

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
– AGRONOMIA**

**QUALIDADE DA ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO COM  
EFLUENTE DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE  
VARIETADES DE RÚCULA**

Mestranda: Bruna Silva Martins  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

**RIO VERDE – GO  
Agosto – 2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS –  
AGRONOMIA**

**QUALIDADE DA ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO DE EFLUENTE DE  
SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE VARIEDADES DE  
RÚCULA**

Mestranda: Bruna Silva Martins  
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

**RIO VERDE – GO  
Agosto – 2021**

**Repositório Institucional do IF Goiano -RIIF Goiano**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas**

---

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES  
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Bruna Silva Martins

Matrícula: 2019202310140143

Título do Trabalho: QUALIDADE DA ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE VARIEDADES DE RÚCULA

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

---

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30/09/2021

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 29/09/2021.

Local/Data

*Bruna Silva Martins*

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

*José Carlos Batista Teixeira*

Assinatura do orientador

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

MB894q

Martins, Bruna Silva

QUALIDADE DA ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE VARIEDADES DE RÚCULA / Bruna Silva Martins; orientador Marconi Batista Teixeira; co-orientador Wilker Alves Moraes. -- Rio Verde, 2021.

95 p.

Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Eruca sativa. 2. Oreochromis niloticus. 3. Água residuária . 4. Aquaponia. I. Batista Teixeira, Marconi , orient. II. Alves Moraes, Wilker , coorient. III. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 1/2021 - UCPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**QUALIDADE DE ÁGUA E FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DE SISTEMA  
AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE VARIEDADES DE RÚCULA**

Autora: Bruna Silva Martins

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em  
Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 25 de agosto de 2021.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Presidente)

Prof. Dr. Wilker Alves Morais (Avaliador interno)

Prof. Dr. Leandro Carlos (Avaliador interno)

Prof. Dr. Nelmicio Furtado da Silva (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Nelmício Furtado da Silva, Nelmício Furtado da Silva - 2345 - PROFESSORES NA ÁREA DE FORMAÇÃO PEDAGÓGICA DO ENSINO SUPERIOR - Universidade de Rio Verde (01815216000178)**, em 29/08/2021 22:17:00.
- **Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 27/08/2021 14:36:28.
- **Wiker Alves Moraes, 2017102320140165 - Discente**, em 27/08/2021 07:47:23.
- **Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR DE CURSO - FUC1 - UCPG-RV**, em 27/08/2021 07:44:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/03/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 254919

Código de Autenticação: f93fa32761



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600

## **DEDICATÓRIA**

“Dedico este trabalho a Deus

Pela vida, saúde e força nos momentos difíceis enfrentados durante essa trajetória!”

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e de fornecer a infraestrutura para o desenvolvimento das atividades.

Ao orientador Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, pelas orientações sempre pertinentes desde a minha graduação até o mestrado e por ter acreditado em minha capacidade.

Ao coorientador Wilker Alves Morais, por todo o apoio e orientação e disponibilidade ao longo da execução deste trabalho.

A todas as pessoas que estiveram envolvidas no Projeto de Aquaponia, especialmente minhas colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação, Leydiane Pereira e Carol Loureiro.

Aos meus pais, pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis, pelos conselhos e ensinamentos que me deram ao longo da vida. Sem vocês eu jamais teria chegado tão longe e não teria sido capaz de sonhar alto e acreditar que seria capaz de alcançar esses sonhos.

E, a todos que de forma direta ou indireta fizeram parte da minha jornada.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

BRUNA SILVA MARTINS, filha de Líbia Silva de Almeida e Max Clay Martins da Silveira, nasceu no dia 14 de setembro de 1996, na cidade de Rio Verde, Goiás.

Concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Abel Pereira de Castro e ensino médio no Colégio Estadual Martins Borges, ambos no município de Rio Verde – GO, finalizando em dezembro de 2012.

Em fevereiro de 2013, ingressou no curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO e participou de Projeto de extensão sob orientação do Professor Dr. Celso Martins Belisário, graduando-se em junho de 2019.

Em setembro de 2019, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus de Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, tornando monitora do Laboratório de Hidráulica e Irrigação e concluindo em abril de 2021.

## ÍNDICE GERAL

<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES</b> .....	<b>x</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>16</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>17</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>18</b>
1.1 Referências bibliográficas .....	21
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
2.1 Objetivo Geral .....	23
2.1 Objetivos Específicos .....	23
<b>3 CAPÍTULO I</b> .....	<b>24</b>
<b>QUALIDADE AMBIENTAL DA ÁGUA DE UM SISTEMA DE AQUAPONIA</b> .....	<b>24</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>24</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
3.2.1 Localização da área experimental.....	26
3.2.2 Delineamento Experimental .....	27
3.2.3 Implantação e descrição do sistema .....	27
3.2.4 Cultivo de rúcula .....	30
3.2.5 Cultivo de peixes .....	31
3.2.6 Parâmetros analisados .....	31
3.2.7 Declaração de ética .....	33
3.2.8 Análises Estatísticas .....	33
<b>3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>48</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>48</b>
<b>4 CAPÍTULO II</b> .....	<b>51</b>
<b>ANÁLISE NUTRICIONAL DA ÁGUA DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE RÚCULA</b> .....	<b>51</b>

<b>RESUMO .....</b>	<b>51</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
4.2.1 Localização da área experimental.....	53
4.2.2 Delineamento Experimental .....	54
4.2.3 Implantação e descrição do sistema .....	54
4.2.4 Cultivo de rúcula .....	57
4.2.5 Cultivo de peixes .....	58
4.2.6 Parâmetros analisados .....	58
4.2.7 Declaração de ética .....	60
4.2.8 Análises Estatísticas .....	60
<b>4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>4.4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>76</b>
<b>5 CAPÍTULO III .....</b>	<b>83</b>
<b>CULTIVO DE RÚCULA FERTIRRIGADA COM EFLUENTE ORIUNDO DE SISTEMA AQUAPÔNICO .....</b>	<b>79</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>79</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>79</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>80</b>
<b>5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>81</b>
5.2.1 Localização da área experimental .....	81
5.2.2 Caracterização do solo .....	82
5.2.3 Delineamento Experimental .....	83
5.2.4 Implantação do experimento .....	83
5.2.5 Cultivo de rúcula .....	83
5.2.6 Aplicação dos tratamentos .....	84
5.2.7 Variáveis analisadas .....	84
5.2.7.1 Variáveis morfológicas .....	84
5.2.7.2 Teores de clorofila .....	84
5.2.7.3 Componentes de produção .....	84
5.2.7.4 Declaração de ética .....	85

5.2.7.5 Análises Estatísticas .....	85
<b>5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>85</b>
<b>5.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
<b>5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>
<b>6 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO I – QUALIDADE DA ÁGUA DE UM SISTEMA AQUAPÔNICO

<b>Tabela 1.</b> Nutrientes utilizados e as respectivas ordem de diluição para a formulação da solução nutritiva.....	30
<b>Tabela 2.</b> Metodologias utilizadas para análise de água.....	32
<b>Tabela 3.</b> Valores de referência dos parâmetros de qualidade da água para uso na aquaponia...33	
<b>Tabela 4.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico.....	34
<b>Tabela 5.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos do sistema aquapônico .....	35
<b>Tabela 6.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico.....	38
<b>Tabela 7.</b> Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) do sistema aquapônico.....	42
<b>Tabela 8.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DBO) do sistema aquapônico.....	44
<b>Tabela 9.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DBO) do sistema aquapônico.....	45
<b>Tabela 10.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DBO) do sistema aquapônico.....	46
<b>Tabela 11.</b> Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DBO) do sistema aquapônico.....	48

## CAPÍTULO II – ANÁLISE NUTRICIONAL DA ÁGUA DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DA RÚCULA

<b>Tabela 2.</b> Nutrientes utilizados e as respectivas ordem de diluição para a formulação da solução nutritiva.....	59
<b>Tabela 2.</b> Metodologias utilizadas para análise de água.....	61
<b>Tabela 3.</b> Valores de referência dos parâmetros de qualidade da água para uso na aquaponia...	61
<b>Tabela 4.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.....	63
<b>Tabela 5.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.....	64
<b>Tabela 6.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.....	65
<b>Tabela 7.</b> Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.....	68
<b>Tabela 8.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.....	70
<b>Tabela 9.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.....	71
<b>Tabela 10.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.....	73
<b>Tabela 11.</b> Influência de volume de filtros (VF) dentro de cada nível de períodos de avaliação (TEMPO) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.....	77

## CAPÍTULO III – FERTIRRIGAÇÃO DE EFLUENTE DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE RÚCULA

<b>Tabela 1.</b> Resultado da análise química, granulometria e classe textural do solo da área experimental, 0,0 a 0,2 m de profundidade.....	87
<b>Tabela 2.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros Índice SPAD, Clorofila a e Clorofila b de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	90

<b>Tabela 3.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros diâmetro de caule (DC), comprimento de folha (CF), largura de folha (LF), altura de planta (AP) e número de folha (NF) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	91
<b>Tabela 4.</b> Comprimento de folha (CF) e largura de folha (LF) em função das variedades de rúculas (VAR) cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	91
<b>Tabela 5.</b> Influência das variedades de rúculas (VAR) e volume de filtro (VF) e vice-versa, para diâmetro de caule (DC) e altura de planta (AP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	92
<b>Tabela 6.</b> Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para diâmetro de caule (DC), comprimento de folha (CF), largura de folha (LF), altura de planta (AP) e número de folha (NF) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	93
<b>Tabela 7.</b> Resumo da ANAVA para os parâmetros peso fresco da planta (PFP), peso seco da planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	94
<b>Tabela 8.</b> Influência das variedades de rúcula (VAR) e densidade de peixe (DP) e vice-versa para peso fresco de planta (PFP), peso seco de planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	95
<b>Tabela 9.</b> Influência da variedade de rúcula (VAR) e volume de filtro (VF) e vice-versa, para peso fresco de planta (PFP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	96
<b>Tabela 10.</b> Influência da densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para peso fresco de planta (PFP), peso seco de planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I – QUALIDADE DA ÁGUA DE UM SISTEMA AQUAPÔNICO

<b>Figura 1.</b> Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.....	27
<b>Figura 1.</b> Esquematização dos sistemas aquapônicos.....	28
<b>Figura 3.</b> Constituintes do sistema de aquaponia que conta com um tanque de criação de peixes de 1000 L (A), decantador de 200 L (B), filtro biológico de 200 L (C) e calhas hidropônicas de 6 m (D).....	28
<b>Figura 4.</b> Bomba de ar do sistema de aquaponia.....	29
<b>Figura 5.</b> A) Semeadura da rúcula em espuma fenólica; B) Irrigação das mudas de rúcula com solução nutritiva; C) Inserção das mudas no sistema hidropônico; D) Transplântio das mudas para os sistemas aquapônicos.....	31
<b>Figura 6.</b> Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de densidade de peixes (DP) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....	39
<b>Figura 7.</b> Análise do parâmetro temperatura (T) em função dos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....	41
<b>Figura 8.</b> Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de volume de filtro (VF) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....	43
<b>Figura 9.</b> Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de densidade de peixes (DP) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DQO) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....	47
<b>Figura 10.</b> Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de volume de filtro (VF) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO <sub>5</sub> ) e demanda química de oxigênio (DQO) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e	

VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....49

## **CAPÍTULO II – ANÁLISE NUTRICIONAL DA ÁGUA DE SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DA RÚCULA**

**Figura 1.** Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.....56

**Figura 2.** Esquematização dos sistemas aquapônicos.....57

**Figura 3.** Constituintes do sistema de aquaponia que conta com um tanque de criação de peixes de 1000 L (A), decantador de 200 L (B), filtro biológico de 200 L (C) e calhas hidropônicas de 6 m (D).....57

**Figura 4.** Bomba de ar do sistema de aquaponia.....58

**Figura 5.** A) Semeadura da rúcula em espuma fenólica; B) Irrigação das mudas de rúcula com solução nutritiva; C) Inserção das mudas no sistema hidropônico; D) Transplântio das mudas para os sistemas aquapônicos.....60

**Figura 6.** Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de densidade de peixes (DP) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....66

**Figura 7.** Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de volume de filtro (VF) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....69

**Figura 8.** Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de densidade de peixes (DP) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....75

**Figura 9.** Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de volume de filtro (VF) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.....78

**CAPÍTULO III – FERTIRRIGAÇÃO DE EFLUENTE DE SISTEMA AQUAPÔNICO  
NO CULTIVO DE RÚCULA**

**Figura 1.** Instalação do experimento.....86

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES (verificar)

Símbolo/ sigla	Significado
AP	Altura da planta
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
CEUA/IF Goiano	Comitê de Ética no Uso de Animais do Instituto Federal Goiano
CF	Comprimento da folha
CLRa	Clorofila <i>a</i>
CLRb	Clorofila <i>b</i>
CONCEA	Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal
DAAP	Dias após aclimação dos peixes
DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxigênio
DC	Diâmetro de colmo
DIC	Delineamento inteiramente ao acaso
DP	Densidade de peixes
DQO	Demanda química de oxigênio
LF	Largura da folha
LVdf	Latossolo Vermelho distroférico
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
NF	Número de folhas
NFT	Nutrient Film Thecnic
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
OD	Oxigênio dissolvido
PFP	Peso fresco de planta
pH	Potencial hidrogeniônico
PP	Peso por planta
PTP	Peso total da planta
SPAD	Soil Plant Analysis Development
STD	Sólidos totais dissolvidos
T	Temperatura
TAP	Teor de água da planta
Turb	Turbidez
uS cm	Micro-Siemens
VAR	Variedades de rúcula
VF	Volume de filtro

## RESUMO

MARTINS, B. S. **Qualidade da água e fertirrigação de efluente de sistema aquapônico no cultivo de variedades de rúcula.** 2021. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

A aquaponia é um sistema integrado de cultivo de vegetais (hidroponia) e organismos aquáticos (aquicultura) que podem ser destinados ao consumo ou ornamentação. O uso do efluente da piscicultura através do sistema da aquaponia, constitui uma solução bastante interessante para uso na fertirrigação, não apresenta fitotoxicidade e pode ser utilizado como biofertilizante, por apresentar macronutrientes suficientes para atender a demanda da maioria das culturas agrícolas. Com base no exposto acima, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da água em sistema aquapônico sob cultivo de rúcula, visando agregação de valor e sustentabilidade do sistema produtivo, em condição edafoclimática do Cerrado, bem como avaliar o crescimento e desenvolvimento de rúcula cultivada sob fertirrigação com efluente de piscicultura. O delineamento experimental dos Capítulos I e II foi inteiramente ao acaso, analisado em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com três repetições. Os fatores consistiram em dois volumes de filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); três densidade de estocagem (D1 = 20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque) e quatro tempos (6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação ambiental dos peixes), totalizando 72 unidades experimentais. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos da água. O delineamento experimental do Capítulo III foi inteiramente ao acaso, analisado em arranjo fatorial 2 x 2 x 3, com três repetições. Os fatores consistiram em variedades de rúculas (v1 = rúcula cultivada e v2= rúcula cultivada gigante folha larga); volume do filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); e densidade de estocagem (D1=20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque); totalizando 36 parcelas. Foram avaliados variáveis morfológicas, teores de clorofila e componentes de produção. Os parâmetros pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, dureza e sulfato, estão dentro dos limites estabelecidos, em relação aos fatores densidade de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes. Os parâmetros fósforo, cloreto, ferro, nitrogênio total, amônia, nitrato, nitrito, clorofila *a*, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, ficaram acima do permitido, em relação aos fatores densidades de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes. O índice de estado trófico teve valores elevados sendo classificado como ambiente hipereutrófico. De maneira geral, a densidade de 60 e 40 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água. A variedade Cultivada junto a densidade de 60 peixes e ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhores resultados. Ao passo que, a variedade Cultivada gigante folha larga junto a densidade de 20 peixes e ao volume de filtro de 50 L foi a que obteve menores resultados. Os resultados encontrados neste trabalho já eram esperados, pois maior densidade de peixes dentro de um mesmo espaço ocasiona maior quantidade de resíduos e conseqüentemente maior degradação da água do sistema, sendo necessário para maiores densidades um filtro com maior volume para remoção total dos resíduos ou até mesmo menor densidade de peixes. Em função da indisponibilidade de algumas informações nesta pesquisa, recomenda-se para trabalhos futuros a incorporação do mesmo com densidades de peixes e volumes diferentes, para melhor compreensão e recomendação.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*, *Oreochromis niloticus*, água residuária, aquaponia.

## ABSTRACT

MARTINS, B. S. **Water quality and aquaponic effluent fertigation in the cultivation of arugula varieties.** 2021. 99p. Dissertation (Master in Agricultural Sciences – Agronomy). Goiano Federal Institute – Campus Rio Verde – GO, Brazil.

Aquaponics is an integrated system for the cultivation of vegetables (hydroponics) and aquatic organisms (aquaculture) that can be used for consumption or ornamentation. The use of fish farming effluent through the aquaponics system is a very interesting solution for use in fertigation, as it does not have phytotoxicity and can be used as a biofertilizer as well as it has enough macronutrients to meet the demand of most agricultural crops. Based on the above, the objective of this study was to evaluate the water quality in an aquaponic system under arugula cultivation, aiming at adding value and sustainability of the production system, in edaphoclimatic condition of the Cerrado, as well as evaluating the growth and development of arugula cultivated under fertigation with fish farm effluent. The experimental design of Chapters I and II was completely randomized, analyzed in a 2 x 3 x 4 factorial arrangement, with three replications. The factors consisted of two filter volumes in relation to the tank (V1= 50 L and V2= 70 L); three stocking density (D1 = 30, D2=60 and D3=90 fish per tank) and four times (6, 12, 18 and 24 days after the environmental acclimatization of the fish), totaling 72 experimental units. The water physical-chemical parameters were evaluated. The experimental design of Chapter III was completely randomized, analyzed in a 2 x 2 x 3 factorial arrangement, with three replications. The factors consisted of arugula varieties (v1 = cultivated arugula and v2 = giant broadleaf cultivated arugula); filter volume in relation to the tank (V1= 50 L and V2= 70 L); and stocking density (D1=30, D2=60 and D3=90 fish per tank); totaling 36 experimental units. Morphological variables, chlorophyll contents and production components were evaluated. The parameters pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, temperature, total dissolved solids, alkalinity, hardness and sulfate are within the established limits, in relation to fish density factors, filter volumes and days after fish acclimatization. The parameters phosphorus, chloride, iron, total nitrogen, ammonia, nitrate, nitrite, chlorophyll a, biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand were above the permitted, in relation to fish density factors, filter volumes and days after fish acclimation. The trophic state index had high values, being classified as a hyper-eutrophic environment. In general, the density of 60 and 40 fish together with the filter volume of 50 L caused higher water quality degradation. On the other hand, the density of 20 fish together with a filter volume of 75 L provided better water quality. The variety Cultivated with a density of 60 fish and a filter volume of 75 L provided better results. Whereas the variety cultivated with giant broadleaf with a density of 20 fish and a filter volume of 50 L was the one that obtained the lowest results. The results observed in this work were expected because higher density of fish in the same space causes a greater number of residues and consequently greater degradation of the water in the system, being necessary for higher densities a filter with greater volume for total removal of residues or even a lower density of fish. Due to the unavailability of some information in this research, it is recommended for future work to incorporate it with different fish densities and different volumes, for a better understanding and recommendation.

**Keywords:** *Eruca sativa*, *Oreochromis niloticus*, wastewater, aquaponics.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento exponencial da população mundial associado ao aumento da demanda por recursos hídricos impõe enorme pressão sobre os setores envolvidos na produção de alimentos. A sustentabilidade deixa de ser uma bandeira política e moral e passa a ser uma necessidade. Consequentemente, a produção de alimentos aliada com menor utilização de água e nutrientes é também uma necessidade, sendo a aquaponia uma das alternativas para que esse cenário ocorra (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Para Granja (2018), a aquaponia apresenta uma série de vantagens, tanto para o nível de qualidade dos produtos obtidos, bem como para a economia dos recursos que são utilizados. Todavia, ainda é uma forma de cultivo desconhecida para a grande maioria da população.

A aquaponia é uma modalidade de cultivo que combina as técnicas "aquicultura" (produção de organismos aquáticos) e "hidroponia" (produção de plantas sem solo) e se baseia na integração de peixes, bactérias e plantas que podem reduzir o consumo de água em até 90%, se comparada aos sistemas convencionais (BAIONI et al., 2020). Este sistema é composto por um tanque no qual são produzidos os peixes, que alimentados com ração liberam compostos que são convertidos em nutrientes, posteriormente, para serem assimilados pelas plantas. De acordo com o sistema adotado, as raízes ou o substrato filtrante, ao retirar os nutrientes, purificam a água que retorna para os tanques de produção de peixes (QUEIROZ et al., 2017).

O cultivo de hortaliças em sistema aquapônico tem difundido na última década em todo o país, embora seja encontrado maiores estudos do cultivo hidropônico. Essa expansão se deve, entre outros fatores, à produção de hortaliças de ótima qualidade, reutilização de água e reciclagem de nutrientes, inclusive melhor aproveitamento do espaço físico. No cultivo hidropônico, que significa cultivo na água ou em substratos com pequena atividade química, a nutrição da planta é feita por uma solução nutritiva que contém todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento do vegetal (TONET et al., 2011).

O consumo de hortaliças tem aumentado entre os brasileiros que vem adotando saudáveis hábitos alimentares. Ao mesmo tempo, a produção e qualidade dessas hortaliças sofrem grande oscilação pela forte dependência das condições climáticas. O cultivo de hortaliças folhosas é importante e estratégico para a agricultura familiar ou pequeno produtor, pelo baixo investimento inicial e rápido retorno financeiro (PEREIRA et al., 2018).

Para a seleção da espécie do vegetal adotado no sistema aquapônico são adotadas as exigências do mercado, assim, deve-se dimensionar o sistema levando em consideração as limitações da planta, sua nutrição, radiação solar e hidratação. Alguns vegetais como alface,

rúcula, morango, agrião, manjeriço são exemplos de sucesso na aquaponia (LAVACH et al., 2014).

A rúcula (*Eruca sativa*) foi a cultura escolhida para este estudo pois, apesar de serem escassos os trabalhos científicos a ela inerentes, é comprovado sua importância econômica entre as demais hortaliças folhosas pelo seu rápido crescimento vegetativo e ciclo curto (SILVA et al., 2013). Além de servir como alimento, a rúcula apresenta propriedades nutraceuticas, sendo bom depurativo, fonte de vitamina C e de ferro (WINDER, 2018). No Brasil é representada principalmente pelas cultivares Cultivada e Folha Larga. A colheita da rúcula é feita de 30 a 40 dias após a semeadura. Após esse período, as folhas começam a ficar fibrosas e impróprias para o consumo, pois a planta começa seu estágio reprodutivo (GUARDABAXO et al., 2020).

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, pois contribui para o aumento da produtividade das culturas por promover a expansão foliar e o acúmulo de massa (BERNARD, 2017). No entanto, os autores Vieira Filho et al., (2016) observaram que o excesso de nitrogênio na adubação de rúcula aumenta a concentração de nitrato em suas folhas, reduzindo a qualidade da hortaliça e podendo dar origem a compostos carcinogênicos caso seja reduzido a nitrito após o consumo.

Plantas cultivadas em aquaponia necessitam em geral de nutrientes essenciais, e oxigênio, hidrogênio e carbono, disponíveis na água e na atmosfera; nitrogênio, disponível também na atmosfera. Outros minerais como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre (macronutrientes); e cloro, ferro, manganês, boro, zinco, cobre e molibdênio (micronutrientes) precisam estar balanceados em proporções ótimas, altos níveis de um nutriente pode influenciar na biodisponibilidade de outros (VICENTE et al., 2013).

Um dos aspectos mais importantes e complexos da aquaponia envolve a manutenção da qualidade da água em condições adequadas para criação dos organismos aquáticos e plantas, a concentração de nutrientes nos efluentes de piscicultura (cultivo de peixes) pode provocar inúmeras alterações físicas e químicas no corpo d'água, entre elas, variações acentuadas no pH, responsáveis por grande mortalidade de peixes pelo desequilíbrio ambiental, exigindo manejo efetivo e assegurando sustentabilidade (MACEDO; TAVARES, 2010).

A amônia é o principal resíduo nitrogenado excretado pelos peixes, resultante do metabolismo proteico, no interior do viveiro a amônia é produzida pela conversão biológica do nitrogênio orgânico, sendo convertida para moléculas de amônia ou íons amônio, posteriormente, a nitrificação converte amônia em nitrito, em último para nitrato, que será assimilado pelas plantas adiante (OLIVEIRA; SANTOS, 2015).

O potencial hidrogeniônico (pH) exerce influência na disponibilidade de nutrientes para as plantas afetando o seu crescimento quando o pH é superior a 7,0. Além disso, tem importante influência sobre o ciclo de nitrificação do nitrogênio, realizado pelas bactérias nitrificantes dos gêneros nitrossomonas e nitrobarcters, sendo recomendado o acompanhamento periódico da água, aferindo o pH, temperatura e condutividade elétrica (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Com relação a piscicultura, a tilápia-do-Nilo é um peixe tropical amplamente cultivado em todo o mundo e um dos mais produzidos pela aquaponia, por apresentar uma série de vantagens como crescimento rápido, tolerância à baixa qualidade da água, boa conversão alimentar, adaptação ao confinamento, rusticidade e aceitação da ração desde a fase larval (LAVACH et al., 2014).

