UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FACULDADE DE ENGENHARIA

ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

GABRIELA MARIA FERNANDES FIÃES

Sistema de aquaponia residencial: construção e monitoramento da qualidade da água e do crescimento vegetal

JUIZ DE FORA – MG

2021

GABRIELA MARIA FERNANDES FIÃES

Sistema de aquaponia residencial: construção e monitoramento da qualidade da água e do crescimento vegetal

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Ambientais

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva

Coorientador: Edgar Henrique Oliveira Dias

JUIZ DE FORA – MG

2021

GABRIELA MARIA FERNANDES FIÃES

Sistema de aquaponia residencial: construção e monitoramento da qualidade da água e do crescimento vegetal

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 22 de fevereiro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Sc. Jonathas Batista Gonçalves Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof. Dr. Edgard Henrique Oliveira Dias
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof. Dr. Samuel Rodrigues Castro
Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof. Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre me dar forças para conquistar o que almejo, guiando cada um dos meus passos. Agradeço também, por cada acontecimento e desafio, que me fez crescer e ser quem sou hoje.

Aos meus pais, Renata e Pedro, por sempre estarem ao meu lado, me dando amor, carinho e suporte. Agradeço também, às minhas irmãs, Carolina e Mariana, por todos os momentos, risadas e bobeiras. Vocês foram essenciais em minha caminhada e conquistas. A toda a minha família por sempre acreditarem no meu potencial.

Ao meu namorado, Victor, por sempre me apoiar a fazer o que eu amo!

Também gostaria de agradecer ao GET-ESA, GeoPortal e Porte Empresa Júnior, onde eu conheci pessoas incríveis e aprendi que somos capazes de impactar a vida de muitas pessoas.

Aos professores Jonathas e Edgard por toda a paciência, dedicação, apoio e direcionamento para a elaboração deste trabalho.

A todo o corpo docente da Engenharia Ambiental e Sanitária por tantos ensinamentos ao longo da graduação. Com eles eu descobri que a Engenharia Ambiental e Sanitária é diferente. Em especial às professoras Júlia e Maria Helena, com quem tive a oportunidade de trabalhar e aprender muito.

Muito obrigada também a todos os meus amigos por todas as vezes que trocamos risadas e momentos únicos, que tornaram a minha vida mais alegre!

Enfim, agradeço a todos acima novamente, pois aprendi que o mundo é muito mais bonito e feliz com todos vocês.

“Se você pode sonhar, você pode fazer.”

Walt Disney

RESUMO

Os produtos processados e ultraprocessados têm se tornado rotineiros na nossa alimentação, porém eles não são a opção mais saudável. Por sua vez, legumes, vegetais e hortaliças se encontram muitas vezes contaminados por aditivos químicos como agrotóxicos. E ainda, os orgânicos possuem um preço mais elevado, e são mais difíceis de serem encontrados. A aquaponia é um sistema integrado entre a aquicultura, criação de organismos aquáticos, e a hidroponia, cultivo plantas em água, promovendo a recirculação de água e nutrientes, minimizando a entrada de nutrientes e a saída de resíduos, sendo obrigatoriamente orgânica. Esse trabalho foi dividido em duas partes, objetivando propor a criação de um sistema de aquaponia autossuficiente para residências, e provando, através do monitoramento do crescimento vegetal e da qualidade da água, a relação dos nutrientes presentes nas excretas dos peixes com o desenvolvimento do sistema. Na primeira parte do trabalho, o sistema foi dimensionado através do Método da Área Disponível de acordo com a FAO (2015), sendo utilizadas as espécies vegetais cebolinha (*Allium fistulosum)* e hortelã (*Mentha spicata*), e as espécies de peixes Espada (*Xiphophorus helleri*) e Cascudo (*Hypostomus affinis*), sendo possível a confecção do sistema aquapônico residencial, que apresentou resultados positivos no desenvolvimento das cebolinhas (*Allium fistulosum)*. Na segunda parte foram montados dois sistemas hidraulicamente semelhantes, utilizando-se a espécie vegetal Cebolete ou cebolinha francesa (*Allium schoenoprasum*), e as mesmas espécies de peixe da parte 1, Espada (*Xiphophorus helleri*) e Cascudo (*Hypostomus affinis*), onde foi possível observar o crescimento positivo das espécies vegetais onde havia a presença de peixe, e a morte das mesmas onde não havia a presenças dos mesmos, relacionando-se assim, o desenvolvimento das plantas com as excretas dos peixes como fonte de nutrientes.

Palavras-chave: Cidades e agricultura sustentáveis; Autossuficiência; Segurança alimentar.

ABSTRACT

Processed and ultra-processed products have become routine in human food, but they are not the healthiest option. In turn, vegetables are often contaminated by chemical additives such as pesticides. And yet, organics have a higher price, and are more difficult to find. Aquaponics is an integrated system between aquaculture, breeding aquatic organisms, and hydroponics, growing plants in water, promoting the recirculation of water and nutrients, minimizing the entry of nutrients and the output of waste, being mandatorily organic. This work was divided into two parts, aiming to propose the creation of a self-sufficient aquaponics system for homes, and proving, by monitoring plant growth and water quality, the relationship of nutrients present in fish excreta with the development of the system. In the first part of the work, the system was dimensioned using the Available Area Method according to the FAO (2015), using the vegetable species chives (Allium fistulosum) and mint (Mentha spicata), and the fish species Espada (Xiphophorus helleri) and Cascudo (Hypostomus affinis), making it possible to make the residential aquaponic system, which showed good results in the development of plant species. In the second part, two hydraulically similar systems were assembled, using the vegetable species Chives or French chives (Allium schoenoprasum), and the same species of fish from part 1, Espada (Xiphophorus helleri) and Cascudo (Hypostomus affinis), where it was possible observe the good development of plant species where fish were present, and their death where they were not present, thus relating the development of plants to fish excreta as a source of nutrients.

Keywords: Sustainable cities and agriculture; Self-sufficiency; Food security.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **11**

OBJETIVO **13**

Objetivos específicos 13

Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial 13

Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes 13

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **14**

Aquaponia 14

Componentes do sistema de aquaponia 15

Ambientes de cultivo de vegetais 16

Media-filled bed ou gravel bed 16

Deep water culture (DWC) ou floating ou raft 17

Nutrient film technique (NFT) 19

Wicking bed 20

Ambiente de criação dos peixes 21

Filtro de sólidos 22

Filtro biológico 22

Sistema de aeração 23

Parâmetros de dimensionamento 24

Tipo de planta 24

Dose de aplicação diária de ração 25

Taxa de estocagem de peixes 25

Parâmetros de controle 27

Controle do pH 27

Balanço de nutrientes 28

Controle de pragas 31

Oxigênio dissolvido 33

Aquaponia residencial 33

MATERIAIS E MÉTODOS **35**

Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial 35

Escolha da área de plantio 35
Escolha da cultura 36
Plantio das mudas 36
Dose de aplicação diária de ração 37
Massa de peixe no ambiente de criação 37
Volume do ambiente de criação 38
Seleção da bomba 38
Componentes construtivos e montagem do sistema 38
Cálculo de energia consumida 42
Monitoramento das plantas 43
Monitoramentos da qualidade da água 43
pH 44
Oxigênio Dissolvido 45
Amônia livre 45
Nitrito 46
Ferro 47
Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes 47
Especificações dos sistemas 47
Escolha da cultura 50
Plantio das mudas 50
Monitoramento das plantas e da qualidade da água 50
Tratamento dos dados 50
RESULTADO E DISCUSSÃO 51
Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial 51
Dimensionamento 51
Monitoramento da qualidade da água 52
Monitoramento do desenvolvimento do cultivo 54
Análise crítica do sistema 56
Cálculo da energia elétrica 56
Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes 57
Monitoramento da qualidade da água 57
Desenvolvimento do cultivo 60

Análise crítica dos sistemas A e B 63

CONCLUSÕES **65**

APRESENTAÇÃO

O Presente trabalho foi elaborado e avaliado no formato de artigo técnico de acordo com as normas definidas na Resolução CCESA nº 14/2019 do Colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF, como pré requisito para aprovação na disciplina Trabalho Final de Curso II (ESA098).

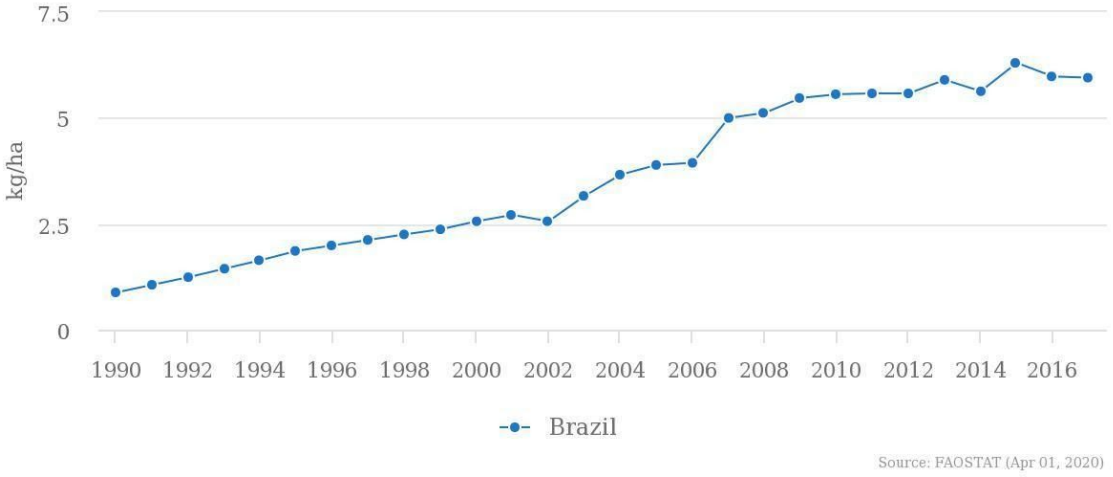
1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII, provocou significativa alteração de nossas atividades produtivas e modo de vida, sendo considerada o marco inicial das grandes mudanças realizadas pelo homem no planeta. (POTT, 2017).

Com o passar dos séculos, o homem deixou claro seu impacto no meio ambiente. Esse modo de vida acelerado tem causado consequências graves ao planeta e aos seres que habitam nele. Desse modo, o próprio ser humano tem sido impactado, com falta de água potável, catástrofes naturais, poluição hídrica e atmosférica, alta produção de resíduos, contaminação por químicos e agrotóxicos, entre outros (DEWES, 2006).

De acordo com a Organização de Alimentos e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO) dos Estados Unidos, é possível observar o crescimento do uso de pesticidas entre os anos de 1990 e 2017, como apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Uso médio de pesticidas por área de cultivo entre 1990 e 2017.



Fonte: FAO (2020).

O aumento da resistência das pragas a esses produtos tem sido uma dificuldade observada na agricultura, pois essa resistência tem levado produtores a aumentarem as doses de pesticidas, que além de poder causar a morte dos insetos controladores de vetores de doenças, aumenta a concentração dos mesmos nos alimentos que serão consumidos pela população, e no contato com os trabalhadores (ALMEIDA, 2017).

Com isso, pesquisas e adoção de medidas para minimizar esses danos, através de novas tecnologias, e novos meios de cultivo, é de extrema importância. A escolha de uma forma de

agricultura mais sustentável influenciará diretamente na pegada ecológica, na demanda hídrica e na saúde da população (ALMEIDA, 2017).

A aquaponia é uma modalidade de cultivo de alimentos que envolve a integração entre a aquicultura e a hidroponia, através de sistemas de recirculação de nutrientes por meio da recirculação da água, sendo uma alternativa para a produção de peixes e hortaliças em conjunto (HUNDLEY, 2013).

As excretas dos peixes possuem elevado teor de amônia, que não pode ser absorvida pelas plantas, e que é tóxica para os peixes. Ao longo do sistema, devido às bactérias presentes nos filtros e nas raízes das plantas, o nitrogênio em forma de amônia, é convertido em nitrito, e posteriormente em nitrato, forma na qual as plantas conseguem absorver como fonte de nutrientes (CARNEIRO, 2015).

Sendo assim, o sistema resulta em uma simbiose entre peixes, plantas e bactérias, incentivando o uso sustentável de água e nutrientes, através do sistema de recirculação. Com isso, as fraquezas biológicas nos sistemas de aquicultura e hidroponia se tornam pontos fortes, minimizando a necessidade da entrada de nutrientes e a saída de resíduos (GOODEK, 2015).

2. OBJETIVO

Objetivou-se com este trabalho propor a criação de um sistema de aquaponia autossuficiente para residências e avaliar o efeito das excretas dos peixes sobre o crescimento vegetal e a qualidade da água.

2.1. Objetivos específicos

O presente trabalho é dividido em duas partes, sendo elas:

2.1.1. Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial

- Estabelecimento de um dimensionamento didático do sistema de aquaponia residencial;
- Confecção de um modelo de aquaponia replicável para residências;
- Exemplificar a importância do monitoramento do desenvolvimento das plantas e da qualidade da água para o bom desempenho do sistema.

2.1.2. Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes

- Relacionar o desempenho do sistema com os nutrientes das excretas dos peixes;
- Trazer pontos de melhorias dos sistemas propostos;
- Trazer um maior tratamento de dados.
- Fazer a comparação através dos monitoramentos da qualidade da água e do crescimento vegetal de um Sistema sem adição de peixes com um Sistema com adição de peixes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Aquaponia

Como mencionado anteriormente, a Aquaponia é uma modalidade de cultivo de alimentos que envolve a integração entre a aquicultura e a hidroponia através de sistemas de recirculação de água e nutrientes, sendo uma alternativa para a produção de peixes e hortaliças em conjunto (HUNDLEY, 2013).

De acordo com Alexandre (2019), a aquaponia é um sistema versátil e flexível, isto é, capaz de ser instalado em praticamente qualquer espaço, havendo a possibilidade da plantação de diversas espécies, e possibilitando também, a produção de alimentos no meio urbano, ou seja, próximo ao consumidor final, minimizando perdas e gastos de combustível do transporte, possuindo uma menor pegada ecológica. Além disso, é também, um sistema baseado na permacultura, isto é, não há a necessidade do preparo da terra para a nova safra como é feito nos sistemas de agricultura tradicionais, bastando apenas repor o que foi colhido, sendo possível assim, colher o ano inteiro. Ele ainda afirma que é um sistema de alta produtividade, podendo ser feita em grande escala, pois o equilíbrio biológico do sistema aquapônico é capaz de prevenir o aparecimento de pragas e outros problemas que seriam comuns nos cultivos tradicionais.

Diferentemente da hidroponia, em que é necessária a inserção de nutrientes, feita com produtos químicos, na aquaponia a nutrição da planta vem dos dejetos dos peixes. Depois de passar por um filtro biológico, onde a amônia presente nos dejetos dos peixes se transforma em nitrito, substância assimilável pelas plantas, a água retorna para os peixes, permitindo a vida de ambos (HUNDLEY, 2013). Além disso, de acordo com Braz (2015), a aquaponia é 70% mais barata que a hidroponia, e ainda há um ganho ambiental e um sabor diferenciado do alimento.

Outra vantagem dessa combinação reside no fato de que o excesso de nutrientes não precisa ser removido por meio de trocas periódicas de água de peixe enriquecida com água doce, como praticado nos sistemas de aquicultura. O sistema resulta em uma simbiose entre peixes, micro-organismos e plantas, incentivando o uso sustentável de água e nutrientes, incluindo sua reciclagem. Dentro dessa interação sinérgica, as respectivas fraquezas ecológicas da aquicultura e da hidroponia são convertidas em pontos fortes. Essa combinação minimiza substancialmente a necessidade de entrada de nutrientes e saída de resíduos, diferente de quando executada como sistemas separados (GODDEK, 2015).

Na aquaponia a produção é obrigatoriamente orgânica, isto é, não há adição de pesticidas e fertilizantes não-orgânicos, pois estes podem afetar o equilíbrio biológico presente entre as partes do sistema, com isso, os riscos de contaminação química e biológica dos corpos hídricos são minimizados. Entretanto, é possível que sejam necessárias algumas correções na qualidade da água, utilizando os mesmos sais usados na agricultura orgânica tradicional. (ALEXANDRE, 2019).

Para criar um sistema ecologicamente estável e maximizar a produção de safras e peixes, é necessário que os praticantes de aquaponia controlem uma variedade de fatores, como temperatura da água, pH, micro e macronutrientes, oxigênio dissolvido e luz solar, isto fotoperíodo (LOVE, 2015).

