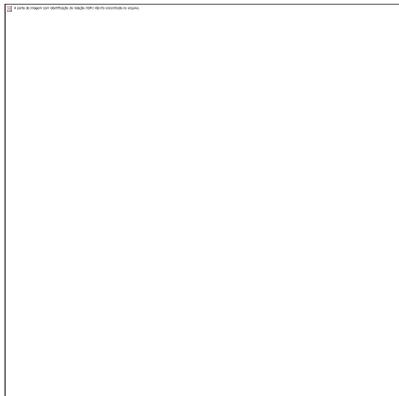
- 1) Encher um tubo de ensaio limpo com 5 ml de água a ser analisada (até à graduação indicada no tubo).
- 2) Segurando o frasco na vertical, adicionar a KH Test Solution, uma gota de cada vez. Contar o número de gotas adicionadas.
- 3) Colocar a tampa no tubo de ensaio e agitar **constantemente** após cada gota.
- 4) A análise está terminada quando a água do tubo de ensaio passa da cor azul para a cor amarela, após agitação.
- 5) O valor KH é determinado pelo número de gotas de solução de análise adicionadas para que a água do tubo de ensaio fique amarela. Ver GH e KH tabela de conversão, no final das instruções.

### **Teste de Dureza Total (GH)**

- 1) Encher um tubo de ensaio limpo com 5 ml de água do aquário (até à graduação indicada no tubo).
- 2) Segurando o frasco na vertical, adicionar a GH Test Solution, uma gota de cada vez. Contar o número de gotas adicionadas.
- 3) Colocar a rolha no tubo de ensaio e agitar **constantemente** após cada gota.
- 4) A análise está terminada quando a água do tubo de ensaio passa da cor laranja para a cor verde, após agitação.
- 5) O valor GH é determinado pelo número de gotas de reactivo adicionadas para que a água do tubo de ensaio fique verde. Ver GH e KH tabela de conversão, no final das instruções.

- Leitura dos resultados

Utilizar a tabela abaixo para obter níveis de dureza ideais para os peixes do seu aquário. Se este contém uma comunidade de peixes tropicais diferentes, ajustar a GH e a KH entre 3 et 6° (50 a 100 ppm).



### **Medidor Multiparâmetro Akso – AK88**

#### **pH**

- 1) Conecte a sonda de pH e temperatura ao instrumento com cuidado, observando seu correto encaixe.

- 2) Ligue o instrumento, pressionando o botão **Liga-Desliga**. Selecione o sensor de temperatura a ser utilizado, pressionando o botão **ENTER** até as indicações **TEMP** e **PH** piscarem simultaneamente no visor.
- 3) Espere pelo menos 15 minutos (idealmente 30 min) antes de utilizá-la, para maior precisão nas medições.
- 4) Remova o frasco de rosquear o qual protege a sonda
- 5) Lave a sonda de pH em água destilada ou deionizada e remova o excesso de água, utilizando papel toalha macio.
- 6) Mergulhe a sonda na amostra em análise, agitando-a suavemente para homogeneizá-la.
- 7) Após a leitura estabilizar, observe no visor o valor do pH e temperatura.

**OBS:** Após cada medição, lavar a sonda com água destilada ou deionizada para remover resíduos, garantindo a confiabilidade das próximas medições e a durabilidade da sonda de pH. Ao final das medições, lave a sonda com água e recoloque-a no frasco de proteção, juntamente com a solução de KCL 3M.

### **Oxigênio Dissolvido**

- 1) Conecte a sonda de oxigênio dissolvido e temperatura ao instrumento com cuidado, observando seu correto encaixe.
- 2) Ligue o instrumento, pressionando o botão **Liga-Desliga**. Selecione o sensor de temperatura a ser utilizado, pressionando o botão **ENTER** até as indicações **DO** e **CON** piscarem simultaneamente no visor.
- 3) Espere pelo menos 15 minutos (idealmente 30 min) antes de utilizá-la, para maior precisão nas medições.
- 4) Remova o frasco de rosquear o qual protege a sonda.
- 5) Lave a sonda de oxigênio dissolvido e temperatura em água destilada ou deionizada e remova o excesso de água, utilizando papel toalha macio.
- 6) Mergulhe a sonda na amostra em análise, agitando-a suavemente para homogeneizá-la.
- 7) Após a leitura estabilizar, observe no visor o valor oxigênio dissolvido e temperatura.

**OBS:**

- Caso a sonda apresente excesso de cristalização de sais na membrana e/ou sensor metálico, efetue a limpeza antes de realizar as leituras.
- Evite efetuar medições próximas a pontos de aeração da água, pois oferecem muita instabilidade. Em caso de instabilidade na medição direta, recolha uma amostra em recipiente grande (maior que 500 mL) e efetue a medição no recipiente.
- Na limpeza da sonda, utilize apenas jatos de água limpa. NÃO utilize esponja, escova ou abrasivos que possam comprometer a membrana.
- Ao final das medições, lavar a sonda com água destilada ou deionizada para remover resíduos, garantindo a confiabilidade das próximas medições e a durabilidade da sonda de DO, e recolha-a no frasco de proteção.

**Condutividade**

- 1) Conecte a sonda de pH e temperatura ao instrumento com cuidado, observando seu correto encaixe.
- 2) Ligue o instrumento, pressionando o botão **Liga-Desliga**. Selecione o sensor de temperatura a ser utilizado, pressionando o botão **ENTER** até as indicações **TEMP** e **CON** piscarem simultaneamente no visor.
- 3) Espere pelo menos 15 minutos (idealmente 30 min) antes de utilizá-la, para maior precisão nas medições.
- 4) Remova o frasco de rosquear o qual protege a sonda
- 5) Lave a sonda de condutividade e temperatura em água destilada ou deionizada e remova o excesso de água, utilizando papel toalha macio.
- 6) Mergulhe a sonda na amostra em análise, agitando-a suavemente para homogeneizá-la.
- 7) Após a leitura estabilizar, observe no visor o valor condutividade e temperatura.

**OBS:** Ao final das medições, lavar a sonda com água destilada ou deionizada para remover resíduos, garantindo a confiabilidade das próximas medições e a durabilidade da sonda de condutividade, e recolha-a no frasco de proteção.