Em aquaponia, outro fator importante que pode influenciar no rendimento das plantas é a quantidade de oxigênio dissolvido na água, que é determinante na seleção das espécies de microrganismo que se fixarão nas raízes das plantas. Altos teores de oxigênio dissolvido na água, aumentam a probabilidade de microrganismos benéficos se fixarem às raízes das plantas, enquanto baixos níveis de oxigênio dissolvidos há maior probabilidade de microrganismos maléficos se fixarem às raízes (SILVA, 2017).

A irrigação traz benefícios as culturas, entretanto faz-se necessária a racionalização da utilização da água, visto o custo energético elevado para o funcionamento do sistema de irrigação (MANGAROTTI et al., 2017), a fertirrigação vem sendo amplamente utilizada no setor hortícola por ser uma técnica que viabiliza o uso racional da água e de fertilizantes, mostrando maior eficiência no fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento das mudas (SILVA, 2019).

A fertirrigação se caracteriza como o processo de aplicação de fertilizantes misturado na água de irrigação que será aplicada ao solo compondo sua solução nutritiva, visando fornecer as quantidades de nutrientes e umidade requeridas pela cultura no momento adequado (fase de desenvolvimento vegetativo) para obtenção de altos rendimentos e produtos de qualidade (SILVA, 2019). Além disso, a fertirrigação permite flexibilidade de mudanças nas relações entre nutrientes; distribuição e localização dos adubos em que ocorre maior densidade de raízes; possibilidade de controle da profundidade de aplicação de adubo, levando a menor perda de nutrientes por lixiviação e menor perda de nitrogênio por volatilização, uma vez que os fertilizantes estão dissolvidos em água; menor compactação do solo pelo menor trânsito de máquinas; economia de mão de obra e comodidade na aplicação (PEDRILHO; FERNANDES, 2018).

Nesse sentido, a dissertação está estruturada em três capítulos, sendo três artigos. O primeiro artigo busca avaliar os parâmetros físico-químicos da água de um sistema de aquaponia; o segundo discorre sobre a análise nutricional da água proveniente do sistema de aquaponia e o terceiro aborda sobre o cultivo da rúcula sob fertirrigação de água residuária proveniente da criação de peixes.

**CAPÍTULO I** – Qualidade da água de um sistema aquapônico.

**CAPÍTULO II** – Análise nutricional da água de sistema aquapônico no cultivo da rúcula.

**CAPÍTULO III** – Fertirrigação de efluente de sistema aquapônico no cultivo de rúcula.

## 1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIONI, J. C; SQUASSONI, G. H; CULTRI, G. R. S; SILVA, J. D. T; DIAS, L. T. S. Efluente de piscicultura na produção consorciada de cebolinha e coentro. **Nucleus Animalium**, v.9, n.1, 2017.

BERNARD, M. F. Promotores de crescimento na produção de mudas de alface com e sem fertirrigação. 2017. 37f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2017.

GRANJA, R. P. Análise de viabilidade econômica de implantação de uma aquaponia no município de Santa Cruz das Palmeiras – SP. 2018. 77f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

GUARDABAXO, C. M. S; ASSIS, K. C. C; FIGUEIREDO, F. C; SILVA, L. F. Cultivo da rúcula em sistema hidropônico sob diferentes concentrações de sais. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 14(3) 274-282, 2020.

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

LAVACH, F. L; LOPES, P. R. S; BORGES, J. L. A; SILVA, P. G. C. G; COSTA, L. P; QUEROL, M. V. M; CAUDURO, C. L; FOGALE, C. Aquaponia: produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e hortaliças. **Centro de Convenções da PUC - GO**. Goiânia, 2018.

MACEDO, C. F; TAVARES, L. H. S. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, 36(2): 149 – 163, 2010.

MANGAROTTI, D. P. O; NASCIMENTO, J. M. R; SERON, C. C; LOZANO, C. S. ALVES, A. F. D; REZENDE, R. Fertirrigação com selênio em rúcula: eficiência de utilização da água. **ANAIS X EPCC UNICESUMAR** – Centro Universitário de Maringá, 2017.

NASCIMENTO, T. S; FLORIANO, L. S; PEREIRA, A. I. A; MONTEIRO, R. N. F; SALES, M. A. L. Produção de mudas de pimentão irrigadas com efluentes de piscicultura. **Revista Brasileira Agricultura Irrigada** v. 10, n°.1, Fortaleza, p.449 - 459, Jan - Fev, 2016.

OLIVEIRA, E. G; SANTOS, F. J. S. Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água. **Ciência Animal**, 25(1); 133-154, 2015 – Edição Especial.

PEDRILHO, G. M; FERNANDES, J. V. S. Fertirrigação nitrogenada na produção de alface. 2018. 16f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Agronomia) – Unicesumar, Maringá, 2018.

PEREIRA, J. T. S; RODRIGUEIRO, G. R. O; GABRIEL, C. P. C; GABRIEL FILHO, L. R. A; ROMÁN, R. M. S. Influência da orientação solar no cultivo de hortaliças em sistema vertical usando vermicompostagem e fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 42-54, Edição Especial 30 anos PG Irriga, 2018.

QUEIROZ, J. F; FREATO, T. A; LUIZ, A. J. B; ISHIKAWA, M. M; FRIGHETTO, R. T. S. Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia. 29 p. – (**Documentos** / Embrapa Meio Ambiente, ISSN 1516-4961; 113).

SILVA, F. V; DUARTE, S. N; LIMA, C. J. G. S; DIAS, N. S; SANTOS, R. S. S; MEDEIROS, P. R. F. Cultivo hidropônico de rúcula utilizando solução nutritiva salina. **Revista Brasileira Ciências Agrárias** Recife, v.8, n.3, p.476-482, 2013.

SILVA, J. R. A. Uso da água do cultivo de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* Linnaeus (1758) na fertirrigação de alface (*Lactuca sativa* L. cv. Brida). 2017. 76f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2017.

SILVA, V. S. Uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de olerícolas produzidas com base agroecológica. 2018. 96f. **Dissertação** (Mestrado) – Instituto Federal de Roraima, Boa Vista, 2019.

TONET, A; RIBEIRO, A. B; BAGATIN, A. M; QUENEHENN, A; SUZUKI, C. C. L. F. Análise microbiológica da água e da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema aquapônico, hidropônico e em solo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, Campo Mourão (PR), v.2, n.2, p.83-88, Jul./Dez., 2011.

VIEIRA FILHO, P. S; OLIVEIRA, G. Q; BISCARO, G. A; MOTOMIYA, A. V. A; GEISENHOFF, L. O. Fertirrigação com nitrogênio na cultura da rúcula. **Revista Agrarian** v.10, n.38, p. 304-, Dourados, 2017.

WINDER, A. R. S. Lâminas de irrigação na cultura da rúcula no Cerrado. 2018. 62f. **Dissertação** (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Ceres, Ceres, 2018.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da água em sistema aquapônico sob cultivo de rúcula, visando agregação de valor e sustentabilidade do sistema produtivo, em condição edafoclimática do Cerrado, bem como avaliar o crescimento e desenvolvimento de rúcula cultivada sob fertirrigação com efluente de aquaponia. (separar para fertirrigação).

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o consumo direto e indireto da água, na produção de hortaliças.
- Avaliar os parâmetros de qualidade de água para os sistemas aquapônico de tilápia com diferentes densidades de estocagem, tamanho de filtro e estações do ano para as hortaliças.
- Mensurar os parâmetros físico-químicos: temperatura, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, alcalinidade, dureza, nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, fósforo, sulfato, clorofila *a*, ferro e cloreto.
- Mensurar as variáveis morfológicas, teores de clorofila e componentes de produção da rúcula;

# 3 CAPÍTULO I

## QUALIDADE DA ÁGUA DE UM SISTEMA AQUAPÔNICO

### RESUMO

A aquaponia é um sistema integrado de cultivo de vegetais (hidroponia) e organismos aquáticos (aquicultura) que podem ser destinados ao consumo ou ornamentação. Por se tratar de um ambiente simbiótico, deve haver bom equilíbrio entre a quantidade de peixes e plantas no sistema, além do monitoramento de parâmetros como pH, temperatura e oxigenação, de forma que o ambiente seja favorável tanto para os peixes, quanto para as plantas. Com base no exposto acima, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da água em sistema aquapônico sob cultivo de rúcula, visando agregação de valor e sustentabilidade do sistema produtivo. O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, analisado em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com três repetições. Os fatores consistiram em dois volumes de filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75L); três densidade de estocagem (D1 = 20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque) e quatro tempos (6, 12, 18 e 24 dias após a aclimatação ambiental dos peixes), totalizando 72 unidades experimentais. Os parâmetros pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade e dureza, estão dentro dos limites estabelecidos, em relação aos fatores densidade de peixes, volumes de filtro e dias após aclimatação dos peixes. Os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio ultrapassaram os limites permitidos em relação a todos os fatores. De maneira geral, a densidade de 60 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*, aquaponia, físico-químicos, sustentabilidade.

### ABSTRACT

Aquaponics is an integrated system for the cultivation of vegetables (hydroponics) and aquatic organisms (aquaculture) that can be used for consumption or ornamentation. As it is a symbiotic environment, there must be a good balance between the number of fish and plants in the system, in addition to monitoring parameters such as pH, temperature and oxygenation, so that the environment is favorable for both the fish and the plants. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the water quality in an aquaponic system under arugula cultivation, aiming at adding value and sustainability of the production system. The experiment was carried out at the experimental station of the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. The experimental design used was completely randomized, analyzed in a 2 x 3 x 4 factorial arrangement, with three replications. The factors consisted of two filter volumes in relation to the tank (V1=6 m<sup>3</sup> - 50% and V2=9 m<sup>3</sup> - 75%); three stocking density (D1 = 30, D2=60 and D3=90 fish per tank) and four times (6, 12, 18 and 24 days after the environmental acclimatization of the fish), totaling 72 experimental units. The parameters pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, temperature, total dissolved solids, alkalinity and hardness are within established limits, in relation to fish density factors, filter volumes and days after fish acclimation. The biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand parameters

exceeded the allowed limits for all factors. In general, the density of 60 fish together with the filter volume of 50 L caused greater degradation of water quality. On the other hand, the density of 20 fish together with a filter volume of 75 L provided better water quality.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, aquaponics, physicochemicals, sustainability.

### 3.1 INTRODUÇÃO (acrescentar resultados da aquaponia)

Com o aumento da população mundial, aliada ao aumento da demanda por água, há grande pressão sobre os setores envolvidos na produção de alimentos (HUNDLEY, et al., 2013). Estima-se que a população mundial seja de 7,6 bilhões de pessoas e esse número está aumentando de tal forma que se espera 8,5 bilhões em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e passará os 11 bilhões em 2100 (CANASTRA, 2017).

A partir disso, é necessário o desenvolvimento de sistemas de produção de alimentos que sejam sustentáveis, que otimizem os espaços, uma vez que 75% da população mundial vive em áreas urbanas (GODDEK et al., 2015), com máximo aproveitamento da água e redução de efluentes, sendo a aquaponia uma dessas possibilidades (HUNDLEY et al., 2013).

A aquaponia é um sistema integrado de cultivo de vegetais (hidroponia) e organismos aquáticos (aquicultura) que podem ser destinados ao consumo ou ornamentação (NAKAUTH et al., 2020). A sustentabilidade deste sistema está relacionada à reduzida demanda de renovação de água, que pode chegar a economia de até 90% em relação aos métodos tradicionais de produção, diante o equilíbrio ecológico da interação entre peixes, bactérias e vegetais. Apesar da aquicultura e da hidroponia serem técnicas de cultivo com estudos realizados há mais de cinquenta anos, a aquaponia começou a apresentar seus resultados mais expressivos somente na última década (DOUGLAS, 2001).

A tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) tem sido a espécie mais utilizada nos sistemas aquapônicos por possuir um ciclo produtivo bastante estudado e conhecido, como sua excelente performance com o ganho de peso e crescimento, sua carne de qualidade superior e com poucas espinhas, que ajuda na hora da filetagem, além de ser o peixe mais produzido e consumido no Brasil e no mundo (ROCHA et al., 2020).

Assim, como a tilápia, a rúcula (*Eruca sativa*) destaca-se entre as hortaliças folhosas pela sua composição, com altos teores de potássio, enxofre, ferro, vitaminas A e C, pelo sabor picante e odor agradável, e ainda apresenta efeitos anti-inflamatório e desintoxicante para o organismo (JARDINA et al., 2017). Santos (2020) ressalta que no Brasil a crescente produção de rúcula, tem aumentado durante todo o ano, levando à necessidade no aprimoramento de

técnicas que possibilitem a obtenção de um produto de melhor qualidade, interferindo em modificações importantes nos sistemas de produção de hortaliças.

Por se tratar de um ambiente simbiótico, e os vegetais atuam como filtro biológico, removendo os elementos necessários para o seu crescimento, em contrapartida, melhorando a qualidade da água para os peixes, deve haver bom equilíbrio entre a quantidade de peixes e plantas no sistema, além do monitoramento de parâmetros como pH, temperatura e oxigenação, de forma que o ambiente seja favorável tanto para os peixes, quanto para as plantas. Nesse tipo de sistema, é difícil criar condições totalmente favoráveis para as plantas ou para os peixes. Busca-se um ponto de equilíbrio para ambas as espécies (animal e vegetal) (JORDAN et al., 2020).

A partir disso, cumpre ressaltar que diversos fatores associados às condições climáticas locais podem limitar o crescimento de peixes na aquaponia, como a densidade de estocagem, tamanho e formato do filtro, estação do ano, tipo de substrato utilizado no filtro e a qualidade da ração utilizada (AFSHARIPOOR et al.,2010; GEISENHOFF et al.,2016).

Assim, para que a produção seja consolidada, é preciso que as condições ambientais sejam respeitadas e atendidos os parâmetros de qualidade de água especificados pela legislação brasileira, diante o exposto, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da água em sistema aquapônico sob cultivo de rúcula, visando agregação de valor e sustentabilidade do sistema produtivo.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido entre novembro e dezembro de 2020, na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, conforme Figura 1. A localização está situada na Rodovia Sul Goiana, km 01, s/n - Zona Rural, Rio Verde – GO, na latitude 17° 48' 28" S e longitude 50° 53' 57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Alvares et al., (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual é de 23°C, a precipitação média anual é de 1.612,9 mm e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).



**Figura 1.** Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.

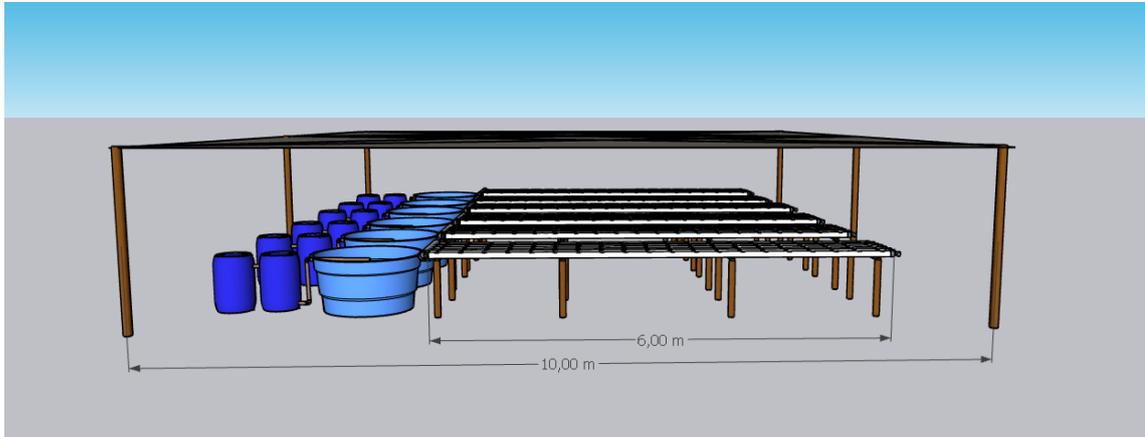
### **3.2.2 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC), em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com 3 repetições, sendo os fatores: dois volumes de filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); três densidade de estocagem (D1 = 20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque); quatro tempos (6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação ambiental dos peixes), totalizando 72 unidades experimentais.

### **3.2.3 Implantação e descrição do sistema**

Inicialmente na área experimental foi feita uma cobertura de tela de sombreamento agrícola (50% de interceptação da luz solar) e o solo nivelado e coberto com brita nº 02. Em seguida, 18 módulos aquapônicos foram instalados, sendo que cada um era composto por um tanque circular para produção dos peixes (0,9 m de profundidade; 1,34 m de diâmetro; e capacidade de 1 m<sup>3</sup>), decantador de sólidos e um filtro biológico, ambos com capacidade de 0,2 m<sup>3</sup>, bancadas hidropônicas em ferro do tipo galvanizado, sendo instaladas 6 calhas hidropônicas de 6 m com 53 furos de 32 mm de diâmetro, com espaçamento entre furos de 10 cm, dispostas

paralelamente, com inclinação para que a passagem da água ocorra por gravidade, conforme Figuras 2 e 3.



**Figura 3.** Vista frontal da esquematização dos sistemas aquapônicos



**Figura 3.** Constituintes do sistema de aquaponia que conta com um tanque de criação de peixes de 1000 L (A), decantador de 200 L (B), filtro biológico de 200 L (C) e calhas hidropônicas de 6 m (D).

Utilizou-se nesta pesquisa o sistema hidropônico Nutrient Film Thecnic (NFT), no qual a solução nutritiva (neste caso, a água do viveiro) percorreu o sistema radicular das plantas em intervalos de 15 minutos, alternando entre os períodos de nutrição e de aeração das raízes, para

as realizações de suas funções vitais. Foi realizada a instalação de uma bomba hidráulica para a recirculação da água no sistema.

O material filtrante utilizado foi a argila expandida, que é um agregado leve que possui forma arredondadas, com estrutura interna formada por uma cerâmica com microporos de casca rígida e resistentes. O sistema de aeração foi mantido por uma bomba de ar (Figura 4), para o fornecimento de oxigênio e o arejamento da água dos tanques, com o intuito de manter o oxigênio dissolvido (OD) acima de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . A recirculação de água foi mantida com bombeamento de  $400 \text{ L h}^{-1}$ , de forma independente para cada parcela experimental.



**Figura 4.** Bomba de ar do sistema de aquaponia.

Fonte: SOARES, 2021. (colocar minha foto).

Foram cultivadas 120 plantas por bancada (20 em cada canal). Em todos os canais de cultivo circulava água dos viveiros que após ser bombeada retornava para o viveiro por gravidade, pois as bancadas foram instaladas com 2% de declividade, entre o ponto de entrada e o de drenagem.

A partir do filtro biológico, a água era bombeada simultaneamente para as calhas hidropônicas e para os tanques de cultivo dos peixes, para isso foi utilizada uma bomba submersa. A água retida nas calhas retornava aos tanques de cultivo por meio de um sifão. As 18 parcelas do experimento foram construídas em bancadas de madeira e todo o sistema protegido com tela em PVC tipo sombrite. O substrato filtrante utilizado foi a argila expandida.

A solução nutritiva com ordem de diluição, que foi feita para a formação das mudas utilizadas para gotejamento, foi formulada a partir dos nutrientes e quantidades apresentados por Furlani (1999) na Tabela 1, de modo a fornecer todos os nutrientes necessários durante o

ciclo da cultura. O gotejamento da solução nutritiva foi regulado para a aplicação do volume (2L) no período de 24 horas.

**Tabela 3.** Nutrientes utilizados e as respectivas ordem de diluição para a formulação da solução nutritiva.

Nutrientes utilizados no preparo da solução nutritiva		
Ordem de diluição	Nutrientes	g 1000 L <sup>-1</sup>
1	Nitrato de cálcio	950
2	Nitrato de potássio	500
3	Fosfato monoamônico	150
4	Sulfato de magnésio	400
5	Sulfato de cobre	0,15
6	Sulfato de zinco	0,5
7	Sulfato de manganês	1,5
8	Ácido bórico	1,5
9	Molibdato de sódio	0,15
10	Tenso ferro	30

Fonte: Furlani (1999)

### 3.2.4 Cultivo de rúcula

A semeadura foi realizada em espuma fenólica, esse tipo de substrato é criado à base de resina fenólica, sendo um material estéril para não interferir na absorção dos nutrientes das plantas. Cada bandeja de espuma fenólica possui 345 células. A espuma fenólica foi previamente lavadas com água corrente para eliminar possíveis contaminações

Foram utilizadas sementes nuas de rúcula da variedade Cultivada gigante folha larga e da variedade Cultivada, ambas da empresa ISLA. Semeadas em células de espuma fenólica, com dimensões de 0,019x0,019x0,02m e 13 mm de diâmetro de cavidade. Em cada célula foram colocadas a cerca de 18 sementes, após a semeadura a material foi coberto durante 72h e mantidos em casa de vegetação no período de 7 dias, durante esse período as bandejas de espuma fenólica foram irrigadas 3 vezes ao dia com solução nutritiva.

Após esse período as mudas foram transferidas para o sistema de hidroponia denominado “berçário” e ficou em solução nutritiva durante o período de 7 dias para o desenvolvimento das mudas de rúcula. O sistema hidropônico foi constituído por um tanque de 1 m<sup>3</sup>, 25 calhas hidropônicas de 6 m com 53 furos de 32 mm de diâmetro, com espaçamento entre furos de 0,10 m. Foi realizado a instalação de uma bomba hidráulica para realizar a recirculação da água no sistema.

Ao final da produção das mudas, foram distribuídas dez plantas por calha hidropônica, e combinadas três calhas de cada variedade por sistema aquapônico, totalizando sessenta plantas de rúcula por sistema aquapônico e 1080 mudas ao todo. As mudas foram transplantadas para o sistema aquapônico, após 15 dias desde a semeadura. Na Figura 5, algumas das etapas da produção das mudas de rúcula estão representadas.



**Figura 5.** A) Semeadura da rúcula em espuma fenólica; B) Irrigação das mudas de rúcula com solução nutritiva; C) Inserção das mudas no sistema hidropônico; D) Transplântio das mudas para os sistemas aquapônicos.

### 3.2.5 Cultivo de peixes

A espécie de peixe utilizada foi juvenil de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) com peso médio inicial de 100 g. Foram utilizados densidade de 20, 40 e 60 peixes por caixa. Após a estocagem dos animais, os peixes foram submetidos a um período de aclimação por 7 dias. Os peixes foram alimentados com rações comerciais extrusadas para onívoros, sendo fornecido *ad libitum*, 3x ao dia com ração de 37% de proteína.

### 3.2.6 Parâmetros analisados

As amostras para a análise de água e efluente foram coletadas diariamente em cada parcela, nos tanques de criação de peixes, coletando sempre no centro da caixa. Foram avaliados parâmetros físicos (temperatura, oxigênio dissolvido, pH, sólidos dissolvidos totais, turbidez) e químicos (condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, alcalinidade, dureza), conforme protocolos descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os parâmetros temperatura, oxigênio dissolvido, pH e condutividade elétrica foram monitorados diariamente *in loco*, diretamente no centro da caixa. A turbidez foi avaliada também diariamente, as amostras eram retiradas das caixas de peixes e acondicionadas em vidrarias e levadas até o Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, para análise. Sólidos suspensos totais, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, alcalinidade e dureza foram avaliados de seis em seis dias, no Laboratório de Águas e Efluentes do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, com as amostras acondicionadas no dia das análises.

O monitoramento *in loco* foi realizado todos os dias pela manhã, e as demais análises que demandam maior duração de tempo, eram realizadas pela manhã e se estendiam até a tarde.

As metodologias utilizadas na análise das variáveis físicas e químicas, são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Metodologias utilizadas para análise de água.

<b>VARIÁVEIS</b>	<b>Método/equipamento</b>	<b>Autor</b>
Temperatura	multiparâmetro	modelo SX836-AKSO
Oxigênio dissolvido	multiparâmetro	modelo SX836-AKSO
Condutividade	multiparâmetro	modelo SX836-AKSO
pH	multiparâmetro	modelo SX836-AKSO
Alcalinidade	titulométrica	BOYD (1982)
Dureza	titulométrica	BOYD (1982)
Sólidos totais dissolvidos	multiparâmetro	modelo SX836-AKSO
Demanda bioquímica de oxigênio	titulométrica-colorimétrica	STANDARD METHODS (1985)
Demanda química de oxigênio	titulométrica-colorimétrica	STANDARD METHODS (1985)
Turbidez	turbidímetro	modelo TU430-AKSO

Os resultados foram discutidos com base na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e nos valores de referência para aquicultura e piscicultura,

encontrados na literatura. A Tabela 3 apresenta uma síntese dos valores de referência utilizados neste trabalho.

