



Instituto Federal De Ciência, Educação e Tecnologia de Brasília  
*Campus Gama*  
Licenciatura Em Química

JOÃO HENRIQUE GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (BFT), COMO UM POTENCIAL  
FERTILIZANTE PARA ALFACE**

Brasília - DF  
2024

JOÃO HENRIQUE GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (BFT), COMO UM POTENCIAL  
FERTILIZANTE PARA ALFACE**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Química do Instituto Federal de Brasília - *Campus* Gama, como requisito obrigatório para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Débora Kono Taketa Moreira

Brasília - DF

Pereira, João Henrique Gomes.

Análise da tecnologia de bioflocos (BFT), como um potencial fertilizante para alface / João Henrique Gomes Pereira ; orientação Débora Kono Taketa Moreira. — Gama, DF: 2024.

68 f. : il. color. ; 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) — Instituto Federal de Brasília, Campus Gama, Gama, DF, 2024.

Orientador(a): Débora Kono Taketa Moreira.

1. Bioflocos. 2. Flocoponia. 3. Nutrientes. 4. Cultivo de Alface. 5. Fertilizantes. I. Moreira, Débora Kono Taketa, orient. II. Instituto Federal de Brasília. III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília

PARECER 7/2024 - CDOC/CGEN/DREP/DGGA/RIFB/IFBRASILIA de 9 de setembro de 2024

JOÃO HENRIQUE GOMES PEREIRA

**ANÁLISE DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS (BFT) COMO UM POTENCIAL FERTILIZANTE PARA ALFACE**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Licenciatura em Química do *Campus* Gama do Instituto Federal de Brasília como requisito parcial para obtenção de título de Licenciado em Química.

Aprovado em 06 de setembro de 2024

BANCA EXAMINADORA

*(Assinado eletronicamente)*

Profª. Dra. Débora Kono Taketa Moreira (Orientadora)

IFB – Campus Gama

*(Assinado eletronicamente)*

Profª. Dr. Rodrigo Alves da Silva – Membro interno

IFB - Campus Gama

*(Assinado eletronicamente)*

Profª. Dra. Michelle Midori Sena Fugimura – Membro externo

UFOPA

Documento assinado eletronicamente por:

- **Debora Kono Taketa Moreira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 09/09/2024 15:51:24.
- **Rodrigo Alves da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 09/09/2024 15:53:28.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 561839  
Código de Autenticação: 443dfa46fb



Campus Gama  
Lote 01, DF 480, None, Setor de Múltiplas  
Atividades, GAMA / DF, CEP 72.429-005  
None

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus, por me conceder força de vontade, saúde e sabedoria para cumprir esta etapa acadêmica.

Agradeço aos meus pais, que sempre apoiaram e sustentaram todos os meus sonhos e decisões, nunca permitindo que me faltasse nada. A eles, dedico esta conquista. Amo vocês.

Aos meus colegas de turma, agradeço por fazerem parte dessa caminhada e tornarem todo o processo mais leve. Guardarei para sempre as lembranças de todos vocês.

Estendo meus agradecimentos especialmente aos amigos de laboratório, pelo apoio, amparo, risadas, experiências compartilhadas e ótimos momentos vividos. Desejo muito sucesso a cada um de vocês.

Agradeço à minha orientadora Débora pela oportunidade de poder adquirir tamanha experiência durante os meses de pesquisa. Sou grato por todo conhecimento compartilhado, pela paciência, esforço e dedicação ao longo deste projeto, tornando meus últimos semestres de curso tão empolgante quanto no início, não poderia ter uma orientadora melhor, sou imensamente grato.

Por fim, deixo meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram para a minha formação, sendo mais que educadores, mas também amigos. Cada um de vocês foi fundamental para o meu desenvolvimento.

Muito obrigado a todos.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso de bioflocos (BFT) como fonte nutricional para o cultivo de alface em sistemas de flocoponia, comparando-os com o sistema tradicional de aquaponia. Foram realizados dois ciclos de produção utilizando três sistemas de cultivo: flocoponia acoplada, flocoponia desacoplada e aquaponia. A composição centesimal das alfaces cultivadas foi avaliada em cada sistema e a pesquisa incluiu a análise das características químicas dos bioflocos, como macronutrientes (NPK), micronutrientes e contaminantes, e a comparação desses dados com fertilizantes orgânicos amplamente utilizados e as necessidades nutricionais para o cultivo de alface. Os resultados indicaram que os bioflocos apresentaram alta concentração de nitrogênio e fósforo, mas baixa concentração de potássio, o que limita sua eficácia como fonte completa de nutrientes para as plantas sem suplementação adicional. A análise da composição centesimal revelou diferenças significativas nos teores de cinzas, lipídios, proteínas, fibras e carboidratos, com o sistema de aquaponia se destacando em alguns aspectos e a flocoponia apresentando resultados variáveis. Apesar disso, a flocoponia mostrou-se uma alternativa promissora para a produção de alface, oferecendo vantagens em termos de controle de nutrientes e potencial de sustentabilidade. O estudo também destacou a necessidade de rigoroso controle de contaminantes, como o cromo, cuja presença nos bioflocos ultrapassou os limites regulamentares. Assim, o trabalho contribui para a compreensão das potencialidades e limitações dos sistemas de flocoponia e bioflocos na produção de hortaliças, sugerindo que essas tecnologias podem oferecer soluções viáveis e sustentáveis para a produção agrícola moderna.

**Palavras-chaves:** Bioflocos (BFT); Flocoponia; Nutrientes; Cultivo de alface; Fertilizantes orgânicos; Aquaponia.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the feasibility of using biofloc (BFT) as a nutritional source for lettuce cultivation in flocoponia systems, comparing it with traditional aquaponics and hydroponics systems. The research analyzed the chemical characteristics of biofloc, including macronutrients (NPK), micronutrients, and contaminants, and compared these data with widely used organic fertilizers and the nutritional requirements for lettuce cultivation. Two production cycles were conducted using three cultivation systems: coupled flocoponia, decoupled flocoponia, and aquaponics. The lettuce grown in each system was assessed for its proximate composition. Results indicated that biofloc had high concentrations of nitrogen and phosphorus but low potassium levels, limiting its effectiveness as a complete nutrient source without additional supplementation. The proximate composition analysis revealed significant differences in ash, lipid, protein, fiber, and carbohydrate content, with aquaponics performing better in some aspects and flocoponia showing variable results. However, flocoponia emerged as a promising alternative for lettuce production, offering advantages in nutrient control and sustainability. The study also highlighted that flocoponia can provide a nutritional composition of lettuce comparable to that obtained from soil and other hydroponic and aquaponic systems, emphasizing its efficiency in resource use and environmental impact reduction. Contaminants, such as chromium, were found in biofloc, exceeding regulatory limits, underscoring the need for stringent contaminant control to ensure safe lettuce cultivation. This work contributes to the understanding of the potential and limitations of flocoponia and biofloc systems in vegetable production, suggesting that these technologies can offer viable and sustainable solutions for modern agricultural production.

**Keywords:** Bioflocs (BFT); Flocoponics; Nutrients; Lettuce Cultivation; Organic Fertilizers; Aquaponics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do Sistema de Aquaponia.....	8
Figura 2 - Reutilização de resíduos do sistema de bioflocos.....	11
Figura 3 - Sistema de aquaponia/flocoponia utilizado.....	16
Figura 4 - Análise de pH da amostra de bioflocos.....	25
Figura 5 - Etapa de destilação de nitrogênio.....	26
Figura 6 - Etapa de Precipitação do Sulfato de Bário.....	30
Figura 7 - Equipamento MP-AES.....	32
Figura 8 - Etapa de Digestão do Carbono.....	35
Figura 9 - Determinação de CTC.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica química dos resíduos de bioflocos de Tilápia.....	5
Tabela 2 - Perfil de minerais dos resíduos de bioflocos de Tilápia.....	5
Tabela 3 - Exigência nutricional para o cultivo de alface.....	12
Tabela 4: Tratamento dos blocos (caixa) de alface.....	15
Tabela 5 - Comprimento de onda de emissão dos elementos em nanômetros.....	30
Tabela 6 - Resultados da composição centesimal da alface produzida em diferentes sistemas.....	37
Tabela 7 - Composição centesimal de alface produzido por hidroponia.....	38
Tabela 8 - Teste t-student para o número de folhas.....	41
Tabela 9 - Resultados da caracterização química dos bioflocos.....	43
Tabela 10 - Composição nutricional do fertilizante orgânico (esterco bovino).....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOAC	Association of Official Analytical Collaboration
BNCC	Base Nacional Curricular Comum
BFT	Tecnologia de Bioflocos
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NFT	Nutrient Film Technique (Técnica de Filme de Nutrientes)
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
LAMPOA	Laboratório Múltiplo para Produção de Organismos Aquáticos
FDA	Fibra Detergente Ácida
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MP-AES	Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-Ondas
FA	Flocoponia Acoplada
FD	Flocoponia Desacoplada
VMP	Valores Máximos Permitidos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1 Objetivo Geral.....	2
2.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
3.1 Sistema de Bioflocos.....	3
3.2 Aquaponia.....	6
3.3 Flocoponia.....	9
3.4 Cultivo da Alface.....	11
3.5 Abordagem do Ciclo dos Nutrientes no Ensino de Química.....	13
<b>4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>14</b>
4.1 Tratamento das Alfaces.....	14
4.1.2 Análises Físico Químicas das Alfaces.....	16
4.1.2.1 Determinação umidade.....	17
4.1.2.2 Determinação Minerais Totais (Cinzas).....	17
4.1.2.3 Determinação Lipídios (Extrato Etéreo).....	18
4.1.2.4 Determinação Proteína Total.....	18
4.1.2.5 Determinação de Fibras Totais.....	20
4.2 Caracterização do Resíduo de Bioflocos: Procedimentos.....	20
4.2.1 Determinação de Umidade.....	21
4.2.2 Determinação de pH.....	22

4.2.3	Análise de Nitrogênio Total.....	23
4.2.4	Determinação de Fósforo Total.....	24
4.2.5	Determinação de Potássio Solúvel em Água (K <sub>2</sub> O).....	26
4.2.6	Determinação de Enxofre Total.....	26
4.2.7	Determinação de Cálcio e Magnésio.....	28
4.2.8	Análise de Micronutrientes e Contaminantes.....	30
4.2.9	Determinação de Carbono Orgânico.....	30
4.2.10	Determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC).....	32
4.3.	Análise Estatística.....	34
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
5.1	Análises das Alfaces: Resultados Obtidos.....	35
5.1.1	Comparação Entre Sistemas de Plantio.....	39
5.2	Caracterização dos Bioflocos: Resultados Obtidos.....	42
5.2.1	Sustentabilidade da Flocoponia.....	48
5.3	Proposta de Prática no Ensino de Química.....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos frescos e sustentáveis tem impulsionado o desenvolvimento de métodos inovadores para a produção agrícola. Nesse contexto, a flocoponia surge como alternativa promissora, combinando a criação de peixes com o cultivo de plantas em um sistema integrado que busca otimizar o uso dos recursos naturais e minimizar os impactos ambientais (Ohse, 2001).

A aquaponia, que utiliza a água de criação de peixes para fornecer nutrientes às plantas, já é amplamente reconhecida como uma técnica eficiente e sustentável. No entanto, a flocoponia, que incorpora o conceito de bioflocos, tem se destacado como uma abordagem potencialmente mais sustentável e inovadora, ao reutilizar resíduos orgânicos para fertilização de culturas (Pinho, 2022).

Apesar das vantagens teóricas da flocoponia, a sua aplicação prática ainda é pouco explorada, especialmente em relação ao uso de resíduos de bioflocos como fertilizante para plantas. O aproveitamento desses resíduos pode oferecer uma alternativa de baixo custo e ecológica para a fertilização, substituindo ou complementando o uso de fertilizantes comerciais, que frequentemente têm impacto negativo no meio ambiente (Secanho et al. 2022). No entanto, ainda existem lacunas na literatura quanto à eficácia nutricional dos resíduos de bioflocos e aos possíveis contaminantes que possam estar presentes.