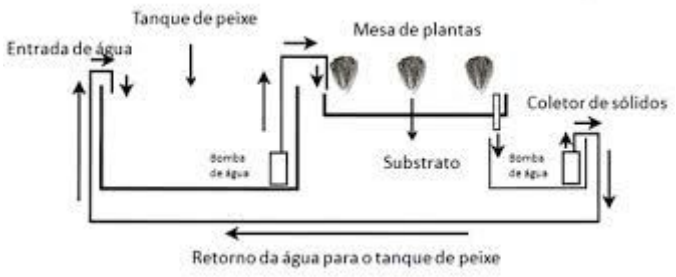
O monitoramento dos macro (C, H, O, N, P, K, Ca, S) e micronutrientes (Fe, Cl, Mn, B, Zn, Cu e Mo) necessários pelas plantas é preciso, pois às vezes alguns nutrientes podem precisar ser adicionados para ajustar sua concentração, por exemplo, o ferro, que é frequentemente deficiente em resíduos de peixes (GODDEK, 2015). Essas deficiências nutricionais podem ser resolvidas com uma ração para peixes mais rica nutricionalmente.

3.2. Componentes do sistema de aquaponia

De acordo com Goddek (2015), o sistema aquapônico pode ser visto como a conexão entre um sistema convencional de recirculação de aquicultura e componentes hidropônicos. Em resumo, a água é bombeada, recirculando em um *loop* à medida que flui do tanque de peixes para as unidades de filtragem, e assim, para os leitos hidropônicos, retornando por gravidade para a área de criação de peixes, como observado na Figura 2. Além disso, as unidades de filtração são compostas por unidades de filtração mecânica para remoção de partículas sólidas, como por exemplo, filtro de tambor ou tanque de decantação, e biofiltros para processos de nitrificação, como biofiltro de leito gotejador ou móvel. Ele ainda afirma que, os sistemas podem variar bastante, devido às configurações escolhidas e às complexidades que surgirem em cada caso.

Porém, pode-se dizer que o sistema de aquaponia é composto por quatro ambientes, o ambiente de cultivo de vegetais, onde serão cultivados os vegetais e hortaliças de escolha, o ambiente de criação dos peixes, os filtros, compostos por um filtro decantador e um biológico, e o sistema de aeração. (CARNEIRO, 2015).

Figura 2 – Esquema do funcionamento do sistema aquapônico.



Fonte: Hundley (2013).

3.2.1. Ambientes de cultivo de vegetais

O ambiente de cultivo de vegetais, conhecido como substrato, é onde serão plantadas as espécies de plantas escolhidas. Os ambientes de cultivo podem ser divididos em quatro diferentes tipos principais: *media-filled bed* ou *gravel bed*; *deep water culture* (DWC) ou *floating*; *nutrient film technique* (NFT); e o *wicking bed* (CARNEIRO, 2015). Esses quatro tipos de ambientes são descritos a seguir.

3.2.1.1. *Media-filled bed* ou *gravel bed*

Ambientes do tipo *media-filled bed*, *gravel bed* ou *cultivo em canteiros* consistem no cultivo da espécie vegetal em cascalho, sendo necessário o uso de substratos inertes com alta relação superfície/volume (área específica). São comumente utilizadas argilas expandidas, britas, seixos de leito de rio, rochas vulcânicas, areia grossa, entre outros. Além disso, é indicado para sistemas de menor porte ou com baixa densidade de peixes (CARNEIRO, 2015).

A água é normalmente fornecida em um fluxo e refluxo padrão, garantindo nutrição e aeração sequenciais (GODDEK, 2015). Esse sistema se encontra exemplificado na Figura 3.

Figura 3 – Sistema de cultivo em cascalho.

Fonte: Somos Verdes (2020).

O ambiente de cultivo em cascalho é prático, por não ser apenas um ambiente de cultivo dos vegetais, mas também um filtro biológico. Devido à alta relação superfície/volume (área específica), seu substrato permite a eficiente colonização por bactérias nitrificantes, facilitando o ciclo biogeoquímico do nitrogênio, transformando a amônia dos dejetos dos peixes em nitrito, que é nutriente para as plantas. Não é recomendado o uso de substratos com partículas muito pequenas, para evitar entupimento. Para minimizar esse problema, é indicado a colocação de um sistema de filtragem prévia para retirar os sólidos (CARNEIRO, 2015).

3.2.1.2. *Deep water culture* (DWC) ou *floating* ou *raft*

Esse sistema é conhecido como cultivo flutuante, pois as plantas são ancoradas em uma superfície flutuante diretamente acima do tanque contendo a solução nutritiva, sendo suas raízes total ou parcialmente imersas nessa solução (ECO CENTER, 2020), como mostrado na Figura 4. Como as raízes das plantas ficam submersas, é necessária uma fonte de aeração distribuída ao longo do ambiente de cultivo (solução nutritiva), para manter o nível de oxigênio dissolvido na água alto e homogêneo. Esse método costuma ser utilizado na aquaponia de média e grande escala, devido a sua grande superfície disponível, possibilitando uma maior plantação. E ainda, essa maior área superficial, possibilita o desenvolvimento da colônia de bactérias nitrificantes nas paredes e fundo desses ambientes, não necessitando de filtro biológico prévio. Além disso, por conter um grande volume de água, confere maior estabilidade aos parâmetros físico-químicos como a temperatura e o pH (CARNEIRO, 2015).

Figura 4 – Sistema de cultivo flutuante.

Fonte: Groho (2020.)

Esse sistema é geralmente utilizado para plantas pequenas e ávidas por água, como a alface e folhosas em geral, como mostrado na Figura 5, que possuem grandes taxas de produtividade quando cultivadas. Sendo assim, esse sistema não é muito adequado para plantas de médio e grande porte com ciclos de vida longos. Hoje em dia, é mais comumente usado em jardins domésticos ao ar livre, laboratórios de pesquisa de nutrição vegetal e como para demonstrações em escolas (ECO CENTER, 2020).

Figura 5 – Sistema de cultivo flutuante de folhosas.

Fonte: Ciclo Vivo (2020).

Porém, é necessário um filtro de sólidos bem eficiente para evitar acúmulo de matéria orgânica nos canais, o que diminuiria a nitrificação, aumentando o custo de mão de obra para a remoção desses sólidos (CARNEIRO, 2015).

3.2.1.3. *Nutrient film technique* (NFT)

A tipologia *nutrient film technique* (NFT) compõe um sistema hidropônico mais popular hoje em dia, e muitas pessoas, quando se referem à hidroponia, imediatamente o relacionam com ela, sendo interessante para os produtores interessados em aquaponia, por já possuir uma estrutura prévia. Nessa técnica o ambiente de cultivo é feito em canaletas, como mostra a Figura 6. A NFT pode ser utilizada com plantas de pequeno e médio porte, como alface, rúcula, agrião, manjericão, endro e pimenta malagueta (ECO CENTER, 2020).

Figura 6 – Sistema de cultivo em canaletas.

Fonte: Aquaponia (2020).

Nesse sistema, as plantas são colocadas em buracos feitos em suporte acoplado na parte superior das canaletas, que são dispostas paralelamente e com desnível entre 8% e 12% para permitir a passagem da água por gravidade. As raízes dos vegetais ficam parcialmente submersas na água, onde há a existência dos nutrientes para o crescimento das plantas, como pode ser observado na Figura 7. Nesse método é necessário a inserção de um filtro de sólidos, para evitar o depósito desses nas raízes das plantas, e de um filtro biológico, pois a superfície molhada da canaleta não é suficiente para o necessário crescimento da colônia de bactérias

nitrificantes. Porém, esse método é bem ergonômico, facilitando o manejo dos vegetais (CARNEIRO, 2015).

Figura 7 – Disposição das folhosas em Sistema de canaletas.

Fonte: Agrishow digital (2020).

3.2.1.4. *Wicking bed*

No *Wicking bed* a solução nutritiva é absorvida e conduzida às raízes da planta por capilaridade, por meio de um ou mais pavios, como exemplificado na Figura 8. Um substrato é normalmente usado, como turfa ou areia de coco, a fim de aumentar a capacidade de retenção de umidade tanto quanto possível. Mas, com o tempo, os sais minerais vão se acumulando no pavio, e estes por sua vez, tendem a perder seu efeito. Uma solução para este problema é ter uma abertura suficientemente grande no fundo do canteiro para permitir que as raízes cresçam diretamente em direção à solução nutritiva (ECO CENTER, 2020).

Figura 8 – Crescimento de vegetais em areia.

Fonte: Wicking (2020).

Este sistema é adequado para pequenas plantas e plantas com folhas verdes e / ou que apresentam uma proporção de crescimento lento, como por exemplo, plantas ornamentais. É o mais simples de todos os sistemas, sendo um sistema antigo e popularizado para lavouras cultivadas no solo, pois o pavio nunca perde seu efeito absorvente (ECO CENTER, 2020). Esse ambiente também é propício para o cultivo de raízes como rabanete, cebola, cenoura e tuberosas. Pode ser utilizado também para o cultivo de mudas a serem utilizadas posteriormente nos demais sistemas (CARNEIRO, 2015).

3.2.2. Ambiente de criação dos peixes

O ambiente de criação dos peixes na aquaponia normalmente é representado por tanques com volumes e materiais diversos, não tendo um modelo específico. Porém, é importante se atentar a materiais que não liberem substâncias tóxicas, por se tratar de um ambiente onde ficarão os peixes (CARNEIRO, 2015).

Nos meses de verão e calor intenso é preciso mitigar os aumentos excessivos de temperatura. Para isso, pode-se utilizar um pano de sombra de 50% e/ou uma lona de plástico reflexiva pendurada acima dos tanques de peixes, diminuindo a radiação solar em cima dos mesmos. Além disso, quando feitas estufas, é indicado também o uso de um termostato para controle da temperatura (LOVE, 2015).

Outro aspecto importante para a saúde e bem-estar dos peixes é a velocidade da água dentro do ambiente de criação dos mesmos, para não causar um esforço natatório muito elevado para os peixes. Porém, a velocidade não pode ser muito baixa, pois ela precisa retirar os dejetos produzidos pelo peixe, e evitar seu acúmulo dentro do tanque. Além disso, é importante também se atentar para a taxa de renovação da água. Essa taxa está associada à densidade de estocagem dos peixes dentro do tanque ou aquário. Sendo assim, para densidades menores, de até 10 kg/m³, a taxa de renovação da água deve ser pelo menos metade do volume do tanque para cada hora. Já para densidades maiores que 10 kg/m³, a taxa deve ser no mínimo uma troca total por hora. Por exemplo, um tanque com 400 L, isto é, 0,4 m³, com mais de 4 kg de peixes, possuirá uma densidade maior que 10 kg/m³, e por isso, deverá possuir uma renovação total de seu volume por hora. Tendo o tanque um volume total de 400 litros, deverá utilizar uma bomba que garanta a vazão de pelo menos 400 L/h (CARNEIRO, 2015). É típico para sistemas de aquicultura ter mais de um tanque, de modo que peixes em vários estágios de desenvolvimento possam ser criados e pescados de forma escalonada (ECO CENTER, 2020).

3.2.3. Filtro de sólidos

O filtro de sólidos é utilizado para remover resíduos sólidos, estes sendo de dois tipos: sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão, sendo eles removidos por sistemas de decantação ou por filtros de tela, respectivamente. Sistemas aquapônicos com baixa biomassa de peixes, isto é, abaixo de 5 kg/m³, são normalmente capturados e degradados dentro do próprio filtro biológico, em contrapartida, sistemas com biomassa de peixe alta,isto é, acima de 10 kg/m³, exigem a retirada constante dos resíduos sólidos. Os resíduos sedimentáveis podem ser separados por decantadores, que promovem a sua sedimentação. Os resíduos sólidos em suspensão, não são retidos pelos filtros decantadores, necessitando sistema de filtro de telas ou peneiras finas. Por se tratarem de fezes de peixe, esses resíduos retidos nos filtros são ricos em matéria orgânica, podendo ser reutilizados como adubo orgânico na agricultura. Para grandes produções, é possível ainda, que esse resíduo seja destinado a um biodigestor anaeróbio, tendo possibilidade de geração de energia decorrente da produção do biogás. Além disso, o biodigestor gera um composto rico em nutrientes, que pode ser utilizado para o cultivo de plantas (CARNEIRO, 2015).

No sistema de canteiros, isto é, *media-filled bed*, muitos sólidos podem se acumular e entupir os canteiros, criando empoçamentos e consequentemente zonas anaeróbias, acarretando a morte das bactérias nitrificantes, e levando a um aumento do pH da água. Com isso, se um sistema de canteiros possui uma proporção muito alta de biomassa de peixes é necessária uma maior limpeza dos canteiros. Por sua vez, a remoção de sólidos em sistemas DWC não é necessária para sistemas aquapônicos com baixa biomassa de peixes, mas é fundamental para sistemas com alta densidade de peixes, pois se os sólidos não forem removidos de um sistema de alta densidade, ele criará uma lama no fundo das calhas e criará gases e zonas aeróbias, o que é ruim para as bactérias nitrificantes. Além disso, os sólidos se fixam nas raízes das plantas, dificultando a absorção de nutrientes. Por sua vez, em um sistema NFT, a água precisa estar livre de resíduos sólidos, sendo necessária a remoção de todos os sólidos sedimentáveis e em suspensão, pois estes fixam-se nas raízes das plantas e evitam que a mesma absorva nutrientes, além de bloquear os próprios canais (BROOKE, 2020).

3.2.4. Filtro biológico

O filtro biológico, ou biofiltro, consiste em um tanque preenchido com um meio suporte que propicia o crescimento aderido dos microrganismos, sendo predominantemente aeróbio (NELSON, 2008).

Os sistemas aquapônicos precisam ser capazes de hospedar diferentes comunidades de microrganismos envolvidos no processamento e na solubilização de resíduos de peixes. O filtro biológico é necessário para que ocorram as reações biogeoquímicas do nitrogênio, removendo a amônia livre (NH_3), problemática para o sistema. Um dos componentes do biofiltro são as bactérias autotróficas nitrificantes, compostas principalmente por *Nitrosomonas* spp. (nitritação), e *Nitrospira* spp. e *Nitrobacter* spp. (nitratação). A amônia no sistema é convertida em nitrito (NO_2^-), antes de ser transformada em nitrato (NO_3^-) pelas bactérias autotróficas nitrificantes. O produto final dessa conversão bacteriana, o nitrato, não é tóxico para os peixes e, devido à sua bioconversão, é a principal fonte de nitrogênio para o crescimento das plantas em sistemas aquapônicos. Na maioria dos sistemas, é necessária uma unidade especial de biofiltração onde ocorre nitrificação intensiva (GODDEK, 2015).

Nos sistemas aquapônicos de canteiros e cultivo flutuante não é necessário o filtro biológico separado, por já possuírem áreas de contato suficientes para as bactérias. Já nos sistemas de canaleta, eles são indispensáveis, já que o mesmo não providencia áreas superficiais adequadas para a colonização (NELSON, 2008).

3.2.5. Sistema de aeração

O sistema de aeração em aquários e tanques é imprescindível para a vida dos peixes, pois o oxigênio não é reposto naturalmente na água desses sistemas como ocorre na natureza, como lagos e mares, onde existem plantas e algas que produzem o oxigênio necessário para a vida aquática. Além dos peixes, a oxigenação na aquaponia é necessária para o ciclo biogeoquímico do nitrogênio. As excretas dos peixes possuem uma alta concentração de nitrogênio na forma de amônia, que não pode ser absorvida pelas plantas. Sendo assim, é necessário que este reaja com o oxigênio e tenha como produto final uma forma que possa ser absorvida pelas plantas. Dessa forma, no filtro biológico e também no ambiente das raízes das plantas é necessária uma colônia de bactérias que transformam amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-), e por fim em nitrato (NO_3^-), que é assimilado pelas plantas. Sendo assim, as plantas, os peixes e o processo da nitrificação demandam oxigênio dissolvido, e portanto é preciso suprir tal demanda. Com isso, a oxigenação, que é o ato de se oxigenar, ou aumentar a concentração de oxigênio disponível, se faz necessário, podendo ser de forma natural ou forçada. (CARNEIRO, 2015).