**Tabela 3.** Valores de referência dos parâmetros de qualidade da água para uso na aquaponia.

<b>Variável</b>	<b>Valor recomendado</b>
Temperatura (°C)	25 a 30 para peixes tropicais
pH	7,0 a 8,5
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	≥ 5
Condutividade elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	1000
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	20
Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	20 a 150
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	500
Turbidez (NTU)	100
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 5
Demanda Química de Oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	40 a 80

### 3.2.7 Declaração de ética

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Instituto Federal Goiano (CEUA/IF Goiano) que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA).

### 3.2.8 Análises estatísticas

A análise estatística foi realizada com o auxílio do sistema computacional de análise estatística “SISVAR” (FERREIRA, 2011). Os dados para cada variável foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, quando significados pelo teste F, foram submetidos a testes de comparação múltipla pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para as densidades de peixes e volumes de filtro e regressões para as avaliações de tempo (período após a aclimação dos peixes).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo dos parâmetros físico-químicos da qualidade da água em ambientes aquáticos é de grande importância pela sua influência sobre os processos metabólicos. Na tabela 4, encontra-se os resultados da ANAVA para os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico, podendo aferir que para os parâmetros CE, OD, Turb e TDS houve diferença significativa para densidade de peixes (DP), volume de filtro (VF) e tempo de forma isolada, assim, como para as interações DP\*VF, DP\*tempo, VF\*tempo e DP\*VF\*tempo. Para o parâmetro T houve diferença significativa apenas para o fator tempo, demais fontes de variação não apresentaram significância.

**Tabela 4.** Resumo da ANAVA para os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), temperatura (T), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico

FV	GL	Quadrados Médios					
		pH	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Turb (NTU)	STD ( $\text{mg L}^{-1}$ )
DP	2	0,0026*	133173,7**	0,406**	0,62 <sup>ns</sup>	2322,9**	39522,8**
VF	1	0,0017 <sup>ns</sup>	36856,1**	0,173*	0,16 <sup>ns</sup>	101,9**	1808,0**
TEMPO	3	0,3520**	36160,1**	24,723**	348,53**	710,0**	458,0**
DP*VF	2	0,1223**	54132,0**	1,383**	0,86 <sup>ns</sup>	38,8**	12643,2**
DP*TEMPO	6	0,0144**	5027,3**	0,308**	0,50 <sup>ns</sup>	528,7**	1681,8**
VF*TEMPO	3	0,0159**	986,5**	0,073**	0,22 <sup>ns</sup>	57,4**	662,0**
DP*VF*TEMPO	6	0,0206**	7872,2**	0,195**	1,53 <sup>ns</sup>	37,9**	1150,6**
BLOCO	2	0,0009 <sup>ns</sup>	104,6 <sup>ns</sup>	0,012 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	6,8 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	46	0,0008	150,1	0,016	0,77	1,8	102,5
CV (%)		0,36	2,45	1,95	3,38	11,22	4,15

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; DP = densidade de peixes, VF = volume de filtro, TEMPO = períodos de avaliação; DP\*VF = interação entre densidade de peixes e volume de filtro; DP\*TEMPO = interação entre densidade de peixes e períodos de avaliação; VF\*TEMPO = interação entre volume de filtro e períodos de avaliação; DP\*VF\*TEMPO = interação entre densidade de peixes, volume de filtros e períodos de avaliação; CV = coeficiente de variação.

Os resultados dos parâmetros de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos totais dissolvidos atenderam aos limites propostos pela legislação CONAMA 357/2005, e pelos autores BOYD E TUCKER (1998) (Tabela 5).

Segundo Tyson et al. (2008), o pH é um parâmetro decisivo no ambiente aquático. No sistema aquapônico, peixes, plantas e bactérias do ciclo do nitrogênio coabitam o mesmo ambiente. Enquanto o pH próximo a neutralidade favorece aos peixes e plantas, para as bactérias o pH ideal é mais baixo, entre 5,5 e 6,5. O pH teve diferença significativa nas DP40 e DP60 em relação aos VF. Para o VF50 o maior valor apresentado foi para a DP40 e o menor para a DP60. Ao passo que para o VF75 ocorreu o contrário. LADISLAU et al., (2020),

avaliando a qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá, encontrou valores de pH da água dos viveiros (A e B) próximos à neutralidade e alcalinidade, com valor médio de 7,59 (viveiro A) e 8,38 (viveiro B).

**Tabela 5.** Influência da densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico.

VF (L)	DP		
	20	40	60
	pH		
50	8,098aB	8,141aA	8,014bC
75	8,097aB	8,013bC	8,172aA
	CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )		
50	386,25bC	615,58aA	567,75aB
75	443,67aC	485,58bB	504,58bA
	OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )		
50	6,68bB	6,84aA	6,42aC
75	6,81aA	6,19bC	6,65bB
	Turb (NTU)		
50	3,97aA	10,31aA	25,40aA
75	4,33aC	7,49bB	20,73bA
	STD ( $\text{mg L}^{-1}$ )		
50	179,32bC	297,88aA	270,00aB
75	215,25aC	242,00bB	259,88bA

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre densidade de peixes (DP) a 5% de probabilidade.

Todos os valores foram considerados alcalinos com poucas oscilações, sendo considerados ótimos para a criação de peixes em aquaponia, pois estão dentro dos valores estabelecidos entre 7,0 e 8,3 para obter boa produção. Por outro lado, o pH não foi adequado para o cultivo das plantas de rúcula que necessitam do pH próximo ao valor neutro (7,0) (MALLASEN et al., 2008). Para as bactérias Carneiro et al. (2015), indica que o pH ótimo para as bactérias nitrificante é de 7 a 8 (Tabela 5).

Os valores de CE podem ser uma maneira indireta de avaliar a quantidade de nutrientes disponíveis nos ambientes aquáticos (FREITAS et al, 2014). Valores elevados de condutividade elétrica indicam elevada quantidade de matéria orgânica em decomposição, associadas ao arraçoamento, as suas excretas e perdas dos peixes, e não foi o caso do sistema avaliado. A CE apresentou significância em todas as DP em relação aos VF. Para o VF50 o maior valor atribuído foi para a DP40 enquanto o menor valor foi para a DP20. Já para o VF75 o maior valor foi para a DP60 enquanto o menor valor para a DP20 (Tabela 5).

Rackoy et al. (2007) recomendam que em sistemas de aquaponia a concentração de oxigênio deve ficar acima de 3 mg/L até 10 mg/L, isso favorece o máximo de saúde e crescimento de animais, plantas e bactérias nitrificantes. O OD apresentou significância em todas as DP em relação aos VF. Para o VF50 o maior valor de 6,84 mg/L foi para a DP40 enquanto o menor valor de 6,42 mg/L foi para a DP60. Já para o VF75 o maior valor foi de 6,81 mg/L para a DP20 enquanto o menor valor foi de 6,19 mg/L para a DP40 (Tabela 5). Essas pequenas oscilações entre os resultados podem estar relacionadas aos horários de coletas e medições realizadas.

LADISLAU et al., (2020), avaliando a qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá, registrou valores médios de oxigênio dissolvido no viveiro (A) de 5,62 mg/L, com variação de 1,23 a 8,80 mg/L.

Quanto a turb apenas para o VF75 de forma isolada houve diferença significativa para todas as DP avaliadas, e a DP60 apresentou maior valor (20,73 NTU) e a DP20 obteve o menor valor (4,33 NTU). Isso ocorreu pela maior quantidade de peixes em uma caixa de mesmo volume. A turbidez representa a presença de matéria em suspensão na água, e quanto mais turva a água menos indicada será para a criação de peixes, pois impede a penetração de luz solar e consequentemente o desenvolvimento do fitoplâncton. Entretanto, não existe turbidez ideal para aquaponia, as literaturas recomendam até 100 NTU. Esses valores podem ser explicados pelo metabolismo do peixe e concentração de algas no sistema (Tabela 5).

A presença de sólidos totais dissolvidos na água indica a presença de sais e constituintes minerais. Elevada concentração de STD pode dificultar a entrada de radiação solar na coluna d'água, reduzindo a quantidade de oxigênio dissolvido. Segundo o CONAMA 357/2005, (BRASIL, 2005) valores recomendados para sólidos dissolvidos totais devem permanecer abaixo de 500mg/L. Para STD todas as DP apresentaram significância em relação aos VF. No geral, os maiores valores encontrados foram para o VF50 nas caixas com maior quantidade de peixes, indicando que esse volume não foi eficiente na remoção dos resíduos, comparados ao VF75 (Tabela 5).

Avaliando o pH nos períodos de avaliação houve significância no 6º e 12º com os maiores valores para a DP20. Enquanto para 18º e 24º dia os maiores resultados foram para DP60 (Tabela 6). De acordo com ARANA (2004), a faixa de pH ideal para o cultivo de peixes deve ser mantida entre 6,5 e 9,0. Dessa forma, pode-se relatar que durante o período de estudo, o pH da água nos tanques apresentou valores dentro da faixa considerada ideal para o desenvolvimento dos peixes.

**Tabela 6.** Influência da densidade de peixes (DP) e de períodos de avaliação (TEMPO) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos totais dissolvidos (STD) do sistema aquapônico

DP	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
pH				
20	7,93a	8,15a	8,15b	8,16b
40	7,88b	8,07b	8,18b	8,18b
60	7,85b	8,05b	8,24a	8,23a
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )				
20	429,00c	456,33c	402,33c	372,17b
40	621,67a	604,00a	492,83b	483,83a
60	536,67b	579,17b	533,33a	495,50a
OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	8,37a	6,40a	6,18a	6,04a
40	8,55a	5,90b	6,05a	5,55b
60	8,13b	5,85b	6,12a	6,05a
Turb (NTU)				
20	0,28c	2,98c	4,53c	8,81a
40	6,47b	14,05b	10,15b	5,07b
60	18,36a	46,70a	17,89a	9,29a
STD ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	196,88c	200,75c	200,50c	191,00b
40	286,25a	286,00a	246,25b	261,25a
60	242,75b	267,75b	274,25a	275,00a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre densidade de peixes (DP).

A CE teve diferença significativa em todas as DP nos 6º, 12º e 18º dias de avaliação. No 24º dia de avaliação houve diferença apenas na DP20 apresentando o menor valor de (372,17  $\mu\text{S/cm}$ ). Para os 6º e 12º, o maior valor foi para a DP40, sendo (621,67  $\mu\text{S/cm}$ ) e (604  $\mu\text{S/cm}$ ), respectivamente, e o menor para a DP20, sendo (429  $\mu\text{S/cm}$ ) e (456,33  $\mu\text{S/cm}$ ), respectivamente. No 18º dia o maior valor foi para a DP60, sendo (533,33  $\mu\text{S/cm}$ ), e o menor para a DP20, sendo (402,33  $\mu\text{S/cm}$ ) (Tabela 6). Independente das densidades de estocagem utilizadas durante o período estudado, a variável permaneceu dentro dos padrões recomendados para as espécies.

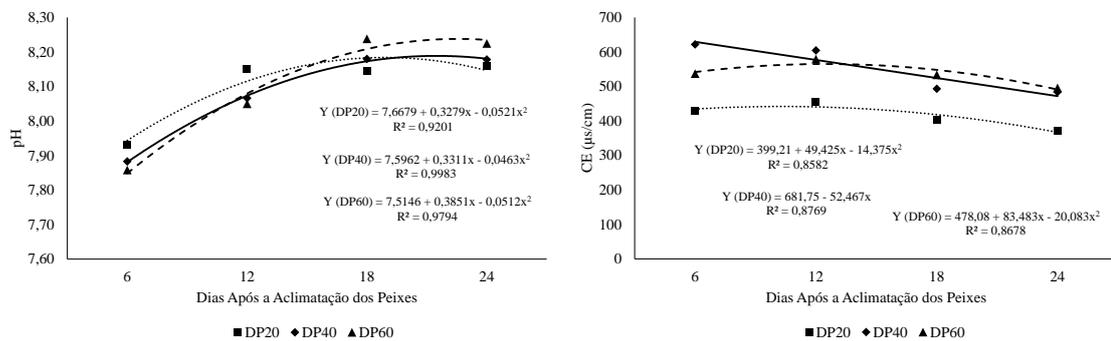
Para o OD, houve diferença significativa no 6º dia de avaliação apenas para a DP60 apresentando menor valor de (8,13  $\text{mg/L}$ ); 12º dia de avaliação para a DP20 apresentando maior valor de (6,40  $\text{mg/L}$ ) e 24º dia de avaliação para a DP20 apresentando menor valor de (5,55  $\text{mg/L}$ ) (Tabela 6). O oxigênio dissolvido é considerado uma das variáveis mais críticas, pois afeta diretamente a sobrevivência e resistência dos organismos. A demanda por oxigênio de um peixe varia conforme a espécie, o tamanho, a atividade alimentar, o estresse e a temperatura.

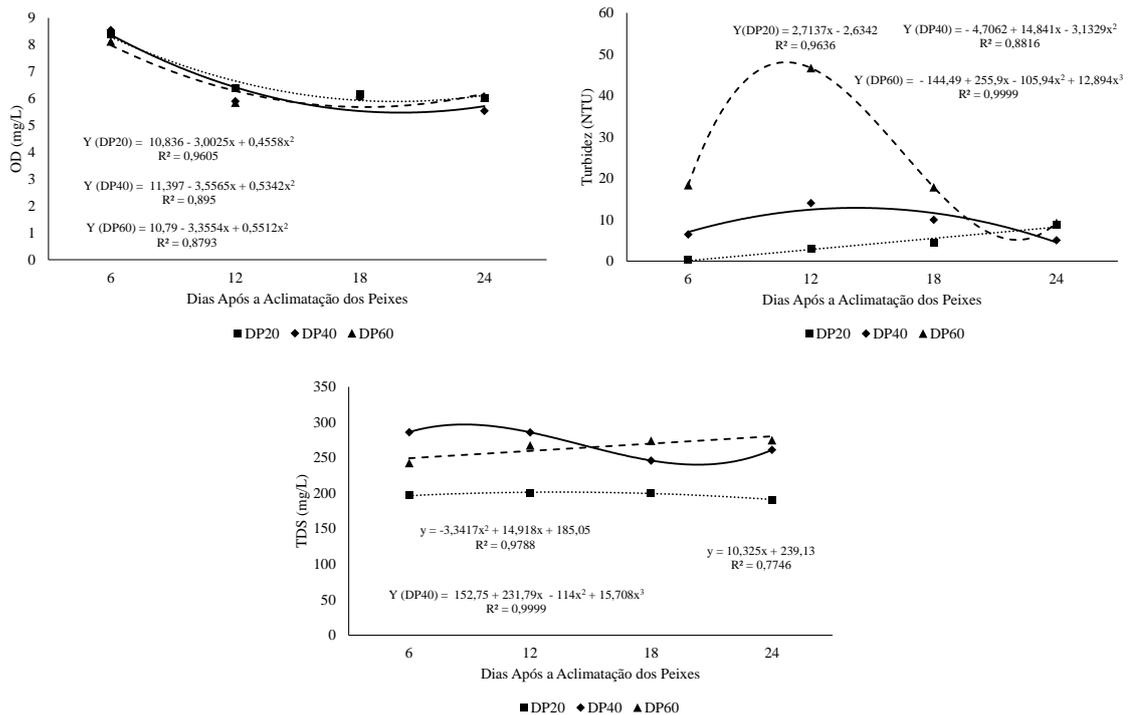
Baixas concentrações de oxigênio dissolvido (< 4,0mg/L) podem levar à redução no consumo alimentar e, conseqüentemente, à queda no ritmo de crescimento (CORTEZ et al., 2008).

Para a turb, houve diferença nos 6º, 12º e 18º dias de avaliação para todas as DP, com os maiores valores encontrados para a DP60, sendo (18,36 NTU, 46,70 NTU e 17,89 NTU), respectivamente, e os menores valores encontrados para a DP20, sendo (0,28 NTU, 2,98 NTU e 4,53 NTU), respectivamente. No 24º dia de avaliação teve significância apenas na DP40 apresentando menor valor de (5,07 NTU) (Tabela 6). Estes dados sugerem que as maiores DP possuem maior presença de matéria em suspensão na água, tornando a água mais turva. Portanto, quanto mais turva a água, menos indicada será para a criação de peixes, pois impede a penetração de luz solar e conseqüentemente o desenvolvimento do fitoplâncton (microvegetais que vivem na água resultando em coloração verde) (LEIRA et al., 2017), e não foi o caso do experimento.

Para o STD, nos 6º, 12º e 18º dias de avaliação houve diferença significativa para todas as DP. Nos 6º e 12º os maiores valores foram para DP40 sendo (286,25 mg/L e 286 mg/L), respectivamente e os menores valores para a DP20 sendo (196,88 mg/L e 200,75 mg/L), respectivamente. No dia 24 houve diferença apenas na DP20 apresentando menor valor de (191 mg/L) (Tabela 6). Todos os resultados da análise de sólidos totais dissolvidos estão abaixo do máximo permitido pela Resolução 357/2005, e o valor máximo é de 500mg/L de água.

Para a variável pH observou o aumento do 6º ao 18º dia após aclimação dos peixes (DAAP), seguido de decréscimo até o 24, comportamento este, semelhante para todas as DP. Tal fato pode ser explicado através da respiração dos peixes (LEIRA et al., 2017) (Figura 6).





**Figura 6.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e densidade de peixes (DP) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico

Na variável CE a DP40 obteve comportamento linear decrescente, enquanto para as demais densidades apresentaram comportamento polinomial quadrático, e aos 12 DAAP obteve os maiores valores (Figura 6). Possivelmente, este comportamento se deu pela troca de água realizada entre o 12 e 18 DAAP, evento que pode ter influenciado na diminuição na concentração de íons dissolvidos neste ambiente de cultivo.

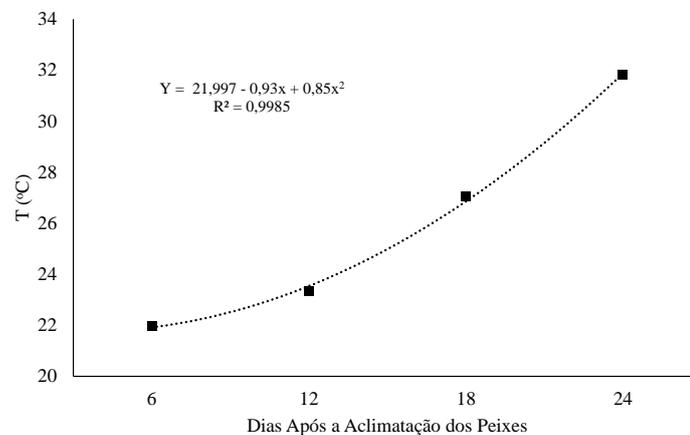
No parâmetro OD, todas as DP obtiveram comportamento semelhante, e com o passar das análises o OD obteve queda dos 6 aos 12 DAAP de 30%, a partir do 12 DAAP, observou-se tendência de estabilização do OD. Os baixos níveis de oxigênio dissolvido na água (hipóxia) podem ser provocados pelo consumo do oxigênio por peixes e por outros organismos, pela decomposição da matéria orgânica e pelo aumento da temperatura (REBOUÇAS et al., 2014) (Figura 6).

Para a variável Turb, a DP20 obteve ajuste linear crescente. Verificou-se incremento de 88% de OD a cada 6 DAAP. Na DP40 obteve comportamento polinomial quadrático e o maior valor foi verificado aos 12 DAAP. Já para a DP60, observou-se comportamento polinomial cúbico apresentando maior valor aos 12 DAAP seguido de redução dos valores e com aumento aos 24 DAAP (Figura 6).

Para TDS, para a DP20 e DP60, observou-se ajuste polinomial quadrático com aumento dos valores até os 12 DAAP e redução dos valores aos 18 DAAP. Ao passo que, para a DP40 observou-se ajuste polinomial cúbico apresentando maiores valores aos 6 e 12 DAAP com redução dos valores aos 18 DAAP com aumento aos 24 DAAP (Figura 6).

De maneira geral, aos 12 DAAP foram encontrados os maiores resultados, uma possível explicação pode ser pela manutenção do sistema nesses dias específicos.

Segundo Kubitza (2010), o valor recomendado para produção de tilápias é de 27 a 32°C. Para o cultivo de vegetais em aquaponia, FAO (2018) indica que a temperatura de água confortável para o crescimento é de 18 a 30°C. Para melhor funcionamento da atividade microbacteriana a FAO (2018) aponta que a temperatura ideal da água deve estar entre 17 e 34°C. Mesmo com as variações, os dados de temperatura obtidos no experimento se encontram no ideal, como demonstrado na figura 2. Para o ambiente simbiótico entre peixes, plantas e microrganismos, as análises feitas no 12º, 18º e 24º obtiveram melhores valores. O aumento na temperatura da água pode ser explicado através da taxa de crescimento dos peixes que também aumenta no decorrer dos dias de análises, levando inclusive ao aumento no metabolismo dos peixes (Figura 7).



**Figura 7.** Análise do parâmetro temperatura (T) em função dos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico

O pH teve diferença significativa em relação aos dois VF nos 6º, 12º e 14º dias de avaliação, no 6º dia o maior valor foi para o VF50 e para os 12º e 24º dias de avaliação com maiores valores para o VF75 (Tabela 7).

Para a CE teve significância em todos os dias de análises nos dois VF, com os maiores valores encontrados para o VF50 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) do sistema aquapônico.

VF (L)	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
pH				
50	7,92a	8,68b	8,18a	8,15b
75	7,85b	8,11a	8,20a	8,21a
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )				
50	551,33a	555,44a	510,56a	475,56a
75	506,88b	537,56b	441,78b	425,56b
OD ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
50	8,31a	6,12a	6,16a	6,00a
75	8,38a	5,99b	6,08a	5,75b
Turb (NTU)				
50	9,07a	21,19a	14,64a	8,00a
75	7,66b	21,30a	6,98b	7,44a
TDS ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
50	248,76a	249,50a	252,67a	245,33a
75	235,17b	253,50a	228,00b	239,50a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF).

Em relação ao OD ocorreu diferença significativa apenas nos 12° e 24° dias de avaliação, com os maiores valores encontrados para o VF50 (Tabela 7).

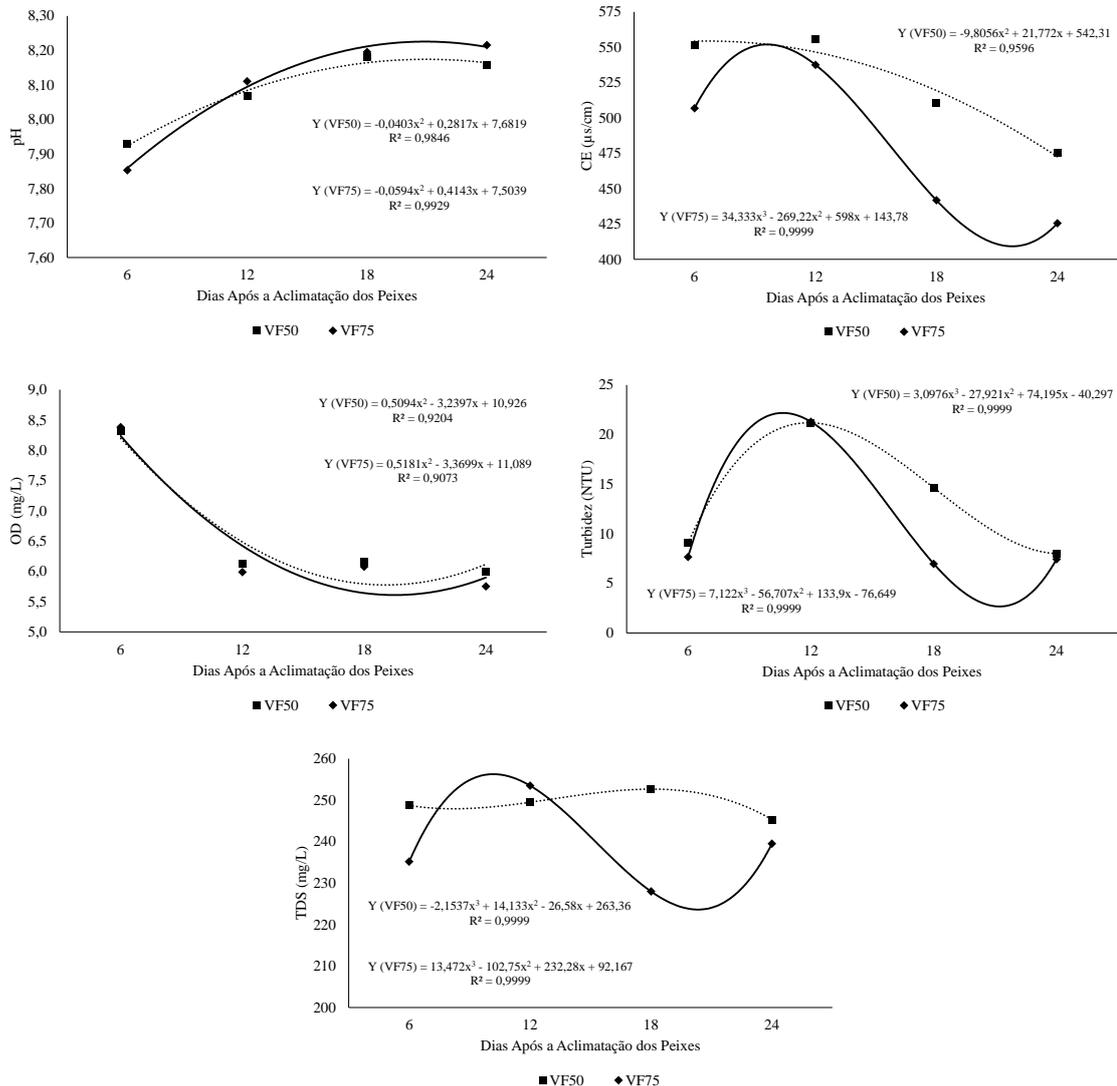
Para a Turb, observou-se diferença significativa apenas nos 6° e 18° dias de avaliação, com os maiores valores encontrados para o VF50. Para TDS teve diferença significativa apenas nos 6° e 18° dias de avaliação, com os maiores valores encontrados para o VF50 (Tabela 7).