Uma alternativa prática e sustentável para a produção agrícola, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, é imprescindível, especialmente no que diz respeito ao consumo e produção responsáveis, e à vida na água e em terra. De acordo com a FAO (2021), a utilização de sistemas de produção mais eficientes e com menor impacto ambiental é crucial em um contexto de mudanças climáticas e de busca por práticas agrícolas que sejam sustentáveis a longo prazo. Assim, explorar o uso de bioflocos como fertilizante orgânico não apenas contribui para a ciência aquática e agrícola, mas também pode oferecer soluções práticas para produtores que desejam adotar práticas mais ecológicas e economicamente viáveis.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso do sistema de Bioflocos como fonte nutricional para o cultivo de alface em um sistema de flocoponia. A pesquisa analisou as características químicas dos resíduos de bioflocos como um possível fertilizante orgânico para ser utilizado no cultivo de hortaliças. Além disso, foi verificada a qualidade nutricional da alface produzida no sistema de flocoponia em relação a aquaponia. Portanto, esse estudo buscou avaliar um sistema mais sustentável de criação de peixe e produção de hortaliças, assim como reduzir os seus impactos ambientais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade dos bioflocos como fonte nutricional para o cultivo de alface em um sistema de flocoponia.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Analisar a composição centesimal das alfaces produzidos por aquaponia;
- b) Analisar a composição centesimal das alfaces produzidos por flocoponia (acoplada e desacoplada);
- c) Analisar a composição química do bioflocos;
- d) Analisar os Micronutrientes e Contaminantes dos bioflocos
- e) Avaliar a implementação do BFT na produção das alfaces.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Sistema de Bioflocos

O sistema de bioflocos, manifesta-se de uma preocupação dos impactos ambientais oriundos do cultivo de camarão, onde os mesmos contaminam as fontes hídricas naturais com os efluentes não tratados dos tanques de criação. Sendo assim, a tecnologia de bioflocos foi empregada a aquicultura de uma forma geral, propondo uma implementação econômica, ecológica e sustentável, uma vez que a técnica conta com a minimização da troca de água do sistema. (Krummenauer, 2012)

A tecnologia de bioflocos (BFT - biofloc technology) vem sendo estudada desde a década de 70, seu uso é empregado de forma abundante na agricultura, com o objetivo de garantir a biossegurança do ambiente aquático, reduzindo também a quantidade de água que geralmente é usada para o cultivo de peixes. Essa tecnologia estimula o crescimento de bactérias específicas, por meio da relação carbono nitrogênio do meio (Barbosa, 2017).

No sistema, as bactérias desempenham um papel fundamental para o controle de qualidade da água. Uma relação de C:N ideal, favorece o crescimento de bactérias heterotróficas, que são capazes de converter a amônia excretada no meio aquático em biomassa bacteriana. Dessa forma, o processo de conversão da amônia, acontece de forma mais rápida que a nitrificação, conservando o baixo índice de amônia na água (Cunha, 2020).

Essa biomassa microbiana, é capaz de agregar-se a outros microrganismos e resíduos em suspensão na água por meio do muco expelido pelas bactérias. A composição dos bioflocos é de cerca de 20% de micro-organismos, como protozoários e bactérias, de 60 a 70% de matéria orgânica, constituída por ração e fezes, e de 30 a 40 % de resíduo inorgânico (Cunha, 2020).

A metabolização de nitrogênio em um sistema de bioflocos, pode ocorrer de três formas segundo Pereira (2018):

- Fotoautotrófica, nesse método organismos que fazem fotossíntese, capturam o nitrogênio e transformam em biomassa de algas. No entanto esse sistema

apresenta algumas desvantagens, como grande oscilação do pH, oxigênio, e uma grande densidade de algas que pode acarretar no aumento repentino da concentração de nitrogênio e matéria orgânica no ambiente.

- Quimioautotróficos, faz a desnitrificação do meio incorporando esse material em sua biomassa, resultando em uma grande demanda de carbono inorgânicos, e, dependendo do meio onde é implantado pode ser removido com facilidade.
- Heterotróficas, nesse sistema as bactérias fazem uso do carbono orgânico como gerador de energia com a finalidade de incorporar nitrogênio a biomassa, essa metodologia produz uma quantidade considerável de biomassa bacteriana, que demanda oxigênio e produção de gás carbônico.

Sendo assim a amônia é produzida como produto final mais abundante, sendo produzida na sua forma não ionizável. Como esse composto possui uma solubilidade muito grande em água, sua existência em ambiente aquático limita-se em duas espécies químicas, a sua forma neutra ( $\text{NH}_3$ ) e a forma ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ) (Ebeling et al. 2006).

Logo, é importante ressaltar que a amônia quando entra em contato com a água forma o hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) que é tóxico dependendo da condição do meio, como pH, temperatura, e composição de água. No entanto, na presença do oxigênio, as bactérias do gênero nitrosomonas, transformam a amônia no íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) (Silva, Costa, 2013).



A formação de ácido nítrico dissocia-se facilmente no íon nitrito, que por sua vez é tóxico às plantas e animais, assim, um outro grupo de bactérias são capazes de transformar o nitrito em nitrato, que não são nocivos aos componentes do meio aquático (Silva, Costa, 2013).

Os benefícios deste sistema não se limita apenas no tratamento da água e seus resíduos, pois tanto a água oriunda do sistema como os resíduos secos possuem uma quantidade considerável de nutrientes que pode ser usado como fonte nutricional em diversos fins, um deles é o reuso para fertilização de plantas.

Segundo BINALSHIKH-ABUBAK et al. (2021) que realizaram estudos da composição química dos resíduos secos de bioflocos oriundos da criação de tilápia, em seus escritos constam análise de minerais totais e perfil de minerais da matéria prima, proteína onde pode ser estudado a quantidade de nitrogênio na amostra, e lipídios que possibilita a quantificação dos lipídios totais, os dados desse estudo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Característica química dos resíduos de bioflocos de Tilápia.

Composição (g/100 g)	
Proteína	20.52 ± 0.09
Lipídios	0.56 ± 0.01
Cinzas	44.63 ± 0.29

Fonte: BINALSHIKH-ABUBKR, T et.al (2021).

A identificação do perfil de minerais da amostra realizada por BINALSHIKH-ABUBKR et.al (2021) pode ser observada na Tabela 2, onde são expressas as concentrações de minerais principais e minerais vestigiais.

Tabela 2 - Perfil de minerais dos resíduos de bioflocos de Tilápia.

Perfil Mineral	
Principais Minerais (mg/g)	
Ca	44.70 ± 1.10
P	12.68 ± 0.46
Mg	17.58 ± 2.02
K	2.132 ± 0.08
Na	11.48 ± 0.69
Minerais Vestigiais (mg/Kg)	
Mn	264 ± 0.02
Zn	232 ± 0.02
Fe	187 ± 0.12
Se	0.90 ± 0.02
Cu	17.0 ± 0.03
Cr	6.30 ± 0.06
Co	4.00 ± 0.03

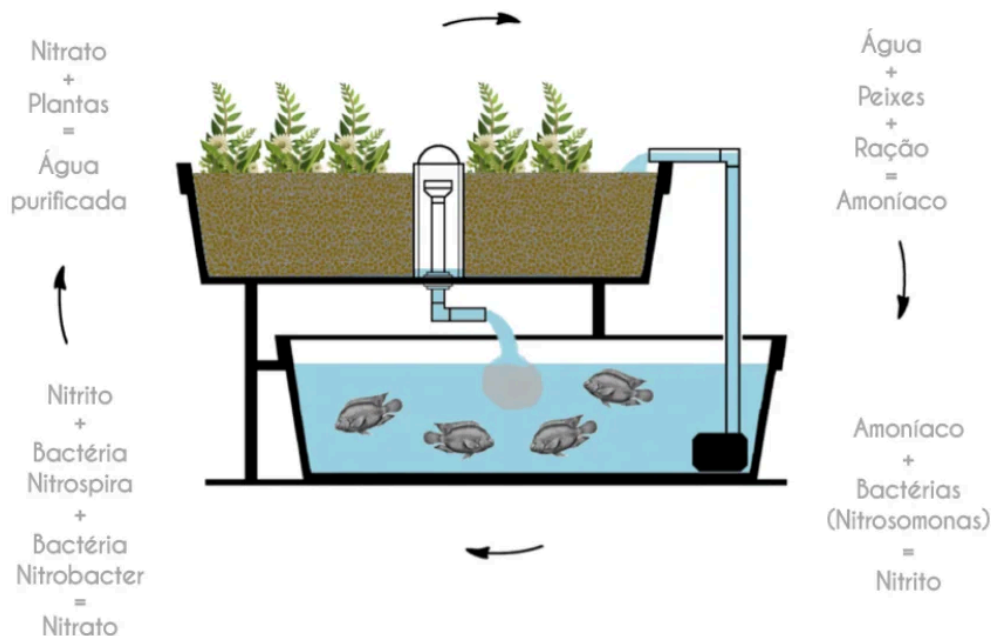
Fonte: BINALSHIKH-ABUBKR *et.al* (2021).

### 3.2 Aquaponia

A aquaponia é um sistema integrado que combina a criação de organismos aquáticos, como peixes, com a hidroponia, onde plantas terrestres são cultivadas em um meio aquoso. Esse sistema sustentável utiliza os resíduos gerados pelos peixes como fonte de nutrientes para as plantas, enquanto as plantas, por sua vez, ajudam a purificar a água, que é recirculada de volta para os tanques de peixes. O funcionamento básico da aquaponia envolve três componentes principais: o tanque de peixes, o biofiltro e o sistema de cultivo das plantas. A amônia excretada pelos peixes é convertida em nitritos e depois em nitratos pelas bactérias nitrificantes presentes no biofiltro. Esses nitratos são então absorvidos pelas plantas como nutrientes, resultando em uma água limpa que é recirculada para os peixes (Lennard, 2004). O esquema do sistema de aquaponia é ilustrado na Figura 1, que

detalha o fluxo de nutrientes e o processo de recirculação da água entre os componentes.

Figura 1 - Esquema do Sistema de Aquaponia



Fonte: Alexa Gaspar (2016)

A aquaponia apresenta diversos benefícios ambientais, econômicos e sociais. Um dos principais benefícios é a eficiência no uso da água. Em comparação com a agricultura tradicional, a aquaponia pode reduzir significativamente o consumo de água, pois o sistema é fechado e a água é recirculada. Além disso, a produção de peixes e plantas no mesmo sistema pode levar a uma maior produtividade por unidade de área, tornando a aquaponia uma opção atrativa para áreas urbanas e regiões com escassez de água (Sommerville et al., 2014).

Outro benefício importante é a redução do uso de fertilizantes químicos e pesticidas. Os resíduos dos peixes fornecem todos os nutrientes necessários para o crescimento das plantas, eliminando a necessidade de fertilizantes sintéticos. Além disso, a qualidade da água é mantida de forma natural pelas plantas, reduzindo a necessidade de tratamentos químicos para a água (Rakocy et al., 2006).

O uso de hortaliças e variedades vegetais adaptadas à hidroponia é sempre recomendado para sistemas de aquaponia, pois essas plantas toleram altos níveis

de água nas raízes e variações significativas nos níveis de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva, sem apresentar sintomas de deficiência nutricional. Elas têm um crescimento ótimo com um pH entre 5,8 e 6,2. Comparado aos sistemas tradicionais de olericultura e aquicultura, que necessitam de irrigação e renovação constante de água, o volume de água necessário para abastecer um sistema de aquaponia é relativamente baixo (Soares et al., 2015).

Segundo Carneiro et al. (2015), o sistema de canaletas ou NFT (Nutrient Film Technique) é o método utilizado mundialmente na produção de vegetais hidropônicos. Neste método, as raízes das plantas são alojadas em canaletas sendo parcialmente embebidas pela água que traz os nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Trata-se do sistema mais indicado para as plantas classificadas como folhosas (alface, rúcula, ervas aromáticas, dentre outras), pela praticidade de colheita e comercialização. Esses autores consideram que nesse sistema as raízes das plantas estão sempre limpas, diferentemente do sistema descrito anteriormente, e não há a necessidade de lavagem após a colheita, o que diminui gastos com mão de obra e agrada o consumidor final.

Apesar dos muitos benefícios, a aquaponia também enfrenta desafios e limitações. A complexidade do sistema pode ser uma barreira para novos produtores, exigindo conhecimentos em aquicultura, hidroponia e microbiologia. Além disso, o custo inicial de instalação de um sistema de aquaponia pode ser alto, embora os custos operacionais sejam geralmente mais baixos em longo prazo (Goddek et al., 2019).

Mendes et al. (2021) realizaram experimentos em que foram analisados o desempenho do cultivo de 4 tipos de alface por aquaponia, sendo eles do tipo crespa, lisa, americana e roxa, com a alimentação dos peixes sendo realizada duas vezes ao dia. Observou-se que as plantas apresentaram uma boa média de número de folhas e massa fresca, sendo uma média de 30,77 folhas e 253,19 g de massa fresca. Tornando evidente que a aquaponia é possível para o cultivo de alface.

Em outro trabalho, Carvalho et al. (2017) avaliaram a produtividade do alface do tipo crespa em aquaponia na produção de peixes da espécie Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a avaliação das plantas produzidas se deu pela

determinação do seu peso na matéria seca (MS), o seu peso total (PT), massa foliar (MF), massa radicular (MR) e avaliação da coloração da planta. Concluiu-se que a produção de alface por aquaponia nas condições analisadas é possível, apesar de levar mais tempo de cultivo para igualar a qualidade das alfaces produzidas pelo plantio tradicional.

Segundo Carneiro et al. (2015), no sistema aquapônico, a alimentação dos peixes com ração é essencial, pois eles se alimentam da ração e produzem excretas que são convertidas em nutrientes necessários para as plantas. Esse processo cria um ciclo contínuo de nutrientes, onde as bactérias desempenham um papel crucial na transformação da amônia em nitrito e depois em nitrato, tornando os resíduos dos peixes em nutrientes absorvíveis pelas plantas. Por sua vez, as plantas, juntamente com as bactérias, contribuem significativamente para a filtragem biológica da água, garantindo um ambiente propício para o crescimento saudável dos peixes. Portanto torna-se imprescindível o controle das rações fornecidas para os peixes neste sistema.