A oxigenação natural consiste na oxigenação sem nenhum equipamento externo, como por exemplo, trocas gasosas de superfície ou através das plantas aquáticas que fornecem oxigênio

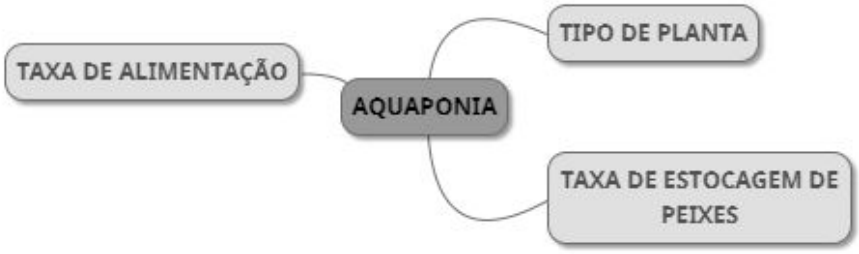
dissolvido, através do processo da fotossíntese. Por sua vez, a oxigenação forçada consiste na oxigenação através de algum equipamento externo, como por exemplo, turbulências na superfície, provocando uma troca gasosa forçada, ou por borbulhadores, aeradores e compressores (AQUAIZ, 2021).

Outra forma de oxigenação forçada é se atentar à bomba utilizada. Quanto maior for a vazão da bomba e a pressão da água que sai dela, mais aerada será a água do aquário. Além disso, no nível da superfície, a água e o ar sofrem uma troca natural de gases. É assim que o oxigênio que os peixes respiram entra em seu habitat e como o dióxido de carbono que eles produzem pela respiração é removido do mesmo. Sendo assim, comprar o aquário certo pode favorecer a oxigenação do aquário. A água sempre tem um teor de oxigênio mais alto perto do topo, onde ela está em contato com o ar. Portanto, um aquário realmente profundo e estreito, terá menos área de contato com o topo que um aquário mais largo e raso. A relação entre plantas e peixes também é indispensável para a aeração do sistema (AQUASCAPE ADDICTION, 2020).

3.3. Parâmetros de dimensionamento

Para montarmos um sistema de aquaponia é necessário, primeiramente, conhecermos os parâmetros que influenciam o sistema, conhecidos como parâmetros de dimensionamento, sendo eles o tipo de planta, taxa de alimentação por metro quadrado e taxa de estocagem de peixes, como exemplificado abaixo na Figura 9 (ALEXANDRE, 2019).

Figura 9 – Parâmetros de dimensionamento.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

3.3.1. Tipo de planta

No sistema de aquaponia podemos utilizar os mais diversos tipos de plantas, tendo cada uma delas uma necessidade diferente de nutrientes. Sendo assim, tipo de planta é a classificação

dada referente à necessidade nutricional de cada espécie, sendo umas mais exigentes e outras menos. Por exemplo, espécies folhosas, como a alface, a rúcula e a hortelã, necessitam uma quantidade menor de nutrientes. Já espécies como vagens, brócolis e couves em geral são consideradas como média necessidade nutricional. E existem as mais exigentes, como tomate, morango, pimenta e pepino (ALEXANDRE, 2019).

De acordo com a literatura, as temperaturas favoráveis para a produção de alface de boa qualidade estão entre 15 e 24 ºC. Porém, perante as condições climáticas brasileiras durante o período do verão é possível verificar valores entre 23 e 31 °C dentro das canaletas no sistema NFT. Altas temperaturas podem favorecer a infecção das plantas por espécies de *Pythium*, fungo que causa sintomas de podridão de raízes, podendo provocar o tombamento das plantas. Uma das alternativas para reduzir a temperatura do ambiente protegido é a utilização de telas de sombreamento (PINTO, 2011).

Existe uma grande variedade de espécies vegetais adaptadas a aquaponia, sendo, normalmente, as mesmas da hidroponia, por se adaptarem aos altos teores de água em suas raízes e às oscilações nos teores de nutrientes dissolvidos, como alface (*L. sativa*), manjericão (*Ocimum basilicum*), agrião (*Nasturtium officinale*), repolho (*Brassica oleracea*), rúcula (*Eruca sativa*), morango (*Fragaria vesca*), pimenta (*Capsicum* spp.), tomate (*S. lycopersicum*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), pepino (*Cucumis sativus*) e muitas outras (SÁTIRO, 2018).

3.3.2. Dose de aplicação diária de ração

A dose de aplicação diária de ração é uma relação entre a quantidade de ração fornecida aos peixes, e a exigência nutricional das plantas, com isso, para cada tipo de planta será recomendado uma taxa diferente de alimentação. Plantas com alta exigência, possuirão uma taxa variando de 50 a 80 g/ m².d, enquanto plantas com baixa exigência a taxa recomendada varia de 40 a 50 g/ m².d. Essas aproximações são utilizadas apenas para o dimensionamento do sistema aquapônico, pois o sistema real é afetado por diversos fatores, o que altera tais proporções, cabendo a nós o correto gerenciamento desses (ALEXANDRE, 2019).

3.3.3. Taxa de estocagem de peixes

A taxa de estocagem de peixes é a razão entre a quantificação de peixes dada em quilogramas, por volume de água do reservatório dos mesmos, dada em m³ ou 1000 litros de água. De

acordo com a literatura, é recomendada uma taxa de 20 kg/m³ de peixes, de modo a garantir a saúde e bem estar destes (ALEXANDRE, 2019).

A densidade de estocagem dos peixes está associada à taxa de renovação da água do tanque. Para densidades de até 10kg/m³ a taxa de renovação deve ser de pelo menos metade do volume do tanque a cada hora. Para densidades maiores que 10 kg/m³, a taxa de renovação deve ser de pelo menos uma troca total por hora. Além disso, a taxa de estocagem de peixes está relacionada à necessidade ou não de um filtro mecânico, sendo assim, densidades menores que 5 kg/m³ não necessitam tal filtro (CARNEIRO, 2015).

Os sistemas aquapônicos possibilitam a produção de diversas espécies de peixes e crustáceos, sendo essas de modo geral tolerantes a elevadas densidades populacionais e ao manejo frequente. Porém, se faz necessário se atentar para a densidade populacional adequada de cada espécie no ambiente de cultivo dos peixes (GERARDA, 2019).

Algumas das espécies mais utilizadas em aquaponia são o achigã (*Micropterus salmoides*), o bacalhau australiano do rio (*Maccullochella peelii*), o bagre americano (*Ictalurus puncatatus*), as espécies de carpa como, a carpa comum, húngara ou colorida (*Cyprinus carpio*), a carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*), a carpa prateada (*Hypoththalmichthys molitrix*) e a carpa cabeça grande (*Aristichthys nobilis*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), o perca gigante (*Lates calcarifer*), a tilápia (*Oreochromis* spp.) e a truta (*Oncorhynchus mykis*) (SÁTIRO, 2018).

Em nível mundial, a tilápia é a espécie mais utilizada na aquaponia, sendo o Brasil o quarto maior produtor da espécie. A popularidade desse peixe se dá pela facilidade na aquisição de alevinos, boa rusticidade e amplitude do mercado consumidor. Além disso, por ser amplamente cultivada, o seu manejo é bem conhecido, além de ser difundido por todo o mundo, apresentando uma ótima taxa de conversão alimentar e uma boa tolerância a elevadas densidades populacionais em cativeiro. Porém, é recomendado que seu cultivo não seja realizado em regiões de clima frio, a menos que haja um aquecimento das águas. Outra espécie muito famosa na aquaponia são as carpas, e assim como as tilápias, são tolerantes a baixos níveis de oxigênio dissolvido, isto é, 3 $mg.L^{-1}$. Essa espécie é ideal para climas temperados e tropicais, por suportar temperaturas entre 4°C e 34°C. A carpa colorida apresenta boa tolerância a altas densidades populacionais, sendo resistentes a parâmetros

relacionados à qualidade da água, podendo ser destinada tanto para consumo humano, quanto para fins ornamentais (GERARDA, 2019).

Consta na literatura que é possível fazer um consórcio de peixes com espécies de crustáceos, como o lagostim australiano da garra vermelha. Além disso, há combinações de sucesso de espécies de camarão com espécies vegetais, como por exemplo, a utilização de alface e agrião em hidroponia no tratamento dos efluentes do camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) (SÁTIRO, 2018).

As espécies de camarões mais adaptadas a aquaponia são os camarões de água doce (*Macrobrachium* sp.), o camarão da amazônia (*Macrobrachium amazonicum*), o camarão da Malásia (*Macrobrachium rosenbergii*), o camarão-branco do pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e a lagosta australiana (*Cherax* sp.). Os camarões podem ser utilizados tanto para consumo quanto para o uso ornamental. A escolha das espécies depende da demanda do mercado da região, das características biológicas e da adaptação climática. Por exemplo, os camarões do gênero *Macrobrachium* são bastante atrativos no mercado brasileiro, pois eles podem atingir 500 g com até 32 cm de comprimento. Já o camarão da Malásia, é uma espécie capaz de se produzir abundantemente, tendo uma boa adaptação à criação em cativeiro. Existe uma forte tendência a um crescimento na produção de camarões, por serem bastante atrativos economicamente aos seus produtores, devido aos seus altos preços. Sob condições ideais, os camarões podem ter um ciclo de quatro meses, sendo possível três safras de camarão anuais. Esses animais são indivíduos territoriais, logo a quantidade de indivíduos suportados pelo sistema é determinada pela superfície horizontal. Além disso, o preço pago pelos camarões é extremamente atrativo aos produtores, existindo assim, uma forte tendência a uma maior produção dos crustáceos neste sistema (GERARDA, 2019).

3.4. Parâmetros de controle

No interesse da maior eficiência e produtividade, algumas compensações numéricas são recomendadas, como a estabilização do pH, o balanço de nutrientes, o fósforo e controle de pragas (GODDEK, 2015).

3.4.1. Controle do pH

Um ponto crucial nos sistemas aquapônicos é o controle do pH, por afetar diretamente três grupos de organismos muito distintos: bactérias, peixes e plantas. De acordo com Queiroz

(2017), o pH ideal para cada componente vivo é diferente, sendo necessário manter uma faixa que seja satisfatória para todos os envolvidos. A maioria das plantas na aquaponia precisa de um valor de pH entre 5,5 e 6,5 para melhorar a absorção de nutrientes. Sabe-se que a espécie de peixe Tilapia (*Oreochromis niloticus*) é resistente a doenças e tolerante a grandes flutuações no valor do pH, com uma tolerância entre pH 3,7 e 11,0, mas atinge o melhor desempenho de crescimento em pH entre 7,0 e 9,0, assim como a maioria das espécies de peixes de água doce utilizadas em sistemas aquapônicos. Por sua vez, as bactérias nitrificantes têm um pH ótimo mais alto, entre 7,0 e 8,0. Com base nesses dados, o valor ideal de pH para o sistema está entre 6,5 e 7,0 (CARNEIRO, 2015).

Após a colonização do filtro biológico pelas bactérias nitrificantes e o estabelecimento do equilíbrio do sistema aquapônico, normalmente observa-se uma contínua tendência de redução dos valores de pH, devido à nitrificação e outros processos biológicos, o que indica um bom funcionamento do filtro biológico. Porém, é necessário fazer a correção do pH continuamente para atender às necessidades dos três componentes biológicos envolvidos. Para combater essa tendência podemos utilizar substâncias tamponantes, sendo mais indicadas as a base de potássio (K) e cálcio (Ca), uma vez que estes são nutrientes normalmente presentes em sistemas de aquaponia em quantidades inferiores às exigidas por muitos vegetais. Portanto, é indicado adições periódicas de substâncias como hidróxido de potássio (KOH), bicarbonato de potássio ($KHCO_3$), hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) e calcário dolomítico ($CaMg(CO_3)_2$) no sistema, não apenas para o tamponamento e ajuste do pH da água, mas como também para a suplementação de nutrientes importantes ao adequado desenvolvimento das plantas. O $KHCO_3$ e o $CaMg(CO_3)_2$ fornecem carbonatos que contribuem para elevar a alcalinidade, garantindo assim, maior estabilidade e menores oscilações nos valores do pH da água do sistema. Em contrapartida, a adição de KOH ou de $Ca(OH)_2$ pode aumentar o pH rapidamente, devendo ser feita com cautela e observando a resposta dos valores de pH da água (CARNEIRO, 2015).

3.4.2. Balanço de nutrientes

A aquaponia, por ser um sistema baseado na reciclagem da água: além de evitar o desperdício hídrico, minimiza a geração de efluentes ricos em nutrientes, evitando, assim, a eutrofização de corpos d'água, sendo uma importante alternativa para o agronegócio (PORTAL EMBRAPA, 2018).

Para o balanço de nutrientes levou-se em conta as fontes de nitrogênio e de fósforo do sistema. A amônia é o principal resíduo do metabolismo dos peixes e da degradação das rações. Já o fósforo é um macronutriente assimilado pelas plantas nas formas iônicas $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-}, sendo essencial para os estágios vegetativo e de floração do crescimento das plantas. Porém, cerca de 30% a 65% do fósforo adicionado no sistema através da alimentação de peixes é perdido na forma de excreção sólida de peixe que é filtrada por tanques de decantação ou filtros mecânicos. Além disso, o fósforo orgânico solubilizado como ortofosfato pode precipitar com cálcio, como por exemplo a hidroxiapatita ($Ca_5(PO_4)_3OH$), tornando esse elemento menos disponível na solução. Consequentemente, experimentos aquapônicos relatam uma faixa de 1 a 17 $mg.L^{-1}$ de PO_4-P. No entanto, as concentrações recomendadas na hidroponia padrão estão geralmente entre 40 e 60 $mg.L^{-1}$ PO_4-P (GODDEK, 2015).

A ração para peixes, principal fonte de nutrientes, pode ser dividida em ração assimilada, ração não consumida e excrementos de peixes solúveis e sólidos. Os excrementos solúveis são principalmente a amônia, sendo transformada ao longo do processo em nitrito, e assim, assimilado pelas plantas. Já a ração não consumida e as fezes sólidas precisam ser solubilizadas para formas iônicas que são facilmente assimiladas pelos vegetais. Esses resíduos são parcialmente solubilizados, sendo filtrados diariamente por filtros mecânicos. Esses resíduos filtrados podem ser reaproveitados através de uma mineralização externa, podendo ser inseridos novamente nos leitos hidropônicos como fonte de nutrientes. A mineralização do material orgânico pode ser feita através do uso da compostagem, sendo possível a adição de fontes externas, como por exemplo, casca de ovos, frutas e vegetais, para fornecer ao sistema aquapônico fertilizantes orgânicos adicionais. Essa mineralização pode ser feita com o auxílio de minhocas, vermicompostagem, como observado na Figura 10, ou apenas com o auxílio dos microrganismos decompositores, como bactérias. A vermicultura, ou vermicompostagem, pode facilitar um alto grau de mineralização, uma vez que os vermes lançam micro e macronutrientes decompostos a partir de compostos orgânicos (GODDEK, 2015).

Figura 10 – Vermicultura.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

O potencial do efluente gerado pelos peixes como fonte de nutrientes para para espécies vegetais e a concentração de nutrientes exigidos pelas hortaliças são fatores importantes a serem analisados. Além disso, a determinação da digestibilidade da ração pode facilitar a estimativa da densidade de peixes mais adequada, o que também permite determinar o valor nutricional de dietas, ingredientes dietéticos e quantificar o volume de fezes (PORTAL EMBRAPA, 2018).

A composição da alimentação afeta diretamente a excreção de nutrientes pelos peixes, consequentemente afetando a química da água. Sendo assim, um desafio é encontrar a composição correta de ração para peixes, a fim de atingir uma composição de água o mais próxima possível dos requisitos da aquaponia. É necessário estabelecer a proporção de macro e micronutrientes que os peixes podem liberar na água a partir do consumo de um determinado alimento, variando de acordo com as espécies de peixes, densidade, temperatura e tipo de plantas. Isso permitirá fazer estimativas das melhores relações planta/peixe/ração. Em resumo, os insumos minerais inorgânicos adicionam custos e questões extras ao gerenciamento sustentável de recursos. Assim, a composição da alimentação dos peixes deve ser adaptada para minimizar essa adição mineral, garantindo as propriedades nutricionais necessárias para a produção de peixes e evitando o acúmulo de minerais fitotóxicos, como por exemplo o sódio. Sendo assim, algumas combinações de plantas e peixes podem ser mais

apropriadas do que outras em termos de sobreposição entre perfis de nutrientes oferecidos pelos excrementos e perfis de nutrientes exigidos pelas plantas. A identificação desses casais garantiria o uso ideal dos nutrientes disponíveis (GODDEK, 2015).