Estes dados sugerem que o filtro com menor volume não foi eficiente na remoção da matéria orgânica oriunda dos peixes.

Na variável CE o VF50 obteve comportamento decrescente 6 ao 24 DAAP de análises, enquanto para o VF75 apresentou comportamento polinomial cúbico, apresentando maiores valores entre os 6 e 12 DAAP seguido de redução dos valores e com aumento entre os 18 e 24 DAAP (Figura 8). Uma explicação é que entre os 6 e 12 DAAP ocorreu a limpeza do sistema com entrada de água, devido a entupimento das calhas, dessa forma, influenciando nas análises.

Para a variável pH, observou-se o aumento dos 6 aos 18 DAAP de análises seguido de decréscimo até o 24, comportamento este, semelhante para ambos VF (Figura 8).

No parâmetro OD, todas as VF obtiveram comportamento semelhante, com os maiores resultados no 6 DAAP, seguido de queda até o 18 DAAP, a partir do 18 DAAP observou-se tendência de estabilização do OD até o 24 DAAP (Figura 8).



**Figura 8.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e volume de filtro (VF) para potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez (Turb) e sólidos dissolvidos totais (TDS) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.

Para a variável Turb, observou-se ajuste polinomial cúbico para ambos VF. Para o VF50 o maior resultado foi ao 12 DAAP, em seguida observou-se decréscimo até ao 24 DAAP e tendência de estabilização a partir desse ponto. No VF75 o maior valor encontrado foi para os 12 DAAP seguido de redução dos valores e com aumento ao 24 DAAP (Figura 8).

Para TDS, os VF se ajustaram a equação polinomial cúbica, no entanto apresentaram comportamento distintos. No VF50 do 6 ao 12 DAAP os resultados se estabilizaram, aumentando até ao 18 DAAP e foi encontrado o maior valor, em seguida, observou-se decréscimo. Ao passo que para o VF75 se observou aumento do 6 DAAP até ao 12 DAAP com

os maiores valores compreendidos nesse intervalo, com redução dos valores ao 18 DAAP com aumento ao 24 DAAP (Figura 8).

Os parâmetros alcalinidade,  $DBO_5$  e DQO apresentaram significância para DP, VF e tempo de forma isolada, assim como para as interações DP\*VF, DP\*tempo, VF\*tempo e DP\*VF\*tempo. Para o parâmetro dureza houve diferença significativa para DP e tempo de forma isolada, inclusive para as interações DP\*VF, DP\*tempo e DP\*VF\*tempo, demais fontes de variação não apresentaram significância (Tabela 8).

**Tabela 8.** Resumo da ANAVA para os parâmetros alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias ( $DBO_5$ ) e demanda química de oxigênio (DQO) do sistema aquapônico

FV	GL	Quadrados Médios			
		Alcalinidade ( $mg L^{-1}$ )	Dureza ( $mg L^{-1}$ )	$DBO_5$ ( $mg L^{-1}$ )	DQO ( $mg L^{-1}$ )
DP	2	1672,2**	10065,09**	2,6227**	39949,2**
VF	1	1440,0**	2,00 <sup>ns</sup>	0,2211**	11789,5**
TEMPO	3	54061,5**	70866,01**	33,0152**	1966822,9**
DP*VF	2	537,3**	735,87**	2,3840**	204866,6**
DP*TEMPO	6	768,9**	655,61**	3,3371**	41670,8**
VF*TEMPO	3	560,8**	112,77 <sup>ns</sup>	3,0339**	35052,7**
DP*VF*TEMPO	6	1892,1**	635,65**	1,3908**	215857,2**
BLOCO	2	13,3 <sup>ns</sup>	2,93 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	46	8,9	51,43	0,0008	0,0
CV (%)		2,32	3,98	0,30	0,00

Para a alcalinidade houve interação entre os VF e as DP. O VF50 apresentou maiores valores para a DP60 e menor valor para a DP20. Já para o VF75 apresentou maiores valores para a DP40 e menor valor para a DP20 (Tabela 9).

Para a variável dureza houve interação entre os VF e as DP. O VF50 apresentou maiores valores para a DP60 e menor valor para a DP20. Já para o VF75 apresentou maiores valores para a DP60 e menor valor para a DP20 (Tabela 9). Esses valores compreendem a presença de sais de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na água, indicando alta quantidade desses sais nos tanques. Segundo KUBITZA (2010) o valor permitido é de 20 a 150  $mg/L CaCO_3$ . O fornecimento de ração possivelmente pode ter influenciado para obtenção de valores maiores de dureza nos tanques. As rações para peixes têm em sua composição a presença de cálcio, fósforo, magnésio e outros elementos químicos na base de sua composição.

LADISLAU et al., (2020) avaliando a qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá, as análises não demonstraram altos valores de dureza, ficando entre 20 e 35,80  $mg/L$  com média 30,36  $mg/L$  em viveiro (A) e a cerca de 15 a 30  $mg/L$ , com média de 21  $mg/L$  no viveiro (B).

**Tabela 9.** Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO<sub>5</sub>) e demanda química de oxigênio (DBO) do sistema aquapônico

VF (L)	DP		
	20	40	60
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )			
50	127,50aC	131,58aB	142,17aA
75	112,08bC	133,50aA	128,83bB
Dureza (mg L <sup>-1</sup> )			
50	150,50bC	189,33aB	199,75aA
75	162,92aB	187,25aA	190,42bA
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )			
50	9,32bC	10,55aA	9,66bB
75	9,62aC	9,71bB	9,86aA
DQO (mg L <sup>-1</sup> )			
50	319,08aA	281,28aB	98,58bC
75	115,03bC	243,64bB	263,50aA

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre densidade de peixes (DP) a 5% de probabilidade.

O parâmetro DBO houve interação entre os VF e as DP. O VF50 apresentou maiores valores para a DP40 e menor valor para a DP20. Já para o VF75 apresentou maiores valores para a DP60 e menor valor para a DP20 (Tabela 9). Os valores máximos obtidos para a DBO são de até 5 mg/L, indicando que apresenta grande quantidade de matéria orgânica.

Para DQO ocorreu interação entre os VF e as DP. O VF50 apresentou maiores valores para a DP20 e menor valor para a DP60. Já para o VF75 apresentou maiores valores para a DP60 e menor valor para a DP20 (Tabela 9).

A variável alcalinidade no 6 dia houve significância apenas em relação a DP60 que apresentou maior valor inclusive. No 12 dia houve diferença significativa entre todas as DP, apresentando maior valor na DP60 e menor na DP20. No dia 18 dia houve significância apenas em relação a DP60 que apresentou menor valor. E, no dia 24 houve significância apenas em relação a DP20 que apresentou menor valor (Tabela 10).

Com relação a dureza no 6 dia houve significância apenas em relação a DP20 que apresentou menor valor. No 12 dia houve diferença significativa entre todas as DP, apresentando maior valor na DP60 e menor na DP20. No dia 18 dia houve significância apenas em relação a DP20 que apresentou menor valor. E, no dia 24 houve significância apenas em relação a DP20 que apresentou menor valor (Tabela 10).

Quanto à DBO houve significância para todos os dias em relação as DP. No dia 6 teve maior valor para a DP40 e menor valor para a DP20. No dia 12 teve maior valor para a DP40 e

menor valor para a DP60. No dia 18 teve maior valor para a DP60 e menor valor para a DP20. No dia 24 teve maior valor para a DP40 e menor valor para a DP60 (Tabela 10).

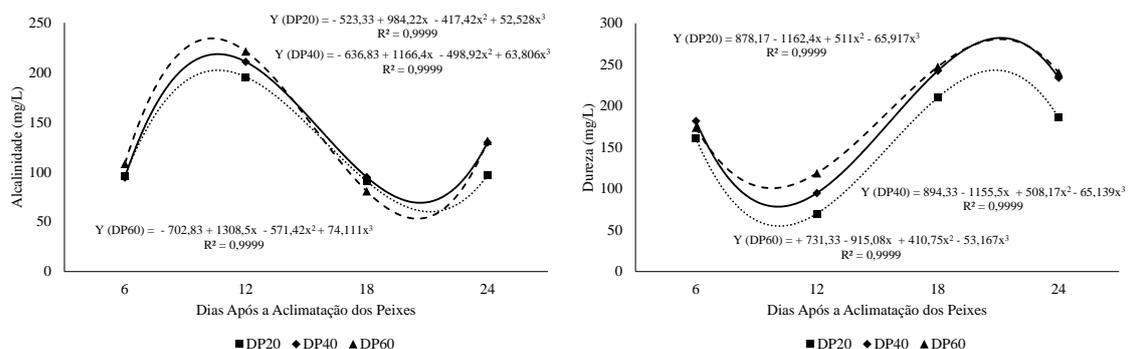
**Tabela 10.** Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO<sub>5</sub>) e demanda química de oxigênio (DQO) do sistema aquapônico

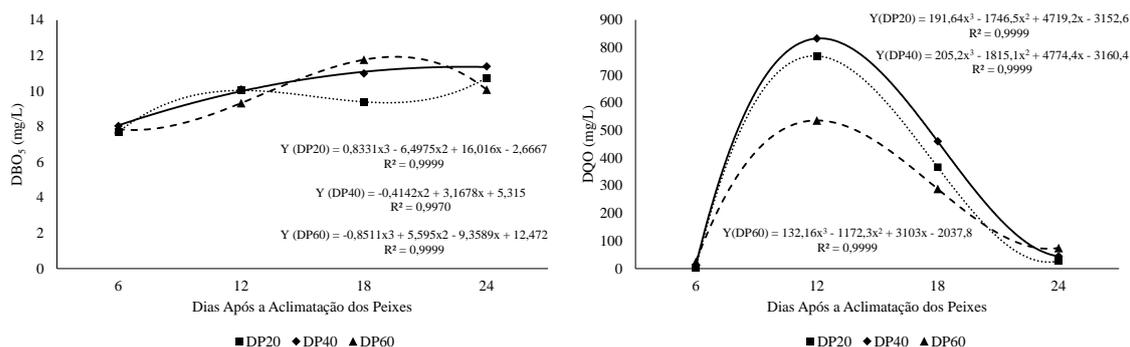
DP	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )				
20	96,00b	195,67c	90,83a	96,67b
40	94,50b	210,83b	95,00a	129,83a
60	108,33a	221,33a	80,83b	131,50a
Dureza (mg L <sup>-1</sup> )				
20	160,83b	70,00c	210,17b	185,83b
40	181,83a	94,83b	242,50a	234,00a
60	173,83a	118,83a	247,33a	240,33a
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )				
20	7,69c	10,04b	9,40c	10,75b
40	8,04a	10,09a	11,00b	11,39a
60	7,86b	9,32c	11,77a	10,09c
DQO (mg L <sup>-1</sup> )				
20	4,06c	769,44b	27,78c	66,95c
40	11,67b	832,78a	44,84b	160,56a
60	25,06a	536,11c	74,67a	88,34b

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre densidade de peixes (DP).

Em relação a DQO houve significância para todos os dias em relação as DP. No dia 6 teve maior valor para a DP60 e menor valor para a DP20. No dia 12 teve maior valor para a DP40 e menor valor para a DP60. No dia 18 teve maior valor para a DP60 e menor valor para a DP20. No dia 24 teve maior valor para a DP40 e menor valor para a DP20 (Tabela 10).

Para a variável alcalinidade, observou-se ajuste polinomial cúbico em todas as DP, com aumento do 6 e 12 DAAP, e obtiveram maiores resultados, uma queda até o 18 DAAP seguido de aumento no 24 DAAP (Figura 9).





**Figura 9.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e densidade de peixes (DP) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO<sub>5</sub>) e demanda química de oxigênio (DQO) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias, após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.

Na variável dureza ambas DP tiveram comportamento polinomial cúbico, com decréscimo do 6 ao 12 DAAP, seguido de aumento entre 18 e 24 DAAP e decréscimo em seguida (Figura 9).

No parâmetro DBO, a DP20 apresentou ajuste polinomial cúbico, com aumento do 6 ao 12 DAAP, decaindo até o 18 DAAP, e partir desse ponto aumentou novamente. Na DP40 verificou-se comportamento polinomial quadrático e o maior valor foi verificado aos 24 DAAP. Já para a DP60 os resultados aumentaram até o 18 DAAP decaindo em seguida até 24 DAAP (Figura 9).

Para DQO, observou-se ajuste polinomial cúbico com o mesmo comportamento para todas as DP, com aumento dos valores até os 12 DAAP, estando os maiores resultados e redução dos valores até os 24 DAAP (Figura 9).

Para o parâmetro alcalinidade houve diferença nos dias 6, 12 e 18, que apresentou maiores valores para o VF50 (Tabela 11).

Na variável dureza não ocorreu diferença estatística (Tabela 11).

Quanto à DBO, pode-se observar diferença nos dias 6, 12 e 24, que apresentou maiores valores nos dias 6 e 12 para o VF75 e o dia 24 para o VF50 (Tabela 11).

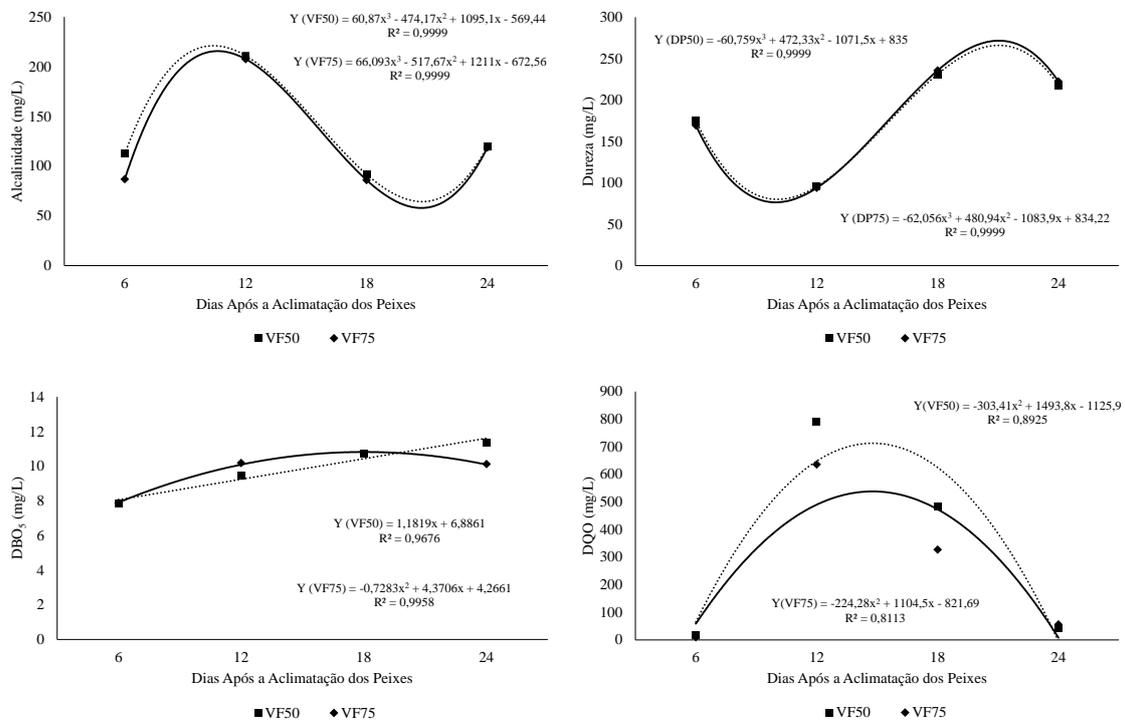
Em relação a DQO houve diferença em todos os dias de análises para ambos os VF, sendo nos dias 6 e 12 apresentando maiores valores para o VF50 e os dias 18 e 24 maiores valores para o VF75 (Tabela 11).

**Tabela 11.** Desdobramento da interação de volume de filtros (VF) dentro de cada nível de períodos de avaliação (TEMPO) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO<sub>5</sub>) e demanda química de oxigênio (DQO) do sistema aquapônico.

VF (L)	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> )				
50	112,33a	211,00a	91,78a	119,89a
75	86,89b	207,56b	86,00b	118,78a
Dureza (mg L <sup>-1</sup> )				
50	175,11a	95,33a	231,11a	217,89a
75	169,22a	93,78a	235,56a	222,22a
DBO <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )				
50	7,84b	9,48b	10,71a	11,36a
75	7,88a	10,19a	10,73a	10,12b
DQO (mg L <sup>-1</sup> )				
50	17,22a	789,74a	41,93b	82,96b
75	9,96b	635,74b	56,26a	127,59a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF).

Para a variável alcalinidade, observou-se ajuste polinomial cúbico em todos os VF, com aumento do 6 e 12 DAAP, e obtiveram maiores resultados, a queda até o 18 DAAP seguido de aumento no 24 DAAP (Figura 10).



**Figura 10.** Desdobramento da interação períodos de avaliação (TEMPO) dentro de cada nível de volume de filtro (VF) para alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio cinco dias (DBO<sub>5</sub>) e demanda química de oxigênio (DQO) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e

VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.

Na variável dureza ambos VF tiveram comportamento polinomial cúbico, com decréscimo do 6 ao 12 DAAP, seguido de aumento entre 18 e 24 DAAP e decréscimo em seguida (Figura 10).

No parâmetro DBO, o VF50 apresentou ajuste linear crescente com os maiores valores aos 24 DAAP. Ao passo que para o VF75 observou ajuste polinomial quadrático, com aumento dos valores até ao 18 DAAP e redução dos valores ao 24 DAAP (Figura 10).

Para DQO, observou-se ajuste polinomial cúbico com o mesmo comportamento para todos os VF, com aumento dos valores até o 12 DAAP, em que estão os maiores resultados e redução dos valores até 18 DAAP seguido de aumento ao 24 DAAP (Figura 10).

### 3.4 CONCLUSÃO

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade e dureza, estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, em relação aos fatores densidade de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes.

Os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio ultrapassaram os limites permitidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em relação a todos os fatores.

De maneira geral, a densidade de 60 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afsharipoor, S., & Roosta, H. R. (2010). Effect of different planting beds on growth and development of strawberry in hydroponic and aquaponic cultivation systems. **Plant Ecop**, 2, 61-66.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, 711–728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKSASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for

the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington, DC: **American Public Health Association**, 1998.

ARANA, L. V. **Princípios químicos de qualidade de água em aquicultura**. Florianópolis: UFSC, 2004. 231 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63.

Canastra, I. I. O. (2017). Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático.

CARNEIRO, P. C. F. et al. **Circular Técnica 72**: Montagem e Operação de um Sistema Familiar de Aquaponia para produção de peixes e hortaliças. Embrapa, Edição disponível Online. 2015.

CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C.; BELLINGIERI, P. A.; DALRI, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.4, p.494–498, 2009.

Douglas, J. S. (2001). Hidroponia: cultura sem terra. **NBL Editora**.

FAO. Production and area of vegetable crops. FAOSTAT database, 2018.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. vol.35 no.6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, R. S.; BOJINK, C. L.; MUNIZ, A. W.; DAIRIKI, J. K.; INOUE, L. A. K. A.. Qualidade da água e perspectiva para o gerenciamento ambiental dos cultivos de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM. **Scientia Amazônia**, v.3, p.116-126, 2014.

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

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. **Sustainability**, 7(4), 4199-4224

Hundley, G. M. C., Navarro, R. D., Figueiredo, C. M. G., Navarro, F. K. S. P., Pereira, M. M., Ribeiro Filho, O. P., & Seixas Filho, J. T. (2013). Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjeriço (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 3(1).

JARDINA, L. L.; CORDEIRO, C. A. M.; SILVA, M. C. C.; SANCHES, A. G.; ARAÚJO JÚNIOR, P. V. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 1, p. 78-82, jan./mar. 2017.

JORDAN, R. A; GIORDANO, E. B; OLIVEIRA, F. C. QUEQUETO, W. D. DREHMER, K. K. B; SILVA, L. P. P. Produtividade de híbridos de tomate cultivados em aquaponia associada em sistema tipo floating. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e1000998198, 2020.

KUBITZA, F. ONO, E. A. Piscicultura familiar: como ferramenta para o desenvolvimento e segurança alimentar no meio rural. **Panorama da Aquicultura**. v. 20, n. 117, jan./fev. 2010. Disponível em: <[http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan117\\_Kubitza\\_piscicultura\\_familiar.pdf](http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan117_Kubitza_piscicultura_familiar.pdf)>. Acesso 25 jun. 2021

LADISLAU, D. S.; TAKIYAMA, L. R.; SOUZA, P. L.; RIBEIRO, M. W. S.; ARIDE, P. H. R.; LAVANDER, H. D.; BASSUL, L. A.; MATTOS, D. C.; CARDOSO, L. D.; OLIVEIRA, A. T.. Avaliação da qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.2, p.402-417, 2020.

LEIRA, M. H. CUNHA, L. T; BRAZ, M. S; MELO, C. C. V; BOTELHO, H. A; REGHIM, L. S. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **PUBVET** v.11, n.1, p.11-17, Jan. 2017. Mallasen, M., Barros, H. P. & Yamashita, E. Y. 2008. Produção de peixes em tanques-rede e a qualidade da água. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, 1, 47-51.

NAKAUTH, R. F; SAMPAIO NAKAETH, A. C. S; NATIVIDADE, A. G; GUIMARÃES, A. S; RIBEIRO, A. F. Implantação de módulo doméstico de aquaponia. **Revista de educação, ciência e tecnologia do IFAM**. ISSN-E: 2238-4286 Vol. 14 - Nº 1 – Junho 2020.

RACKOY, J.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Tem Guidelines for Aquaponic Systems. **Aquaponics Journal**, v.46, p.14-17, 2007.

REBOUÇAS, P. M; LIMA, L. R; DIAS, I. F; BARBOSA FILHO, J. A. D. Influência da oscilação térmica na água da piscicultura. **J Anim Behav Biometeorol** v.2, n.2, p.35-42 (2014.)

ROCHA, G. S. R; KUCHAK, M. L; BIGUELINI, D; ROCHA, P. D; OLIVEIRA, L; LAGO, A. Viabilidade econômica em um sistema de produção do cultivo de tilápia: um estudo de caso em uma propriedade rural. **Nucleus**, v.17 n.1 abr. 2020.

SANEAGO, Metodologias de análises de águas e efluentes, 2016

SANTOS, J. S. G. Frequência de aplicação e diluição da solução nutritiva em cultivo de rúcula hidropônica. 2020. 72f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; DANIELLE, D. Treadwell reconciling pH for ammonia biofiltration and yielding a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. **Hortscience**, v.43, n.3, p.719-724, 2008.

## 4 CAPÍTULO II

# ANÁLISE NUTRICIONAL DA ÁGUA DE UM SISTEMA AQUAPÔNICO NO CULTIVO DE RÚCULA

### RESUMO

Os nutrientes desempenham importantes papéis dentro do metabolismo vegetal, desde a formação de compostos, participantes como reagentes ou reguladores de reações, desempenhando papel estrutural. Essa importância metabólica faz com que haja a necessidade de garantir que todos os nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta estejam disponíveis quando requisitados. O reaproveitamento dos resíduos provenientes da aquaponia, tais como as excretas de peixes ricas em nutrientes, pode reduzir significativamente o custo de substratos para produção de mudas, em consequência da menor necessidade de se adquirir matérias-primas. Com base no exposto acima, objetivou-se avaliar os nutrientes contidos na água de um sistema aquapônico na produção de rúcula. O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, analisado em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com três repetições. Os fatores consistiram em dois volumes de filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); três densidade de estocagem (D1 = 20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque) e quatro tempos (6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação ambiental dos peixes), totalizando 72 unidades experimentais. Os parâmetros fósforo, cloreto, ferro, nitrogênio total, amônia, nitrato, nitrito e clorofila a, ficaram acima do permitido, em relação aos fatores densidades de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes. O parâmetro sulfato obteve concentrações adequadas em relação a todos os fatores. O índice de estado trófico teve valores elevados sendo classificado como ambiente hipereutrófico. De maneira geral, a densidade de 40 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*, aquaponia, hortaliça, reaproveitamento.