### **3.3 Flocoponia**

O BFT, possui estudos também na aquaponia, mais comumente chamado de flocoponia, que consiste em uma prática inovadora que combina a criação de peixes em sistemas de bioflocos com o cultivo de plantas hidropônicas. Esta abordagem integrada busca aproveitar os resíduos gerados pelos peixes como fonte de nutrientes para as plantas, promovendo um ciclo sustentável e eficiente de produção. (Pinho, 2022)

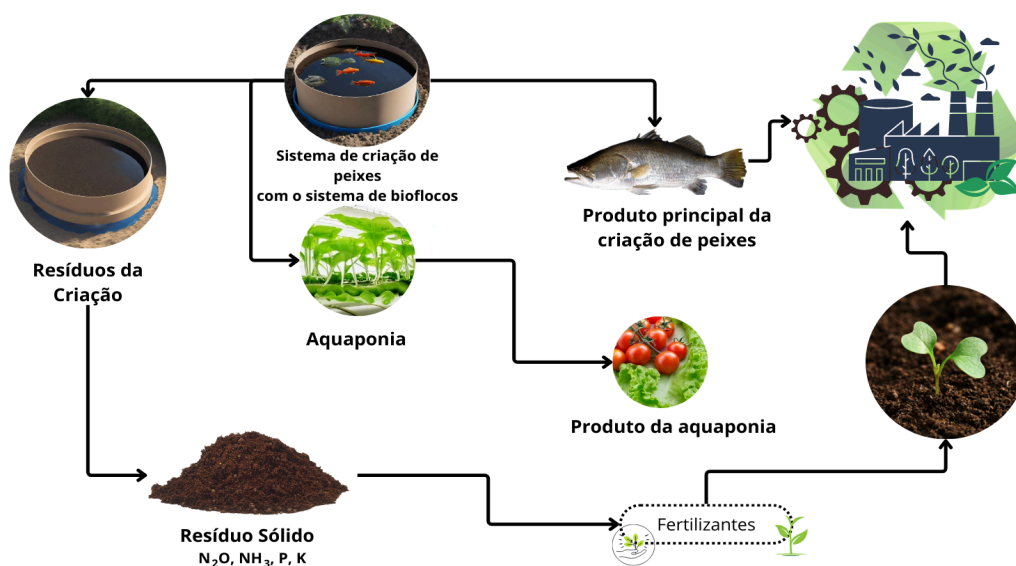
A flocoponia integra dois sistemas principais: o sistema de bioflocos (BFT) e a hidroponia. No sistema de bioflocos, a água dos tanques de peixes é tratada de forma a permitir a formação de agregados microbianos conhecidos como bioflocos. Esses bioflocos são compostos por bactérias, algas e outros microrganismos que ajudam a decompor os resíduos orgânicos e a transformar amônia em nitrito e, posteriormente, em nitrato, que é menos tóxico para os peixes. Esses flocos também servem como fonte adicional de alimento para os peixes (Avnimelech, 2009). A água rica em nutrientes do sistema de bioflocos é então utilizada para

alimentar plantas cultivadas hidroponicamente. Na hidroponia, as plantas crescem sem solo, recebendo todos os nutrientes necessários diretamente através da solução nutritiva na qual suas raízes estão imersas. A integração dos sistemas permite uma utilização eficiente dos nutrientes, reduzindo o desperdício e promovendo um ciclo fechado de produção (Rakocy et al., 2006).

No Brasil essa prática ainda não é muito desenvolvida, o motivo é decorrente da falta de informação e custo técnico da mão de obra especializada. Esse sistema utiliza efluentes do cultivo do peixe em um sistema de bioflocos para nutrir plantas, essa técnica faz proveito de boa parte dos nutrientes por meio de filtração biológica, os dejetos do peixe nutre e controla o meio aquático por meio de bactérias específicas como apresentado a Figura 01 (Barbosa, 2017).

A flocoponia maximiza a utilização dos nutrientes ao reciclar os resíduos de peixes como fertilizante para as plantas. Isso reduz a necessidade de fertilizantes químicos e promove um uso mais sustentável dos recursos (Crab et al., 2007), além de minimizar o descarte de resíduos no meio ambiente, reduzir a poluição da água e promover a sustentabilidade ecológica (Emerenciano et al., 2017).

Figura 2 - Reutilização de resíduos do sistema de bioflocos.



Fonte: Autoral

Estudos demonstram que a flocoponia pode ser uma alternativa viável e sustentável para a produção de alimentos. Por exemplo, uma pesquisa de Emerenciano et al. (2017) mostrou que o uso de resíduos de bioflocos como fertilizante em sistemas hidropônicos pode aumentar significativamente a produtividade das plantas. Além disso, a qualidade nutricional dos vegetais produzidos em sistemas de flocoponia pode ser comparável ou superior àquela dos vegetais cultivados em sistemas tradicionais de hidroponia (Goddek et al., 2015).

A flocoponia pode ser classificada em dois tipos principais: acoplada e desacoplada, cada uma com suas características e benefícios específicos.

Na **flocoponia acoplada**, o sistema de bioflocos e o sistema hidropônico são diretamente conectados. A água circula continuamente entre o tanque de peixes e a bancada hidropônica, proporcionando um fluxo constante de nutrientes para as plantas. Esse sistema é eficiente na reciclagem de nutrientes e no controle da qualidade da água, já que os bioflocos ajudam a decompor a matéria orgânica e a transformar amônia em nitratos, que são utilizados pelas plantas (Emerenciano et al., 2017).

Já na **flocoponia desacoplada**, os sistemas de bioflocos e hidropônico são separados, permitindo um maior controle individual sobre cada componente. A água rica em nutrientes é transferida periodicamente do tanque de bioflocos para a bancada hidropônica. Isso permite ajustar as condições de cultivo para os peixes e as plantas de forma independente, otimizando o ambiente para cada um. Além disso, a flocoponia desacoplada oferece maior flexibilidade na gestão dos nutrientes e pode ser mais robusta em situações de falha de um dos sistemas (Goddek et al., 2015).

### 3.4 Cultivo da Alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea anual, pertencente à família Asteraceae. Considerada a hortaliça folhosa de grande significância na dieta brasileira, ela desempenha um papel de relevância econômica e social, sendo também, a hortaliça folhosa mais consumida globalmente (Yuri et al, 2016).

A cultura da alface possui um sistema radicular altamente ramificado e superficial, explorando os primeiros 25 cm de profundidade do solo. Sua raiz pode atingir até 60 cm de fundura. Vale ressaltar que essa cultura prospera melhor em solos de textura média, caracterizados por uma boa capacidade de retenção de água (Yuri *et al*, 2016).

A alface apresenta um desenvolvimento favorável quando cultivada em solos estruturados, arejados, ricos em matéria orgânica e com adequada umidade. Solos muito compactados ou encharcados provocam diminuição na produtividade e aumento de doenças nas plantas de alface. O cultivo dessa hortaliça exige a abundância de alguns nutrientes, principalmente potássio, nitrogênio, cálcio e fósforo, não podendo desprezar a importância dos demais minerais presentes em menor escala (Zambom, 1982).

É uma cultura que apresenta lento crescimento inicial de até 30 dias, quando, então, o ganho de massa seca é acentuado até a colheita. Apesar de absorver quantidades relativamente pequenas de nutrientes quando comparadas com outras folhosas, seu ciclo rápido torna-a mais exigente em nutrientes (Zambom, 1982).

Os nutrientes apontados na tabela 03 são os primordiais para o bom crescimento da cultura, os demais podem ser introduzidos para correção de alguns parâmetros do solo, como o pH, que para essa hortaliça é sugerível um padrão de pH ligeiramente neutro, uma vez que o solo brasileiro apresenta em sua maior parte um caráter ácido (Yuri *et al.*, 2016).

Tabela 3 - Exigência nutricional para o cultivo de alface.

Nutrientes		
Mineral	kg/ha	g/m <sup>2</sup>
Nitrogênio (N)	150	15
Fósforo (P)	40 à 400	4 à 40
Potássio (K)	60 à 120	6 à 12

Fonte: YURI *et al.*, 2016.

A composição centesimal refere-se à quantificação percentual dos componentes de um produto específico, incluindo água, proteínas, carboidratos,

lipídios, fibras e minerais ou cinzas. Segundo Sgarbieri (1987), a alface cultivada no solo apresenta, em média, a seguinte composição por 100 g de parte comestível: 94% de água; 1,3 g de proteína; 0,3 g de gordura; 3,5 g de carboidratos totais; 0,7 g de fibra; 0,2 de resíduo mineral. Esta composição destaca a alface como uma excelente fonte de vitaminas e minerais essenciais para a alimentação humana.

### **3.5 Abordagem do Ciclo dos Nutrientes no Ensino de Química**

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), uma das competências específicas para as ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio é a capacidade de analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos. Essa análise deve estar fundamentada nas interações e relações entre matéria e energia, com o objetivo de propor ações individuais e coletivas que aprimorem processos produtivos, reduzam impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em nível local, regional e global.

Um estudo realizado por Silva et al. (2019) investigou como os professores de ensino médio abordam o conteúdo relacionado à decomposição e à ciclagem de nutrientes. Por meio de entrevistas com docentes de escolas públicas e privadas, o estudo identificou que a maioria dos professores dedica entre três e quatro aulas para tratar desse tema. As principais dificuldades encontradas incluem a falta de interesse dos alunos, a escassez de tempo para a preparação de aulas e atividades, além da carência de infraestrutura e materiais pedagógicos adequados para a realização de atividades práticas.

Silva et al. (2019) também observaram que, na maior parte dos casos, os professores preferem utilizar métodos expositivos e explicativos, com o auxílio de recursos como data-show, quadro e livro didático, para transmitir o conteúdo. Apenas uma minoria dos docentes opta por realizar aulas práticas sobre o assunto, o que limita a interação dos alunos com o conhecimento de maneira mais aplicada.

Conforme Silva, Morais e Cunha (2011), a desmotivação dos estudantes não pode ser atribuída exclusivamente a eles. Os professores desempenham um papel crucial na motivação durante o processo de aprendizagem. A falta de organização escolar e as metodologias adotadas pelos professores também influenciam a falta de interesse dos alunos. Para promover um aprendizado mais eficaz, seria ideal que

os professores combinassem aulas teóricas e práticas, incentivando o desenvolvimento do conhecimento científico e crítico dos estudantes.

## **4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

### **4.1 Tratamento das Alfaces**

O Cultivo das alfaces foi realizado no Laboratório Múltiplo para Produção de Organismos Aquáticos (LAMPOA – UFOPA) utilizando blocos casualizados e três sistemas de produção (aquaponia, flocoponia acoplada, flocoponia desacoplada). Foram realizados 2 ciclos de produção com duas unidades experimentais por tratamento cada, totalizando 4 unidades experimentais por tratamento durante 60 dias.

Foram utilizados tanques de peixe com volume útil de 400 litros e aeração constante, com uma densidade de estocagem de 75 peixes por m<sup>3</sup>. Os tanques foram conectados a um sedimentador de 20 litros para a retenção de sólidos. Nos sistemas de flocoponia acoplada, esses sólidos eram devolvidos ao tanque de peixes a cada uma hora. Após a separação dos sólidos, a água filtrada passava para um recipiente de 50 litros. Já no sistema de flocoponia desacoplada, a água retornava ao tanque de cultivo e recirculava nos demais recipientes por um período maior. Durante quatro horas, a circulação da água ocorria apenas entre o recipiente de 200 litros e a bancada hidropônica do tipo NFT (Nutrient Film Technique).

No sistema de aquaponia, o recipiente de 50 litros que recebia a água filtrada continha um biofiltro (feito com tampas de garrafa PET como substrato) para a colonização de bactérias nitrificantes. Depois, a água era transferida para uma bancada de cultivo de alface, construída com telhas de fibra vegetal, com uma área de 0,9 metros quadrados, e retornava ao tanque de peixes por gravidade, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Sistema de aquaponia/flocoponia utilizado



Fonte: Elaine (UFOPA)

Foram utilizados dois tipos de fertilizantes minerais da marca PlantPar para suplementar a nutrição das águas dos tanques: o Flex Azul, voltado para o fornecimento de macronutrientes, e o Flex Vermelho, com foco na suplementação de micronutrientes. Nas primeiras três semanas a alimentação de todos os animais foi realizada com ração comercial com 36% de proteína, e a partir do começo da quarta semana até o fim do experimento, se utilizou rações com 32% de proteína bruta.

Os tratamentos utilizados em cada bloco (caixa) de alface identificados, foram listados na tabela abaixo:

Tabela 4: Tratamento dos blocos (caixa) de alface

1° Ciclo		2° Ciclo	
Amostra	Tratamento	Amostra	Tratamento
Caixa 1	Flocoponia Desacoplada	Caixa 1	Flocoponia Desacoplada
Caixa 2	Aquaponia	Caixa 2	Aquaponia
Caixa 3	Flocoponia Acoplada	Caixa 3	Flocoponia Acoplada
Caixa 4	Flocoponia Desacoplada	Caixa 4	Flocoponia Desacoplada
Caixa 5	Aquaponia	Caixa 5	Aquaponia
Caixa 6	Flocoponia Acoplada	Caixa 6	Flocoponia Acoplada

Fonte: Autoral

Cada bloco (caixa) de alface continha, em média, 15 unidades de plantas.