Avaliar a eficiência dos filtros é indispensável para um bom balanço de nutrientes no sistema, sendo feita através de testes rápidos que determinam as concentrações de amônia, nitrito e nitrato na água. O acúmulo da amônia pode resultar no estresse dos peixes provocando o aumento de doenças e uma queda na produção. Sendo assim, de acordo com Queiroz (2018), é recomendado analisar a cada 15 dias os compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitrato, e instalar, na medida do possível, sensores de temperatura, pH e oxigênio dissolvido para monitoramento de forma contínua, e se a concentração de nitrato estiver elevada por semanas consecutivas, uma parte da água deverá ser substituída por água limpa (PORTAL EMBRAPA, 2018).

A origem da alimentação dos peixes em relação à sua pegada ambiental também deve ser levada em consideração. Espécies de peixes com baixo nível trófico devem ser preferidas. Além disso, soluções alternativas de produção devem ser promovidas, como a reciclagem de resíduos alimentares humanos, insetos, vermes, ervas daninhas aquáticas e algas como base de alimentação dos peixes. Como um sistema inovador de produção sustentável de alimentos, o desafio da aquaponia é usar a entrada de nutrientes com eficiência, minimizando seu descarte e tendendo a um sistema de recirculação de descarga zero, isso é transformar todos os nutrientes adicionados no sistema em biomassa vegetal, garantindo uma pegada ambiental menor (GODDEK, 2015).

O correto manejo e manutenção do sistema, levando em consideração os índices de produtividade e sustentabilidade, que têm como base indicadores de desempenho zootécnico, fitotécnico e econômico, como por exemplo, suplementação nutricional para os vegetais cultivados, composição da ração, temperatura e demais parâmetros de qualidade da água, é um ponto de aprimoramento do sistema (PORTAL EMBRAPA, 2018).

3.4.3. Controle de pragas

Pesticidas convencionais usados em hidroponia não podem ser usados em aquaponia por causa do risco de toxicidade para os peixes e para o biofilme de nitrificação e outros microrganismos solubilizantes de nutrientes. Além disso, para não causar problemas no biofiltro, não é possível o uso de antibióticos e fungicidas no controle e remoção de patógenos de peixes no ambiente aquático. Essas restrições exigem soluções inovadoras de manejo de

pragas e doenças para peixes e plantas que minimizem os impactos sobre os peixes e os microrganismos desejados, podendo levar à produção de alimentos com certificação de qualidade e livres de pesticidas, como por exemplo, os orgânicos, e assim, alcançar um prêmio maior no mercado, além de levar à população uma alimentação mais saudável. As pragas e patógenos de plantas e peixes podem ser divididos em quatro categorias diferentes, com base nas alternativas de soluções de tratamento específicas. Estas são pragas de plantas, principalmente insetos que danificam as folhas e raízes, como por exemplo, pulgões, ácaros; doenças de plantas, isto é, microrganismos, como por exemplo, bactérias, fungos e vírus; parasitas de peixe, como por exemplo, monogenea e cestoda; e doenças de peixes causadas por microrganismos (GODDEK, 2015).

Um dos métodos mais simples de controle para sistemas de pequena escala é o manual, por meio do qual remove-se fisicamente pragas maiores das plantas usando a mão ou um pincel. No entanto, isso pode ser demorado porque muitos são bem camuflados e também são minúsculos, então podem se esconder facilmente. Na natureza, os elementos abióticos como vento, temperatura e chuva ajudam a controlar as populações de insetos. Sendo assim, para sistemas abertos de grande porte, a chuva pode impedir que os insetos alados voem e as gotas os derrubam das plantas. Esses fatores abióticos podem ser replicados dentro da aquaponia para sistemas menores. A chuva pode ser imitada com um borrifador cheio de água do aquário. Essa água não pode ser da torneira, por ela conter cloro, que provocaria o desequilíbrio do sistema. Para replicação do vento e para o controle da temperatura podem ser utilizados ventiladores e aquecedores, respectivamente (AQUAPONIC LIFE, 2020).

Uma boa medida para prevenção de problemas no sistema aquapônico seriam práticas de criação e cultivo que diminuam a ocorrência de doenças, como medidas sanitárias preventivas, baixa densidade de peixes ou plantas, e controle das condições ambientais que diminuem a umidade relativa do ambiente, evitando proliferação de fungos (QUEIROZ, 2017).

Além dessas práticas, já existem alguns métodos inovadores de biocontrole para plantas cultivadas em condições de campo ou estufa. Esses métodos são baseados no uso de microrganismos com atividade de biocontrole, ou extratos desses microrganismos. Podem ser utilizados, também, extratos de plantas, incluindo óleos essenciais, que mostram alta eficiência antimicrobiana e curto tempo de residência. Além disso, a própria diversidade microbiana do sistema pode ser benéfica para as plantas. A presença de alguns

microrganismos mutualísticos na biosfera da planta pode retardar o desenvolvimento de patógenos, enquanto promove o crescimento, como por exemplo, de rizobactérias e fungos promotores do crescimento da planta (GODDEK, 2015).

3.4.4. Oxigênio dissolvido

A quantidade de oxigênio dissolvido na água, em clima tropical, deve ser superior a 3 $mg.L^{-1}$. Essa aeração deve ser fornecida diretamente na água, por compressores ou sopradores. O oxigênio dissolvido na aquaponia não só é necessário para a vida dos peixes, mas como também para ciclo biogeoquímico do nitrogênio. As excretas dos peixes possuem uma alta concentração de nitrogênio na forma de amônia, que não pode ser absorvida pelas plantas. Sendo assim, é necessário que o nitrogênio reaja com o oxigênio de tenha como produto final uma forma que possa ser absorvida pelas plantas. Dessa forma, no filtro biológico e também no ambiente das raízes das plantas é necessária uma colônia de bactérias, que transformam amônia em nitrito, e por fim nitrato, que é assimilado pelas plantas (CARNEIRO, 2015).

3.4.5. Aquaponia residencial

Produtos alimentícios industrializados tornaram-se rotineiros no prato de muitas pessoas por terem modo de preparo rápido e prático, porém nem sempre compõem uma escolha mais saudável. Além disso, quando opta-se por verduras, legumes e hortaliças disponíveis em mercados, tem-se o problema de que a maioria destas encontram-se contaminadas por aditivos químicos, como pesticidas e agrotóxicos. E ainda, hortaliças costumam estragar rápido, não podendo ser compradas em grandes quantidades e estocadas, necessitando comprar regularmente, o que não é prático. Pessoas preocupadas com uma alimentação saudável procuram os orgânicos, porém normalmente são caros e difíceis de encontrar.

A aquaponia permite produzir peixes, verduras e frutas, isto é, seu próprio alimento, ou parte dele. Logo, é possível ter em casa temperos, ervas para chá, folhosas, frutas e verduras, colhendo sempre que necessário. Além disso, a aquaponia residencial possui a função decorativa, proporcionando um ambiente mais agradável. Ter uma aquaponia em casa pode contribuir para a diminuição da pegada ecológica dos que a possuem, pois por ser possível a produção de alimentos no meio urbano, isto é, próximo ao consumidor final, minimizam-se perdas e gastos de combustível do transporte (ALEXANDRE, 2019).

A aquaponia residencial possui um baixo custo de energia elétrica, além de uma fácil montagem e manutenção. Além disso, por ser um sistema versátil e flexível, isto é, capaz de ser instalado em praticamente qualquer espaço, há a possibilidade da plantação de diversas espécies, e em pequenas áreas.

Com isso, a confecção de um sistema aquapônico residencial, apontando-se erros, acertos e possíveis melhorias é de extrema importância.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é dividido em duas partes, 4.1 e 4.2, sendo elas:

- Confecção de um sistema de aquaponia autossuficiente para residências e o monitoramento do desenvolvimento das plantas e da qualidade da água (seção 4.1 em Material e Métodos; seção 5.1 em Resultados e Discussão).
- Monitoramento da qualidade da água e do crescimento vegetal de um sistema aquapônico completo, e de um sistema sem a adição de peixes, com o objetivo de relacionar o desempenho do sistema com os nutrientes das excretas dos peixes (seção 4.2 em Material e Métodos; seção 5.2 em Resultados e Discussão).

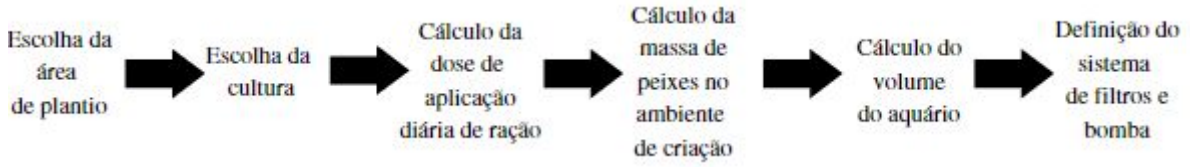
4.1. Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial

A Parte 1 do trabalho diz respeito à montagem de um sistema aquapônico residencial, sendo contempladas a descrição dos cálculos de dimensionamento e a montagem do sistema. O trabalho foi realizado entre os meses de junho e outubro de 2020, no município de Juiz de Fora, MG.

4.1.1. Escolha da área de plantio

Foi escolhido o método da área de plantio para o dimensionamento do sistema, conforme descrito pela FAO (2015), que relaciona a quantidade de alimento fornecido diariamente aos peixes com o tamanho da área que pode ser cultivada com vegetais. Na Figura 11, apresenta-se um fluxograma com as etapas do dimensionamento.

Figura 11 – Fluxograma das etapas do dimensionamento.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

A escolha do ambiente de cultivo se deu pela praticidade e funcionalidade para pequenos sistemas, optando-se pelo *media-filled bed,* ou seja, ambiente de cultivo em cascalho.

Estabelecido o método de dimensionamento, foram selecionados os componentes construtivos da cama de cultivo, optando por uma floreira grande e argilas expandidas como substrato. A escolha da floreira se deu pela disponibilidade do material no mercado e pela praticidade na montagem. Já para a escolha do substrato, considerou-se o peso e a estética dos elementos. Apesar das argilas expandidas serem mais caras, elas são mais leves que a brita, garantindo menor esforço no aquário e necessitando uma menor estrutura de sustentação da mesa, além de serem mais bem vistas esteticamente. Além disso, devido ao seu formato esférico, possuem mais vazios, garantindo maior entrada de ar no sistema, e ainda por serem mais porosas favorecem uma melhor colonização das bactérias, o que é fundamental para o bom desenvolvimento do sistema. A área de plantio adotada para o sistema de aquaponia possui as seguintes dimensões: de 32 cm de largura e 23 cm de comprimento, tendo uma área de cultivo de 0,0736 m².

4.1.2. Escolha da cultura

No desenvolvimento deste trabalho escolheram-se duas espécies para serem cultivadas no ambiente de cultivo do sistema de aquaponia, sendo, respectivamente:

- Hortelã (*Mentha spicata*).
- Cebolinha (*Allium fistulosum*).

A escolha das culturas se deu, primeiramente, pelo fato ambas possuírem o ciclo de vida perene, não sendo necessário o replantio constante. O segundo motivo se deu ao fato de as espécies serem consideradas de baixa necessidade de nutrientes, possuindo, assim, uma demanda nutricional de 50 g/m².d. Por fim, a hortelã (*Mentha spicata*) é uma espécie usual em hidroponia, tendo assim também, um grande potencial para aquaponia, enquanto a cebolinha (*Allium fistulosum*) apresenta um bom desenvolvimento na pesquisa de ARAUJO (2016).

4.1.3. Plantio das mudas

Para definir o espaçamento entre as plantas no ambiente de cultivo, adotou-se a recomendação de aproximadamente 40 cm de distanciamento, adotada pela literatura (MAKISHIMA, 1993). Sendo assim, foi calculado o número de mudas que a cama de cultivo comporta, como observado na Equação 5.

$$\frac{Ac}{e^2} = N_{mudas} \qquad \text{(Equação 5)}$$

Onde: Ac = Área de cultivo de vegetais (m²); e² = Espaçamento em área (m²); Nmudas = Número de mudas comportadas pelo sistema aquapônico.

No presente trabalho foram plantadas duas mudas de cebolinha (*Allium fistulosum*) e duas de hortelã (*Mentha spicata*), ambas compradas no Mercado Municipal de Juiz de Fora.

4.1.4. Dose de aplicação diária de ração

A dose de aplicação diária de ração está associada à exigência nutricional das plantas, de acordo com a Equação 1, com isso, para cada tipo de planta será recomendado uma dose de aplicação diferente. A cebolinha e a hortelã são espécies vegetais com baixa exigência nutricional, sendo assim, sua dose de aplicação foi definida de 50 g/ m².d (ALEXANDRE, 2019).

$$Dr = Ac \times Dn \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde: Dr = Dose de ração diária (g/d); Ac = Área de cultivo de vegetais (m²); Dn = Demanda nutricional (g/m².d).

4.1.5. Massa de peixe no ambiente de criação

A massa de peixe necessária no ambiente de criação foi definida pela Equação 2:

$$Mp = \frac{Dr}{Prp} \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: Mp = Massa de peixe (g); Dr = Dose de ração diária (g/d); Prp = Porcentagem da relação massa de ração por massa de peixe por dia (g/g.d).

Sendo assim, foi selecionado o peixe espada (*Xiphophorus helleri*) por ser agradável esteticamente e economicamente, e por possuir um comportamento pacífico (Figura 12), e o peixe Cascudo (*Hypostomus affinis*) por também apresentar um comportamento pacífico e por se alimentarem de algas e lodo, fazendo a limpeza do aquário.

Figura 12 – Peixes Espada.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.6. Volume do ambiente de criação

O volume do ambiente de criação de peixes é definido pela relação entre massa de peixes no sistema pela taxa de estocagem, como visto na Equação 4. A taxa de estocagem adotada foi de 10 kg/m³, considerando-se um sistema de baixa densidade.

$$Vap = \frac{Mp}{Tep} \qquad \text{(Equação 4)}$$

Onde: Vap = Volume do ambiente de criação de peixes (m³); Mp = Massa de peixe (kg); Tep = Taxa de estocagem de peixes (kg/m³).

4.1.7. Seleção da bomba

Para taxas de estocagem de até 10 kg/m³, a bomba selecionada deverá ser capaz de promover uma taxa de renovação de pelo menos metade do volume do tanque por hora. Foi comprada uma bomba submersa da marca Sarlo Better de 2 W, e com uma vazão calculada de 18 L/h, o que atende à recomendação (CARNEIRO, 2015).

4.1.8. Componentes construtivos e montagem do sistema

No Quadro 1 apresentam-se os componentes utilizados na confecção do sistema de aquaponia residencial.

Quadro 1 – Materiais necessários para a montagem do sistema aquapônico.

MATERIAIS NECESSÁRIOS				
Filtro	**Sistema de Aeração**	**Cama de cultivo**	**Ambiente de criação dos peixes**	**Ligando a bomba ao filtro**
Perlon(mídia mecânica)	Própria bomba	Floreira grande (40 x 32 x 15) cm	Aquário	Uma mangueira
Argila Expandida		Argila Expandida	1 bomba	
Mídia biológica		Quatro torneiras		
Floreira pequena (28 x 15 x 12) cm				
Colméia				

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Na Figura 13 visualiza-se o perlon, utilizado para o filtro mecânico; a mangueira transparente, utilizada para fazer a conexão da bomba com o filtro; as mídias biológicas empregadas no filtro biológico, a bomba de vazão calculada de 18 L/h; as torneiras usadas para o retorno da água da cama de cultivo de vegetais para o aquário; a floreira pequena de 28 cm de comprimento, 15 cm de largura e 12 cm de altura; e por fim, a floreira grande de 40 cm de comprimento, 32 cm de largura e 15 cm de altura.

Figura 13 – Materiais utilizados para a montagem do sistema.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Em seguida são apresentadas as etapas construtivas do sistema de aquaponia residencial:

1. O primeiro passo foi realizar cinco furos no ambiente de cultivo (floreira grande). O primeiro, foi na lateral para a entrada da água advinda do aquário para o filtro biológico que será encaixado na mesma, como observado na Figura 14a. Os demais furos foram feitos para a saída da água de volta para o ambiente de criação de peixes, onde foram colocadas torneiras, como observa-se na Figura 14b.