### ABSTRACT

Nutrients play important roles in plant metabolism, from the formation of compounds until participating as reagents or regulators of reactions, playing a structural role. This metabolic importance makes it necessary to ensure that all essential nutrients for plant's development are available when required. The reuse of waste from aquaponics, such as nutrient-rich fish excreta, can significantly reduce the cost of substrates to produce seedlings, because of the reduced need to acquire raw materials. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the nutrients contained in the water of an aquaponic system in the production of arugula. The experiment was carried out at the experimental station of the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. The experimental design used was completely randomized, analyzed in a 2 x

3 x 4 factorial arrangement, with three replications. The factors consisted of two filter volumes in relation to the tank (V1=6 m<sup>3</sup> - 50% and V2=9 m<sup>3</sup> - 75%); three stocking density (D1 = 30, D2=60 and D3=90 fish per tank) and four times (6, 12, 18 and 24 days after the environmental acclimatization of the fish), totaling 72 experimental units. The parameters phosphorus, chloride, iron, total nitrogen, ammonia, nitrate, nitrite and chlorophyll a were above the permitted, in relation to fish density factors, filter volumes and days after fish acclimatization. The sulfate parameter obtained adequate concentrations for all factors. The trophic state index had high values, being classified as a hyper-eutrophic environment. In general, the density of 40 fish together with the filter volume of 50 L caused higher degradation of water quality. On the other hand, the density of 20 fish together with a filter volume of 75 L provided better water quality.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, aquaponics, vegetables, reuse.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no Brasil supera a de grãos e de oleaginosas sendo a cerca de 15 bilhões de reais, permitindo que o país ocupe a 12<sup>a</sup> posição no ranking de produtores mundiais de hortaliças com produção estimada em 2 bilhões de toneladas (FAO, 2018).

A rúcula (*Eruca sativa*) é uma das hortaliças folhosas que mais ganhou importância econômica e maior espaço no mercado a partir da década de 1990 (CARNEIRO et al., 2016), tem origem do Mediterrâneo e da Ásia Ocidental. Rica em proteínas e vitaminas A e C, sais minerais, potássio e ferro. É adaptada a clima fresco, possui sabor forte, amargo e picante. É consumida normalmente em saladas na forma crua, com ou sem a utilização de temperos (OLIVEIRA; COSTA, 2019).

O sucesso da produção de hortaliças depende de diversos fatores ligados ao manejo da cultura, dentre esses fatores, a fertilização se torna importante, pois o solo não é capaz de suprir, de forma adequada, as plantas com todos os elementos essenciais para seu desenvolvimento (CARNEIRO et al., 2016).

Os nutrientes desempenham importantes papéis dentro do metabolismo vegetal, desde a formação de compostos, participantes como reagentes ou reguladores de reações, desempenhando papel estrutural, por exemplo (SOUSA et al., 2020). Essa importância metabólica faz com que haja a necessidade de garantir que todos os nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta estejam disponíveis quando requisitados.

O fósforo é um importante nutriente para as plantas e sua presença na solução do solo promove o adequado desenvolvimento, elevando a produção das hortaliças. Alguns trabalhos mostram elevação do rendimento das hortaliças, em função da aplicação de adubos fosfatados (CARNEIRO et al., 2015). A deficiência de P é um dos principais fatores que limitam a

produção agrícola em solos ácidos. De acordo com CANASTRA (2017), 75% dos solos brasileiros têm teores baixos de fósforo (LIMA et al., 2016).

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para as plantas e sua presença na solução do solo proporciona adequado desenvolvimento e eleva a produção das hortaliças. De acordo com Grangeiro et al. (2011), o nitrogênio é o segundo nutriente mais acumulado pela rúcula, citada na literatura como muito responsiva ao fornecimento do nutriente (BORGHETTI et al., 2013). Segundo Vicente et al. (2013), quando mantido em teores adequados estimula o crescimento vegetativo e expande a área fotossinteticamente ativa, além de proporcionar folhas com coloração mais atrativas e suculentas (SILVA et al., 2017).

Nesse contexto, o reaproveitamento dos resíduos provenientes da aquaponia, tais como as excretas de peixes ricas em nutrientes, pode reduzir significativamente o custo de substratos para produção de mudas, em consequência da menor necessidade de se adquirir matérias-primas (BUZELLI et al., 2013). Como o nitrogênio é um nutriente requerido em grandes quantidades pelas plantas por ser essencial para o seu desenvolvimento, a aquaponia é uma técnica alternativa, que consiste em converter os nutrientes que, posteriormente, serão absorvidos.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a quantidade de nutrientes contidos na água de um sistema aquapônico na produção de rúcula.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1 Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido entre novembro e dezembro de 2020, na área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, conforme Figura 1. A localização está situada na Rodovia Sul Goiana, Km 01, s/n - Zona Rural, Rio Verde – GO, na latitude 17° 48' 28" S e longitude 50° 53' 57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Alvares et al., (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual é de 23°C, a precipitação média anual é de 1.612,9 mm e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).



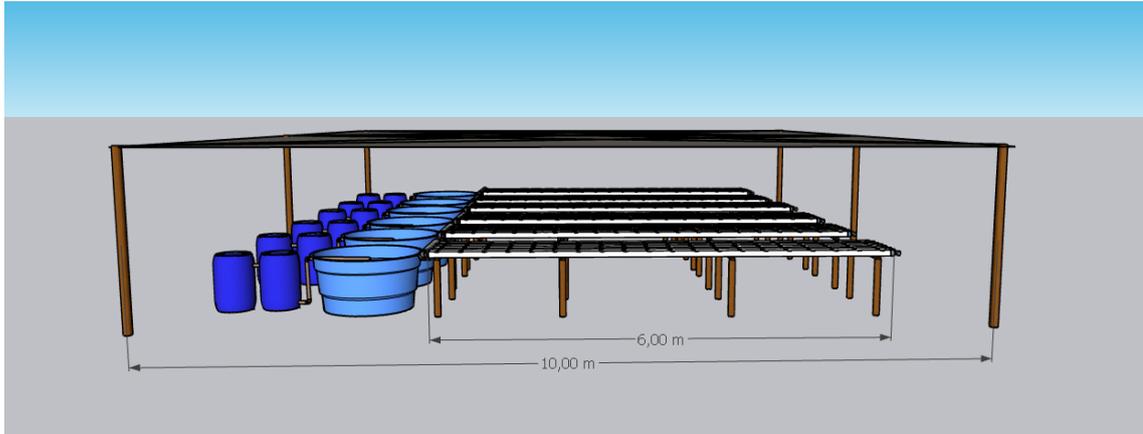
**Figura 1.** Localização do experimento na área do IF Goiano – Campus Rio Verde.

#### **4.2.2 Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso (DIC), em arranjo fatorial 2 x 3 x 4, com 3 repetições, sendo os fatores: dois volumes de filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); três densidade de estocagem (D1 = 20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque); quatro tempos (6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação ambiental dos peixes), totalizando 72 unidades experimentais.

#### **4.2.3 Implantação e descrição do sistema**

Inicialmente na área experimental foi feita uma cobertura de tela de sombreamento agrícola (50% de interceptação da luz solar) e o solo nivelado e coberto com brita nº 02. Em seguida, 18 módulos aquapônicos foram instalados, sendo que cada um era composto por um tanque circular para produção dos peixes (0,9 m de profundidade; 1,34 m de diâmetro; e capacidade de 1 m<sup>3</sup>), decantador de sólidos e um filtro biológico, ambos com capacidade de 0,2 m<sup>3</sup>, bancadas hidropônicas em ferro do tipo galvanizado, sendo instaladas 6 calhas hidropônicas de 6 m com 53 furos de 32 mm de diâmetro, com espaçamento entre furos de 0,10 m, dispostas paralelamente, com inclinação para que a passagem da água ocorra por gravidade, conforme Figuras 2 e 3.



**Figura 4.** Vista frontal da esquematização dos sistemas aquapônicos.



**Figura 3.** Constituintes do sistema de aquaponia que conta com um tanque de criação de peixes de 1000 L (A), decantador de 200 L (B), filtro biológico de 200 L (C) e calhas hidropônicas de 6 m (D).

Utilizou-se nesta pesquisa o sistema hidropônico Nutrient Film Thecnic (NFT) (Graves, 1983), no qual a solução nutritiva (neste caso, a água do viveiro) percorreu o sistema radicular das plantas em intervalos de 15 minutos, alternando entre os períodos de nutrição e de aeração das raízes, para as realizações de suas funções vitais.

O material filtrante utilizado foi a argila expandida, que é um agregado leve que possui forma arredondadas, com estrutura interna formada por uma cerâmica com microporos e de

casca rígida e resistentes. O sistema de aeração foi mantido por uma bomba de ar (Figura 4), para o fornecimento de oxigênio e o arejamento da água dos tanques, com o intuito de manter o oxigênio dissolvido (OD) acima de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . A recirculação de água foi mantida com bombeamento de  $400 \text{ L h}^{-1}$ , de forma independente para cada parcela experimental.



**Figura 4.** Bomba de ar do sistema de aquaponia.

Foram cultivadas 120 plantas por bancada (20 em cada canal). Em todos os canais de cultivo circulava água dos viveiros que após serem bombeadas retornavam ao mesmo viveiro por gravidade, pois as bancadas foram instaladas com 2% de declividade, entre o ponto de entrada e o de drenagem.

A partir do filtro biológico, a água era bombeada simultaneamente para as calhas hidropônicas e para os tanques de cultivo dos peixes, para isso foi utilizada uma bomba submersa. A água retida nas calhas retornava aos tanques de cultivo por meio de um sifão. As 18 parcelas do experimento foram construídas em bancadas de madeira e todo o sistema protegido com tela em PVC tipo sombrite. O substrato filtrante utilizado foi a argila expandida.

A solução nutritiva utilizada para gotejamento foi formulada a partir dos nutrientes e quantidades apresentados por Furlani (1999) na Tabela 1, de modo a fornecer todos os nutrientes necessários durante o ciclo da cultura. O gotejamento da solução nutritiva foi regulado para a aplicação do volume (2L) no período de 24 horas.

**Tabela 4.** Nutrientes utilizados e as respectivas ordem de diluição para a formulação da solução nutritiva.

Nutrientes utilizados no preparo da solução nutritiva		
Ordem de diluição	Nutrientes	$\text{g } 1000 \text{ L}^{-1}$

1	Nitrato de cálcio	950
2	Nitrato de potássio	500
3	Fosfato monoamônico	150
4	Sulfato de magnésio	400
5	Sulfato de cobre	0,15
6	Sulfato de zinco	0,5
7	Sulfato de manganês	1,5
8	Ácido bórico	1,5
9	Molibdato de sódio	0,15
10	Tenso ferro	30

#### 4.2.4 Cultivo de rúcula

A semeadura foi realizada em espuma fenólica, esse tipo de substrato é criado à base de resina fenólica, sendo um material estéril para não interferir na absorção dos nutrientes das plantas. Cada badeira de espuma fenólica possui 345 células. A espuma fenólica foi previamente lavadas com água corrente para eliminar possíveis contaminações

Foram utilizadas sementes nuas de rúcula da variedade Cultivada gigante folha larga e da variedade Cultivada, ambas da empresa ISLA. Semeadas em células de espuma fenólica, com dimensões de 0,019x0,019x0,02 m e 13 mm de diâmetro de cavidade. Em cada célula foram colocadas a cerca de 18 sementes, após a semeadura a material foi coberto durante 72h e mantidos em casa de vegetação no período de 7 dias, durante esse período as bandejas de espuma fenólica foram irrigadas 3 vezes ao dia com solução nutritiva.

Após esse período as mudas foram transferidas para o sistema de hidroponia denominado “berçário” e ficou em solução nutritiva durante o período de 7 dias para o desenvolvimento das mudas de rúcula. O sistema hidropônico foi constituído por um tanque de 1 m<sup>3</sup>, 25 calhas hidropônicas de 6 m com 53 furos de 32 mm de diâmetro, com espaçamento entre furos de 0,10 m. Foi realizado a instalação de uma bomba hidráulica para realizar a recirculação da água no sistema.

Ao final da produção das mudas, foram distribuídas dez plantas por calha hidropônica, e combinadas três calhas de cada variedade por sistema aquapônico, totalizando sessenta plantas de rúcula por sistema aquapônico e 1080 mudas ao todo. As mudas foram transplantadas para o sistema aquapônico após 15 dias desde a semeadura. Na Figura 5 algumas das etapas da produção das mudas de rúcula estão representadas.



**Figura 5.** A) Semeadura da rúcula em espuma fenólica; B) Irrigação das mudas de rúcula com solução nutritiva; C) Inserção das mudas no sistema hidropônico; D) Transplântio das mudas para os sistemas aquapônicos.

#### 4.2.5 Cultivo de peixes

A espécie de peixe utilizada foi juvenil de tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*) com peso médio inicial de 100 g. Foram utilizados densidade de 20, 40 e 60 peixes por caixa. Após a estocagem dos animais, os peixes foram submetidos ao período de aclimatação de 7 dias. Os peixes foram alimentados com rações comerciais extrusadas para onívoros, sendo fornecido *ad libitum*, 3x ao dia com ração de 37% de proteína.

#### 4.2.6 Parâmetros analisados

As amostras para a análise de água e efluente foram coletadas diariamente em cada parcela, nos tanques de criação de peixes, coletando sempre no centro da caixa. Foram avaliados parâmetros químicos (nitrogênio total, amônia, nitrito, nitrato, fósforo, sulfato, clorofila *a*, ferro e cloreto), conforme protocolos descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os parâmetros fósforo, sulfato, clorofila *a*, ferro e cloreto foram avaliados uma vez por semana no Laboratório de Águas e Efluentes do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, com as amostras acondicionadas no dia das análises. A série nitrogenada (nitrogênio total, amônia, nitrito e nitrato) foi avaliada a cada três dias, realizada também no Laboratório de Águas e Efluentes, também com a coleta da amostra no dia das análises.

As metodologias utilizadas na análise das variáveis químicas são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Metodologias utilizadas para análise de água.

VARIÁVEIS	Método/equipamento	Autor
Nitrito	espectrofotométrica-colorimétrica	MACKERETH et al., (1978)
Nitrato	espectrofotométrica-colorimétrica	MACKERETH et al., (1978)
Amônia	espectrofotométrica-colorimétrica	KOROLEFF (1976)
Nitrogênio total	espectrofotométrica-colorimétrica	GOLTERMAN et al., (1978)
Fósforo	espectrofotométrica-colorimétrica	STANDARD METHODS (1985)
Sulfato	gravimétrica	WETZEL; LIKENS (1991)
Ferro	espectrofotométrica	STANDARD METHODS (1985)
Cloreto	titulométrica	STANDARD METHODS (1985)
Clorofila a	espectrofotométrica-colorimétrica	NUSH (1980)

Os resultados foram discutidos com base na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e nos valores de referência para aquicultura e piscicultura, encontrados na literatura. A Tabela 3 apresenta uma síntese dos valores de referência utilizados nesse trabalho.

**Tabela 3.** Valores de referência dos parâmetros de qualidade da água para uso na aquaponia.

Variável	Valor recomendado
nitrogênio amoniacal total (mg L <sup>-1</sup> )	0,5 - pH 8 e 8,5
amônia (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,02
nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 1
nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 10,0
fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 0,050
sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	250
clorofila a (ug L <sup>-1</sup> )	30
ferro (mg L <sup>-1</sup> )	0,3
cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	250

Fonte: Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

#### **4.2.7 Declaração de ética**

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Instituto Federal Goiano (CEUA/IF Goiano) que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA).

#### **4.2.8 Análises estatísticas**

A análise estatística foi realizada com o auxílio do sistema computacional de análise estatística “SISVAR” (FERREIRA, 2011). Os dados para cada variável foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, quando significados pelo teste F, foram submetidos a testes de comparação múltipla pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para as densidades de peixes e volumes de filtro e regressões para as avaliações de tempo (período após a aclimatação dos peixes).

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para os parâmetros cloreto, ferro e sulfato ocorreu diferença significativa para densidade de peixes (DP), volume de filtro (VF) e tempo de forma isolada, assim como para as interações DP\*VF, DP\*tempo, VF\*tempo e DP\*VF\*tempo. Para o parâmetro fósforo teve significância para DP e tempo de forma isolada, e para as interações DP\*VF, DP\*tempo e DP\*VF\*tempo, demais fontes de variação não apresentaram significância (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da ANAVA para os parâmetros fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )
DP	2	5,200**	178688,5**	0,27955**	2423,97**
VF	1	0,019 <sup>ns</sup>	178523,0**	0,00086**	18,64*
TEMPO	3	9,657**	57813,7**	0,16569**	1011,59**
DP*VF	2	1,235**	212000,1**	0,03392**	134,75**
DP*TEMPO	6	0,517**	7556,7**	0,11432**	158,77**
VF*TEMPO	3	0,022 <sup>ns</sup>	8475,2**	0,01264**	18,94**
DP*VF*TEMPO	6	0,552**	4604,5**	0,04642**	62,03**
BLOCO	2	0,000 <sup>ns</sup>	20,2 <sup>ns</sup>	0,00011 <sup>ns</sup>	3,98 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	46	0,008	84,9	0,00028	2,65
CV (%)		4,87	3,10	5,23	4,07

Os resultados dos parâmetros fósforo, cloreto e ferro ultrapassaram os limites propostos pela legislação CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), e pelos autores BOYD E TUCKER (1998). Apenas o sulfato estava dentro os limites estabelecidos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.

VF (L)	DP		
	20	40	60
	Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )		
50	1,08bB	2,29aA	2,26aA
75	1,63aB	1,96bB	2,14bA
	Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )		
50	210,94bA	551,30aA	278,17aB
75	251,28aA	238,05bB	252,32bA
	Ferro (mg L <sup>-1</sup> )		
50	0,18bB	0,37aB	0,42aA
75	0,24aC	0,28bB	0,43aA
	Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )		
50	25,37b	47,96a	45,18a
75	31,47a	44,67b	45,42a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre densidade de peixes (DP) a 5% de probabilidade.

O fósforo é considerado nutriente essencial para a formação da estrutura óssea e para o metabolismo corporal. Portanto, a sua presença em concentração adequada nas rações é imprescindível para atender à exigência nutricional do animal (DIETERICH et al., 2012).

Para a variável fósforo, observou-se diferença significativa para todas as DP em relação aos VF. Para o volume de filtro de 50 L (VF50) a média máxima foi para a densidade de 40

peixes (DP40) e mínima para a densidade de 20 peixes (DP20). Já para o volume de filtro de 75 L (VF75) a média máxima foi para a densidade de 60 peixes (DP60) e mínima para a DP20 (Tabela 5). Os valores de fósforo tidos como ótimos para os sistemas de piscicultura em tanques rede são os inferiores a  $< 0,05$  mg/l, segundo BOYD & TUCKER (1998). A baixa taxa de renovação de água que se encontra instalado o cultivo, contribui para a sedimentação e acréscimo dos níveis do fósforo no local. Pode-se observar que os resultados encontrados para o fósforo estão muito acima do valor permitido pela legislação vigente, o acúmulo deste elemento pode ser explicado pela quantidade de ração fornecida aos peixes, e consequentemente a excreção desses animais.

BERNARDI & CARVALHO (2017), avaliando as concentrações de fósforo e nitrogênio e sua relação com pisciculturas em tanques-rede no Ribeirão Can-Can, no Reservatório de Ilha Solteira/SP, encontraram resultados para fósforo total em média de três a quatro vezes acima do valor permitido.

Em relação ao cloreto, houve diferença significativa para todas as DP em relação aos VF. Para o VF50 o maior valor foi para a DP40 enquanto o menor para a DP20. Já para o VF75 o maior valor foi para a DP60 enquanto o menor para a DP40 (Tabela 5). Além do estresse físico, o manuseio e confinamento dos peixes, nas redes de pesca e durante a depuração, desencadeiam uma sequência de reações fisiológicas que culminam com a elevação nos níveis de cortisol sanguíneo. O cortisol aumenta a permeabilidade das membranas celulares, acentuando a perda de sais do sangue para a água, bem como a entrada de água (hidratação) no corpo dos peixes (TAVARES-DIAS; MONTAGNER, 2015).

Para a variável ferro, houve significância entre os VF apenas nas DP20 e DP40. Para ambos VF o maior valor foi para a DP60 enquanto o menor para a DP20 (Tabela 5).

Em relação ao sulfato, houve significância entre os VF apenas nas DP20 e DP40. Para o VF50 o maior valor foi para a DP40 enquanto o menor para a DP20. Já para o VF75 as DP20 e DP60 não tiveram significância e o menor valor foi para a DP40 (Tabela 5).

Para o fósforo no 6 dia ocorreu diferença significativa em todas as DP, e a DP40 apresentou maior valor enquanto a DP20 apresentou menor valor. Nos dias 12 e 24 teve significância apenas para a DP20 que apresentou menor valor. No dia 18 dia ocorreu diferença significativa em todas as DP, e a DP60 apresentou maior valor enquanto a DP20 apresentou menor valor (Tabela 6).

Com relação ao cloreto aos 6, 12 e 18 dia ocorreu diferença significativa em todas as DP, e a DP40 apresentou maior valor enquanto a DP20 apresentou menor valor. Ao passo que no 24 dia teve significância apenas para a DP40 que apresentou maior valor (Tabela 6).

**Tabela 6.** Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.

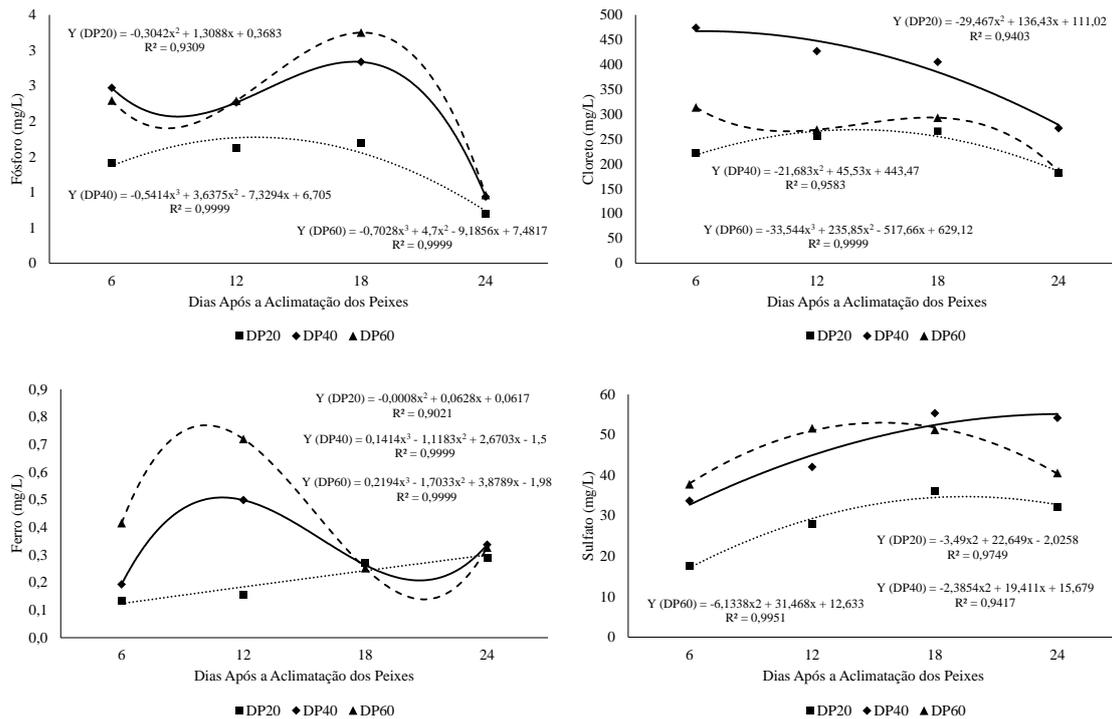
DP	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )				
20	1,42c	1,63b	1,70c	0,69b
40	2,47a	2,27a	2,84b	0,94a
60	2,29b	2,29a	3,25a	0,96a
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )				
20	221,58c	255,25c	265,90c	181,70b
40	474,18a	427,22a	405,50a	271,80a
60	313,76b	268,85b	293,20b	185,25b
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )				
20	0,13c	0,16c	0,27a	0,29b
40	0,19b	0,50b	0,26a	0,34a
60	1,41a	0,72a	0,25a	0,33a
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )				
20	17,62c	27,85c	35,97c	32,15c
40	33,67b	42,06b	55,35a	54,19a
60	37,77a	51,62a	51,25b	40,56b

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre densidade de peixes (DP).

Avaliando o ferro no 6 e 12 dia ocorreu diferença significativa para todas as DP, e a DP60 apresentou maior valor enquanto a DP20 apresentou menor valor. No dia 18 não apresentou significância. No dia 24 teve significância apenas para a DP20 que apresentou menor valor (Tabela 6).

Para a variável sulfato no 6 e 12 dia ocorreu diferença significativa em todas as DP, e a DP60 apresentou maior valor enquanto a DP20 apresentou menor valor. No dia 18 e 24 ocorreu diferença significativa em todas as DP, e a DP40 apresentou maior valor e a DP20 apresentou menor valor (Tabela 6).

Na variável fósforo a DP20 obteve apresentou comportamento polinomial quadrático, e aos 6 ao 18 DAAP teve crescimento obtendo os maiores valores, seguido de queda dos 18 DAAP a 24 DAAP. Ao passo que para as demais DP se ajustaram a equação polinomial cúbica, com os maiores valores entre 12 e 18 DAAP (Figura 6).