#### **4.1.2 Análises Físico Químicas das Alfaves**

Para fins de comparação da qualidade das alfaves entre os diferentes sistemas de produção utilizados, foi realizada a análise da composição centesimal das amostras de alfaves produzidas por aquaponia, flocoponia acoplada e flocoponia desacoplada,

A determinação da composição centesimal das alfaves foi realizada conforme os métodos da Association of Official Analytical Chemist's (AOAC, 2018). As análises foram conduzidas em quadruplicata, eliminando o resultado mais discrepante. Os resultados foram expressos em porcentagem de massa da alface *in natura*. Foram realizadas análises de umidade, minerais totais (cinzas), proteínas totais, lipídios (extrato etéreo), fibras totais e carboidratos.

Para o preparo das amostras, todas as plantas de alface seca de cada lote foram trituradas em um moinho para obter uma consistência uniforme. Em seguida, o material triturado foi passado por uma peneira de 425 µm para garantir a homogeneização de todas as plantas do bloco, evitando assim erros de análise. Foram avaliados portanto todas as amostragens provenientes de duas repetições por tratamento para dois ciclos, totalizando 4 amostras por tratamento e 12 amostras de alface analisadas no total, conforme tabela 4.

#### **4.1.2.1 Determinação umidade**

A análise de umidade foi realizada pelo método gravimétrico nº 920.151 (AOAC, 2018), pesando-se 2 g das amostras em cadinhos de porcelana, previamente tarados por 1 h em mufla a 550 °C, e em seguida levou para estufa a 105 °C até o peso constante. O teor de umidade (U) foi determinado por gravimetria após o resfriamento da amostra e expresso em porcentagem.

$$U (\%) = \left( \frac{(\text{Cadinho MS} - \text{Cadinho inicial})}{\text{Massa amostra}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

#### **4.1.2.2 Determinação Minerais Totais (Cinzas)**

A análise de cinzas sucedeu a análise de umidade, sendo então utilizado as mesmas amostras secas, utilizando o método gravimétrico nº 940.26 (AOAC, 2018). Tais amostras foram submetidas a queima em mufla a 550 °C até que fosse obtido o resíduo branco calcinado, este então foi quantificado por gravimetria utilizando uma balança da marca Shimadzu para obtenção do teor de cinzas (C), calculado através da Equação 2 descrita a seguir, e expresso em porcentagem ou g de cinzas por 100 g de alface fresca..

$$C (\%) = \left( \frac{(\text{Cadinho cinzas} - \text{Cadinho inicial})}{\text{massa amostra}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

#### **4.1.2.3 Determinação Lipídios (Extrato Etéreo)**

A análise foi realizada utilizando o método de extração de lipídios com éter de petróleo em Soxhlet nº 31.4.02 (AOAC, 2018). Nesse processo, foram extraídos os lipídios totais de 2 g de amostra, pesadas em cartuchos de papel filtro. As amostras foram submetidas a 6 horas de gotejamento do reagente até que todo o extrato etéreo fosse recolhido em um tubo reboiler previamente tarado. Após a extração, o tubo foi seco em estufa a 105 °C. A massa de lipídios (L) foi determinada por gravimetria, conforme a Equação 3, e o resultado expresso em porcentagem ou g

de lipídios por 100 g de alface fresca..

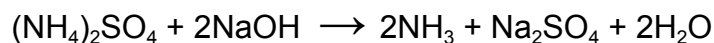
$$L (\%) = \left( \frac{\text{Reboiler com lipídios} - \text{Reboiler}}{\text{massa amostra}} \right) \times 100 \text{ Eq. 3}$$

#### 4.1.2.4 **Determinação Proteína Total**

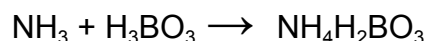
O teor de proteína nas alfaces foi realizado utilizando o método Kjeldahl, número 920.87 da AOAC (2018) determinando o teor de proteínas através da concentração de nitrogênio total da amostra.. Esta análise consiste em três etapas: digestão da amostra com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, destilação e titulação.

Na etapa de digestão foi pesado 0,1 g da amostra seca em um papel manteiga e adicionado ao tubo digestor juntamente com 0,5 g de catalisador, uma mistura de CuSO<sub>4</sub> e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:19) para acelerar o processo de oxidação da matéria e aumentar o ponto de ebulição do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> respectivamente. Adicionou-se 8 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% para transformar o nitrogênio presente na amostra em sal amoniacal ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). A análise sucedeu com a digestão das amostras nos tubos em um bloco digestor (Solab, SL-50/8) iniciando em uma temperatura de 150 °C, aumentando 50 °C gradativamente a cada meia hora até atingir a temperatura de 350 °C, onde permaneceu por 4 horas, ou até o conteúdo presente no tubo apresentar uma coloração ciano.

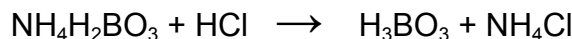
A etapa de destilação, realizada após o término da digestão da amostra, consistiu em acoplar o tubo digestor contendo a amostra digerida a um destilador de nitrogênio (Solab, SL-74), despejando gradativamente 30 mL de uma solução de NaOH 60% para liberar a amônia do sal amoniacal, através da seguinte reação:



O nitrogênio foi recolhido em um Erlenmeyer contendo 15 mL de ácido bórico 4% (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) 4% e 4 gotas de uma mistura de indicador vermelho de metila com azul de metila numa proporção 4:1 (v/v). Dessa forma tem-se a formação do borato de amônio, a partir da reação a seguir, que foi titulado posteriormente.



O conteúdo do erlenmeyer foi titulado com uma solução de HCl 0,02 mol/L padronizada, onde o ponto de viragem foi a passagem de uma coloração verde clara, para uma coloração roxa. Todos os volumes de HCl gastos foram anotados. A reação que descreve a titulação é a seguinte:



Nota-se que se trata de uma reação 1:1, portanto para calcular a porcentagem de nitrogênio na amostra considerou-se a concentração do HCl, o fator de correção do HCl, o fator 0,014 que converte o número de mols de HCl em g de nitrogênio e a massa utilizada na amostra. Portanto foi utilizada a seguinte equação:

$$\% \text{ N} = \frac{(V - Vb) \times C \times F \times 0,014}{m} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

sendo:

V= Volume gasto de HCl na titulação

Vb= Volume de HCl gasto na titulação do branco

C = Concentração da solução de HCl

F= fator de correção do HCl

m= massa da amostra

De acordo com Lutz (1985) o Nitrogênio representa cerca de 16% do peso da proteína em diversos alimentos, então para converter a porcentagem de nitrogênio em porcentagem de proteína da amostra, utilizou-se o fator de conversão 6,25 proveniente do cálculo  $100/16= 6,25$ . Além disso, o resultado foi expresso em g de proteína por 100 g de alface fresca..

Portanto, utilizou-se a seguinte fórmula para o cálculo da proteína:

$$\% \text{ P} = \% \text{ N} \times 6,25 \quad \text{Eq. 5}$$

#### **4.1.2.5 Determinação de Fibras Totais**

Obtida pelo método de fibra detergente ácida (FDA) proposto por VAN SOEST (1963), que consiste em solubilizar o conteúdo celular, a hemicelulose e os

minerais solúveis, obtendo um resíduo insolúvel, denominado fibra em detergente ácido (FDA) que é a porção menos digerível da parede celular constituída em quase totalidade por lignina e celulose (SILVA e QUEIROZ, 2002).

Em um tubo de digestão, 1 g da amostra foi pesada e adicionado 100 mL de uma solução detergente ácida (2 % de trimetil brometo de amônia em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol.L<sup>-1</sup>), após o tempo de reação de 60 minutos em ebulição, o conteúdo foi filtrado a vácuo em um cadinho de vidro com placa porosa tipo gooch previamente tarado. O resíduo foi lavado com água destilada até sair completamente o detergente e, adicionado 15 mL de acetona. Em seguida, o cadinho foi levado para a estufa a 105°C até o peso constante e, o resultado foi calculado através da Equação 5 descrita a seguir, obtido por análise gravimétrica e expresso em porcentagem ou g de fibra bruta por 100 g de alface fresca.

$$C (\%) = \left( \frac{(\text{Cadinho cinzas} - \text{Cadinho inicial})}{\text{massa amostra}} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

#### 4.2 Caracterização do Resíduo de Bioflocos: Procedimentos

As amostras de resíduos sólidos de bioflocos analisadas foram coletadas de dois lotes de flocoponia, sendo duas do sistema acoplado e duas do sistema desacoplado, totalizando quatro amostras.

As análises químicas das amostras de bioflocos foram realizadas nos laboratórios da Solo Química, uma empresa privada especializada em análises de solo e fertilizantes, localizada em Brasília, DF.

Para a caracterização do resíduo de BFT, buscou-se determinar sua composição química, focando principalmente na presença dos nutrientes essenciais para o cultivo de hortaliças segundo Yuri (2013). Esses nutrientes incluem nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), além de outros macronutrientes importantes, como cálcio, magnésio e enxofre. Adicionalmente, foram analisados os micronutrientes, tais como boro, cobre, ferro, manganês e zinco.

Além das análises dos nutrientes principais, que são um dos objetivos centrais deste estudo, também foram realizadas análises complementares para uma

caracterização mais abrangente do resíduo. Essas análises visam identificar possíveis fatores que possam interferir na utilização do BFT como um potencial fertilizante. As análises complementares incluem: Umidade; pH; Carbono orgânico; Capacidade de troca catiônica (CTC); Determinação de contaminantes.

Todas as análises acerca do bioflocos foram realizadas para as 4 amostras, conforme os métodos descritos no *manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos* disponibilizados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

#### 4.2.1 Determinação de Umidade

A análise foi realizada conforme os métodos do MAPA (2023), capítulo III, método D-1. Pesaram-se de 50 a 100 g de cada amostra em cadinhos devidamente tarados. A massa inicial ( $m_1$ ) foi registrada e, em seguida, as amostras foram levadas à estufa, regulada a uma temperatura de  $65 \pm 5$  °C, onde permaneceram até atingirem massa constante. Após a secagem, as amostras foram retiradas da estufa, resfriadas em dessecador e novamente pesadas em uma balança analítica da marca Shimadzu (precisão de 0,0001g) para registrar a massa final ( $m_2$ ). Posteriormente, as amostras retornaram à estufa para uma secagem adicional a 100 °C, e a massa foi registrada novamente ( $m_3$ ).

Calculou-se então o percentual de umidade da amostra a 65 °C e a 100 °C utilizando os dados ( $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$ ) referidos anteriormente, de acordo com as expressões:

$$U_{65}(\%) = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 7}$$

$$U_{100}(\%) = \left( \frac{m_1 - m_3}{m_1} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 8}$$

As análises seguintes, com exceção da determinação de carbono orgânico e CTC, foram realizadas utilizando a amostra seca a 65 °C, logo, os resultados finais das análises executadas foram referidas ao material “*in natura*”, utilizando a multiplicação pelo fator F:

$$F = \frac{(100 - U65)}{100} \quad \text{Eq. 9}$$

#### 4.2.2 Determinação de pH

A determinação foi conduzida de acordo com os procedimentos descritos no capítulo III, método D-2, do manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (MAPA, 2023). O método consiste em suspender a amostra em solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$  e proceder à medida potenciométrica do pH. Pesaram-se 10 g da amostra "*in natura*" e transferiram-se para um béquer de 100 mL, onde foram adicionados 50 mL de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ . A mistura foi homogeneizada e deixada em repouso por 30 minutos, com agitação a cada 10 minutos. Feito isso, utilizou-se um potenciômetro digital (PH-983), ligado há 30 minutos antes do uso e calibrado com as soluções-tampão de pH 7 e 4, para aferir o pH da solução, tomando cautela para que o eletrodo se mantivesse no nível da solução sem entrar em contato com o material decantado da amostra. O eletrodo foi lavado com água destilada entre uma leitura e outra, registrando a leitura.

Figura 4 - Análise de pH da amostra de bioflocos



Fonte: Autoral (2024)

#### 4.2.3 Análise de Nitrogênio Total

A determinação de nitrogênio total do resíduo foi realizada de acordo com o método E-1.1 do MAPA (2023) denominado "Macrométodo da liga de Raney", o qual

fundamenta-se na amonificação de todas as formas não amoniacais de nitrogênio, inclusive as orgânicas, seguida da destilação alcalina da amônia, que é recebida em uma quantidade em excesso de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . O borato de amônio formado é titulado com uma solução ácida padronizada.

Em um tubo Kjeldahl foi pesado 0,5 g da amostra em uma balança analítica da marca Shimadzu, juntamente com 1 g de pó catalítico de Raney, 15 g de sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) e 15 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Paralelamente, foi conduzida uma prova em branco. O tubo foi aquecido gradativamente até a ebulição, regulando a temperatura para evitar a formação de espuma. A ebulição foi mantida até que os densos fumos brancos de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se tornassem límpidos. Após o aquecimento, o tubo foi deixado em resfriamento por 1 hora à temperatura ambiente, e em seguida foram adicionados 10 mL de água destilada.