Figura 14 – Ambiente de cultivo: furo de encaixe da mangueira para entrada da água na floreira (a); torneiras para a saída da água de volta para o ambiente de cultivo de peixes (b).

(a) (b)

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

2. Posteriormente, foram feitos furos na floreira suporte para filtro (floreira pequena). O primeiro furo foi feito, assim como na floreira da cama de cultivo de vegetais, para a entrada da água no sistema. Depois foram feitos três furos para a saída da água do filtro para a cama de cultivo de vegetais, como observado na Figura 15.

Figura 15 – Floreira: furos feitos para saída de água do filtro para a cama de cultivo.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

3. Com todas as peças preparadas, deu-se início a montagem do sistema. Foi colocada a floreira pequena dentro da grande, com o furo de entrada da água da mangueira de cada uma se sobrepondo. Assim, passou-se a mangueira pela floreira maior e em

seguida pela menor como exposto, conectando a outra ponta da mesma à bomba, esta fixada no interior do aquário, como observado na Figura 16.

Figura 16 - Conexão entre a cama de cultivo e o aquário.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4. Posteriormente foi montado o filtro. Este foi dividido em três ambientes separados por uma colmeia, sendo o primeiro o perlon seguido da mídia biológica, e por último a argila expandida, como observado na Figura 17. Em seguida, preenchemos a cama de cultivo com as argilas expandidas.

Figura 17 – Filtros mecânico e biológico.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

5. Montado o sistema, como mostra a Figura 18, o aquário foi preenchido com água potável, porém essa contém cloro, o que torna a água não própria para a aquaponia. Por isso, o sistema ficou em descanso por 24 horas, até a evaporação do cloro ser

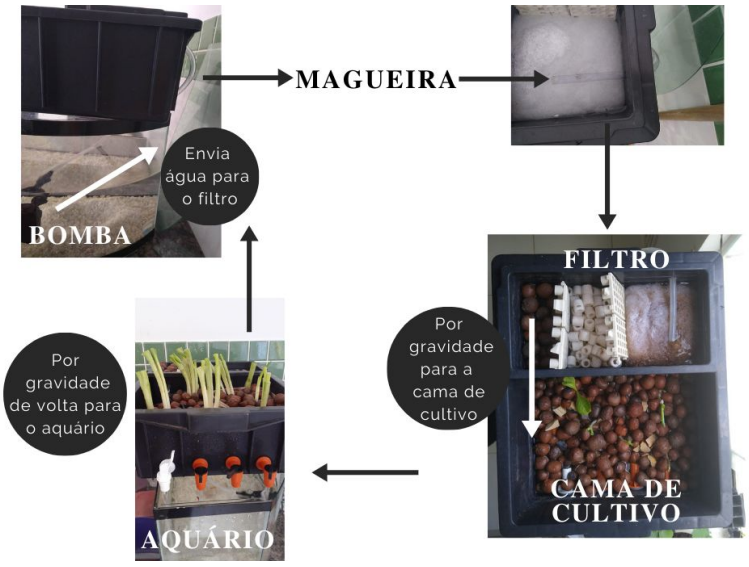
concluída. Depois, o sistema foi ligado, funcionando sem plantas a fim de avaliar possíveis vazamentos.

Figura 18 –Sistema aquapônico residencial confeccionado montado.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

A Figura 19, indica o esquema de funcionamento do sistema.

Figura 19 – Esquema do funcionamento do sistema aquapônico residencial.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.9. Cálculo de energia consumida

Para o cálculo da energia consumida para esse sistema aquapônico, considerou-se a potência da bomba em watts, já estabelecida na embalagem da mesma, o preço da energia local em

kW, indicado na conta de luz, e as horas em que o sistema fica ligado durante o mês. O cálculo do número de horas que o sistema fica ligado se dá através da Equação 7:

$$h_{total} = D_{mês}\ x\ h_{dia} \qquad \text{(Equação 7)}$$

Onde: htotal = Horas totais que a bomba fica ligado por mês; Dmês = Dia que o sistema fica ligados por mês; hdia = Número de horas que o sistema fica ligado por dia.

Definidos os valores, foi feito o cálculo do consumo de energia elétrica do sistema, como observado na Equação 8:

$$Ce = \frac{P \times h \times Pe}{1000} \qquad \text{(Equação 8)}$$

- Onde: Ce = Consumo de Energia elétrica advindo da aquaponia (R$); P = Potência da bomba (W); htotal = Horas que a bomba fica ligado por mês (h); Pe = Preço da energia elétrica (R$/kW.h).

4.1.10. Monitoramento das plantas

A avaliação do desenvolvimento das culturas se deu pelo monitoramento da altura com o auxílio de uma trena. A frequência do monitoramento foi semanal. O monitoramento se deu do dia 7 de outubro de 2020 até o dia 4 de novembro de 2021, totalizando o monitoramento de seis semanas. Antes disso, o sistema ficou recirculando durante 60 dias.

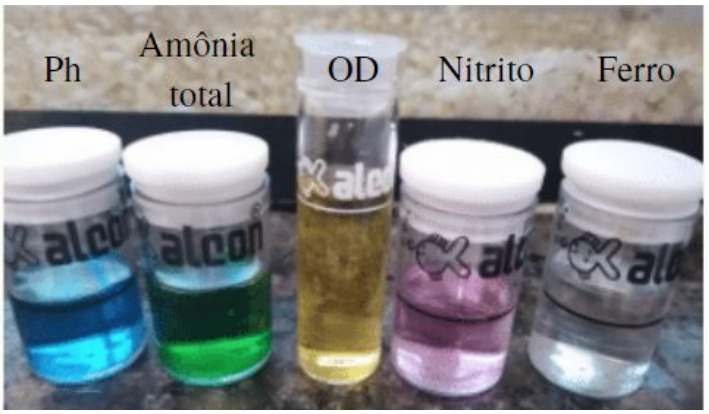
4.1.11. Monitoramentos da qualidade da água

Assim como no monitoramento vegetal, o monitoramento da qualidade foi semanal, tendo início no dia 7 de outubro de 2020, e o fim no dia 4 de novembro de 2021, totalizando o monitoramento de seis semanas. Foram utilizados kits de avaliação da qualidade da água para aquários, o que não é o recomendado em trabalhos técnico-científicos. A escolha de uso destes testes se deu pelo fato do fechamento temporário dos laboratórios da UFJF em virtude da situação de pandemia da COVID-19.

Foram escolhidos para análise cinco parâmetros de qualidade da água sendo eles: pH, nitrito, ferro, oxigênio dissolvido e amônia livre, sendo assim, foram comprados os cinco kits referentes ao parâmetros escolhidos, da marca *labconTest*, todos cadastrados no Ministério da Agricultura SEFIP-SC, como é ilustrado na Figura 19. As demais especificações estão descritas nos itens referentes a cada um dos testes. Antes de realizar o plantio, foram feitos os

cinco testes de qualidade da água seguindo as orientações de indicação de uso de cada um dos produtos, a fim de saber se os ambientes estavam adequados para a vida das espécies que ali vivem. A qualidade da água com vistas a manutenção dos peixes foi realizada semanalmente.

Figura 19 - Testes de qualidade da água: *labconTest.*



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.11.1. pH

O kit utilizado tem nome *pH Test*, marca *labconTest*, código *2002-1*, cadastrado no Ministério da Agricultura SEFIP-SC sob o n°003/00 em 15 de maio do ano 2000. O princípio do método de análise do pH se baseia na comparação visual da cor obtida com a escala de cores fornecida pelo kit. (Figura 20).

Figura 20 - Teste de pH: kit de análise de pH, com reagente e escala de cores (a); frasco com amostra após reações (b).

(a) (b)

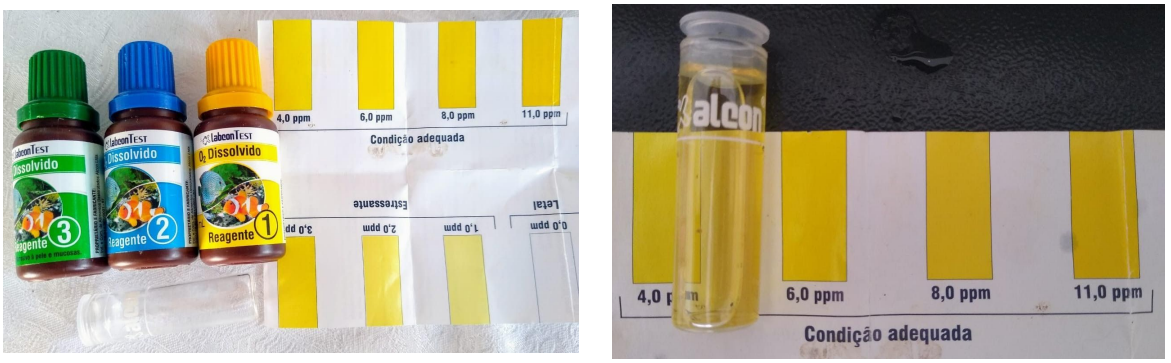
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.11.2. Oxigênio Dissolvido

O kit utilizado tem nome *O2 Test*, observado na Figura 21, da marca *labconTest*, código *2011-3*, cadastrado no Ministério da Agricultura SEFIP-SC sob o n°022/00 em 15 de maio do ano 2000. O princípio do método de análise do oxigênio dissolvido se baseia na comparação visual da cor obtida com a escala de cores fornecida pelo kit.

Figura 21 - Teste de oxigênio dissolvido (OD): kit de análise de OD, com reagente e escala de cores (a); frasco com amostra após reações (b).

(a) (b)



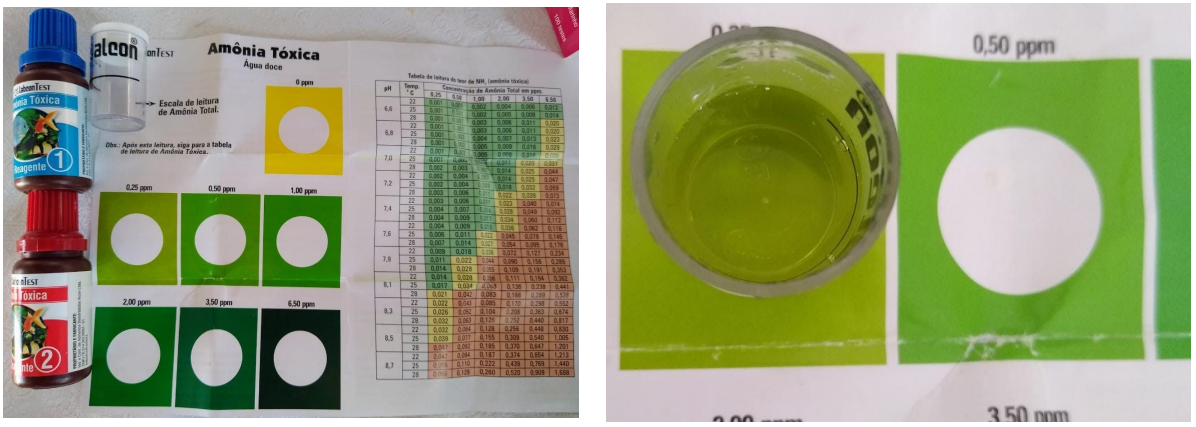
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.11.3. Amônia livre

O kit utilizado tem nome *Amônia Livre,* observado na Figura 22, marca *labconTest*, código *9162-5*, cadastrado no Ministério da Agricultura SEFIP-SC sob o n°099/08 em 14 de fevereiro do ano de 2008.

Figura 22 - Teste de amônia livre: kit de análise de ferro, com reagente e escala de cores (a); frasco com amostra após reações (b).

(a) (b)



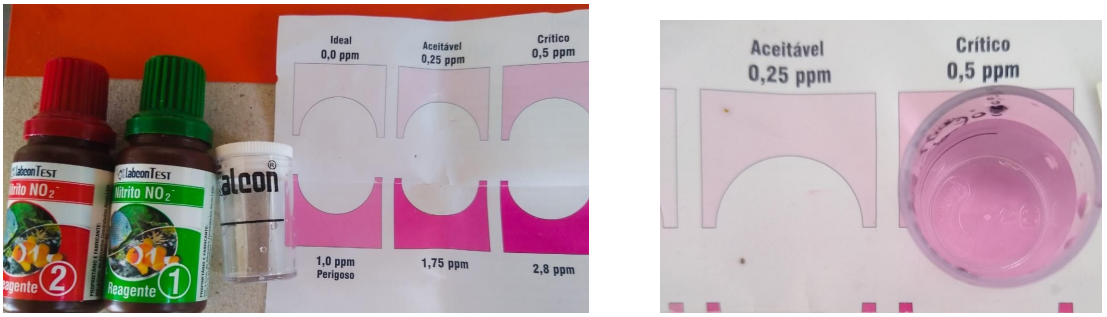
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.11.4. Nitrito

O kit utilizado tem nome *Nitrito NO2-*, observado na Figura 23, da marca *labconTest*, código *2005-2*, cadastrado no Ministério da Agricultura SEFIP-SC sob o n°018/00 em 15 de maio do ano 2000.

Figura 23 - Teste de Nitrito: kit de análise de nitrito, com reagente e escala de cores (a); frasco com amostra após reações (b).

(a) (b)



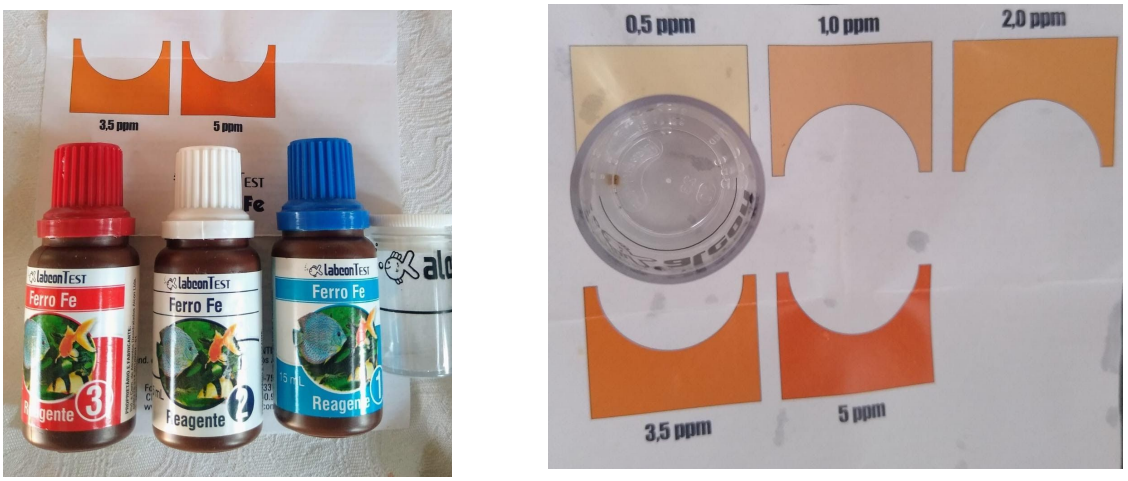
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.1.11.5. Ferro

O kit utilizado tem nome *Ferro Fe*, exemplificado na Figura 24, da marca *labconTest*, código *2008-3*, cadastrado no Ministério da Agricultura SEFIP-SC sob o n°021/00 em 15 de maio do ano 2000.

Figura 24 - Teste de ferro: kit de análise de ferro, com reagente e escala de cores (a); frasco com amostra após reações (b).

(a) (b)



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.2. Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes

A parte 2 deste trabalho teve o objetivo de avaliar o efeito das excretas dos peixes sobre o desenvolvimento das plantas e sobre a qualidade da água. Para tanto, foram utilizados dois sistemas de aquaponia em paralelo: Sistema A, com adição de peixes; e Sistema B, sem adição de peixes. Ressalta-se que os sistemas utilizados possuíam parâmetros hidráulicos (volume, vazão) e de cultivo (cama de cultivo e espécies vegetais) semelhantes. O trabalho foi realizado entre os meses de dezembro de 2020 e fevereiro de 2021, no município de Juiz de Fora, MG.