**Figura 6.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e densidade de peixes (DP) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico

No parâmetro cloreto, a DP20 e DP40 obtiveram comportamento semelhante se ajustando a equação polinomial quadrática, e com o passar das análises o OD obteve aumento do 6 ao 18 DAAP seguido de queda até o 24 DAAP. Ao passo que para a DP60 se ajustou ao comportamento polinomial cúbico, com queda do 6 DAAP até o 12 DAAP, seguido de aumento até o 18 DAAP e novamente queda até o 24 DAAP (Figura 6). Esses comportamentos podem ser explicados pelas práticas de manejo. Segundo Kubitzka (2010) a troca de água em ambientes de cultivo permite controlar a densidade do fitoplâncton e diluir a concentração dos resíduos orgânicos, dos metabolitos tóxicos (amônia, gás carbônico, nitrito, gás sulfídrico e o metano, entre outros) e dos nutrientes (nitrogênio e fósforo), retardando a deterioração da qualidade da água ao longo do cultivo.

Para a variável ferro, a DP20 obteve ajuste polinomial quadrático e o maior valor foi verificado aos 24 DAAP. Já para a DP40 e DP60, observou-se comportamento polinomial cúbico apresentando maior valor entre o 6 e 12 DAAP seguido de redução dos valores entre o 18 e 24 DAAP aumentando em seguida (Figura 6).

Para sulfato, em todas as DP, observou-se ajuste polinomial quadrático com aumento dos valores até o 18 DAAP e redução dos valores ao 24 DAAP (Figura 6).

O parâmetro fósforo obteve significância apenas nos dias 6 e 18 em relação aos VF. No dia 6 o maior valor apresentado foi para o VF75. No dia 18 o maior valor apresentado foi para VF50, e já era esperado por causa das análises, o filtro com menor volume é menos eficiente na remoção de maior quantidade de resíduos, não explicando os resultados encontrados no dia 6 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para fósforo, cloreto, ferro e sulfato do sistema aquapônico.

VF (L)	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )				
50	2,01b	2,02a	2,62a	0,87a
75	2,12a	2,10a	2,57b	0,86a
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )				
50	408,31a	365,94a	379,56a	233,40a
75	264,71b	268,27b	263,44b	192,43b
Ferro (mg L <sup>-1</sup> )				
50	0,27a	0,49a	0,26a	0,29b
75	0,23b	0,43b	0,27a	0,35a
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )				
50	30,00a	39,21b	46,03b	42,77a
75	29,38a	41,81a	49,01a	41,89a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF).

Com relação ao cloreto houve diferença significativa em todos os dias de análise em relação aos VF. Todos os dias apresentaram maiores valores com o VF50 (Tabela 7). Isto sugere que o VF50 não foi eficiente na remoção dos resíduos gerados pelo sistema, influenciando em maior concentração de sais na água.

Alguns metais, como ferro e alumínio, interferem no ciclo de desenvolvimento de alguns peixes, assim como alguns nutrientes, como sulfato e sulfeto, causam problemas irreversíveis nestes (MACHADO et al., 2011), havendo a necessidade de monitorar a água em que esses peixes estão inseridos.

Os fatores mais importantes que podem influenciar na absorção do ferro são as proporções do mineral na forma orgânica e inorgânica na ração, a quantidade ingerida e as condições no trato digestório (AMORIM et al., 2006).

Quanto ao ferro apresentou significância nos dias 6, 12 e 24 em relação aos VF. Nos dias 6 e 12 o maior valor apresentado foi para o VF50. No dia 24 o maior valor apresentado foi para o VF75 (Tabela 7). No início das análises o fornecimento de ração era menor e entre o

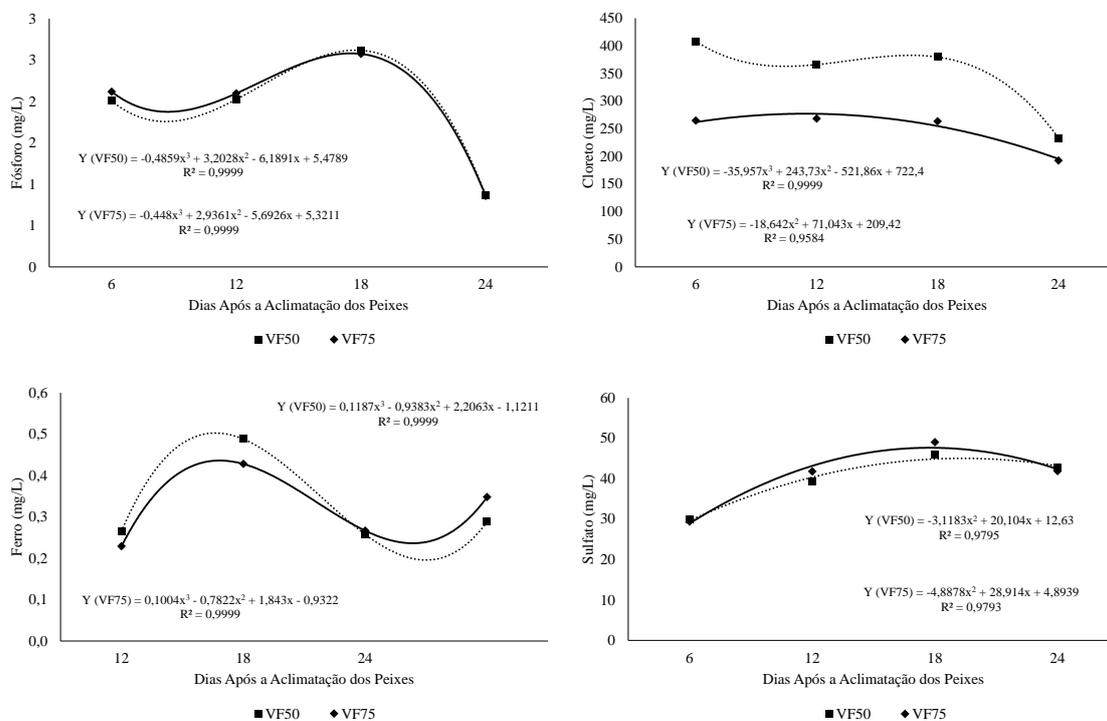
12° e 18° dia, obteve-se uma limpeza do sistema, as concentrações de ferro estiveram dentro do permitido, e influenciou nos valores deste parâmetro.

A variável sulfato obteve significância apenas nos dias 12° e 18° em relação aos VF. Nos dias 12 e 18 o maior valor apresentado foi para o VF75 (Tabela 7).

De maneira geral, o principal problema das altas concentrações de peixe em termos de qualidade de água, vem do fornecimento diário de ração e da conseqüente produção de dejetos, o que requer o uso de filtros biológicos que sejam mais eficientes na remoção de resíduos.

Os resíduos sólidos, passíveis de filtração simples, devem ser removidos do sistema continuamente e rapidamente, antes que se dissolvam. Ração de má qualidade aumenta o volume de fezes e, para evitar desperdícios, deve-se ministrar o alimento com a maior frequência possível. O tamanho das partículas da ração deve ser apropriado para o sistema de apreensão e digestão do peixe cultivado. Rações com nível de gordura acima da capacidade de digestão do animal, além de prejudicar a absorção do alimento, gerar fezes com menor densidade que a água, prejudicando sua remoção.

Quanto ao fósforo ambos VF apresentaram o mesmo comportamento se ajustando a equação polinomial cúbica, apresentando decréscimo do 6 ao 12 DAAP seguido de um acréscimo até o 18 DAAP passando a partir desse ponto a decair (Figura 7).



**Figura 7.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e volume de filtro (VF) para fósforo, cloro, ferro e sulfato para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.

Em relação ao cloreto, o VF50 obteve ajuste polinomial cúbico apresentando decréscimo do 6 ao 12 DAAP seguido de acréscimo até o 18 DAAP e decaiu até o 24 DAAP. Para o VF75 ocorreu ajuste polinomial quadrático com os maiores valores entre o 6 e 12 DAAP e menores entre o 18 e 24 DAAP (Figura 7).

Avaliando o ferro ambos VF apresentaram o mesmo comportamento se ajustando a equação polinomial cúbica, apresentando acréscimo do 6 ao 12 DAAP seguido de decréscimo até o 18 DAAP passando a partir desse ponto a aumentar (Figura 7).

A variável sulfato apresentou o mesmo comportamento para ambos VF se ajustando a equação polinomial quadrática, com acréscimo dos valores do 6 ao 18 DAAP e uma queda dos valores a partir desse ponto até o 24 DAAP (Figura 7).

Os parâmetros, amônia, nitrogênio, clorofila a e índice de estado trófico, obtiveram diferença significativa para DP, VF e tempo de forma isolada, assim como para as interações DP\*VF, DP\*tempo, VF\*tempo e DP\*VF\*tempo. Os demais parâmetros nitrito e nitrato apresentaram significância para DP e tempo de forma isolada, como para as interações DP\*VF, DP\*tempo, VF\*tempo e DP\*VF\*tempo, apenas a fonte de variação VF de forma isolada não ocorreu significância (Tabela 8).

**Tabela 8.** Resumo da ANAVA para os parâmetros nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.

FV	GL	Quadrados Médios					
		Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	Nitrogênio (mg L <sup>-1</sup> )	Clorofila a (mg L <sup>-1</sup> )	IET (mg L <sup>-1</sup> )
DP	2	25,8471**	37,426**	25,847**	89,577**	134,8253**	517,442**
VF	1	0,0618 <sup>ns</sup>	2,603**	0,061 <sup>ns</sup>	34,583**	59,0965**	949,027**
TEMPO	3	9,0511**	21,724**	9,051**	105,183**	1670,4180**	80,743**
DP*VF	2	0,1549*	5,543**	0,154**	7,830**	968,9742**	803,783**
DP*TEMPO	6	2,9135**	5,503**	2,913**	27,151**	634,7585**	914,197**
VF*TEMPO	3	6,7438**	0,796**	6,743**	5,644**	760,4795**	1030,087**
DP*VF*TEMPO	6	2,6976**	2,714**	2,697**	20,501**	651,2401**	1231,588**
BLOCO	2	0,0017 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,112 <sup>ns</sup>	0,0014**	0,003 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	46	0,0196	0,009	0,019	0,044	0,0002	0,001
CV (%)		7,05	6,37	7,05	1,93	0,10	0,06

Para o nitrito apenas as DP20 e DP60 sofreram significância quanto aos VF. No VF50 o maior valor encontrado foi para a DP60 e o menor para a DP20. Já no VF75 o maior valor encontrado foi para a DP40 e o menor para a DP20 (Tabela 9). O crescimento e a resistência dos peixes a doenças são prejudicados sob concentrações de nitrito acima de 0,3 mg/L. Concentrações superiores a 0,7 mg/L podem ser letais para a maioria dos peixes de água doce.

A toxidez do nitrito está provavelmente associada à concentração de ácido nitroso que oxida o íon ferroso da hemoglobina para íon férrico produzindo a metahemoglobina (AZEVEDO et al., 2011).

**Tabela 9.** Influência de densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico.

VF (L)	DP		
	20	40	60
	Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )		
50	0,83aB	2,57aA	2,66aA
75	0,76aC	2,68aA	2,45bB
	Amônia (mg L <sup>-1</sup> )		
50	0,46aC	0,58bB	2,95aA
75	0,30bC	2,08aB	2,76bA
	Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )		
50	59,62aB	68,68aA	53,89aC
75	58,48aA	58,92bA	53,67aB
	Nitrogênio Total (mg L <sup>-1</sup> )		
50	9,20aC	11,66aB	14,12aA
75	9,13aC	9,80bB	11,90bA
	Clorofila a (mg L <sup>-1</sup> )		
50	11,65bC	20,46aA	15,68aB
75	23,78aA	7,72bC	10,84bB
	Índice de Estado Trófico (IET)		
50	67,20bC	70,99aB	73,07aA
75	71,21aA	51,88bC	66,39bB

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre densidade de peixes (DP) a 5% de probabilidade.

Em relação a variável amônia todas as DP sofreram significância quanto aos VF. Em ambos VF o maior valor encontrado foi para a DP60 e o menor para a DP20 (Tabela 9). Isto indica que maior densidade de peixes ocasiona maior quantidade de resíduos, e influencia negativamente neste parâmetro independente do VF. Segundo BOYD (2007), a amônia é o principal resíduo primário produzido pelos peixes a partir da digestão das proteínas, e tanto a amônia quanto o nitrito podem ser tóxicos para os peixes. Os níveis de tolerância dependem da espécie de peixe cultivada, da temperatura e do pH, e em geral, o nível suportável para a amônia é de 0,5 a 1,0mg/L.

Para o nitrato todas as DP sofreram significância quanto aos VF. Em ambos VF o maior valor encontrado foi para a DP40 e o menor para a DP60 (Tabela 9). Os dados revelam alta quantidade de nitrato nos tanques de peixes, no entanto, esperava-se menor concentração nas DP menores, o que não ocorreu. Segundo PAERL e TUCKER (1995), por causa do manejo

inadequado dos fertilizantes químicos, a entrada de amônia e de nitrato em quantidades muito elevadas pode acarretar crescimento descontrolado do fitoplâncton, que assimila esses elementos, provocando florações de algas, as quais ocasionam sérios distúrbios na qualidade da água.

Em relação ao parâmetro nitrogênio total apenas a DP40 e DP60 sofreram significância quanto aos VF. Em ambos VF maior valor encontrado foi para a DP60 e o menor para a DP20 (Tabela 9). Todas as DP apresentaram concentração elevada de nitrogênio total, o fato pode estar relacionado com a quantidade de ração fornecida aos peixes. Segundo BOYD (1992), os fertilizantes utilizados em tanques de criação, geralmente contêm nitrogênio nas formas de amônia e nitrato.

Avaliando a clorofila a todas as DP sofreram significância quanto aos VF. No VF50 o maior valor encontrado foi para a DP40 e o menor para a DP20. Ao passo que para o VF75 o maior valor encontrado foi para a DP20 e o menor para a DP40 (Tabela 9). Os valores de clorofila-a, podem ter sido influenciados pela troca de água, adubação e calagem realizada durante o projeto.

No monitoramento de ambientes aquáticos, torna-se importante o conhecimento das condições de trofia dos corpos hídricos, a partir de limites calculados por indicadores correlacionados ao favorecimento da eutrofização, como o cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) CETESB (2011). O estado trófico de um corpo hídrico pode ser classificado como ultraoligotrófico < 20, oligotrófico 21- 40, mesotrófico 41-50, eutrófico 51-60 e hipereutrófico > 61, de acordo com a classificação do estado trófico utilizado pela CETESB (2011).

Para o Índice de estado trófico todas as DP sofreram significância quanto aos VF. No VF50 o maior valor encontrado foi para a DP60 e o menor para a DP20. Já no VF75 o maior valor encontrado foi para a DP20 e o menor para a DP40 (Tabela 9).

Em relação ao nitrito nos dias 6, 12 e 24 ocorreu significância para todas as DP, enquanto para o dia 18 ocorreu diferença significativa apenas para a DP20 que apresentou o valor de 0,56 mg/L sendo o valor menor. No dia 6 o maior valor foi para a DP60 com valor de 3,65 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 0,62 mg/L. No dia 12 o maior valor foi para a DP60 com valor de 3,26 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 0,57 mg/L. No dia 24 o maior valor foi para a DP40 com valor de 3,06 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 1,41 mg/L (Tabela 10). Segundo o artigo 4º da Resolução N° 020 do CONAMA, de 18 junho de 1986, os níveis máximos permitidos de  $\text{NO}_2^-$  na água são de 1,0  $\text{mg.L}^{-1}$ , no entanto neste experimento foram encontrados concentrações de até 3 vezes maior. Contudo, em algumas regiões dentro de rios e sistemas dulcícolas podem encontrar grandes

variações nas quantidades de nitrito e, principalmente, de nitrato, sendo possível a redução deste último a nitrito durante a passagem através do sistema digestivo (HECKMAN et al., 1997). Porém, não se tem registro na literatura dos níveis médios de  $\text{NO}_2^-$  encontrado em tanques de piscicultura.

**Tabela 10.** Influência de densidade de peixes (DP) e períodos de avaliação (TEMPO) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico

DP	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	0,62c	0,57c	0,56b	1,41c
40	3,42b	2,86b	1,15a	3,06a
60	3,65a	3,26a	1,16a	2,13b
Amônia ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	0,37c	0,37c	0,48b	0,73c
40	1,09b	2,67b	0,05b	1,48b
60	2,17a	5,14a	0,37a	3,73a
Nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	60,44c	63,14a	68,24a	44,38b
40	75,07a	61,21a	55,40c	63,53a
60	71,11b	43,90b	61,09b	39,02c
Nitrogênio Total ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	7,07c	8,83c	9,80a	10,96c
40	7,45b	11,20b	9,80a	14,47b
60	11,20a	16,80a	8,40b	15,63a
Clorofila a ( $\text{mg L}^{-1}$ )				
20	48,84a	7,65c	7,58c	6,81b
40	18,39c	18,39a	14,18a	5,41c
60	19,58b	13,06b	12,14b	8,28a
Índice de Estado Trófico (IET)				
20	82,85a	63,95c	65,91c	64,13b
40	40,65c	71,75a	72,93a	60,43c
60	74,53b	67,09b	68,94b	68,39a

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre densidade de peixes (DP).

Para a variável amônia nos dias 6, 12 e 24 ocorreu significância para todas as DP, enquanto para o dia 18 ocorreu diferença significativa apenas para a DP60. Todos os dias de análises apresentaram médias máximas para a DP60 e mínimas para a DP20 (Tabela 10). Esse resultado mostra que na maioria das DP exceto para a DP40 no 18 dia de análise, ficou acima do permitido pela legislação, fato este que pode ser explicado pela quantidade de ração fornecida aos peixes que pode ter sido em maiores quantidades que o necessário, resultando em menor decomposição da matéria orgânica.

Em relação ao nitrato, nos dias 6, 18 e 24 ocorreu significância para todas as DP, enquanto para o dia 12 ocorreu diferença significativa apenas para a DP60 que apresentou o valor de 43,90 mg/L sendo o valor menor. No dia 6 o maior valor foi para a DP40 com valor de 75,07 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 60,44 mg/L. No dia 18 o maior valor foi para a DP20 com valor de 68,24 mg/L e o menor valor foi para a DP40 com valor de 55,40 mg/L. No dia 24 o maior valor foi para a DP40 com valor de 63,53 mg/L e o menor valor foi para a DP60 com valor de 39,02 mg/L (Tabela 10).

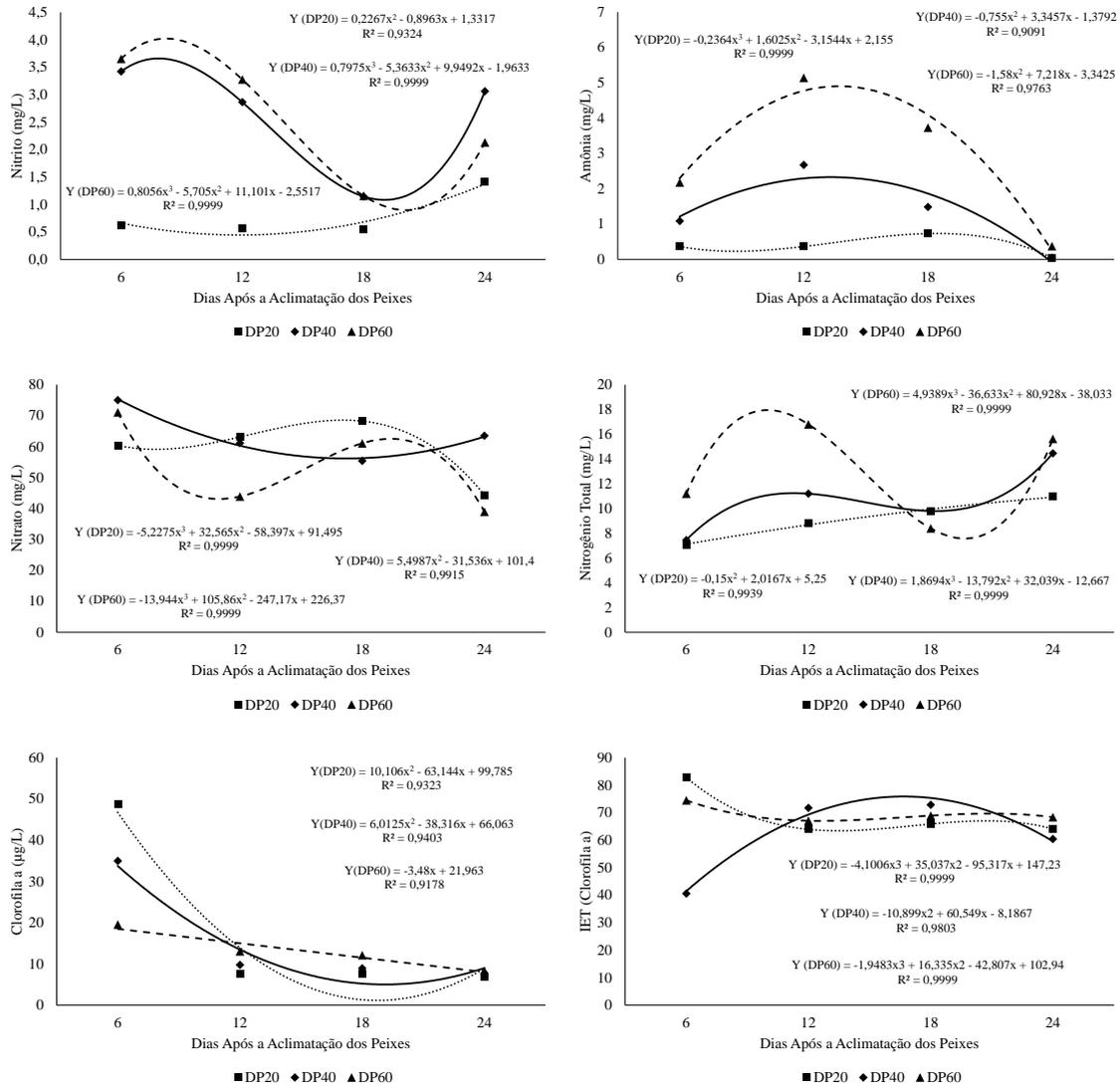
Para o parâmetro nitrogênio total, nos dias 6, 12 e 24 ocorreu significância para todas as DP, enquanto para o dia 18 ocorreu diferença significativa apenas para a DP60 que apresentou o valor de 8,40 mg/L sendo o valor menor. No dia 6 o maior valor foi para a DP60 com valor de 11,20 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 7,07 mg/L. No dia 12 o maior valor foi para a DP20 com valor de 16,80 mg/L e o menor valor foi para a DP40 com valor de 8,83 mg/L. No dia 24 o maior valor foi para a DP60 com valor de 15,63 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 10,96 mg/L (Tabela 10).

A variável clorofila a obteve significância em todos os dias de análises em relação as DP. No dia 6 o maior valor foi para a DP20 com valor de 48,84 mg/L e o menor valor foi para a DP40 com valor de 18,39 mg/L. No dia 12 o maior valor foi para a DP40 com valor de 18,39 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 8,83 mg/L. No dia 18 o maior valor foi para a DP40 com valor de 14,18 mg/L e o menor valor foi para a DP20 com valor de 7,58 mg/L. No dia 24 o maior valor foi para a DP60 com valor de 8,28 mg/L e o menor valor foi para a DP40 com valor de 5,41 mg/L (Tabela 10).

Avaliando o Índice de estado trófico, todos os dias de análises tiveram significância em relação as DP. No dia 6 o maior valor foi para a DP20 com valor de 82,85 e o menor valor foi para a DP40 com valor de 40,65. No dia 12 o maior valor foi para a DP40 com valor de 71,75 e o menor valor foi para a DP20 com valor de 63,95. No dia 18 o maior valor foi para a DP40 com valor de 72,93 e o menor valor foi para a DP20 com valor de 65,91. No dia 24 o maior valor foi para a DP60 com valor de 68,39 e o menor valor foi para a DP40 com valor de 60,43 (Tabela 10). Os resultados apontam que o estado trófico se encontra hipereutrófico, possuindo elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes. O resultado do valor médio do índice de estado trófico de Lamparelli (2004) apresentou alto grau de trofia na região de produção de pescado sendo classificado como supereutrófico ( $63 < IET \leq 67$ ).

Na variável nitrito a DP20 obteve apresentou comportamento polinomial quadrático, e aos 6 ao 18 DAAP teve crescimento obtendo os maiores valores, seguido de queda dos 18 DAAP a 24 DAAP. Ao passo que para as demais DP se ajustaram a equação polinomial cúbica,

começando com os maiores valores entre o 6 e 12 DAAP seguido de queda até o 18 DAAP, tornando a aumentar entre o 18 e 24 DAAP (Figura 8).