A etapa de destilação procedeu de forma semelhante à descrita no item 4.1.2.4 deste trabalho. O tubo Kjeldahl foi acoplado ao destilador de nitrogênio, e gradativamente foram despejados 20 mL de solução de NaOH a 45%. A amônia foi destilada do tubo para um Erlenmeyer contendo 20 mL de solução de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  a 4%, com 4 gotas de uma mistura de indicadores vermelho de metila e azul de metila. A destilação foi conduzida até a marca de 50 mL.

Figura 5 - Etapa de destilação de nitrogênio



Fonte: Autoral (2024)

O conteúdo do Erlenmeyer foi titulado utilizando uma solução padronizada de HCl  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  para determinar a quantidade de amônia formada a partir da amostra. Registrou-se o volume titulado, denominando  $V_b$  para o volume gasto na titulação do branco e  $V$  para o volume gasto na titulação da amostra. Os resultados foram calculados utilizando a **equação 4**.

#### **4.2.4 Determinação de Fósforo Total**

A determinação do fósforo total foi executada conforme o método E-2.2 descrito pelo MAPA (2023). O método consiste no ataque químico fortemente ácido e aquecido à amostra para extrair o fósforo contido nela. Posteriormente, forma-se um complexo colorido entre o fosfato e os reagentes vanadato e molibdato de amônio, que apresenta uma coloração amarela. A absorbância desta solução é então medida na faixa de 400-420 nm. O resultado obtido é expresso como pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Pesou-se uma amostra de 1 g e transferiu-se para um béquer de 250 mL.

Adicionou-se 30 mL de ácido nítrico concentrado e 5 mL de HCl concentrado, e a mistura foi fervida até que a matéria orgânica fosse destruída e a solução se tornasse clara. Após o aquecimento, o béquer foi retirado da chapa e deixado esfriar parcialmente. Em seguida, adicionaram-se 50 mL de água e a solução foi fervida por mais 5 minutos. Após a fervura, o béquer foi deixado esfriar até alcançar a temperatura ambiente. O conteúdo do béquer foi transferido para um balão volumétrico de 250 mL, e o volume foi completado com água, seguido de uma homogeneização. A solução foi deixada para decantar por 12 horas.

Foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL um volume (V) do extrato preparado anteriormente, estimado para conter entre 1,0 e 2,0 mg de  $P_2O_5$ . Adicionaram-se 20 mL de água e 15 mL da solução vanadomolibdica. O balão foi completado com água e agitado, sendo então deixado em repouso por 10 minutos. Após esse período, a absorvância foi medida utilizando um espectrofotômetro UV-VIS na faixa de 400-420 nm. A prova em branco foi realizada com uma solução padrão contendo 20 mg  $L^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

Após a leitura da absorvância das soluções, a concentração de  $P_2O_5$  em mg/L foi calculada utilizando a equação de regressão linear da curva de calibração previamente preparada e testada semanalmente com padrões.

Para determinar a porcentagem de fósforo total na amostra, expressa como  $P_2O_5$ , utilizou-se a seguinte fórmula:

$$P_2O_5(\%m/m) = \frac{1,25 C}{V m} \times 100 \quad \text{Eq. 10}$$

onde:

C = concentração de  $P_2O_5$  na solução de leitura, em  $mg L^{-1}$ .

V = volume da alíquota tomada do extrato, em mililitros.

m = massa inicial da amostra, em gramas.

#### **4.2.5 Determinação de Potássio Solúvel em Água ( $K_2O$ )**

A quantificação do Potássio solúvel em água ( $K_2O$ ) presente nas amostras de resíduo de bioflocos foi realizada seguindo o método E-6.2.1, conforme especificado

pelo MAPA (2023). O procedimento baseia-se na solubilização do potássio com água quente e medida da sua emissão em espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES).

Pesaram-se 4 g da amostra utilizando uma balança analítica Shimadzu, transferindo-a para um béquer de 250 mL e adicionando 50 mL de água destilada. O béquer foi aquecido por 10 minutos, e após o aquecimento, foram adicionados mais 50 mL de água, deixando a mistura decantar por 12 horas. Após a decantação, uma alíquota de 2 mL do sobrenadante foi transferida para um balão volumétrico de 10 mL, completando-se o volume com água e homogeneizando para obter uma diluição de 5 vezes.

O conteúdo do balão foi filtrado através de um papel de filtro de porosidade média, e a solução resultante foi analisada utilizando um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES) da marca Agilent Technologies a 766 nm, que corresponde ao comprimento de onda específico para a emissão do potássio. Todos os cálculos do teor de  $K_2O$  presente na amostra foram realizados pelo software (MP Expert Software v1.6) do equipamento incluindo a diluição.

#### **4.2.6 Determinação de Enxofre Total**

O enxofre total da amostra foi determinado conforme o método gravimétrico do sulfato de bário presente no capítulo III, método E-8 do MAPA (2023). O método consiste na extração do enxofre, que pode estar presente em diversas formas na composição dos fertilizantes, seguida pela sua precipitação como sulfato de bário e posterior quantificação deste precipitado (MAPA, 2023).

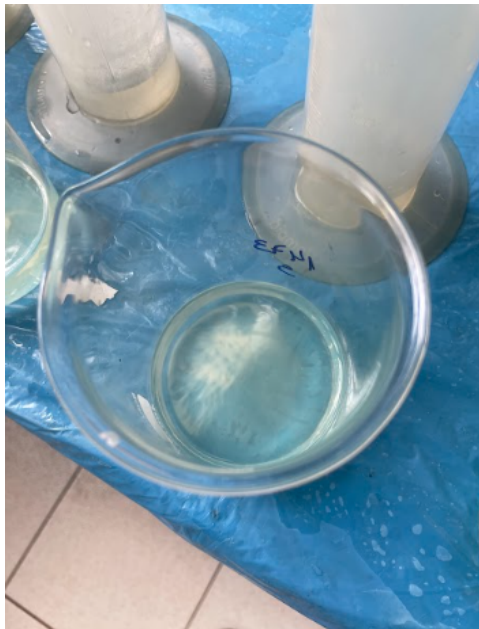
Para a extração do enxofre presente nos bioflocos, pesou-se 1 g da amostra e transferiu-se para um béquer de 500 mL, juntamente com 50 mL de água destilada, 5 mL de HCl concentrado e 30 mL de ácido nítrico concentrado. A mistura foi fervida até cessar o desprendimento de vapores castanhos ( $NO_2$ ) e a solução clarear, evaporando-se até quase seca (1-2 mL), sem deixar espirrar.

Adicionaram-se ao béquer 50 mL de água destilada e 10 mL de HCl concentrado. O béquer foi coberto com vidro de relógio e fervido por 10 minutos, sendo depois deixado para esfriar.

O conteúdo do béquer foi então filtrado com papel de filtro de porosidade média, recebendo o filtrado em um béquer de 400 mL. As paredes do béquer e o resíduo no papel de filtro foram lavados com pequenas porções de água aquecida a aproximadamente 90°C, até obter um volume de aproximadamente 200 mL.

Para a precipitação do cloreto de bário no filtrado recolhido, adicionaram-se 10 mL de HCl concentrado. O filtrado foi aquecido até a ebulição e, em seguida, acrescentaram-se 6 gotas de solução de cloreto de bário. Após 1 minuto, foram lentamente adicionados mais 15 mL da solução de cloreto de bário. O béquer foi coberto com vidro de relógio e mantido aquecido em uma chapa aquecedora, sem fervura, durante uma hora, aguardando a sedimentação do precipitado (sulfato de bário).

Figura 6 - Etapa de Precipitação do Sulfato de Bário



Fonte: Autoral (2024)

Para a determinação do enxofre, realizou-se a filtração do precipitado utilizando papel de filtração lenta, de porosidade fina, lavando o precipitado com água destilada. Para verificar se todo o cloreto foi eliminado do papel filtro, foi

realizado o teste de cloreto no filtrado, utilizando-se 2-3 mL de uma solução de  $\text{AgNO}_3$  a 10 g/L. O aparecimento de uma turvação ou precipitado branco de  $\text{AgCl}$  confirmava a presença de cloreto. A lavagem foi continuada enquanto o teste de cloreto fosse positivo, descartando-se todo o filtrado após cada teste.

Após o processo de filtração, o papel com o precipitado foi transferido para um cadinho de porcelana previamente seco a  $500 \pm 50$  °C e tarado. O cadinho foi então levado à mufla, onde a temperatura foi gradualmente aumentada até 800 °C, mantendo a porta entreaberta durante a fase inicial da elevação da temperatura. Após a temperatura atingir 800 °C, a porta do forno foi fechada, e o cadinho foi mantido a essa temperatura por 30 minutos.

O cadinho foi então retirado, deixado esfriar em um dessecador e pesado. O cálculo para determinação do teor de enxofre em porcentagem foi feito utilizando a seguinte equação:

$$S\% = \frac{13,74 \times m}{G} \quad \text{Eq. 11}$$

Sendo:

m = Massa do precipitado de  $\text{BaSO}_4$ , em gramas.

G = Massa inicial da amostra, em gramas.

#### **4.2.7 Determinação de Cálcio e Magnésio**

A análise procedeu utilizando o método descrito no capítulo 3, método E-7 do MAPA (2023). O procedimento consiste na extração do cálcio e magnésio da amostra por meio de processos que eliminam a matéria orgânica presente. A determinação desses elementos foi realizada em um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES) da marca agilent technologies sob fluxo de nitrogênio de 20 L/min e temperatura do plasma de 5000 K. A faixa da curva de calibração utilizada para os minerais foi de 0,0 mg/kg a 10 g/Kg.

Em um béquer de 250 mL foi pesada 1 g da amostra seca a 65°C e

pulverizada, adicionados 30 mL de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e 5 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrados. A mistura foi aquecida até cessar o desprendimento de vapores castanhos ( $\text{NO}_2$ ) e a solução clarear. Em seguida, evaporou-se até quase secura (1-2 mL), sem deixar espirrar, e deixou-se esfriar. Então, foram adicionados 20 mL de HCl, levados à ebulição e mantidos em fervura branda por 10 minutos. Após resfriamento até a temperatura ambiente, transferiu-se o conteúdo para um balão volumétrico de 100 mL filtrando através de papel de filtro qualitativo de porosidade média e o volume foi completado com água destilada e a solução homogeneizada.

Uma alíquota de 2 mL desta solução foi transferida para um balão volumétrico de 10 mL, completando o volume com água e homogeneizando para obter uma diluição de 5 vezes. A solução diluída foi então utilizada para determinar as quantidades de cálcio e magnésio presentes na amostra, empregando um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES) da marca Agilent Technologies, conforme figura 7. A curva de calibração do MP-AES foi testada semanalmente com padrões para garantir a precisão. As análises foram conduzidas a 445 nm para cálcio e 285 nm para magnésio, que são os comprimentos de onda específicos para a emissão desses elementos. Todos os cálculos relativos ao teor de cálcio e magnésio presente na amostra, incluindo as correções de diluição, foram realizados pelo software (MP Expert Software v1.6) do equipamento.

Figura 7 - Equipamento MP-AES



Fonte: Autoral (2024)

#### 4.2.8 Análise de Micronutrientes e Contaminantes

A determinação dos micronutrientes e contaminantes foi realizada de acordo com o método E-10 do capítulo 3 do MAPA (2023). Os micronutrientes presentes nos fertilizantes analisados foram: Boro (B), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Manganês (Mn). Além disso, foram identificados possíveis contaminantes, como Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cromo VI (Cr VI), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Selênio (Se). Os procedimentos de extração, preparação e análise desses elementos seguiram a mesma metodologia descrita no subtópico 4.2.7 para cálcio e magnésio. Os comprimentos de onda (nm) utilizados para análise de cada elemento no MP-AES foram descritos na tabela 5 abaixo. Todos os cálculos de concentrações dos micronutrientes em mg/kg foram realizados pelo software do equipamento.

Tabela 5 - Comprimento de onda de emissão dos elementos em nanômetros.

Micronutrientes (nm)							
Boro (B)	Ferro (Fe)	Zinco (Zn)	Cobre (Cu)	Manganês (Mn)			
249,6	259,9	213,9	324,8	403,0			
Contaminantes (nm)							
As	Cd	Cr	Cr VI	Pb	Hg	Ni	Se
197,2	228,8	425,4	425,4	405,8	253,6	341,5	203,9

Fonte: Autoral

#### 4.2.9 Determinação de Carbono Orgânico

A determinação de carbono orgânico da amostra de bioflocos foi realizada através do método volumétrico do dicromato de potássio, descrito no capítulo 3, método E-13 do MAPA (2023). O método consiste na oxidação do carbono orgânico presente na amostra utilizando dicromato de potássio em excesso e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

concentrado, sob aquecimento externo. O aquecimento é realizado sob refluxo para condensar os vapores e evitar a evaporação das soluções reativas, prevenindo a elevação excessiva da temperatura de ebulição. Isso reduz a decomposição térmica do dicromato. Após a oxidação, determina-se a quantidade de dicromato não reagido por meio de uma titulação com uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal.

Para extração, foram pesados em um erlenmeyer de boca esmerilhada 0,25 g da amostra onde foi adicionado 20 mL da solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,33 \text{ mol.L}^{-1}$ , medida com uma pipeta volumétrica. O conteúdo foi agitado para homogeneização e o frasco foi colocado em um banho de água com gelo. Enquanto girava o frasco continuamente, foi adicionado lentamente, com o auxílio de uma bureta, 26 mL de  $H_2SO_4$  concentrado puro. Simultaneamente, preparou-se uma prova em branco, repetindo o mesmo procedimento, mas sem adicionar a amostra. Então os frascos de reação foram levados para o aquecimento sob refluxo, acoplados aos condensadores do equipamento, conforme a figura 8.