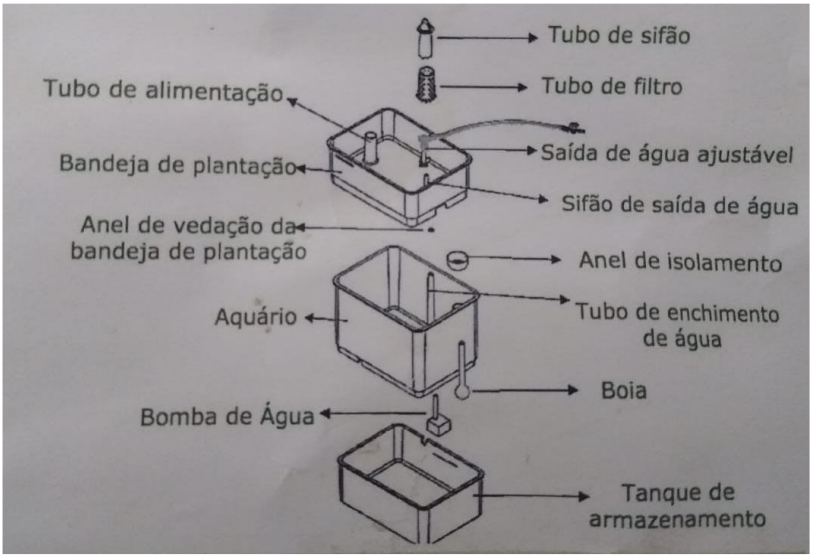
4.2.1. Especificações dos sistemas

Nesta etapa foi necessária a aquisição de um novo sistema de aquaponia, sendo assim foi comprado um sistema da marca Be Fresh Market. Nesta etapa, o Sistema A (com peixe) foi montado a partir do sistema de aquaponia da marca Be Fresh Market, enquanto para o

Sistema B (sem peixe) foi utilizado o sistema utilizado na Parte 1 do presente trabalho (ver item 4.1).

O sistema A, é composto por três unidades, o tanque de armazenamento ou sump, onde se localiza a bomba de água, o aquário, e a cama de cultivo, como observado na Figura 25 O fluxo da água se dá a partir do sump, através do encaminhamento da água pela bomba para a cama de cultivo dos vegetais, essa por sua vez, ao encher até determinada marca estabelecida, descarrega a água através do tubo sifão para o aquário, e este retorna a água para o sump, através do tubo de enchimento de água.

Figura 25 - Peças do Sistema A



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Foram seguidos os mesmos passos do dimensionamento da Parte 1, de acordo com a FAO, (2015), para a verificação do dimensionamento do sistema aquapônico da marca Be Fresh Market. Além disso, foram feitas adaptações no sistema desenvolvido na parte 1 a fim de ambos serem considerados semelhantes. Os dados hidráulicos e de dimensionamento dos sistemas A e B, se encontram nos Quadros 2 e 3, respectivamente. Os sistemas A e B se encontram na Figura 26.

Quadro 2 - Informações do Sistema A, com a presença de peixes.

Verificação do dimensionamento - Sistema A							
Área da cama de cultivo	**Dose de aplicação diária de ração**	**Massa de peixe no aquário**	**Volume do aquário**	**Vazão da bomba**	**Taxa de estocagem**	**e²**	**Número de mudas no sistema**
0, 079m²	3,96 g de ração por dia	0,198 kg	15 litros	20 L/h	13kg/m³	0,011	7

* e² = Espaçamento em área de acordo com a literatura de MAKISHIMA (1993).

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Quadro 3 - Informações do Sistema B, sem a presença de peixes.

Resultado do dimensionamento - Sistema B							
Área da cama de cultivo	**Dose de aplicação diária de ração**	**Massa de peixe no aquário**	**Volume do aquário**	**Vazão da bomba**	**Taxa de estocagem**	**e²**	**Número de mudas no sistema**
0, 074m²	3,7 g de ração por dia	0,185 kg	15 litros	18 L/h	12,3kg/m³	0,010 m²	7

*e² = Espaçamento em área de acordo com a literatura de MAKISHIMA (1993).

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Figura 26 - Sistemas de aquaponia: Sistema A, com a presença dos peixes (a); e Sistema B, sem a presença dos peixes (b).

(a) (b)

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

4.2.2. Escolha da cultura

No desenvolvimento deste trabalho escolheu-se a Cebolinha (*Allium schoenoprasum*) como espécie vegetal a ser cultivada no ambiente de cultivo do sistema de aquaponia. A mesma é considerada uma espécie de baixa necessidade de nutrientes, possuindo assim, uma demanda nutricional de 50 g/dia/m².

4.2.3. Plantio das mudas

Para definir o espaçamento entre as plantas no ambiente de cultivo, adotou-se a recomendação de aproximadamente 10 cm de distanciamento, adotada pela literatura (MAKISHIMA, 1993). Sendo assim, foi calculado o número de mudas que a cama de cultivo comporta, como observado na Equação 5. No presente trabalho, foram plantadas duas mudas de cebolinha e duas de hortelã, especificadas no item 4.2.2.

4.2.4. Monitoramento das plantas e da qualidade da água

O monitoramento das plantas e da qualidade da água se deu dos dia 10 de dezembro de 2020 até o dia 13 de janeiro de 2021, totalizando o monitoramento de seis semanas, sendo executados da mesma forma que o apresentado anteriormente nos itens 4.1.10 e 4.1.11. A frequência do monitoramento foi semanal.

4.2.5. Tratamento dos dados

Os dados dos monitoramentos foram compilados em planilhas digitais e analisados por meio de estatística descritiva, tal como a determinação de médias, desvio e padrão e análises gráficas. Para tais cálculos foram selecionados os valores do crescimento semanal de cada uma das sete mudas.

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial

5.1.1. Dimensionamento

As dimensões do sistema de aquaponia residencial desenvolvido, bem como os parâmetros de confecção estão apresentados na Quadro 4:

Quadro 4 - Resultado do dimensionamento

Resultado do dimensionamento - Parte 1							
Área da cama de cultivo	**Dose de aplicação diária de ração**	**Massa de peixe no aquário**	**Volume do aquário**	**Qmin***	**Taxa de estocagem**	**e²**	**Número de mudas no sistema**
0, 074m²	3,7 g de ração por dia	0,185 kg	18,5 litros	9,25 L/h	10kg/m³	0,16 m²	4

*Vazão mínima recomendada da bomba.

*e² = Espaçamento em área de acordo com a literatura de MAKISHIMA (1993).

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Foi adquirida uma bomba com vazão de 18 L/h. Sendo assim, como a vazão mínima recomendada calculada foi de 9,25 L/h, o sistema terá uma taxa de renovação de água de 18L/h, isto é, aproximadamente duas vezes superior ao recomendado.

Na Figura 27 é apresentado o sistema de aquaponia residencial confeccionado.

Figura 27 - Sistema aquapônico em funcionamento.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

5.1.2. Monitoramento da qualidade da água

No Quadro 5 apresenta-se os resultados do monitoramento da qualidade da água.

Quadro 5 - Testes de qualidade da água.

Quadro de testes da qualidade da água - Parte 1								
Parâmetros de monitoramento		**pH**	**Nitrito (mg.L-¹)**	**Ferro (mg.L-¹)**	**Oxigênio dissolvido (mg.L-¹)**	**Amônia Total (mg.L-¹)**	**Temperatura (°C)**	**Amônia livre (mg.L-¹)**
Data	**Faixa ótima**	**6,5 - 7***	**<0,5****	**2*****	**>3***	**0 - 2****	**20-28***	**0 - 0,039****
60 dias de recirculação		>7,5	0,33	<0,5	7	0,42	23,3	0,0087
08/10/20	**Análise 1**	7,5	0,5	<0,5	5	1	23	0,022
21/10/20	**Análise 2**	7,2	0,25	<0,5	6	0 - 0,25	20	0
28/10/20	**Análise 3**	7,2	0	<0,5	4	0	21	0
04/11/20	**Análise 4**	7,2	1	<0,5	5	0,25	18	0,002

*Faixa ótima para o sistema aquapônico, de acordo com Queiroz (2017).

**Faixa ótima para a saúde do peixe, de acordo com os testes comprados de qualidade da água da marca LabconTest.

*** Faixa ótima para o sistema hidropônico, de acordo com FURLANI (1998).

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

De acordo com Queiroz (2017), o pH ideal para cada componente vivo é diferente, sendo necessário manter uma faixa que seja satisfatória para todos os envolvidos. A maioria das plantas na aquaponia precisa de um valor de pH entre 5,5 e 6,5 para melhorar a absorção de nutrientes. Já a maioria dos peixes atinge o melhor desempenho de crescimento entre pH 7,0 e 9,0. Por sua vez, as bactérias nitrificantes têm um pH ótimo mais alto, entre 7, e 8,0. Sendo assim, o valor ideal de pH para o sistema está entre 6,5 e 7,0. Porém, observa-se que nos primeiros três testes de pH realizados, o mesmo apresentou valores acima de 7,0, o que não é muito favorável para as plantas, porém para os peixes e para as bactérias nitrificantes o pH acima de 7,0 é usual.

Ainda de acordo com Queiroz (2017), após a colonização do filtro biológico pelas bactérias nitrificantes e o estabelecimento do equilíbrio do sistema aquapônico, normalmente observa-se uma contínua tendência de redução dos valores de pH, o que indica um bom

funcionamento do filtro biológico. Sendo assim, observamos uma pequena queda do pH de 7,5 para 7,2, podendo ser um indicador do equilíbrio do sistema.

Os limites de amônia total, o nitrito e amônia livre foram baseados nas instruções de uso do Kit de monitoramento da qualidade da água para aquários utilizado, isto é, baseado nos níveis de toxicidade aceitáveis para os peixes em questão. De acordo com Oliveira (2016), a amônia livre (NH_3), não ionizada, é altamente tóxica, mas em contato com a água a amônia pode ser convertida, a depender do pH da solução, em íon amônio(NH_{4+}), que é uma forma atóxica. Essas duas formas encontradas no ambiente somadas resultam em amônia total, mas essa proporção é afetada de acordo com o pH e a temperatura da água, onde há um aumento na concentração de amônia não ionizada de acordo com o aumento da temperatura. Podemos observar no Quadro 5, que no dia de maior concentração da amônia livre, foi também o dia de maior temperatura. Além disso, levando-se em consideração que o pH, ficou sempre na faixa de 7,2 e 7,5, definiu-se então um limite aceitável de 2 $mg.L^{-1}$ para a amônia total, estando todas as amostras dentro do limite estabelecido. Por sua vez, o limite máximo para o nitrito e para a amônia livre é de 0,5 $mg.L^{-1}$ e 0,039 $mg.L^{-1}$, respectivamente. No último teste realizado, obteve-se o valor de 1,0 $mg.L^{-1}$ para o nitrito, sendo uma faixa considerada perigosa para os peixes, necessitando de maior atenção. Tal fato, pode ser explicado pelo excesso de ração inserida no sistema. Além disso, no primeiro teste observamos os maiores valores de amônia total e amônia livre no sistema, e concentrações de nitrito no limite crítico. De acordo com Queiroz (2017), se as concentrações de amônia e nitrito estiverem altas, isto pode indicar que o filtro biológico não está funcionando adequadamente, de modo que a área superficial do biofiltro deverá ser aumentada. Com isso, podemos entender que no primeiro teste, o sistema ainda não estava em equilíbrio, justificando os altos valores de nitrito e amônia no sistema. Sendo assim, os testes de nitrito e amônia livre encontram-se dentro do aceitável, porém no quarto teste os valores de ambos aumentaram, indicando a necessidade de uma maior atenção para o sistema.

De acordo com Furlani (1998), a recomendação mínima da concentração do nutriente ferro para o cultivo hidropônico de folhosas é de 2 $mg.L^{-1}$. Por sua vez, todos os testes de ferro indicaram valores inferiores a 0,5 $mg.L^{-1}$, isto é, o limite de detecção, indicando escassez de tal nutriente para o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Trussel (1972), a concentração de oxigênio depende da temperatura da água, sendo que, quanto maior a temperatura, menor será a concentração de oxigênio. Além disso,

existem espécies de peixes que suportam concentrações mais baixas de oxigênio dissolvido, como as espécies tropicais, como é caso da espécie analisada, o peixe espada (*Xiphophorus helleri)*. Pelos resultados do Quadro 5, podemos observar tal relação descrita acima, das variações de concentração de oxigênio dissolvido com o aumento ou diminuição da temperatura. Além disso, de acordo com a literatura estabelecida por Queiroz (2017) para o oxigênio dissolvido de no mínimo 3 $mg.L^{-1}$, todas as amostras semanais estavam de acordo com tais recomendações.

De acordo com BRAZ (2000), assim como o oxigênio dissolvido, existe uma faixa de temperatura ótima que varia de espécie para espécie. Os peixes de águas tropicais possuem uma faixa ótima entre temperaturas de 20 a 28°C. Se a temperatura for superior a 32°C pode ocorrer mortalidades, e abaixo de 24°C decresce o apetite rapidamente, além de aumentar a chance de proliferação de doenças. Afirma também que, a temperatura é um parâmetro importante de limitação da produção de peixes, pois ela afeta diretamente todas as atividades fisiológicas dos mesmos, como alimentação, respiração e digestão, além de influenciar no aumento da susceptibilidade de doenças. Além disso, a temperatura pode afetar a eficiência do biofiltro. Sendo assim, através do resultado das medições de temperatura, podemos afirmar que os três primeiros testes se encontram dentro da faixa recomendada. No último teste, a temperatura foi de 18°C, estando um pouco abaixo da recomendação.

5.1.3. Monitoramento do desenvolvimento do cultivo

No Quadro 6 apresentam-se os resultados do monitoramento do crescimento das espécies vegetais. Com uma semana no sistema, já foi possível observar um bom crescimento das duas mudas de cebolinha, indicando um bom funcionamento do sistema e adaptação da espécie. Porém, as duas mudas de hortelã morreram.

Quadro 6 - Monitoramento da altura das espécies vegetais.

Monitoramento da altura médias das espécies vegetais (cm)			
Indivíduos	**21/10**	**28/10**	**04/11**
Cebolinha 1	16	34	41
Cebolinha 2	11	28	30
Hortelã 1	20	19	-
Hortelã 2	18	20	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Na Figura 28 observa-se o desenvolvimento das cebolinhas e a morte das hortelãs.

Figura 28 - Desenvolvimento das mudas de cebolinha e hortelã.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

De acordo com GARLET (2008), as concentrações recomendadas de nutrientes a serem fornecidas à espécies de *mentha,* como a espécie de hortelã analisada (*mentha spicata)* por uma solução hidropônica são de: N (70-250 mg.L-¹), P (15-80 mg.L-¹), K (150-400 mg.L-¹), Ca (70-200 mg.L-¹), Mg (15-80 mg.L-¹), S (20-200 mg.L-¹), Fe (0,8-6 mg.L-¹), Mn (0,5-2 mg.L-¹), B (0,1-0,6 mg.L-¹), Cu (0,05-0,3 mg.L-¹), Zn (0,1-0,5 mg.L-¹) e Mo (0,05-0,15 mg.L-¹). As concentrações de ferro encontradas nos testes de qualidade da água do Quadro 5 são menores que 0,5 mg.L-¹, isto é, o limite de detecção. Sendo assim, é possível que tenham faltado nutrientes para o bom desenvolvimento da hortelã.

Além disso, de acordo com MALAVOLTA (2006), variações na absorção de nutrientes estão relacionadas, pela influência de fatores externos e internos. A diminuição da concentração de oxigênio na solução e da temperatura diminui, também, a absorção de nutrientes, sendo a temperatura ótima em torno de 30°C. Analisando os resultados dispostos no Quadro 5, observamos os valores mais baixos de temperatura, o que pode ter sido também, um fator de influência para a absorção de nutrientes necessária para o bom desenvolvimento da espécie vegetal.

De acordo com SANTOS (2005), a cebolinha possui uma maior capacidade em manter adequada a absorção de nutrientes como Ca, Mg e N quando a solução tiver uma maior concentração de sais de KCl, se diferindo de outras plantas cultivadas, em que o aumento da concentração do sal na solução reduz a absorção de tais nutrientes. A ração escolhida para a alimentação dos peixes, da marca Alcon para peixes ornamentais, indicada para a espécie

escolhida no trabalho, espada (*Xiphophorus helleri),* possui em sua composição sais, como cloreto de sódio (NaCl), que podem ter influenciado na absorção de nutrientes pela hortelã, e não pela cebolinha, explicando porque apenas a mesma se desenvolveu bem.