**Figura 8.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e densidade de peixes (DP) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) para as densidades de 20, 40 e 60 peixes (DP20, DP40 e DP60) por caixa, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico

No parâmetro amônia, todas as DP o comportamento se ajustou a equação polinomial cúbica. Em todas as DP, pode-se observar aumento do 6 ao 12 DAAP, seguido de queda até o 24 DAAP (Figura 8).

Para a variável nitrato, a DP20 obteve ajuste polinomial cúbico com aumento dos valores entre o 6 e 18 DAAP e foi verificado maiores valores, seguido de queda até o 24 DAAP. Para DP40, observou-se comportamento polinomial quadrático apresentando decréscimo entre o 6 e 18 DAAP, seguido de acréscimo dos valores entre o 18 e 24 DAAP. Já para a DP60

observou-se comportamento polinomial cúbico com decréscimo do 6 ao 12 DAAP, seguido de aumento até o 18 DAAP e em seguida queda entre os 18 e 24 DAAP (Figura 8).

Para nitrogênio total, a DP20 se ajustou a equação polinomial quadrática com acréscimo dos valores do 6 ao 24 DAAP, apresentando maiores valores ao 24 DAAP. Para as DP40 e DP60 o comportamento se ajustou a equação polinomial cúbica, com acréscimo do 6 ao 12 DAAP seguido de queda até o 18 DAAP, e novamente acréscimo até o 24 DAAP (Figura 8).

Avaliando a clorofila a, todas as DP apresentaram comportamento polinomial quadrático, com os maiores valores no 6 DAAP e menores ao 24 DAAP (Figura 8).

Sobre o IET, a DP20 e DP60 obteve ajuste polinomial cúbico com decréscimo do 6 ao 12 DAAP, seguido de aumento até o 18 DAAP e em seguida a queda entre os 18 e 24 DAAP. Já para a DP40 se ajustou a equação polinomial quadrática com acréscimo dos valores do 6 ao 18 DAAP seguido de queda até os 24 DAAP (Figura 8).

Em relação ao nitrito houve significância apenas para os dias 12 e 24 de análises em relação aos VF. No dia 12 apresentou maior valor de 3,07 mg/L para o VF50 e menor 1,40 mg/L para o VF75. No dia 24 apresentou maior valor de 2,86 mg/L para o VF75 e menor 1,54 mg/L para o VF50 (Tabela 11).

Para a variável amônia ocorreu significância para os dias 12, 18 e 24 de análises em relação aos VF, apresentando maiores valores para o VF75 e menor para o VF50 (Tabela 11). Níveis de amônia entre 0,5 a 3,0 mg.L<sup>-1</sup> podem ser letais para os peixes, quando expostos por curto período de exposição contínua ou frequente, a concentrações de amônia tóxica acima de 0,20 mg.L<sup>-1</sup> pode causar intensa irritação nas brânquias (RIGO, 2017). SILVA et al., (2020) trabalhando com criação de tambaqui associado à hidroponia em sistema de recirculação de água encontrou valores altos para a concentração da amônia total (0,5 ppm).

Em relação ao nitrato houve significância para os dias 6, 12 e 24 de análises em relação VF, apresentando maiores valores para o VF75 e menor para o VF50 (Tabela 11).

O nitrogênio total teve significância para os dias 6, 12 e 24 de análises em relação aos VF, apresentando maiores valores para o VF75 e menor para o VF50 (Tabela 11).

A variável clorofila a teve significância para todos os dias de análises em relação aos VF. No dia 6 e 24 os maiores valores foram para o VF75 e menor para o VF50. Ao passo que nos dias 12 e 18 apresentou maiores valores para o VF50 e menor para o VF75 (Tabela 11).

Avaliando o índice de estado trófico houve significância para todos os dias de análises em relação aos VF. Nos dias 6, 12 e 18 apresentou maiores valores para o VF50 e menor para o VF75. O contrário acontece no dia 24 com maiores valores para o VF75 e menor para o VF50 (Tabela 11).

**Tabela 11.** Influência de volume de filtros (VF) e períodos de avaliação (TEMPO) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) do sistema aquapônico

VF (L)	Tempo (dias)			
	6	12	18	24
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )				
50	2,53a	3,07a	0,93a	1,54b
75	2,60a	1,40b	0,98a	2,86a
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )				
50	1,24a	2,26b	0,05b	1,75b
75	1,17a	3,19a	0,26a	2,21a
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )				
50	66,25b	50,96b	62,74a	52,71a
75	71,49a	61,21a	60,41a	45,24b
Nitrogênio Total (mg L <sup>-1</sup> )				
50	9,93a	13,07a	9,33a	14,31a
75	7,21b	11,49b	9,33a	13,07b
Clorofila a (mg L <sup>-1</sup> )				
50	24,65b	23,20a	11,83a	4,02b
75	33,21a	2,85b	10,76b	9,64a
Índice de Estado Trófico (IET)				
50	76,58a	76,79a	69,31a	59,01b
75	55,44b	58,40b	69,20b	69,62a

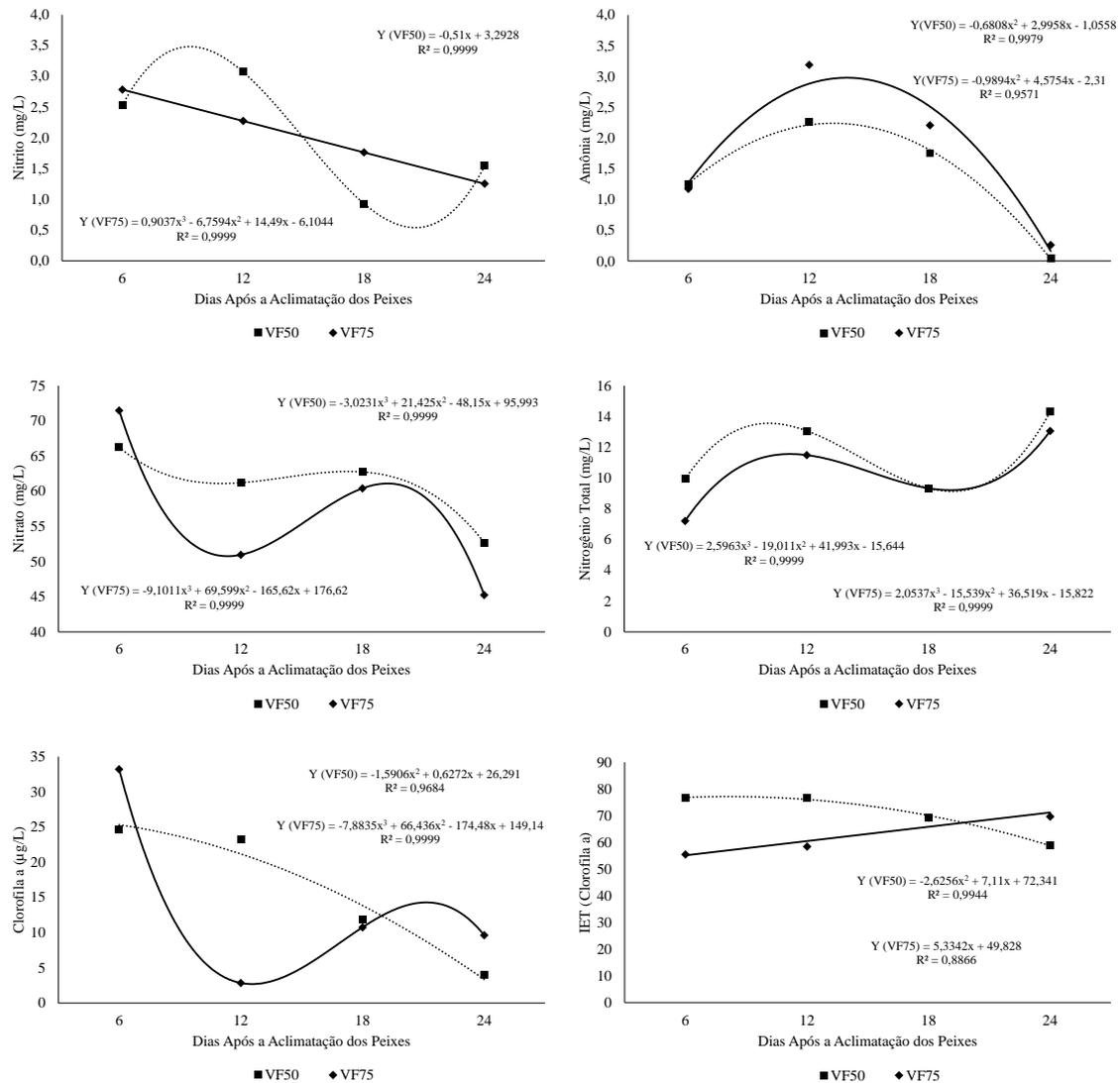
Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF).

Na variável nitrito o VF50 apresentou comportamento linear decrescente, e aos 6 DAAP obteve os maiores valores e aos 24 DAAP os menores. Ao passo que para o VF75 se ajustou a equação polinomial cúbica, começando com os maiores valores entre o 6 e 12 DAAP seguido de queda até o 18 DAAP, tornando a aumentar entre o 18 e 24 DAAP (Figura 9).

No parâmetro amônia, ambos VF apresentaram comportamento polinomial cúbico, apresentando maiores valores entre o 12 e 18 DAAP (Figura 9).

Para a variável nitrato, o VF50 obteve ajuste polinomial cúbico com decréscimo entre o 6 e 12 DAAP e foi verificado maiores valores, seguido de aumento até o 18 DAAP, em seguida queda até o 24 DAAP, e foram encontrados valores menores. Para o VF75, observou-se comportamento polinomial cúbico apresentando decréscimo entre o 6 e 12 DAAP seguido de acréscimo dos valores entre o 18 DAAP e queda até os 24 DAAP (Figura 9).

Para nitrogênio total, ambos VF se ajustaram a equação polinomial cúbica com acréscimo dos valores do 6 ao 12 DAAP, seguido de queda até o 18 DAAP, tornando a aumentar até o 24 DAAP (Figura 9).



**Figura 9.** Influência de períodos de avaliação (TEMPO) e volume de filtro (VF) para nitrito, amônia, nitrato, nitrogênio total, clorofila a e índice de estado trófico (IET) para os volumes de filtro 50 e 75% (VF50 e VF75) de elemento filtrante, analisados aos 6, 12, 18 e 24 dias após a aclimação dos peixes do sistema aquapônico.

Avaliando a clorofila a o VF50 apresentou comportamento polinomial quadrático decrescente, com os maiores valores no 6 DAAP e menores ao 24 DAAP. Ao passo que o VF75 apresentou comportamento polinomial cúbico com queda do 6 ao 12 DAAP seguido de aumento até o 24 DAAP, e tornou a cair.

Sobre o IET, o VF50 apresentou comportamento polinomial quadrático decrescente, com os maiores valores no 6 DAAP e menores ao 24 DAAP. Por outro lado, VF75 apresentou comportamento linear crescente com os menores valores ao 6 DAAP e maiores valores ao 24 DAAP.

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os parâmetros fósforo, cloreto, ferro, nitrogênio total, amônia, nitrato, nitrito e clorofila a, ficaram acima do permitido, em relação aos fatores densidades de peixes, volumes de filtro e dias após aclimatação dos peixes.

O parâmetro sulfato obteve concentrações adequadas em relação a todos os fatores.

O índice de estado trófico teve valores elevados sendo classificado como ambiente hipereutrófico.

De maneira geral, a densidade de 40 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, 711–728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

APHA\_AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington: American Public Health Association – American Water Works Association – Water Environmental Federation, 1998. 1220 p.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; MATOS, A. N. B. 2006. Aspectos limnológicos do ambiente aquático de viveiros de piscicultura utilizando efluentes da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro. In: **I Simpósio Nordestino de Saneamento Ambiental**, João Pessoa.

AZEVEDO, P. A.; PODEMSKI, C. L.; HESSLEIN, R. H.; KASIAN, S. E. M; FINDLAY, D. L.; BUREAU, D. P. Estimation of waste outputs by a rainbow trout cage farm using a nutritional approach and monitoring of lake water quality. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 311, p. 175- 186, 2011

BERNARDI, I; CARVALHO, S. L. Avaliação das concentrações de fósforo e nitrogênio e sua relação com pisciculturas em tanques-rede no Ribeirão Can-Can, no Reservatório de Ilha Solteira/ SP. **Fórum Ambiental**. ISSN 1980-0827. 2017.

BORGHETTI, J. R.; OSTRENSKY, A. Pesca e aquicultura de água doce no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BORGHETTI, N.R.B.; OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J.R. Aquicultura: uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo. Curitiba: **Grupo Integrado de aquicultura e estudos ambientais (GIA)**, 2003. 128p.

BOYD, C. Nitrification important process in aquaculture. **Global Aquaculture Advocate**, v. 10, n. 3, p. 64 – 66, 2007.

BOYD, C.E. e TUCKER, C.S. 1998 Pond aquaculture water quality management. **Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.** 700p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>

CANASTRA, Inês Isabel de Oliveira. Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático. Porto, Portugal. 2017. Disponível em: <<https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/110688/2/250465.pdf> >. Acesso em: 26 de agosto de 2021.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. Sistema Familiar de Aquaponia em canaletas. Aracaju: Embrapa Tabuleiros costeiros, 2016. 15 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 81).

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.]. - São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2005 Classificação das águas doces, salobras e salinas do território Nacional. Resolução n.357, de 17 de março de 2005.

DIETERICH, F; BOSCOLO, W. R; LÔSH, J. A; FEIDEN, A; FURUYA, W. M; SIGNOR, A. A. Fontes de fósforo em rações orgânicas para alevinos e juvenis de tilápia-do-nilo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.47, n.3, p.417-424, mar. 2012.

FAO. Production and area of vegetable crops. FAOSTAT database, 2018.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. vol.35 no.6, p. 1039-1042, 2011.

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

GRANGEIRO, L.C.; OLIVEIRA, F.; NEGREIROS, M.; MARROCOS, S.; LUCENA, R.; OLIVEIRA, R. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n.1, p.11–16, 2011.

HECHMAN, C. W., CAMPOS, J. L. E, HARDOIM, E L., 1997. Nitrite Concentration in well water from Poconé, Mato Grosso, and its relationship to public health in rural Brazil. **Environ. Contam. Toxicol.** 58: 8-15.

Köppen W (1948) Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra. México, **Fondo de Cultura Económica.** 172p.

KUBITZA, F. ONO, E. A. Piscicultura familiar: como ferramenta para o desenvolvimento e segurança alimentar no meio rural. **Panorama da Aquicultura**. v. 20, n. 117, jan./fev. 2010. Disponível em: <[http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan117\\_Kubitza\\_piscicultura\\_familiar.pdf](http://www.acquaimagem.com.br/docs/Pan117_Kubitza_piscicultura_familiar.pdf)>. Acesso 25 jun. 2021.

LAMPARELLI, M. C. Grau de trofia em corpos d'gua do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 207f. **Tese** (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, C. S.; BOMFIM, M. A. D.; SIQUEIRA, J. C.; RIBEIRO, F. B.; LANNA, E. A. T. Crude protein levels in the diets of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), fingerlings. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 29, n.1, p.183 – 190, jan.2016.

MACHADO, F. F.; NOVACK, M. M. E.; NÖRNBERG, J. L.; COLPO, E. Análise de frações de fibra alimentar em rúcula e alface em diferentes estágios de maturação, sob sistema hidropônico. **Alimentos e Nutrição**. Araraquara-SP, v. 3, n. 2, p. 401-406. 2011.

OLIVEIRA L.; COSTA B. Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier 1816) e jambu (*Acmella oleracea*, (L.) R. K. Jansen) cultivados em sistemas aquapônicos com recirculação de água. Orientador Breno Costa. 2019. 36 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

PAERL, H.W. e TUCKER, C.S. 1995 Ecology of bluegreen algae in aquaculture ponds. **Journal of the Aquaculture Society**, 26(2).

RIGO, C.D. Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*). **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017.

SILVA, A. O.; GONÇALVES, F. R. F.; SANTOS, J. S. G.; ALBIEIRO, D. Regulador de frequência de irrigação hidropônico. Depositante: Universidade Federal do Ceará. Procurador: Alessandro Oliveira da Silva. BR 102018069129-5 A2. Depósito: 20/09/2018. Concessão: 31 de março de 2020.[s.l.],[s.n.].

TAVARES-DIAS, M; MONTAGNER, D. Uso e principais aplicações do sal comum na piscicultura de água doce. **Embrapa Amapá**. ISSN 1517-4859 Novembro, 2015.

VICENTE, I.S.T.; FONSECA-ALVES, C.E. Impact of introduced Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on non-native aquatic ecosystems. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 16, n. 3, p. 121-126. 2013.

## 5 CAPÍTULO 3

### CULTIVO DE RÚCULA FERTIRRIGADA COM EFLUENTE ORIUNDO DE SISTEMA AQUAPÔNICO

## RESUMO

A fertirrigação é uma prática que consiste na irrigação sob forma de mistura com os diversos adubos, fungicidas, herbicidas e demais compostos necessários a determinada cultura agrícola, tornando-se uma alternativa para utilização de águas residuárias da criação de animais, como forma de minimizar a quantidade de efluente e sua disposição indevida. O uso do efluente da piscicultura através do sistema da aquaponia, constitui-se uma solução bastante interessante para uso na fertirrigação, não apresenta fitotoxicidade e pode ser utilizado como biofertilizante, por apresentar macronutrientes suficientes para atender a demanda da maioria das culturas agrícolas. Com base exposto acima, objetivou-se avaliar o crescimento, desenvolvimento e componentes de rendimento da rúcula cultivada sob fertirrigação de águas residuárias de um sistema aquapônico. O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos na casa de vegetação, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, analisado em arranjo fatorial 2 x 2 x 3, com três repetições. Os fatores consistiram em variedades de rúculas (v1 = rúcula cultivada e v2= rúcula cultivada gigante folha larga); volume do filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); e densidade de estocagem (D1=20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque); totalizando 36 parcelas. De maneira geral, a variedade Cultivada junto a densidade de 60 peixes e ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhores resultados. Por outro lado, a variedade Cultivada gigante folha larga junto a densidade de 20 peixes e ao volume de filtro de 50 L foi a que obteve menores resultados.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*, água residuária, aquaponia, crescimento e desenvolvimento.

## ABSTRACT

Fertigation is a practice that consists of irrigation of a mixture with various fertilizers, fungicides, herbicides and other compounds necessary for a given agricultural culture, becoming an alternative for wastewater use from animal husbandry, as a way to minimize the amount of effluent and its improper disposal. The use of fish farming effluent through the aquaponics system is a very interesting solution for use in fertigation, as it does not have phytotoxicity and can be used as a biofertilizer, as well as has enough macronutrients to meet the demand of most agricultural crops. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the growth, development and yield components of arugula cultivated under fertigation of wastewater from an aquaponic system. The experiment was carried out in plastic vases, placed in the greenhouse, in the experimental area of the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. The soil used was classified as dystroferric Red Latosol, Cerrado phase, clayey texture. The experimental design used was completely randomized, analyzed in a 2 x 2 x 3 factorial arrangement, with three replications. The factors consisted of arugula varieties (v1 = cultivated arugula and v2 = giant broadleaf cultivated arugula); filter volume in relation to the tank (V1=6 m<sup>3</sup> - 50% and V2=9 m<sup>3</sup> - 75%); and stocking density (D1=30, D2=60 and D3=90 fish per tank); totaling 36 experimental units. In general, the Cultivated variety with a density

of 60 fish and a filter volume of 75 L provided better results. On the other hand, the cultivated giant broadleaf variety with a density of 20 fish and a filter volume of 50 L was the one that obtained the lowest results.

**Keywords:** *Eruca sativa*, wastewater, aquaponics, growth and development.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a questão que se insere no contexto socioambiental mundial está refletida na grande expansão populacional, acompanhada do aumento da produção agrícola e industrial que incide diretamente na quantidade de água demandada, colocando em pauta a inevitável problemática da escassez de água (OLIVEIRA; SANTOS, 2015). Em função disso, a necessidade de água, sobretudo, para irrigação reflete em ampla gama de pesquisas a respeito do emprego de novas tecnologias que se objetivam a desenvolver técnicas de reuso que possam ser aplicadas na agricultura evitando o uso abundante de recursos hídricos para essa função (CAMPOS & ARAÚJO, 2020).

As vantagens ambientais do reuso são inúmeras, entre elas: uso sustentável da água, racionamento de água de boa qualidade, minimização da poluição nos corpos hídricos, diminuição no uso de fertilizantes e matéria orgânica, controle da desertificação e erosão por meio da fertirrigação de cinturões verdes, entre outras (FERNANDES, 2017).

A fertirrigação é uma prática que consiste na irrigação sob forma de mistura com os diversos adubos, fungicidas, herbicidas, reguladores de crescimento e demais compostos necessários a determinada cultura agrícola, tornando-se uma alternativa para utilização de águas residuárias da criação de animais, como forma de minimizar a quantidade de efluente e sua disposição indevida, que causariam a poluição dos componentes ecossistêmicos (MACHADO et al., 2019). A fertirrigação pode proporcionar ao agricultor, uma economia quanto aos gastos com aquisição de fertilizantes convencionais, além de diminuir o consumo de água, que é bastante exigido no setor agrícola (GONÇALVES, 2016).

O uso do efluente da piscicultura através do sistema da aquaponia, constitui em solução bastante interessante para uso na fertirrigação, pois, não apresenta fitotoxicidade e pode ser utilizado como biofertilizante, por apresentar macronutrientes suficientes para atender à demanda da maioria das culturas agrícolas (SILVA, 2019). Além de possuir em sua composição nutrientes como nitrogênio e fósforo, tornando ambientalmente viável para utilização agrícola, no entanto, há necessidade de adequado manejo agrônômico para que não sejam introduzidos

nutrientes em excesso, principalmente o nitrogênio, que podem comprometer a produtividade e a qualidade das culturas (CLAUDINO, 2017).

Em seu estudo, Silva (2018) ao utilizar efluente da piscicultura na irrigação da cultura da alface, notou teor maior de NPK em relação à água de abastecimento normal. No entanto, esse resultado não influenciou no peso das plantas quando foi usada 50% e 100% da adubação química recomendada para a cultura. O autor ainda conclui que a água residuária de piscicultura exerce influência nutricional sobre as plantas, porém ainda bastante inferior se comparada com a adubação química.

O consumo de hortaliças tem se tornado mais exigente, havendo necessidade de produzi-la em quantidade e qualidade, bem como manter o seu fornecimento o ano todo (VOSS et al., 2017). Dentre as hortaliças folhosas, a alface é a mais plantada e a mais consumida pela população brasileira. Porém, desde o final da década de 1990 a rúcula (*Eruca sativa* Miller), que é uma hortaliça folhosa herbácea de rápido crescimento vegetativo e ciclo curto, vem conquistando espaço no mercado (CARVALHO et al., 2012).

Dessa forma, com esse trabalho objetivou-se avaliar o crescimento, desenvolvimento e componentes de rendimento da rúcula cultivada sob fertirrigação de águas residuárias de um sistema aquapônico.

## **5.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1 Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos na casa de vegetação, no período de novembro de 2020 a dezembro de 2020 área experimental do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Goiás, Brasil, conforme Figura 1. A casa de vegetação utilizada possui o sistema de climatização por circulação e refrigeração de água, aeração controlada por exaustores, sistema de irrigação por aspersores e cortina de sombreamento. Todos esses dispositivos são automatizados e são controlados por regulagem em seu painel de controle principal.

A localização está situada na Rodovia Sul Goiana, Km 01, s/n - Zona Rural, Rio Verde – GO, na latitude 17° 48' 28" S e longitude 50° 53' 57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado de acordo com Alvares et al., (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro.

A temperatura média anual é de 27,5°C e a média anual da precipitação pluviométrica é de 1.650 mm e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).



**Figura 1.** Implantação do experimento.

### 5.2.2 Caracterização do solo

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018). O solo foi coletado numa camada de 0,0-0,30 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde, cujas características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

**Tabela 1.** Resultado da análise química, granulometria e classe textural do solo da área experimental, 0,0 a 0,2 m de profundidade.

pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al
----	------	---	---	---	----	----	----

CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>	----- mg dm <sup>-3</sup> -----			----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----		
5,4	26	1,4	8	210	5,3	1,7	<1
H + Al	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
--- cmolc dm <sup>-3</sup> ---		%	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
4,3	12,3	65	0,26	1,1	5,7	18,9	1,1
Granulometria (g kg <sup>-1</sup> )			SB	m			
Areia	Silte	Argila	cmolc dm <sup>-3</sup>	%			
291	146	563	8	0			
							Argilosa

Matéria Orgânica – M.O.; Capacidade de Troca Catiônica – CTC; Saturação das Bases – V; Soma das Bases – SB; Percentagem de Saturação por Alumínio – m.

### 5.2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 2 x 2 x 3, com 3 repetições, sendo os fatores: variedades de rúculas (v1 = rúcula cultivada e v2= rúcula cultivada gigante folha larga); volume do filtro em relação ao tanque (V1= 50 L e V2= 75 L); densidade de estocagem (D1=20, D2=40 e D3=60 peixes por tanque); totalizando 36 parcelas.