Figura 8 - Etapa de Digestão do Carbono



Fonte: Autoral (2024)

Quando o líquido começou a entrar em ebulição o aquecimento foi diminuído e mantido por 10 minutos. Após esse período, a solução foi resfriada ainda sob refluxo, e transferida para um balão volumétrico de 200 ml, completando o volume com água destilada.

Para a determinação do carbono, em um erlenmeyer de 250 mL foram transferidos 10 mL do extrato da amostra, 10 mL de solução de  $H_3PO_4$  25%, 4 a 5 gotas da solução de indicador difenilaminasulfonato de bário 1%, e 30 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada, adquirindo uma coloração castanha. Em seguida, as amostras foram tituladas, incluindo o branco, utilizando uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal  $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$  (SFA). Durante a titulação, foi observado que a solução começava a adquirir um tom arroxeado próximo ao ponto de viragem, que era caracterizado pela mudança de cor, do marrom para a cor verde. O volume gasto na titulação foi registrado e o cálculo do teor de carbono orgânico foi efetuado com base na premissa de que 1 mol de  $K_2Cr_2O_7$  reage com 1,5 mol de carbono, conforme a equação a seguir.

$$\text{C.O \%} = \frac{6C(Vb-Va)}{G} \quad \text{Eq. 12}$$

onde:

Va = Volume da solução titulante de sulfato ferroso amoniacal (SFA) consumido na titulação da amostra, em mililitros.

Vb = Volume da solução titulante de SFA consumido na titulação da prova em branco, em mililitros.

C = Concentração da solução titulante de sulfato ferroso amoniacal, em mol/L.

G = Massa inicial da amostra, em gramas.

#### **4.2.10 Determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC)**

Procedeu-se a análise conforme descrito no capítulo 3, método E-18 do MAPA (2023). A determinação da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em produtos orgânicos baseia-se na ocupação dos sítios de troca do material com íons hidrogênio provenientes de uma solução diluída de HCl. Após a eliminação do excesso de ácido, os íons hidrogênio adsorvidos são deslocados utilizando uma solução de acetato de cálcio, e o ácido acético formado é então titulado.

Em um erlenmeyer de 250 mL, foram pesados 2 g de amostra seca a  $65^\circ\text{C}$  e pulverizada, e 1 g de carvão ativado, utilizando uma balança analítica. A seguir,

foram adicionados 100 mL de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup>, medidos em proveta (Figura 9). O erlenmeyer foi então tampado e agitado por 30 minutos em um agitador magnético. Simultaneamente, preparou-se uma prova em branco seguindo o mesmo procedimento, contendo apenas o carvão ativado e a solução de HCl 0,5 mol.L<sup>-1</sup>.

O conteúdo do erlenmeyer foi filtrado em papel filtro qualitativo de porosidade média e recolhido em um kitassato de 1000 mL. O retido no papel de filtro foi lavado com porções de 50 mL de água destilada até obter um volume total de 350 a 400 mL. Cada nova lavagem foi efetuada apenas após todo o líquido da lavagem anterior ter sido escoado.

Figura 9 - Determinação de CTC



Fonte: Autoral (2024)

Em um béquer de 250 mL foram transferidos 100 mL de uma solução de acetato de cálcio 0,5 mol.L<sup>-1</sup>, medidos com pipeta volumétrica. Este volume de solução foi distribuído sobre toda superfície do material orgânico retido no funil com papel filtro em sucessivas porções de 10 a 15 mL, recolhendo o filtrado em um novo erlenmeyer de 1000 mL. Na sequência, o retido foi lavado com porções de água até totalizar um volume de aproximadamente 400 mL no erlenmeyer. Após isso, o filtrado no erlenmeyer foi titulado com uma solução de NaOH padronizada, utilizando a solução de fenolftaleína como indicador e o valor da CTC foi calculado, em mmol kg<sup>-1</sup>, pela expressão:

$$\text{CTC (mmol/kg)} = \frac{1000 M(Va-Vb)}{G} \quad \text{Eq. 11}$$

onde:

Va = Volume da solução de NaOH padronizada gasto na titulação da amostra, em mililitros.

Vb = Volume da solução de NaOH padronizada gasto na titulação da prova em branco, em mililitros.

M = Concentração da solução de NaOH padronizada, em mol/L.

G = Massa inicial da amostra, em gramas.

### 4.3. Análise Estatística

As análises da composição centesimal das alfaces produzidas em diferentes tratamentos (FD - Flocoponia Acoplada, FA- Flocoponia Desacoplada, Aquaponia) foram realizadas para 2 ciclos de produção, com dois blocos (caixas) para cada tratamento.

Os resultados das amostras foram expressos em média de replicatas seguido do desvio padrão. As análises estatísticas dos dados foram avaliadas utilizando ANOVA e o teste de Tukey, quando utilizadas mais de 2 amostras na comparação, e o teste t-student, quando utilizadas duas amostras na comparação, para determinar as diferenças significativas dos dois teste das médias ao nível de probabilidade de 5 % ( $p < 0.05$ ), utilizando o software Minitab 17. Entre as repetições dentro de um mesmo ciclo e em ciclos diferentes foi calculado o coeficiente de variação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análises das Alfaces: Resultados Obtidos

Para comparar os resultados das duas repetições realizadas em cada ciclo e identificar diferenças significativas, os valores das replicatas foram analisados utilizando o teste estatístico t-student para duas amostras. Os p-valores obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valor P obtido pelo teste T-Student entre as duas repetições dos tratamentos

1° Ciclo					
Tratamento	Cinzas	Lipídios	Proteínas	Fibras	Carboidratos
FD	0,000	0,001	0,004	0,263	0,573
FA	0,000	0,001	0,003	0,004	0,017
AQ	0,000	0,008	0,003	0,154	0,060
2° Ciclo					
Tratamento	Cinzas	Lipídios	Proteínas	Fibras	Carboidratos
FD	0,000	0,002	0,000	0,052	0,001
FA	0,000	0,000	0,000	0,008	0,001
AQ	0,000	0,000	0,023	0,731	0,001

\*FD= *Flocoponia Desacoplada*; FA= *Flocoponia Acoplada*; AQ= *Aquaponia*

Fonte: Autoral

Os resultados do teste estatístico t-student para duas amostras indicaram que, na maioria das análises de composição centesimal, os valores de p ficaram abaixo de 0,05, sugerindo diferenças significativas entre as duas repetições para o mesmo tratamento. Uma possível explicação para essa variação, apesar de ambos os lotes terem sido cultivados sob as mesmas condições, pode estar associada a fatores como variações microambientais, pequenas flutuações nos parâmetros do sistema (como temperatura, pH, ou aeração), ou mesmo a diferenças na distribuição de nutrientes no bioflocos. Além disso, fatores biológicos, como a variabilidade genética das plantas ou a resposta diferencial a estresses ambientais, podem contribuir para essas discrepâncias nos resultados, mesmo em condições de tratamento padronizadas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os cálculos da composição centesimal foram realizados considerando o teor de umidade presente nas amostras, garantindo assim uma análise precisa dos componentes nutricionais das alfaces produzidas em cada tratamento. Os resultados das análises foram descritas na tabela 6, seguida do coeficiente de variação referente às repetições dentro do mesmo ciclo e entre os ciclos. Mohallem (2008), considera os coeficientes de variação como baixos quando inferiores a 10%,

médios entre 10 e 20%, altos entre 20 e 30% e muito altos se superiores a 30%. Quanto maior o coeficiente, maior a variação entre as replicatas.

Os resultados da composição centesimal da alface produzida por aquaponia e flocoponia neste estudo mostraram semelhanças com os valores obtidos por Sgarbieri (1987) para alfaces cultivadas em solo. As diferenças observadas foram pequenas, exceto em relação ao teor de carboidratos e cinzas. Neste caso, o presente estudo indicou um teor de resíduos minerais ligeiramente maior e um teor de carboidratos um pouco menor.

Tabela 6 - Resultados da composição centesimal da alface produzida em diferentes sistemas.

1° Ciclo - Base Úmida												
Amostra	Umidade (%)		Cinzas (%)		Lipídios (%)		Proteínas (%)		Fibras (%)		Carboidratos (%)	
	Média		Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
Flocoponia Desacoplada	95,70		1,01 ± 0,07 a	6,7	0,16 ± 0,05 a	30,1	1,06 ± 0,07 a	6,4	0,96 ± 0,05 a	4,7	1,10 ± 0,04 a	3,7
Aquaponia	95,57		1,03 ± 0,06 a	5,9	0,19 ± 0,02 a	7,8	1,11 ± 0,08 a	6,8	0,98 ± 0,04 a	9,2	1,11 ± 0,08 a	11,9
Flocoponia Acoplada	95,69		1,00 ± 0,09 a	8,6	0,16 ± 0,03 a	15,8	1,08 ± 0,05 a	5,0	0,92 ± 0,06 a	6,4	1,15 ± 0,03 a	2,8
2° Ciclo - Base Úmida												
Amostra	Umidade (%)		Cinzas (%)		Lipídios (%)		Proteínas (%)		Fibras (%)		Carboidratos (%)	
	Média		Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV	Média	CV
Flocoponia Desacoplada	95,80		0,99 ± 0,06 a	6,1	0,20 ± 0,02 a	9,5	1,04 ± 0,13 b	12,4	0,87 ± 0,06 b	6,5	1,10 ± 0,21 a	18,7
Aquaponia	95,39		0,85 ± 0,08 a	7,3	0,29 ± 0,04 b	13,6	1,30 ± 0,11 a	6,6	0,99 ± 0,02 a	1,0	1,18 ± 0,14 a	11,8
Flocoponia Acoplada	95,67		1,00 ± 0,07 a	7,2	0,21 ± 0,03 a	16,4	1,11 ± 0,14 ab	12,5	0,87 ± 0,08 b	8,8	1,14 ± 0,14 a	12,0
Coeficiente de Variação Entre os Ciclos - CV (%)												
Amostra	Umidade		Cinzas		Lipídios		Proteínas		Fibras		Carboidratos	
Flocoponia Desacoplada	0,1		1,76		14,02		1,59		6,73		0,32	
Aquaponia	0,13		13,82		28,94		11,07		0,33		4,46	
Flocoponia Acoplada	0,01		0,25		18,50		1,86		3,90		0,59	

\*Médias de tratamentos seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. CV= Coeficiente de Variação (%)

Fonte: Autoral

Um estudo conduzido por Ohse et al. (2001) foi utilizado como referência comparativa no presente trabalho. Nesse estudo, foi avaliada a composição centesimal de três cultivares de alface de folha lisa e três de folha crespa, todas cultivadas em sistema hidropônico. No entanto, para efeito de comparação com os dados obtidos neste trabalho, foram considerados apenas os resultados das alfaces do tipo folha crespa. A Tabela 7, a seguir, apresenta os resultados obtidos por Ohse et al. (2001).

Tabela 7 - Composição centesimal de alface produzido por hidroponia

Tipo	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Proteínas (%)	Fibras (%)	Carboidratos (%)
Brisa	1,00	0,2	1,4	0,9	2,2
Mimosa	1,00	0,2	1,4	0,9	1,8
Verônica	1,00	0,2	1,3	0,8	1,8

Fonte: Ohse. et al. (2001)

As análises da composição centesimal das alfaces cultivadas em diferentes sistemas mostraram algumas variações significativas quando comparadas aos resultados do estudo de Ohse et al. (2001). Observou-se que o teor de carboidratos nas amostras analisadas foi menor do que o reportado por Ohse et al., indicando uma menor concentração de açúcares e amidos (JENKINS; KENDALL, 2002). Além disso, o teor de lipídios obtido no primeiro ciclo de cultivo foi inferior ao encontrado no estudo de Ohse, enquanto o teor de proteínas das alfaces cultivadas por Ohse foi levemente superior ao do presente estudo.

Os teores de cinzas e fibras, por outro lado, apresentaram valores semelhantes entre as amostras dos dois estudos. Essas variações ressaltam as influências dos diferentes métodos de cultivo utilizados e destacam a importância de considerar essas diferenças ao avaliar a qualidade nutricional das alfaces produzidas.

### **5.1.1 Comparação Entre Sistemas de Plantio**

No primeiro ciclo de produção, a análise de variância não revelou diferenças estatisticamente significativas entre as variáveis estudadas na composição centesimal das alfaces cultivadas nos sistemas de aquaponia, flocoponia acoplada e flocoponia desacoplada. Os resultados indicam que, para este ciclo, a variação na composição das alfaces entre os diferentes sistemas de cultivo foi mínima, sugerindo que os métodos utilizados para o cultivo não impactaram significativamente os parâmetros centesimais avaliados.

Por outro lado, no segundo ciclo de produção, foram observadas diferenças significativas em algumas variáveis da composição centesimal das alfaces cultivadas nos diferentes sistemas. A análise revelou que, ao contrário do primeiro ciclo, os métodos de cultivo influenciaram de forma distinta a composição das alfaces.