Além disso, de acordo com BELFORT (1983), a identificação de sintomas de carência nutricional na cebolinha é bastante difícil, sendo o nitrogênio e o cálcio os nutrientes que mais afetam seu crescimento e qualidade das folhas, respectivamente, sendo assim, a cultura mostra-se pouco exigente de nutrientes. Sendo assim, é possível que o sistema aquapônico estivesse carente de macro e micronutrientes essenciais para o bom desenvolvimento da hortelã, e não para a cebolinha, que é uma espécie vegetal menos exigente nutricionalmente.

5.1.4. Análise crítica do sistema

Foi possível observar um bom desenvolvimento das cebolinhas, porém, logo após o quarto teste de qualidade ter sido feito, houve um rompimento do aquário, devido ao peso da cama de cultivo sob o mesmo. Com isso, faz-se necessário algumas melhorias, listadas abaixo:

1. Cama de cultivo mais leve ou não apoiada no aquário.
2. Argilas expandidas menores.
3. Menor altura da água na cama de cultivo.
4. Falta de necessidade do filtro biológico.
5. Tela protegendo a bomba.

O item 1 diz respeito ao peso da cama de cultivo no aquário, que ocasionou o rompimento do mesmo. Já os itens 2 e 3 estão relacionados ao bem-estar das mudas, pois as mudas menores por possuírem menores raízes, acabam se movendo junto com o fluxo d'água, que promove o afundamento das mesmas, e consequente morte. Além disso, argilas expandidas de menor diâmetro ajudam na ambiência das espécies vegetais. E por último, o ponto de melhoria 4 está relacionada a um superdimensionamento do sistema, isto é, não havia necessidade de um filtro biológico, já que o ambiente de cultivo de vegetais escolhido, *media-filled bed*, já funciona como filtro biológico.

5.1.5. Cálculo da energia elétrica

Para o cálculo da energia consumida para esse sistema aquapônico, considerou-se a potência de 2,0 W, conforme informado na embalagem da bomba. O sistema fica ligado durante todo o

mês, com funcionamento em 24 horas por dia, ou seja, promovendo consumo mensal de 1,44 kWh. Sendo o preço da energia local de R$ 0,66311/kWh, obtém-se um gasto total mensal de R$ 0,95.

5.2. Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes

5.2.1. Monitoramento da qualidade da água

No Quadro 7 apresentam-se os resultados do monitoramento da qualidade da água do Sistema A. Como já mencionado na Parte 1 (item 5.1), de acordo com Queiroz (2017) o valor ideal de pH para o sistema está entre 6,5 e 7,0, porém, observa-se que nos testes 1, 2, 5 e 6, o mesmo apresentou valores acima de 7,0, o que diminui o potencial de absorção de nutrientes presentes na água pelas plantas, porém para os peixes e para as bactérias nitrificantes o pH acima de 7,0 é usual. Existem algumas variedades de substâncias tamponantes que podem ser utilizadas para a correção e estabilização do pH em sistemas aquapônicos. Ainda de acordo com Queiroz (2017), as substâncias tamponantes à base de potássio (K) e cálcio (Ca) são as mais indicadas, por serem nutrientes escassos na aquaponia e exigidos por muitas espécies vegetais. Sendo assim, a adição de substâncias tamponantes, como o KHCO3 e CaMg(CO3) 2 no sistema de aquaponia, funcionam, não apenas para o ajuste do pH da água, mas como também para a suplementação nutricional dos vegetais.

Quadro 7 - Monitoramento da qualidade da água do Sistema A.

Quadro de testes da qualidade da água - Sistema A								
Parâmetros de monitoramento		**pH**	**Nitrito (mg.L-¹)**	**Ferro (mg.L-¹)**	**O2 dissolvido (mg.L-¹)**	**Amônia Total (mg.L-¹)**	**Temperatura (°C)**	**Amônia Livre (mg.L-¹)**
Data	**Faixa ótima**	**6,5 - 7**	**<0,5**	**> 0,5**	**>3**	**0 - 3,5**	**20 - 28**	**0 - 0,039**
10/12	**Análise 1**	7,2	0	<0,5	4	0	24	0,0022
17/12	**Análise 2**	7,2	0	<0,5	4	0,25	26	0,002
24/12	**Análise 3**	7	0,5	< 0,5	4	2	22	0,009
31/12	**Análise 4**	7	0,5	< 0,5	6	0,25	22	0,001
07/01	**Análise 5**	7,2	0,25	< 0,5	6	0,25	26	0,002
13/01	**Análise 6**	7,2	0,5	< 0,5	8	0,25	26	0,002

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

De acordo com Martinez (2006), os valores ideias de pH e temperatura para satisfazer os três componentes biológicos envolvidos é de em aproximadamente 7,0 e 26 ºC, respectivamente. Além disso, tais valores evitam o aumento de amônia não ionizada (NH3).

Os limites de amônia total, o nitrito, amônia livre e ferro, assim como no monitoramento da qualidade da água da Parte 1 do trabalho, disposta no item 5.1.3, foram baseados na bula do Kit de monitoramento da qualidade da água para aquários, isto é, baseado nos níveis de toxicidade aceitáveis para os peixes em questão. De acordo com OLIVEIRA (2016), a amônia (NH3) não ionizada é altamente tóxica, mas em contato com a água a amônia é convertida em íon (NH4 +) amônio, que é uma forma atóxica. Essas duas formas encontradas no ambiente somadas resultam em amônia total, mas essa proporção é afetada de acordo com o pH e a temperatura da água, onde há um aumento na concentração de amônia não ionizada de acordo com o aumento da temperatura. Levando-se em consideração que o pH, ficou sempre na faixa de 7 e 7,2, definiu-se então um limite aceitável de 3,5 $mg.L^{-1}$ para a amônia total, estando todas as amostras dentro do limite estabelecido. Por sua vez, o limite máximo para o nitrito e para a amônia livre é de 1,00 $mg.L^{-1}$ para nitrito e 0,039 $mg.L^{-1}$, respectivamente. Porém, valores de nitrito a 1,0 $mg.L^{-1}$ são considerados já perigosos, necessitando de maior atenção. Sendo assim, todos os testes de nitrito, amônia total e amônia livre encontram-se dentro do aceitável.

Podemos observar no Quadro 7, a influência do pH e da temperatura nas concentrações de amônia livre. De acordo com Queiroz (2017), se as concentrações de amônia e nitrito estiverem altas, isto pode indicar que o filtro biológico não está funcionando adequadamente, de modo que a área superficial do biofiltro deverá ser aumentada. Considerando a afirmação anterior, podemos afirmar que o sistema estava em bom funcionamento.

Por sua vez, todos os testes de ferro indicaram valores inferiores a 0,5 $mg.L^{-1}$, indicando escassez de tal nutriente para o desenvolvimento das plantas.

De acordo com Queiroz (2017), a quantidade de oxigênio dissolvido na água, em clima tropical, deve ser superior a 3 $mg.L^{-1}$. Sendo assim, todas as amostras semanais estavam de acordo com as recomendações. Além disso, TRUSSEL (1972) afirma que a concentração de oxigênio depende da temperatura da água, sendo que, quanto maior a temperatura, menor será a concentração de oxigênio, e quanto menor a temperatura maior será a concentração de oxigênio dissolvido na água. Além disso, existem espécies de peixes que suportam

concentrações mais baixas de oxigênio dissolvido, como as espécies tropicais, como o peixe espada (*Xiphophorus helleri*).

De acordo com BRAZ (2000), os peixes de águas tropicais possuem uma zona de conforto entre temperaturas de 20 a 28°C, sendo que temperaturas muito elevadas (acima de 32°C), podem causar a morte dos animais, e temperaturas mais baixas (abaixo de 24°C), influenciam na diminuição do apetite dos peixes e aumenta a chance de proliferação de doenças. Além disso, afirma também, que como a temperatura é um parâmetro importante de limitação da produção de peixes, ela afeta diretamente todas as atividades fisiológicas dos mesmos, sendo estas, a alimentação, a respiração e a digestão, além de influenciar no aumento da susceptibilidade de doenças. Além disso, a temperatura pode afetar a eficiência do biofiltro. Sendo assim, através do resultado das medições de temperatura, podemos afirmar que todos os testes de temperatura se encontraram dentro da faixa recomendada.

No Quadro 8 apresentam-se os resultados do monitoramento da qualidade da água do Sistema B. Primeiramente, ressalta-se que a partir da terceira semana não foram realizados os testes de qualidade da água, devido à morte das mudas de cebolinha.

Quadro 8 - Monitoramento da qualidade da água do Sistema B.

Quadro de testes da qualidade da água - Sistema B								
Parâmetros de monitoramento		**pH**	**Nitrito (mg.L-¹)**	**Ferro (mg.L-¹)**	**O2 dissolvido (mg.L-¹)**	**Amônia Total (mg.L-¹)**	**Temperatura (°C)**	**Amônia Livre (mg.L-¹)**
Data	**Faixa ótima**	**6,5 - 7**	**0**	**>0,5**	**>3**	**0 - 0,5**	**18 - 30**	**0 - 0,020**
10/12	**Análise 1**	7,5	0	< 0,5	8	0	24	0
17/12	**Análise 2**	7,5	0	< 0,5	11	0	26	0
24/12	**Análise 3**	-	-	-	-	-	-	-
31/12	**Análise 4**	-	-	-	-	-	-	-
07/01	**Análise 5**	-	-	-	-	-	-	-
13/01	**Análise 6**	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Podemos observar a ausência de nitrito, amônia total e consequentemente de amônia livre no sistema. Tal fato pode ser explicado pela inexistência de uma fonte de nutrientes, que no caso do Sistema A, são as excretas dos peixes. Sendo assim, sem uma fonte de nitrogênio, o

sistema fica desbalanceado, não sendo possível o crescimento vegetal e o estabelecimento de bactérias nitrificantes.

Observamos também que, o pH nos dois testes realizados se encontra acima do recomendado por Queiroz (2017), isto é, acima da faixa de 6,5 e 7,0, o que não é muito favorável para as plantas. Por sua vez, para os peixes e para as bactérias nitrificantes, cujo pH ideal é entre 7,0 e 9,0 e 7,0 e 8,0, respectivamente, o pH encontrado nas amostras está dentro do usual. Podemos observar no Quadro 8, que os dois resultados de temperatura se encontram na faixa recomendada por Queiroz (2017), isto é, entre 20 e 28° C. Novamente, os testes de ferro indicaram valores inferiores ao limite de detecção de 0,5 $mg.L^{-1}$, indicando escassez de tal nutriente para o desenvolvimento das plantas.

Os testes realizados indicaram uma excelente concentração de oxigênio dissolvido, que de acordo com Queiroz (2017), variam da faixa de 0 a 13 $mg.L^{-1}$, sendo exigido um mínimo de 3 $mg.L^{-1}$ para o bem-estar de todos os integrantes do sistema. Tal fato pode ser explicado, pela ausência dos peixes, que necessitam de oxigênio para sua sobrevivência, e também do não favorecimento de uma colônia de bactérias nitrificantes consumindo oxigênio no seu ciclo biogeoquímico.

5.2.2. Desenvolvimento do cultivo

Com uma semana no sistema, já foi possível observar um bom crescimento da cebolinha francesa no sistema A, indicando um bom funcionamento do sistema e adaptação da espécie ao mesmo. A partir dos dados de crescimento semanal de cada uma das sete mudas de cebolinha (*Allium schoenoprasum*), foram calculados a média aritmética, a mediana e o desvio padrão semanal, como observado no Quadro 9.

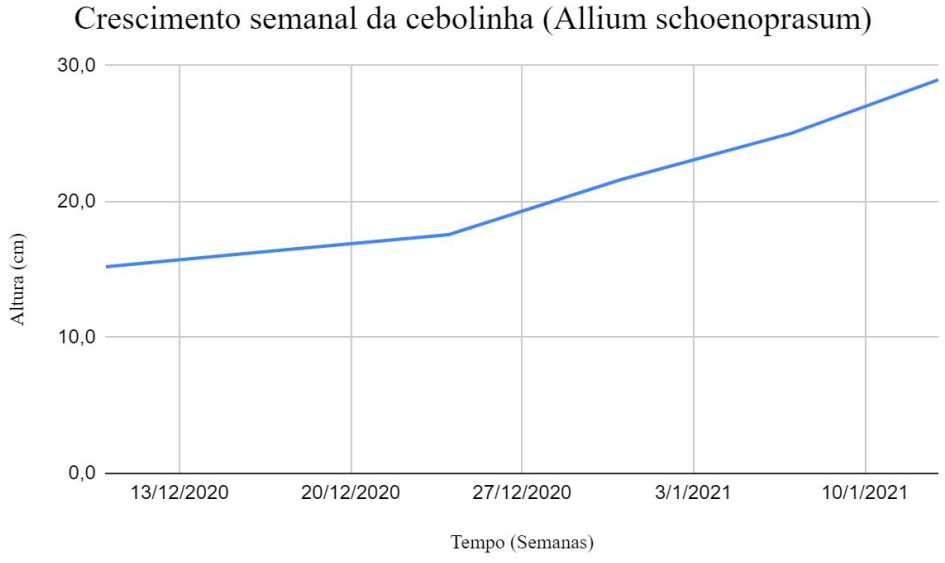
Quadro 9 - Cálculo da média aritmética, mediana e desvio padrão do crescimento semanal das espécies vegetais do Sistema A.

Cálculo estatístico semanal das espécies vegetais - Sistema A (cm)			
Semana	**Média aritmética**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
10/12/2020	15,2	14,8	1,0
17/12/2020	16,4	16,3	0,9
24/12/2020	17,6	17,2	1,1
31/12/2020	21,6	22	2,9
07/01/2021	25,0	26,8	3,7
13/01/2021	29,0	30,2	6,3

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Sendo assim, pelo baixo desvio padrão, é possível observar que as mudas no começo do ciclo possuíam um tamanho parecido, e ao final do ciclo esse desvio padrão aumentou, e algumas atingiram alturas bem superiores a outras. Porém, pela média e mediana podemos observar que a maioria das mudas atingiram uma altura considerável. Com os dados da média aritmética semanal, foi construído um gráfico para a melhor observação do desenvolvimento da altura semanal, como observado no Gráfico 1. Na Figura 29 podemos observar o bom desenvolvimento das cebolinhas em diferentes estágios.

Gráfico 1 - Média Aritmética do crescimento semanal das cebolinhas (*Allium schoenoprasum*).



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Observa-se no Gráfico 1, um maior crescimento a partir do dia 24 de dezembro. No Quadro 7, nota-se um aumento das concentrações de nitrito e de amônia total, de 0 para 0,5 mg/L-¹ e de 0,25 a 2 mg/L-¹ respectivamente. Sendo assim, é possível interligar, dentre outros fatores, o maior crescimento vegetal da cebolinha a partir de tal data com o aumento da disponibilidade de nutrientes.

Figura 29 - Crescimento das cebolinhas (*Allium schoenoprasum*) em diferentes estágios.

(A)-17/12/2020.

(B)-17/12/2020.

(C)-07/01/2021.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

Foram realizados também os cálculos da média aritmética, da mediana e do desvio padrão para o Sistema B, como observado no Quadro 10. Porém, as mudas de cebolinha deste sistema não se desenvolveram, e assim, murcharam, como observado na Figura 30.

Quadro 10 - Cálculo da média aritmética, mediana e desvio padrão do crescimento semanal das espécies vegetais do Sistema B.

Cálculo estatístico semanal das espécies vegetais			
Semana	**Média aritmética**	**Mediana**	**Desvio Padrão**
10/12/2020	15,0	14,8	1,1
17/12/2020	13,4	13,2	1,3

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

De acordo com o Quadro 10 acima, as espécies vegetais do Grupo B também possuíam um pequeno desvio padrão na primeira semana, indicando que as mesmas possuíam um tamanho parecido. Na segunda semana o desvio padrão permaneceu pequeno, e a média aritmética e a mediana diminuíram, indicando também uma diminuição geral das espécies vegetais, pois as mesmas estavam murchando e morrendo. Na terceira semana em diante, não houve registro do crescimento das mudas de cebolinha, devido à morte das mesmas.

Figura 30 - Morte das cebolinhas do Sistema B.

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA.

5.2.3. Análise crítica dos sistemas A e B

O sistema A é um sistema aquapônico muito agradável esteticamente, indicando também ser eficaz para o desenvolvimento das cebolinhas. Porém existem alguns pontos de melhoria a fim de deixar o sistema ainda melhor.