### 5.2.4 Implantação do experimento

Para a condução deste estudo foram utilizados 36 vasos plásticos de polietileno com capacidade de 5 L. Foi confeccionado no fundo dos vasos um dreno com espessura de 0,04 m de brita. Posteriormente, efetuou-se o preenchimento com 4 L de solo.

Os vasos foram irrigados com água para homogeneização do solo, para posteriormente o transplântio das mudas de rúcula que ocorreu no dia 06 de dezembro de 2020. A colheita da rúcula e posteriormente, as análises foram realizadas no dia 21 de dezembro de 2020.

### 5.2.5 Cultivo de rúcula

Foram utilizadas sementes nuas de rúcula da variedade Cultivada gigante folha larga e da variedade Cultivada, ambas da empresa ISLA. As sementes foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido com 375 células, com substrato de vermiculita. Na semeadura,

colocaram dez sementes, em média, por célula, a 0,04 m de profundidade, sendo cobertas com camada fina do substrato. Após a semeadura a material foi coberto durante 72h e mantidos em casa de vegetação no período de 7 dias, durante esse período as bandejas de poliestireno foram irrigadas 3 vezes ao dia.

Na sequência, realizou-se o transplântio, com as mudas apresentando 4 a 5 cm de altura e quatro folhas (incluindo os cotilédones) com emissão da quinta. Os tratamentos foram iniciados três dias após o transplântio, com intuito de amenizar o estresse das plantas e obter melhor adaptação.

### **5.2.6 Aplicação dos tratamentos**

O efluente da água de piscicultura oriunda dos tanques do sistema de aquaponia, foi coletado em cada parcela, num volume total de 500 mL e feito a aplicação via fertirrigação, nos vasos plásticos, entre os dias 10, 15 e 18 de dezembro de 2020.

### **5.2.7 Variáveis analisadas**

#### **5.2.7.1 Variáveis morfológicas**

As características morfológicas foram realizadas no final do experimento, no horário da manhã, quantificando: Altura de planta (AP - cm); Diâmetro de colmo (DC - mm); Número de folhas (NF); Comprimento da folha (CF - cm) e Largura da folha (LF - cm).

A AP foi medida com auxílio de fita métrica, a partir da base até a extremidade da folha mais alta; O DC foi determinado pelo auxílio do paquímetro digital no terço inferior da planta; O NF foi determinado pela contagem das folhas totalmente expandidas com o mínimo de 20% de área verde; O CF e a LF foram mensurados com o auxílio de uma fita métrica.

#### **5.2.7.2 Teores de clorofila**

Os teores de clorofila foram avaliados no final do experimento, quantificando Clorofila *a* (CLRa) e a Clorofila *b* (CLRb) utilizando o aparelho Falker ClorofiLOG<sup>®</sup> 1030. O Índice SPAD (SPAD) foi obtido com auxílio do aparelho Minolta SPAD<sup>®</sup> 502.

#### **5.2.7.3 Componentes de produção**

Após a colheita, as plantas retiradas foram acondicionadas em sacos de papel previamente identificados com os tratamentos e levadas a estufa de ventilação forçada de ar a

65°C por período de 72 h. Posteriormente, foram determinados: Peso por planta (PP) e Peso total (PT) em balança analítica de precisão.

#### 5.2.7.4 Declaração de ética

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Instituto Federal Goiano (CEUA/IF Goiano) que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA).

#### 5.2.7.5 Análises estatísticas

A análise estatística foi realizada com o auxílio do sistema computacional de análise estatística “SISVAR” (FERREIRA, 2011). Os dados para cada variável foram submetidos à análise de variância. Posteriormente, quando significados pelo teste F, foram submetidos a testes de comparação múltipla pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para as densidades de peixes, volumes de filtro e variedade da rúcula.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observados efeitos significativos avaliando o Índice SPAD, Clorofila *a* e Clorofila *b*, em todos os fatores de variação (FV) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da ANAVA para os parâmetros Índice SPAD, Clorofila *a* e Clorofila *b* de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

FV	GL	Quadrado médio		
		Índice SPAD	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>
VAR	1	64,53 <sup>ns</sup>	11,00 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>

DP	2	2,81 <sup>ns</sup>	20,04 <sup>ns</sup>	1,427 <sup>ns</sup>
VF	1	0,69 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,722 <sup>ns</sup>
VAR*DP	2	39,10 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>ns</sup>	0,227 <sup>ns</sup>
VAR*VF	1	4,69 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,102 <sup>ns</sup>
DP*VF	2	17,71 <sup>ns</sup>	11,46 <sup>ns</sup>	0,152 <sup>ns</sup>
VAR*DP*VF	2	0,66 <sup>ns</sup>	14,89 <sup>ns</sup>	1,665 <sup>ns</sup>
BLOCO	2	10,30 <sup>ns</sup>	11,51 <sup>ns</sup>	3,650 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	22	19,93 <sup>ns</sup>	8,49 <sup>ns</sup>	2,665 <sup>ns</sup>
CV (%)		11,25	9,33	16,79

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; VAR = variedades de rúcula; DP = densidade de peixe; VF = volume de filtro; VAR\*DP = interação entre variedades de rúcula e densidade de peixes; VAR\*VF = interação entre variedades de rúcula e volume de filtro; DP\*VF = interação entre densidade de peixes e volume de filtro; VAR\*DP\*VF = interação entre variedades de rúcula, densidade de peixes e volume de filtros; CV = coeficiente de variação.

Em relação ao diâmetro de caule (DC), foi observado diferença apenas entre as interações variedades de rúcula e densidade de peixes (VAR\*DP), variedades de rúcula e volume de filtro (VAR\*VF), densidade de peixes e volume de filtro (DP\*VF) e variedades de rúcula, densidade de peixes e volume de filtro (VAR\*DP\*VF). O comprimento de folha (CF) e largura de folha (LF) apresentou efeito significativo para as variáveis variedades de rúcula (VAR) e densidade de peixe (DP) de forma isolada, assim como para as interações DP\*VF e VAR\*DP\*VF. A altura de planta (AP) teve significância para todos os fatores de variação (FV) e, o número de folha (NF) ocorreu efeito significativo apenas nas interações DP\*VF e VAR\*DP\*VF (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da ANAVA para os parâmetros diâmetro de caule (DC), comprimento de folha (CF), largura de folha (LF), altura de planta (AP) e número de folha (NF) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

FV	GL	Quadrado Médio				
		DC	CF	LF	AP	NF

		(mm)	(cm)	(cm)	(cm)	
VAR	1	0,100 <sup>ns</sup>	8,850 <sup>**</sup>	1,562 <sup>*</sup>	82,50 <sup>**</sup>	0,111 <sup>ns</sup>
DP	2	0,480 <sup>ns</sup>	28,245 <sup>**</sup>	1,715 <sup>*</sup>	32,61 <sup>**</sup>	0,027 <sup>ns</sup>
VF	1	0,513 <sup>ns</sup>	0,855 <sup>ns</sup>	0,062 <sup>ns</sup>	18,77 <sup>**</sup>	0,111 <sup>ns</sup>
VAR*DP	2	2,013 <sup>**</sup>	3,529 <sup>ns</sup>	0,542 <sup>ns</sup>	4,01 <sup>**</sup>	0,194 <sup>ns</sup>
VAR*VF	1	9,901 <sup>**</sup>	0,241 <sup>ns</sup>	0,217 <sup>ns</sup>	13,20 <sup>**</sup>	0,000 <sup>ns</sup>
DP*VF	2	3,791 <sup>**</sup>	21,056 <sup>**</sup>	6,527 <sup>**</sup>	128,33 <sup>**</sup>	1,861 <sup>**</sup>
VAR*DP*VF	2	4,650 <sup>**</sup>	32,604 <sup>**</sup>	4,850 <sup>**</sup>	55,63 <sup>**</sup>	3,583 <sup>**</sup>
BLOCO	2	0,104 <sup>ns</sup>	0,718 <sup>ns</sup>	0,737 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>*</sup>	1,027 <sup>*</sup>
RESÍDUO	22	0,058	1,042	0,324	0,40	0,179
CV (%)		6,37	7,55	8,46	2,69	8,28

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; VAR = variedades de rúcula; DP = densidade de peixe; VF = volume de filtro; VAR\*DP = interação entre variedades de rúcula e densidade de peixes; VAR\*VF = interação entre variedades de rúcula e volume de filtro; DP\*VF = interação entre densidade de peixes e volume de filtro; VAR\*DP\*VF = interação entre variedades de rúcula, densidade de peixes e volume de filtros; CV = coeficiente de variação.

Avaliando o comprimento de folha (CF) e largura de folha (LF) em função das variedades de rúcula (VAR), ambas apresentaram efeito significativo, e a variedade de rúcula B (VAR-B) proporcionou melhores resultados quando comparadas a variedade de rúcula A (VAR-A), sendo já esperado esse resultado, pois a VAR-B em suas características genéricas apresenta maior crescimento quando comparada à VAR-A (Tabela 4).

**Tabela 4.** Comprimento de folha (CF) e largura de folha (LF) em função das variedades de rúculas (VAR) cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

VAR	CF (cm)	LF (cm)
A	13,02b	6,52b
B	14,01a	6,94a

A = Rúcula cultivada; B = Rúcula cultivada gigante folha larga.

Ocorreu diferença estatística para o diâmetro de caule (DC) na variedade de rúcula A (VAR-A) e variedade de rúcula B (VAR-B) entre os volumes de filtro (VF). No volume de filtro 50 (VF50) a VAR-B obteve melhores resultados em relação a VAR-A, enquanto para o volume de filtro (VF75) ocorreu o inverso, com os melhores resultados para a VAR-A (Tabela 4). Para a altura da planta (AP), a VAR-A obteve diferença em relação aos VF e a VAR-B não obteve significância entre os VF. Em ambos VF a VAR-A proporcionou melhores resultados em relação a VAR-B (Tabela 5).

**Tabela 5.** Influência das variedades de rúculas (VAR) e volume de filtro (VF) e vice-versa, para diâmetro de caule (DC) e altura de planta (AP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

VF (L)	VAR	
	A	B

DC (mm)		
50	3,09bB	4,02aA
75	4,38aA	3,43bB
AP (cm)		
50	26,97aA	22,38aB
75	23,96bA	22,15aB

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre variedades de rúculas (VAR) a 5% de probabilidade.

A = Rúcula cultivada; B = Rúcula cultivada gigante folha larga.

SILVA (2017) avaliando o uso da água do cultivo de tilápia-do-Nilo na fertirrigação de alface observou que, o fato da AR ser rica em nutrientes, proporcionou melhor desempenho quando analisados a altura, número foliar e matéria fresca total ( $p < 0,05$ ).

O diâmetro do caule e a altura da planta são variáveis relacionadas ao crescimento das plantas e são indicativos da produtividade da cultura.

Com relação ao diâmetro de caule (DC) e altura da planta (AP), foram observados efeito significativo para todas as densidades de peixes (DP) dentro dos volumes de filtro (VF). Isolados, o volume de filtro 50 (VF50) apresentou melhor resultado para a densidade de peixe 40 (DP40) enquanto para o volume de filtro 75 (VF75) se sobressaiu a densidade de peixe 60 (DP60) (Tabela 6). As DP maiores proporcionaram melhores resultados para o DC e AP, tal resultado pode ser explicado, pela maior quantidade de nitrogênio nessas DP. RAMOS et al., (2020) ao avaliar o cultivo do milho com fertirrigação, apresentou melhores resultados em relação à altura da planta em comparação com a adubação orgânica.

Avaliando o comprimento de folha (CF), largura de folha (LF) e número de folhas (NF) teve significância apenas para as DP40 e DP60 dentro de todos VF. De forma isolada o VF50 apresentou melhores resultados para a DP40, enquanto para o VF75 a DP60 se sobressaiu (Tabela 6). Tal fato, possivelmente, tenha ocorrido pela maior concentração de nutrientes nos tanques com maiores DP. REZENDE et al., (2017) avaliando a produção e qualidade de alface fertirrigada com nitrogênio e potássio, constataram que ambas influenciaram significativamente o NF, causando resposta linear crescente dessa variável.

**Tabela 6.** Influência da densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para diâmetro de caule (DC), comprimento de folha (CF), largura de folha (LF), altura de planta (AP) e número de folha (NF) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

---

VF (L)

---

DP

---

	20	40	60
		DC (mm)	
50	3,37bB	4,12aA	3,51bB
75	4,19aA	3,06bA	4,47aA
		CF (cm)	
50	12,36aB	14,40aA	14,25bA
75	12,56aB	11,23bB	16,30aA
		LF (cm)	
50	6,40aB	7,28aA	6,38bB
75	6,50aB	5,86bB	7,93aA
		AP (cm)	
50	21,01bC	27,80aA	24,70bB
75	23,83aB	18,83bC	26,53aA
		NF	
50	5,00aB	5,67aA	4,83aB
75	5,17aB	4,67bB	5,33aA

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre variedades de rúculas (VAR) a 5% de probabilidade.

Na Tabela 7 ocorreu efeito significativo para o peso fresco da planta (PFP) e teor de água da planta (TAP) nas variáveis variedades de rúcula (VAR) e densidade de peixes (DP) isoladas, inclusive para as interações variedades de rúcula e densidade de peixes (VAR\*DP), variedades de rúcula e volume de filtro (VAR\*VF), densidades de peixes e volume de filtro (DP\*VF) e variedades de rúcula, densidade de peixes e volume de filtros (VAR\*DP\*VF). O peso seco da planta (PSP) apresentou significância para DP de maneira isolada, assim como para as interações VAR\*DP e DP\*VF. Em relação ao peso total da planta (PTP) ocorreu efeito significativo para todos os fatores de variação (FV) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Resumo da ANAVA para os parâmetros peso fresco da planta (PFP), peso seco da planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

FV	GL	Quadrado Médio			
		PFP (g)	PSP (g)	TAP (g)	PTP (g)
VAR	1	53,94**	0,504 <sup>ns</sup>	44,00**	6380,28**

DP	2	72,89**	0,792**	59,34**	215,39**
VF	1	0,23 <sup>ns</sup>	0,088 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	326,88**
VAR*DP	2	137,68**	0,429*	125,18**	262,22**
VAR*VF	1	12,47**	0,001 <sup>ns</sup>	12,79**	115,56**
DP*VF	2	289,82**	2,008**	252,48**	424,49**
VAR*DP*VF	2	176,93**	0,385 <sup>ns</sup>	161,11**	1260,52**
BLOCO	2	0,66 <sup>ns</sup>	0,140 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	2,95 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	22	0,71	0,118	0,81	1,41
CV (%)		5,05	23,36	5,90	2,89

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; VAR = variedades de rúcula; DP = densidade de peixe; VF = volume de filtro; VAR\*DP = interação entre variedades de rúcula e densidade de peixes; VAR\*VF = interação entre variedades de rúcula e volume de filtro; DP\*VF = interação entre densidade de peixes e volume de filtro; VAR\*DP\*VF = interação entre variedades de rúcula, densidade de peixes e volume de filtros; CV = coeficiente de variação.

Com relação ao peso fresco de planta (PFP), a VAR-A diferiu apenas para a DP40 apresentando valores menores e, a VAR-B diferiu entre todas as DP. Para a DP20 e DP60 os melhores resultados foram para a VAR-A, o inverso ocorreu para a DP40 que foi observado maiores médias para a VAR-B (Tabela 8).

Avaliando o peso seco de planta (PSP), a VAR-A diferiu apenas para a DP40 que apresentou valores menores. De forma isolada, a DP20 e DP60 obtiveram melhores resultados para a VAR-A, enquanto para a DP40 aconteceu o inverso, com a VAR-B com resultados maiores (Tabela 8). Para teor de água na planta (TAP), teve significância na VAR-A apenas para a DP40 e, a VAR-B apenas para a DP20, sendo observado as menores médias. Na DP20 e DP60 a VAR-A apresentou melhores resultados que a VAR-B, enquanto para a DP40 a VAR-B se sobressaiu (Tabela 8). Não foi observado efeito para o peso total da planta (PTP) na VAR-A que apresentou melhores resultados em todas as DP. A VAR-B teve significância entre todas as DP, com o maior PTP observado para a DP60 e menor para a DP20 (Tabela 8). A VAR-A na DP60 se sobressaiu em todas as variáveis, fato que pode ser explicado através da maior quantidade de nutrientes nessa DP.

**Tabela 8.** Influência das variedades de rúcula (VAR) e densidade de peixe (DP) e vice-versa para peso fresco de planta (PFP), peso seco de planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

DP	VAR	
	A	B
	PFP (g)	
20	19,70aA	10,02bB

40	13,95bB	17,71aA
60	20,24aA	18,82aB
PSP (g)		
20	1,61aA	1,12aB
40	1,20bA	1,39aA
60	1,98aA	1,56aB
TAP (g)		
20	18,09aA	8,90bB
40	12,75bB	16,32aA
60	18,26aA	17,26aA
PTP (g)		
20	55,05aA	18,00cB
40	54,05aA	30,21bB
60	54,32aA	35,34aB

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre variedades de rúculas (VAR) a 5% de probabilidade.

A = Rúcula cultivada; B = Rúcula cultivada gigante folha larga.

Com relação ao peso fresco de planta (PFP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) observou-se efeito significativo entre as variedades de rúcula (VAR) dentro dos volumes de filtro (VF). De forma isolada, para ambos VF a variedade de rúcula A (VAR-A) apresentou melhores resultados quando comparada a variedade de rúcula B (VAR-B) (Tabela 9).

SILVA (2017) avaliando o uso da água do cultivo de tilápia-do-Nilo na fertirrigação de alface, observou que as plantas irrigadas com água de reuso (AR) apresentaram PFP superior às plantas irrigadas com água tratada (AT) ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 9.** Influência da variedade de rúcula (VAR) e volume de filtro (VF) e vice-versa, para peso fresco de planta (PFP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

VF (L)	VAR	
	A	B
PFP (g)		
50	17,29bA	16,02aB
75	18,63aA	15,01bB
TAP (g)		

50	15,74bA	14,72aB
75	16,99aA	13,59bB
PTP (g)		
50	55,70aA	32,04aB
75	53,25bA	23,04bB

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre variedades de rúculas (VAR) a 5% de probabilidade.

A = Rúcula cultivada; B = Rúcula cultivada gigante folha larga.

Para o peso fresco de planta (PFP) e o teor de água da planta (TAP) apenas a densidade de peixe 40 (DP40) e densidade de peixe 60 (DP60) tiveram efeito significativo dentro dos VF. Isolados, o VF50 apresentou maiores médias para a DP40 ao passo que para o VF75 aconteceu o inverso, com os maiores valores para a DP60 (Tabela 10).

**Tabela 10.** Influência da densidade de peixes (DP) e volume de filtro (VF) e vice-versa para peso fresco de planta (PFP), peso seco de planta (PSP), teor de água da planta (TAP) e peso total da planta (PTP) de rúculas cultivadas em vasos sob fertirrigação com água de sistema aquapônico.

VF (L)	DP		
	20	40	60
PFP (g)			
50	14,59aB	20,75aA	14,63bB
75	15,13aB	10,93bC	24,43aA
PSP (g)			
50	1,03bB	1,71aA	1,53bA
75	1,70aA	0,87bB	2,00aA
TAP (g)			
50	13,56aB	19,05aA	13,10bB
75	13,43aB	10,03bC	22,42aA
PTP (g)			
50	34,62bC	51,75aA	46,16aB
75	38,44aB	32,51bC	43,50bA

Médias seguidas de mesma letra minúsculas não diferem entre volume de filtro (VF) e letras maiúsculas iguais não diferem entre variedades de rúculas (VAR) a 5% de probabilidade.

SILVA (2017), observou que as plantas irrigadas com água de reuso de piscicultura apresentaram matéria fresca total superior às plantas irrigadas com água tratada.

O peso seco de planta (PSP) e o peso total da planta (PTP) apresentaram efeito significativo para todas as DP dentro dos VF. Para o VF50 a DP40 proporcionou melhores resultados enquanto para o VF75 a DP60 teve melhor desempenho (Tabela 10). A disponibilidade de nutrientes, principalmente o nitrogênio, provenientes da conversão de

amônia em nitrito e conseqüentemente em nitrato, fundamentais ao crescimento das plantas, podem explicar os valores obtidos para essas variáveis, principalmente nas DP maiores.

SILVA (2019) em sua pesquisa sobre uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de olerícolas produzidas com base agroecológica, observou-se que o tratamento efluente de piscicultura adubado com fertilizante químico, apresentou o melhor resultado para PTP, seguido da interação entre o efluente adubado com composto.

#### 5.4 CONCLUSÕES

De maneira geral, a variedade Cultivada junto a densidade de 60 peixes e ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhores resultados. Por outro lado, a variedade Cultivada gigante folha larga junto a densidade de 20 peixes e ao volume de filtro de 50 L foi a que obteve menores resultados.

#### 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v.22, n.6, 711–728. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. Washington, DC: **American Public Health Association**, 1998.

CAMPOS, F; DE ARAÚJO, K. B. Fertirrigação e o reuso de água na agricultura. InterfacEHS - **Revista de Saúde, Meio ambiente e Sustentabilidade**. Vol. 15 no 1 – Junho de 2020.

CARVALHO, K. S; BONFIM-SILVA, E. M; SILVEIRA, M. H. D; CABRAL, C. E. A; LEITE, N. Rúcula submetida à adubação nitrogenada via fertirrigação. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. **1 5 5 0** 2012.

CLAUDINO, E. S. Uso do efluente gerado pela digestão anaeróbia de resíduos vegetais para a produção de hortaliças. 59f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**. vol.35 no.6, p. 1039-1042, 2011.

FERNANDES, I. R. D. Tratamento de água cinza e sua aplicação na fertirrigação do girassol ornamental em ambiente semiárido. 71f. **Dissertação** (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2017.

Köppen W (1948) Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra. México, Fondo de Cultura Económica. 172p.

MACHADO, L. R; FERRAREZ, A. H; JUNIOR, J. L; DE OLIVEIRA, V. P. S; ALVES, F. C. Uso dos efluentes da suinocultura na fertirrigação: o caso de uma agroindústria familiar. **ACSA**, Patos-PB, v.15, n.1, p. 79-85, Janeiro-Março, 2019, ISSN: 1808-6845.

OLIVEIRA, E. G; SANTOS, F. J. S. Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água. **Ciência Animal**, 25(1); 133-154, 2015 – Edição Especial.

RAMOS, J. A; LIMA, V. L. A; PEREIRA, M. O; NASCIMENTO, M. T. C; ARAUJO, N. C; PEREIRA, M. C. A. Cultivo de milho híbrido com macronutrientes, urina humana e manípueira aplicados via fundação e fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 420-431, abril-junho, 2020.

REZENDE, R. SOUZA, R. S. MALLER, A; FREITAS, P. S. L; GONÇALVES, A. C. A; REZENDE, G. S. Produção e qualidade comercial de alface fertirrigada com nitrogênio e potássio em ambiente protegido. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 64, n.2, p. 205-211, mar/abr, 2017.

SILVA, V. S. Uso do efluente da piscicultura na fertirrigação de olerícolas produzidas com base agroecológica. 96f. **Dissertação** (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Federal de Roraima. Boa Vista, 2017.

SILVA, M. J. G. Uso da água do cultivo de microalgas na fertirrigação do coentro (*Coriandrum Sativum L.*) na região Amazônica. 40f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia de Pesca) – Universidade Rural da Amazônia. Belém, 2019.

VOSS, M; BAESSO, E. W. B. J; STRUTZ, G. I. L; MEURER, E. S; EMERECIANO, M. G. C; COSTA FILHO, J; AQUINI, E. N; FRECCIA, A. Avaliação dos parâmetros de comprimento de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* no berçário intensivo em diferentes densidades de cultivo. Anais VI Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão – SENPEX. **ISBN: 978-85-67456-10-2.**

## CONCLUSÃO GERAL

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, dureza e sulfato, estão dentro dos limites estabelecidos, em relação aos fatores densidade de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes.

Os parâmetros fósforo, cloreto, ferro, nitrogênio total, amônia, nitrato, nitrito, clorofila *a*, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, ficaram acima do permitido, em relação aos fatores densidades de peixes, volumes de filtro e dias após aclimação dos peixes.

O índice de estado trófico teve valores elevados sendo classificado como ambiente hipereutrófico.

De maneira geral, a densidade de 60 e 40 peixes junto ao volume de filtro de 50 L causou maior degradação da qualidade da água. Por outro lado, a densidade de 20 peixes junto ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhor qualidade de água.

A variedade Cultivada junto a densidade de 60 peixes e ao volume de filtro de 75 L proporcionou melhores resultados. Ao passo que, a variedade Cultivada gigante folha larga junto a densidade de 20 peixes e ao volume de filtro de 50 L foi a que obteve menores resultados.

Os resultados encontrados neste trabalho já eram esperados, pois maior densidade de peixes dentro de um mesmo espaço ocasiona maior quantidade de resíduos e conseqüentemente maior degradação da água do sistema, sendo necessário para maiores densidades um filtro com maior volume para remoção total dos resíduos ou até mesmo menor densidade de peixes. Em função da indisponibilidade de algumas informações nesta pesquisa, recomenda-se para trabalhos futuros a incorporação do mesmo com densidades de peixes e volumes distintos, para melhor compreensão e recomendação.