Os resultados obtidos a partir da análise da composição centesimal das alfaces do segundo ciclo, conforme o teste de Tukey a 95%, revelaram diferenças significativas entre os diferentes sistemas de cultivo. Observou-se que o teor de cinzas nas alfaces cultivadas por flocoponia acoplada e desacoplada foi superior ao das alfaces produzidas por aquaponia. Essa diferença pode indicar variações na composição mineral e na retenção de sólidos nas folhas, possivelmente atribuídas às diferentes características dos nutrientes fornecidos e condições de cultivo em cada sistema (Yuri, 2016).

Além disso, o teor de lipídios foi significativamente maior nas alfaces cultivadas por aquaponia em comparação com os outros sistemas de cultivo. As alfaces produzidas por aquaponia apresentaram um teor de lipídios mais elevado, enquanto os sistemas de flocoponia não mostraram diferenças significativas entre si neste aspecto. As hortaliças folhosas com menor teor de lipídios e valor calórico, são a recomendada para dietas alimentares, devido à sua capacidade de fornecer nutrientes essenciais enquanto ajudam a controlar a ingestão calórica total. São ricas em vitaminas e minerais e possuem poucas calorias, o que contribui para a saciedade sem adicionar quantidades significativas de calorias à dieta. Isso é particularmente útil em dietas voltadas para perda de peso ou manutenção de peso

saudável (SGARBIERI, 1987). Nesse quesito, as alfaces produzidas por flocoponia têm maior vantagem.

No que diz respeito ao teor de proteínas, as alfaces cultivadas por aquaponia apresentaram o maior valor, seguido pelas alfaces produzidas por flocoponia acoplada e, por último, as alfaces cultivadas por flocoponia desacoplada. Entre os sistemas de flocoponia, a diferença foi menor, mas a flocoponia acoplada ainda teve um teor de proteínas superior ao da flocoponia desacoplada.

O teor de fibras nas alfaces cultivadas por aquaponia foi superior ao das alfaces cultivadas por flocoponia, que não apresentaram diferenças significativas entre si. Esse aumento no teor de fibras nas alfaces de aquaponia pode refletir a influência do sistema de cultivo nas características estruturais das folhas.

Por fim, o teor de carboidratos não apresentou diferenças significativas entre os diferentes sistemas de cultivo. Isso sugere que a composição de carboidratos das alfaces foi consistente independentemente do método de cultivo utilizado.

Nota-se que os teores da composição centesimal são muito baixos comparado a outros alimentos, isso se deve ao seu elevado teor de água na parte aérea, resultando em uma baixa quantidade de fitomassa seca, o que, por sua vez, reduz a concentração de todos os outros componentes, como lipídios, proteínas, fibras, minerais e carboidratos (SGARBIERI, 1987).

Outro critério empregado para avaliar a qualidade das alfaces produzidas foi a contagem do número de folhas em cada planta. Para isso, foram contabilizadas as folhas em todas as plantas de cada tratamento. Esses dados foram representados pela média do número de folhas por planta. A análise foi realizada utilizando o teste t de Student para verificar a significância estatística das diferenças observadas entre os tratamentos, indicando o erro padrão e o intervalo de confiança de 95%. Os dados foram descritos na tabela 8.

Tabela 8 - Teste t-student para o número de folhas.

1 ° Ciclo				
Tratamento	N° de Plantas	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão Médio
AQ	36	15,97	1,99	0,332
FA	36	14,94	2,77	0,461
FD	36	18,28	3,39	0,564
2 ° Ciclo				
Tratamento	N° de Plantas	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão Médio
AQ	19	20,10	3,07	0,705
FA	20	15,70	2,60	0,581
FD	20	17,35	2,54	0,568

\*FD= *Flocoponia Desacoplada*; FA= *Flocoponia Acoplada*; AQ= *Aquaponia*

Fonte: Autoral

Na análise do número médio de folhas por planta nos três diferentes tratamentos, observou-se que a comparação direta entre os tratamentos foi prejudicada pelos altos valores de desvio padrão e erro padrão. Esses indicadores de variabilidade sugerem uma grande dispersão nos dados, o que pode refletir variações na uniformidade das condições de cultivo ou na resposta das plantas aos diferentes sistemas. A elevada variabilidade nos resultados indica que as médias obtidas podem não ser representativas do desempenho típico de cada sistema, dificultando a identificação de diferenças estatisticamente significativas. De acordo com Montgomery (2005), a alta variabilidade dentro dos grupos amostrais pode mascarar potenciais diferenças entre tratamentos, comprometendo a robustez das conclusões experimentais. Portanto, futuras investigações com amostras maiores e maior controle das variáveis ambientais podem ser necessárias para reduzir essa variabilidade e obter resultados mais confiáveis.

Em geral, ao comparar os diferentes sistemas de cultivo (aquaponia, flocoponia acoplada e flocoponia desacoplada) em relação à composição centesimal das alfaces, observa-se que cada sistema apresenta características únicas que

podem ser mais ou menos desejáveis dependendo dos objetivos do produtor ou das necessidades do consumidor.

Por exemplo, os resultados indicam que o teor de proteínas foi maior nas alfaces produzidas por aquaponia, o que sugere que este sistema pode ser preferido por aqueles que buscam uma maior ingestão de proteínas em suas dietas. Além disso, o maior teor de lipídios também foi observado na aquaponia, o que pode ser relevante para consumidores que desejam uma hortaliça com um perfil de ácidos graxos mais elevado. Por outro lado, a flocoponia acoplada e desacoplada resultou em alfaces com maior teor de cinzas, o que pode indicar uma concentração mais elevada de minerais, o que é benéfico para aqueles que procuram aumentar a ingestão de micronutrientes.

Entretanto, quando se analisa o teor de fibras, a aquaponia apresentou vantagem, enquanto o teor de carboidratos não mostrou diferenças significativas entre os sistemas, o que sugere que a escolha do sistema de cultivo pode não impactar este parâmetro específico.

Dado que diferentes nutrientes são valorizados por diferentes consumidores, não é possível afirmar categoricamente que um sistema de cultivo seja superior ao outro de forma geral. A escolha do melhor sistema depende dos nutrientes que se deseja maximizar na alface, bem como das preferências do consumidor. O estudo de Resh (2012) sobre sistemas hidropônicos destaca que a composição nutricional das plantas pode ser significativamente influenciada pelo sistema de cultivo, o que reforça a importância de considerar as necessidades específicas do mercado ou dos consumidores ao escolher o método de produção.

## **5.2 Caracterização dos Bioflocos: Resultados Obtidos**

A partir das análises realizadas, foram obtidos os seguintes resultados para a caracterização química dos bioflocos, conforme descrito na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da caracterização química dos bioflocos.

MACRONUTRIENTES					
ANÁLISE	FD 1	FD 2	FA 1	FA 2	CV(%)
Nitrogênio total (%)	3,64	1,67	5,68	4,2	43,69
Fósforo Total - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	9,66	4,44	9,01	8,62	29,85
Potássio Sol. em H <sub>2</sub> O - K <sub>2</sub> O (%)	0,12	0,23	0,12	0,22	35,22
Cálcio Total - Ca (%)	11,3	3,88	12,04	9,07	40,61
Magnésio Total - Mg (%)	0,39	0,34	0,44	0,39	10,47
Enxofre Total - S e SO <sub>4</sub> (%)	0,35	0,58	0,50	0,58	21,58
DETERMINAÇÕES ESPECIAIS					
ANÁLISE	FD 1	FD 2	FA 1	FA 2	CV(%)
pH	6,7	6,6	6,60	6,7	0,87
Carbono Orgânico (%)	36,2	45,40	41,30	33,40	13,66
CTC (mmol/kg)	300	405	325	320	13,71
Relação CTC/C Orgânico	8	9	8	10	10,94
Relação Carbono/Nitrogênio	9	26	7	8	72,30
MICRONUTRIENTES					
ANÁLISE	FD 1	FD 2	FA 1	FA 2	CV(%)
Boro Total - B (mg/kg)	7,73	29,41	6,54	10,99	78,01
Cobre Total - Cu (mg/kg)	44,47	77,71	48,48	62,81	25,88
Ferro Total - Fe (mg/kg)	1515,89	2910,57	2041,98	2598,73	27,18
Manganês Total - Mn (mg/kg)	220,92	268,41	252,82	254,73	8,07
Zinco Total (mg/kg)	361,62	524,18	401,62	508,50	17,76
CONTAMINANTES					
ANÁLISE	FD 1	FD 2	FA 1	FA 2	CV(%)
Arsênio - As - (mg/kg)	<1,143	<1,143	<1,143	<1,143	0,00
Cádmio - Cd - (mg/kg)	<0,053	<0,053	<0,053	<0,053	0,00
Cromo - Cr - (mg/kg)	15,54	12,94	12,13	32,39	52,26
Cromo VI- Cr VI - (mg/kg)	5,84	7,81	8,49	10,32	22,80
Chumbo - Pb - (mg/kg)	<0,187	<0,187	<0,187	<0,187	0,00
Mercúrio - Hg - (mg/kg)	<0,251	<0,251	<0,251	<0,251	0,00
Níquel - Ni - (mg/kg)	8,47	12,51	13,8	17,07	27,44
Selênio - Se - (mg/kg)	<0,245	<0,245	<0,245	<0,245	0,00

\*FD= *Flocoponia Desacoplada*; FA= *Flocoponia Acoplada*; CV= Coeficiente de Variação

Fonte: Autoral

A discrepância observada nos resultados da composição química das amostras de bioflocos provenientes da flocoponia acoplada e desacoplada, mesmo na repetição, pode ser atribuída a uma variedade de fatores. Um possível fator é a heterogeneidade dos bioflocos, que pode ocorrer devido às variações na dieta dos peixes, nas condições ambientais (como temperatura e pH) ou na dinâmica microbiana dentro dos tanques (SCHRYVER et al., 2008). Além disso, pequenas diferenças na taxa de sedimentação dos sólidos, no tempo de retenção da água ou na aeração podem impactar a composição final dos bioflocos, resultando em variações nas concentrações de nutrientes e contaminantes (HARGREAVES, 2013).

Para avaliar a viabilidade dos bioflocos como fonte nutricional no cultivo de alface, foi realizada uma comparação entre os níveis de macronutrientes NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) presentes nos resíduos de bioflocos e as necessidades nutricionais estabelecidas para o cultivo da alface, conforme descrito por Yuri (2016) na Tabela 03, para identificar o potencial dos bioflocos em fornecer os nutrientes essenciais para o desenvolvimento adequado das plantas, além de verificar sua eficácia em relação aos fertilizantes comerciais convencionais.

Para comparar os resultados dos bioflocos com as exigências nutricionais de Yuri (2016), foi preciso converter os dados dos bioflocos para as mesmas unidades utilizadas por Yuri ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Quantidade de Bioflocos necessária} = \frac{\text{Exigência (g/m}^2\text{)}}{\text{Concentração do mineral (\%)}} \times 100 \quad \text{Eq. 12}$$

Com base nas análises, os resultados indicaram que os bioflocos possuem concentrações relativamente altas de nitrogênio e fósforo. Para atender às exigências de nitrogênio no cultivo de alface, seria necessário utilizar cerca de 400 g de bioflocos por metro quadrado. Quanto ao fósforo, menos de 90 g por metro quadrado seriam suficientes para satisfazer a demanda. No entanto, a concentração de potássio nos bioflocos é consideravelmente baixa, exigindo uma quantidade substancialmente maior de bioflocos para suprir as necessidades de potássio, alcançando até 5  $\text{kg}/\text{m}^2$ . Portanto, embora os bioflocos sejam eficazes na oferta de nitrogênio e fósforo, sua baixa concentração de potássio limita seu potencial como uma solução nutricional completa, sugerindo a necessidade de suplementação

adicional para garantir um fornecimento adequado desse nutriente essencial.

Para avaliar a viabilidade dos bioflocos como fertilizante, também foi considerado o esterco bovino, que é amplamente utilizado na agricultura brasileira, especialmente na produção de hortaliças e mudas de frutíferas, pois é conhecido por atender eficazmente às exigências nutricionais da maioria das plantas (Teixeira et al., 2006). A tabela 10 apresenta a composição nutricional do esterco bovino segundo Ferreira et al. (1998, 2001), permitindo uma comparação com os bioflocos para determinar a eficácia relativa de ambos os fertilizantes na suplementação das necessidades nutricionais das plantas.

Tabela 10 - Composição nutricional do fertilizante orgânico (esterco bovino)

Macronutrientes (g/kg)			Micronutrientes (mg/kg)					
Ca	Mg	S	Na	B	Fe	Mn	Cu	Zn
0,8	3,0	-	1700	-	3623	196	8	57

Fonte: Ferreira et al. (1998, 2001)

Ao comparar o perfil nutricional dos bioflocos com o do esterco bovino, observou-se que os bioflocos apresentam vantagens significativas em vários aspectos. Em termos de macronutrientes, os bioflocos demonstraram um teor de cálcio muito superior ao do esterco, além de serem ligeiramente superiores em magnésio. Além disso, os bioflocos contêm enxofre, um nutriente que está ausente em quantidades relevantes no esterco bovino (MALAVOLTA et al., 1997).