1. Ter uma porta de entrada para o sump (limpeza da bomba).
2. Menor altura da água na cama de cultivo.

3. Tela no sifão de saída de água.
4. Tela protegendo a bomba.

O item 1 se refere à uma maior praticidade para a limpeza da bomba e do sump, isto é, o tanque de armazenamento de água, onde se encontra a bomba, não havendo assim, a necessidade de desmontar todo o sistema para tal ação. O item 2 está relacionado ao bem-estar das mudas menores, pois por possuírem menores raízes, acabam se movendo junto com o fluxo d'água, que promove o afundamento das mesmas, e consequente morte. O item 3 diz respeito ao desperdício de ração, e consequentemente, ao entupimento da bomba. O sifão que leva a água do aquário para o sump, acaba levando consigo muita ração recém colocada no sistema, ainda boiando sobre a água. Sendo assim, com uma tela ao redor do sifão esse desperdício é diminuído. O item 4, também está relacionado à vida útil da bomba e ao tempo de limpeza da mesma. Caso algum sólido maior chegue no sump, haverá uma tela protegendo a bomba.

Para sistema B (sem peixe) foi empregado o sistema utilizado na Parte 1 do presente trabalho, sendo assim, a sua análise crítica foi realizada no item 5.1.5. Porém, devido ao rompimento do aquário, foram necessárias adequações, como por exemplo, a cama de cultivo que antes estava apoiada diretamente no aquário, na Parte 2, passou a ser apoiada em uma estante, evitando o peso da cama de cultivo sob o aquário, e o rompimento do mesmo.

Sendo assim, o Sistema A mostrou-se mais agradável esteticamente, além de ser mais compacto, diminuindo a área necessária para o mesmo. Em contrapartida, o sistema B se mostrou mais prático, por possuir uma manutenção e limpeza mais facilitada.

Em relação aos resultados obtidos no monitoramento da qualidade da água e do desenvolvimento do cultivo, nota-se que no Sistema B (sem peixe), não foi possível o desenvolvimento das espécies vegetais, devido às condições de operação, sem uma fonte de nutrientes. Por sua vez, o Sistema A (com peixes) mostrou-se eficaz para o bom desenvolvimento dos peixes.

6. CONCLUSÕES

No item *Parte 1: confecção de sistema aquapônico residencial*, apesar do rompimento do aquário devido ao peso do mesmo sobre a cama de cultivo, conclui-se, que o desenvolvimento de uma aquaponia residencial caseira é viável e possível, fazendo-se os ajustes necessários, recomendados no item 5.1.4. Além disso, o sistema aquapônico proposto no trabalho, levando-se em consideração o preço da energia elétrica local, apresentou um consumo de energia elétrica favorável, tendo um de gasto total mensal de R$ 0,95.

Além disso, apesar do pH elevado, isto é, acima de 7, e da carência do nutriente ferro (abaixo do limite de detecção de 5 mg. L^{-1}), observou-se o crescimento positivo das duas mudas de cebolinha ao longo das seis semanas de monitoramento do desenvolvimento vegetal, tendo um crescimento de até 25 cm de uma das mudas. Porém, as duas mudas de hortelã morreram, se mostrando uma espécie vegetal mais exigente nutricionalmente que a cebolinha.

Por sua vez, no item *Parte 2: relação de desempenho do sistema com as excretas dos peixes*, verificou-se a ausência de nitrito, amônia total e consequentemente de amônia livre no Sistema B (sem peixes), devido à inexistência de uma fonte de nutrientes, que no caso do Sistema A, são as excretas dos peixes, concluindo-se que sem uma fonte de nitrogênio, o sistema fica desbalanceado, não sendo possível o crescimento vegetal e o estabelecimento de bactérias nitrificantes. Além disso, a partir da segunda semana observou-se a morte das espécies vegetais, concluindo-se a relação do desempenho do sistema com os nutrientes presentes nas excretas dos peixes espada (*Xiphophorus helleri)* e Cascudo (*Hypostomus affinis*).

REFERÊNCIAS

AGRISHOW DIGITAL. **Cultivo integrado de peixes e vegetais: entenda a Aquaponia.** Disponível em: https://digital.agrishow.com.br/sustentabilidade/cultivo-integrado-de-peixes-e-vegetais-entenda-aquaponia. Acesso em: Abril de 2020.

ALMEIDA, M.D.; CAVENDISH, T.A.; BUENO,P.C; ERVILHA, I.C.; GREGÓRIO, L.S.; KANASHIRO, N.B.O.; ROHLFS, D.B.; CARMO, F.M..**A flexibilização da legislação brasileira de agrotóxicos e os riscos à saúde humana: análise do Projeto de Lei no 3.200/2015.** Cad. Saúde Pública, 2017.

ALEXANDRE, C.,**Curso de aquaponia**: **Como dimensionar um sistema de aquaponia.** Disponível em: https://cursodeaquaponia.com.br/como-dimensionar-um-sistema-de-aquaponia/. Acesso em: 20 de jan. de 2020.

ARAÚJO, F.G.; VICENTINI, R.R.. **Relação peso-comprimento da corvina Micropogonias furnieri (Desmarest) (Pisces, Sciaenidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro.** Revta bras. Zool.18 (1): 133 -138, 2001.

ARAUJO, Josinaldo Lopes et al. **Crescimento e nutrição mineral de cebolinha verde cultivada hidroponicamente sob diferentes concentrações de N, P e K.** *Rev. Ceres* [online]. 2016, vol.63, n.2, pp.232-240. ISSN 2177-3491.

AQUAPONIA**. Instituto Eco Ação.** Disponível em: http://institutoecoacao.blogspot.com/2014/01/entenda-o-que-e-hidroponia-eaquaponia.html?m=1. Acesso em: Abril de 2020.

AQUAPONIC LIFE. **The secret to protecting your plants naturally from pests.** Disponível em: https://aquaponiclife.org/aquaponics/plants-hydroponics/pest-control/. Acesso em: 15 de ago. de 2020.

AQUASCAPE ADDICTION. **How to aerate water without a pump.** By CRAIG on Apr 1, 2018. Disponível em:

https://www.aquascapeaddiction.com/articles/how-to-aerate-water-without-a-pump. Acesso em: 10 de ago. de 2020.

BELFORT, C. C.; HAAG, H. P.. **Nutrição mineral de hortaliças - LVI - Carência de macronutrientes em cebolinha (Allium schoenoprasum)**. Volume XL, 1983.

BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água.** Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo. 2000. 41p.

BROOKE, N. **How to aquaponics: Aquaponics Filtration Systems.** Disponível em: https://www.howtoaquaponic.com/designs/aquaponics-filter-systems/. Acesso em: 10 ago. de 2020.

CARNEIRO,P.C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Embrapa: Documentos 189 - Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**, 2015. Publicado em: out. 2015.

CICLO VIVO. **Sistema de cultivo flutuante**. Disponível em: https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/aquaponia-economiza-90-de-agua-e-descarta-quimicos-no-cultivo-de-hortalicas/. Acessoem: Abril de 2020.

DEWES, D.; WITTCKIND, E.V.. **Educação ambiental para a sustentabilidade: história, conceitos e caminhos**. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo/RS. Fórum Internacional Integrado de Cidadania: Educação, Cultura, Saúde e Meio Ambiente. Abril de 2006.

ECO CENTER. **DWC, Floating Raft.** Disponível em: https://www.ecocenter.pt/en/dwc-raft.html#. Acesso em 10 de ago. de 2020.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Management of the aquaponic systems**. Fisheries and Aquaculture Department (FI) in FAO.8398, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Pesticides Indicators**. Disponível em: http://www.fao.org/faostat/en/#data/EP/visualize. Acesso em: Abril de 2020.

GIRO RURAL. **Aquaponia para diversificação de peixes e plantas.** Dr. Gerarda Beatriz. 10 de agosto de 2019. Disponível em: https://girorural.com/aquaponia-para-diversificacao-da-producao-de-plantas-e-peixes/. Acesso em ago. de 2020.

GIRO RURAL. **Cultivo de camarões em aquaponia: vantagens e desvantagens.** Dr. Gerarda Beatriz. 9 de agosto de 2019. Disponível em: https://girorural.com/cultivo-de-camaroes-em-aquaponia-vantagens-e-desvantagens/. Acesso em: ago. de 2020.

GODDEK, S.; DELAIDE, B.;MANKASINGH, U.; RAGNARSDOTTIR , K.V.; JIJAKLI, H.; THORARINSDOTTIR, A.. **Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics.** Publicado em 10 de Abril de 2015.

GROHO. **Sistema de cultivo flutuante.** Disponível : https://www.groho.pt/post/crie-o-seu-proprio-sistema-floating-hidroponia. Acesso em: Abril de 2020.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (Oreochromisniloticus), manjericão (Ocimumbasilicum) e manjerona (Origanummajorana) em sistemas de recirculação de água e nutrientes.** Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2013.

LOVE, D.C.; UHL, M.S; GENELLO, L. **Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States**. Aquacultural Engineering, Volume 68, September, 2015, pp. 19-27.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MARTINEZ, C.B.R.; AZEVEDO, F.; WINKALER, E.U. Toxicidade e efeitos da amônia em peixes neotropicais. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C. Tópicos especiais em biologia

aquática e aquicultura. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Aquicultura e Biologia Aquática, 2006. p.81-95.

NELSON, R.L.. **Aquaponic Equipment: The Biofilter.** Aquaponics Journal, 1st Quarter, Issue 48, 2008.

OLIVEIRA, L.,**Resíduos de agrotóxicos nos alimentos, um problema de saúde pública, Uberaba**, MG, 2019.

OLIVEIRA, S. D. **Sistema de Aquaponia.** Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiás, 2016.

PORTAL EMBRAPA. **Pesca e aquicultura Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Produção vegetal: Estudo disponibiliza boas práticas em aquaponia.** (Versão 3.89.1) p03. jun. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/35345684/estudo-disponibiliza-boas-praticas-em-aquaponia. Acesso em: 13 de ago. de 2020.

POTT, C.M.; ESTRELA, C.C. **Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento.** Estud. av. vol.31 no.89 São Paulo Jan./Apr. 2017.

PINTO, Z. V.; CIPRIANO, M. A. P.; GALVÃO, J. A. H.; BETTIOL, W.; PATRÍCIO, F. R. A.; SANTOS, A. S.. **Podridão de raízes causada por Pythium aphanidermatum, em cultivares de alface produzidas em sistema hidropônico.** Summa Phytopathologica, v.37, n.4, p.180-186, 2011.

QUEIROZ, J. F.; FREATO, T. A.; LUIZ, A. J. B.; ISHIKAWA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S.. **Documento 113 Embrapa: Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia**. Embrapa Meio Ambiente. ISSN 1516-4691 dezembro/2017.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER. M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics: integrating fish and plant culture.** Aquaculture Center Publications, n. 454, p. 1-7, 2006.

SÁTIRO, T. M.; NETO, K. X. C. R.; DELPRETE, S. E.; **Aquaponia: Sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável**. Rev. Bras. Eng. Pesca 11(1): 38-54, 2018.

SOMOS VERDES. **Aquaponia: Sistema de cultivo em cascalho.** Disponível em: http://somosverdes.com.br/aquaponia-conheca-esse-sistema-que-esta-revolucionando-as-cidades/. Acesso em: Abril de 2020.

TRUSSELL, RP. **The Percent Un-Ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperatures.** Journal of Fisheries Board of Canada, 1972. v. 29, n. 10, p. 1505-1507.

VAZ, A. P. A.; JORGE, M. H. A.; GUTIERREZ, R.. **Embrapa: Série plantas medicinais, condimentares e aromáticas.** Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/786582/1/FOL105.pdf>. Acesso em jan. 2021.

VEIGA, J.E. **A primeira utopia do antropoceno.** Ambient. soc. vol.20 no.2 São Paulo Apr./June 2017.

WICKING. **Landscaping Edging Garden Edging both Mini Garden Landscaping Ideas.** Disponível em: https://www.pinterest.co.kr/pin/473229873344898606/. Acesso em: Abril de 2020.

ZUIN, V. G. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química**. Campinas: Átomo, 2011.

ANEXO I

Forma de uso dos kits de monitoramento da qualidade da água, descritos no item 4.1.11:

1. pH

Primeiramente, preenche-se a proveta com água proveniente da cama de cultivo até a marca pré-estabelecida (aproximadamente 5 mL). Em seguida, adiciona-se três gotas da solução reagente (Azul de bromotimol, hidróxido de sódio, água destilada). Após agitação, deixa-se o conteúdo em repouso por dois minutos, e então realiza-se comparação visual da coloração desenvolvida na amostra com a escala de cores apresentada pelo produto.

2. Oxigênio dissolvido

Os materiais utilizados foram três reagentes, uma proveta e uma bula com os testes de comparação de cor, onde quanto maior for a cor amarela, maior a quantidade de oxigênio dissolvido na amostra.

- Composição do reagente 1: Sulfato manganoso, água destilada.
- Composição do reagente 2: Hidróxido de sódio, Iodeto de potássio, água destilada.
- Composição do reagente 3: Ácido sulfúrico, água destilada.

Foi coletada água do aquário até a marca pré-estabelecida pelo tubo, pingando duas gotas da solução reagente 1, tampando o tubo e misturando-o com simples inversão. Fez-se o mesmo com os reagentes 2 e 3, e mantendo o tubo à prova de luz durante 5 minutos, comparou-se a cor desenvolvida com a escala de cores apresentada na bula do produto.

3. Amônia livre

Os materiais utilizados foram dois reagentes, uma proveta e uma bula com os testes de comparação de cor, em que a cor amarela indica a ausência de amônia total na amostra, e as cores verdes a presença, sendo que quanto mais escuro for o verde maior a presença de amônia total. Sendo assim, quando a amostra indica 0 $mg.L^{-1}$ de amônia total, quer dizer que a amônia livre também é de 0 $mg.L^{-1}$. Já quando há amônia total na amostra, é necessária a análise na tabela que associa temperatura, pH e amônia total.

- Composição da solução reagente 1: Fenol, Nitroprussiato de sódio, Álcool isopropílico, água destilada.
- Composição da solução reagente 2: Hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio e água destilada.

Encheu-se a proveta até a marca com a água do aquário a ser analisada, adicionando oito gotas da solução reagente 1, tampando-a e seguidamente agitando a mesma. Após isso, pingou-se quatro gotas da solução reagente 2, tampando o tubo e agitando-o novamente. Após três minutos, comparou-se a cor desenvolvida com a escala de cores apresentada na bula do produto, definindo o valor da amônia total. Após definido esse valor, seguiu-se para a tabela de leitura do teor de amônia livre, comparando o valor achado no teste da amônia total com os valores de pH e temperatura.

4. Nitrito

Os materiais utilizados foram 2 reagentes, uma proveta e uma bula com os testes de comparação de cor, onde quanto mais intensa for a cor rosa maior o valor de nitrito na amostra.

- Composição da solução reagente 1: Ácido sulfanílico, ácido acético, água destilada.
- Composição da solução reagente 2: Alfa-naftilamina, álcool etílico.

Com a proveta, coletou-se água até a marca padrão, e pingou-se duas gotas da solução reagente 1, tampando o tubo e em seguida agitando o mesmo. Depois, pingou-se mais duas gotas, porém agora, da solução reagente 2, tampando o tubo e agitando-o novamente. Esperou-se 10 minutos, e então comparou-se a cor desenvolvida com a escala de cores apresentada no produto.

5. Ferro

Os materiais utilizados foram três reagentes, uma proveta e uma bula com os testes de comparação de cor, em que quanto mais alaranjada for a solução maior a presença de ferro.

- Composição do regente 1: Permanganato de potássio, água destilada.
- Composição do reagente 2: Tiocianato de potássio, água destilada.
- Composição do reagente 3: Ácido nítrico, água destilada.

Encheu-se a proveta até a marca, adicionando gota a gota da solução reagente 1 até que ela se tornasse levemente rósea persistente, tampando o tubo e em seguida agitando o mesmo. Após isso, pingou-se seis gotas da solução reagente 2, tampando o tubo e agitando-o, e seguidamente pingou-se mais seis gotas, porém agora do reagente 3, tampando e agitando o tubo novamente. Após 5 minutos, comparou-se a cor desenvolvida com a escala de cores apresentada na bula do produto.