No que diz respeito aos micronutrientes, os bioflocos destacam-se pela presença significativa de boro, um nutriente não presente no esterco. O teor de cobre nos bioflocos também foi muito superior ao do esterco, enquanto o teor de ferro, embora ligeiramente inferior, ainda estava dentro dos níveis típicos para fertilizantes (Raij, 1991). O teor de manganês foi semelhante entre os bioflocos e o esterco, e os bioflocos apresentaram um teor de zinco consideravelmente superior. Essas diferenças ressaltam que, enquanto os bioflocos oferecem algumas vantagens notáveis sobre o esterco bovino, especialmente em termos de cálcio, magnésio e certos micronutrientes, ainda há aspectos onde a suplementação ou combinação com outros fertilizantes pode ser necessária para atender a todas as

necessidades nutricionais das plantas.

O valor de pH dos bioflocos, determinado em solução de  $\text{CaCl}_2$ , foi de aproximadamente 6,65. De acordo com Tomé Júnior (1997), um pH de solo entre 6,1 e 7 é considerado acidez muito baixa, sendo ideal para a maioria dos cultivos.

A determinação de contaminantes em um potencial fertilizante é de suma importância, pois essas substâncias indesejadas podem estar presentes como impurezas. Elas podem ser introduzidas durante o processo de formação do resíduo, a partir das matérias-primas utilizadas, ou durante o armazenamento e transporte. Esses contaminantes podem ter efeitos negativos no meio ambiente, na saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos. (Alloway, 2013)

Um exemplo comum de contaminantes em fertilizantes são os metais pesados, como cádmio, chumbo, mercúrio e arsênio. Estes metais foram analisados durante a pesquisa devido à sua toxicidade para plantas e animais, bem como seu potencial de contaminação do solo e da água. (Alloway 2013)

Os resultados da análise de contaminantes nos bioflocos foram avaliados em relação aos valores máximos permitidos (VMP) para fertilizantes orgânicos, conforme estabelecido pela Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006. Todas as concentrações de contaminantes encontradas estavam dentro dos limites permitidos, exceto o cromo. A norma estipula um limite máximo de 2 mg/kg para o cromo total e proíbe a presença de cromo hexavalente. No entanto, as análises realizadas por MP-AES detectaram uma concentração média de 17 mg/kg para o cromo total e 8 mg/kg para o cromo hexavalente em todas as amostras de bioflocos. Esses resultados indicam uma superação dos limites estabelecidos para o cromo, evidenciando a necessidade de cuidados adicionais para garantir a conformidade com as normas de segurança.

O cromo pode ser encontrado no ambiente de forma natural, como em rochas, ou por fontes humanas. A presença desse elemento não indica necessariamente contaminação; isso depende tanto da sua concentração quanto da sua forma química. Existem duas formas estáveis de cromo: o cromo trivalente (Cr(III)) e o cromo hexavalente (Cr(VI)). O Cr(III), em certas concentrações, é essencial para o ser humano, enquanto o Cr(VI) é extremamente tóxico para

humanos, animais e plantas (NAMIESNIK e RABAJCZYK, 2012).

A presença de cromo nos bioflocos pode estar relacionada à contaminação da água utilizada no sistema de flocoponia. Embora a água tenha sido captada de um poço, a proximidade da região com o encontro dos rios Tapajós e Amazonas na cidade de Santarém - PA pode ter influenciado na presença desse contaminante. A atividade de garimpos na área central da bacia do Tapajós, é uma conhecida fonte de liberação de metais pesados no meio aquático. Desde 1980, estima-se que aproximadamente 500 toneladas de ouro tenham sido produzidas na região, resultando na liberação de contaminantes, como o cromo, no ambiente aquático (Veiga 1997).

O cromo, ao ser liberado nas águas dos rios, torna-se susceptível à absorção pelos peixes, seja diretamente da água ou através dos alimentos ingeridos (Palaniappan & Karthikeyan, 2009). Um estudo recente de Albuquerque (2020) demonstrou que, mesmo em concentrações baixas e aceitáveis pela legislação, o cromo foi detectado em músculos e fígados de peixes coletados ao longo da cidade de Santarém, na região Oeste do Pará, sugerindo que a contaminação é uma realidade. Portanto, é plausível considerar que o cromo presente nos bioflocos possa ter sido introduzido no sistema por meio da água contaminada, representando um risco de contaminação para o sistema de cultivo.

As análises das amostras de bioflocos revelaram seu potencial como fonte de nutrientes para o cultivo de alface, destacando-se pelo alto teor de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, o que os torna uma alternativa viável aos fertilizantes convencionais em vários aspectos. No entanto, a baixa concentração de potássio nos bioflocos aponta para a necessidade de suplementação adicional para atender completamente às exigências nutricionais das plantas.

Embora o bioflocos tenha mostrado teores significativos de micronutrientes, como boro, cobre e zinco, a presença de cromo, especialmente na forma hexavalente, apresenta um risco potencial, exigindo atenção especial para evitar impactos negativos no ambiente e na saúde. A discrepância observada nos resultados entre amostras do mesmo tratamento também sugere a necessidade de uma análise mais detalhada para compreender as variabilidades e garantir a

consistência na aplicação do bioflocos como fertilizante (Namiesnik e Rabajczyk, 2012).

### **5.2.1 Sustentabilidade da Flocoponia**

A utilização da flocoponia para a produção de alface apresenta benefícios significativos, especialmente em termos de sustentabilidade e aproveitamento dos resíduos de bioflocos como fonte de nutrientes em plantios futuros por solo, caso seja tratado a presença de cromo e cromo hexavalente. Os resultados indicaram que a flocoponia, tanto acoplada quanto desacoplada, pode proporcionar uma produção de alface com composição nutricional equivalente àquela obtida em sistemas de cultivo tradicionais, como solo, hidroponia e aquaponia, com vantagens específicas como um maior teor de minerais e menor teor de lipídios.

Contudo, a flocoponia acoplada demonstrou um potencial ligeiramente superior na retenção de proteínas em comparação com a desacoplada, o que sugere que a escolha do sistema pode ser ajustada conforme as prioridades nutricionais desejadas para a produção. Além disso, o uso de bioflocos como fonte de nutrientes não só reduz a dependência de fertilizantes sintéticos, mas também contribui para um ciclo de produção mais sustentável, reaproveitando subprodutos da criação de peixes e minimizando o impacto ambiental (Rakocy et al., 2006).

No entanto, para reutilização do resíduo de bioflocos como fertilizante orgânico, é necessário atentar-se à eliminação da possível fonte de contaminação ou tratamento das mesmas. Assim, a flocoponia se apresenta como uma alternativa viável e benéfica para o cultivo de alface, especialmente em um contexto de agricultura sustentável.

## **5.3 Proposta de Prática no Ensino de Química**

Com base na competência específica de ciências da natureza e suas tecnologias para o ensino médio estabelecida pela Base Nacional Comum Curricular

(BNCC), e considerando as dificuldades relatadas por Silva et al. (2019) em relação ao desinteresse dos alunos no aprendizado sobre a decomposição e ciclagem de nutrientes, este trabalho propõe uma prática pedagógica inovadora para abordar o ciclo dos nutrientes de forma mais envolvente e prática.

A proposta consiste em uma aula teórica introdutória sobre o ciclo dos nutrientes, seguida por uma atividade prática em que os alunos realizarão três cultivos pequenos de alface, ou outra planta de crescimento rápido. Um dos cultivos será feito sem o uso de fertilizantes, enquanto os outros dois serão tratados com diferentes fertilizantes orgânicos escolhidos pelos próprios alunos. Ao longo do experimento, os alunos serão incentivados a observar o crescimento das plantas semanalmente.

Ao final do experimento, os alunos vão comparar os resultados dos três cultivos, observando como os diferentes níveis de nutrientes influenciaram o crescimento das plantas. Eles avaliarão o fertilizante mais eficiente em termos de desenvolvimento vegetal e discutirão as possíveis razões para essas diferenças. A partir disso, os estudantes serão guiados a relacionar os resultados observados com os conceitos teóricos abordados na aula inicial, estabelecendo uma conexão entre a prática realizada e o ciclo dos nutrientes.

Essa prática busca promover um aprendizado mais significativo, permitindo que os alunos vivenciem na prática os conceitos teóricos discutidos em sala de aula. Além disso, ao envolver os estudantes na escolha dos fertilizantes e na condução dos experimentos, espera-se aumentar o engajamento e o interesse pelo conteúdo, superando as barreiras identificadas por Silva et al. (2019).

Por fim, a atividade prática proposta não só visa a melhoria do processo de ensino-aprendizagem, mas também está alinhada com os objetivos da BNCC de preparar os alunos para analisar fenômenos naturais e propor soluções para problemas reais, contribuindo para o desenvolvimento de uma educação científica crítica e contextualizada.

## 6 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao cultivo da alface produzida em flocoponia e aquaponia, os resultados da composição centesimal não revelaram muitas diferenças significativas durante o primeiro ciclo de produção. Contudo, no segundo ciclo, observaram-se diferenças notáveis nos teores de cinzas, lipídios, proteínas e fibras entre os tratamentos, sugerindo que a flocoponia, pode influenciar de forma diferenciada a composição nutricional da alface. A comparação do número de folhas por planta foi dificultada pelos altos desvios padrões, não permitindo conclusões definitivas quanto à superioridade de um sistema sobre o outro nessa métrica.

Os resultados das análises de bioflocos demonstraram que, em termos de macronutrientes, os bioflocos são uma fonte adequada de nitrogênio e fósforo, satisfazendo as necessidades da alface com quantidades relativamente pequenas de bioflocos por metro quadrado. No entanto, a baixa concentração de potássio nos bioflocos revelou uma limitação significativa, indicando que, para o uso exclusivo desses resíduos como fertilizante, seria necessária a suplementação com outras fontes de potássio. Em comparação com esterco bovino, os bioflocos são significativamente superiores em termos de cálcio e magnésio, apresentam enxofre em concentrações relevantes, e são fonte de boro e cobre, tendo o ferro dentro dos limites considerados adequados para fertilizantes.

A análise dos contaminantes presentes nos bioflocos, em comparação com os valores máximos permitidos pela Instrução Normativa SDA nº 27, indicou que, embora a maioria dos contaminantes esteja dentro dos limites aceitáveis, houve uma exceção significativa para o cromo. As amostras analisadas apresentaram concentrações de cromo total e cromo hexavalente (Cr(VI)) superiores aos valores permitidos, o que levanta preocupações sobre a segurança do uso desses resíduos como fertilizante sem tratamento prévio para a remoção de metais pesados.

Apesar das limitações observadas, especialmente no teor de potássio e na presença de cromo, a flocoponia se mostrou uma alternativa promissora e sustentável para a produção de alface, com potencial para reduzir a dependência de fertilizantes comerciais e aproveitar resíduos orgânicos provenientes da aquicultura. A eficácia do sistema, entretanto, pode depender das metas específicas do produtor,

como o foco na maximização de certos nutrientes ou na minimização de custos e impactos ambientais. A flocoponia acoplada, em particular, apresentou vantagens em termos de maior teor de nutrientes na alface, embora mais estudos sejam necessários para otimizar o sistema e garantir sua segurança e eficiência a longo prazo.

Por fim, este estudo contribui para a compreensão do potencial uso de bioflocos em sistemas agrícolas, destacando tanto seus benefícios quanto suas limitações. A adoção da flocoponia, especialmente em escalas maiores, pode representar um passo importante na direção de uma agricultura mais sustentável e integrada, mas requer uma análise cuidadosa dos parâmetros de cultivo e dos tratamentos necessários para garantir a qualidade e segurança dos produtos agrícolas obtidos.

## 7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. E. A. **Acumulação de mercúrio e outros elementos tóxicos em áreas de exploração mineral associados a ecossistemas aquáticos na região Oeste do Estado do Pará (Brasil)**. Santarém, PA: SIBI/UFOPA, 2020.

ALCARDE, J. C. **Metodologia de análise de fertilizantes e corretivos**. Piracicaba: PLANALSUCAR. 1979.

ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability**. 3. ed. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2013.

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists** (19 ed.). Gaithersburg, Maryland, USA, 2018.

AMARAL SOBRINHO, N. B.; COSTA, L.; OLIVEIRA, C. & VELLOSO, A. C. X. **Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos**. R. Bras. Ci. Solo, 16:271-276, 1992.

AVNIMELECH, Y. **Biofloc Technology: A Practical Guide Book**. 3rd Edition. The World Aquaculture Society, 2009.

BARBIERI, E.; MARQUEZ, H. L. de A.; CAMPOLIM, M. B.; SALVARALI, P. I. **Avaliação dos Impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil.** Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 14, n. 3, p. 385–398, 2014.

BARBOSA, M. P. **Tecnologia de Bioflocos: elementos filtrantes afetam a produção aquaponica de alfaces integrado com tilápia?** Chapecó, 2017. 56 p.

BINALSHIKH-ABUBKR, T.; HANAFIAH, M. M.; DAS, S. K. **Proximate chemical composition of dried shrimp and Tilapia waste bioflocs produced by two drying methods.** Journal of Marine Science and Engineering, v. 9, n. 2, p. 193, 2021.

BLIGH, E. G.; DYER, W. K. **A rapid method of total lipid extraction and purification.** Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, v. 37, n. 8, p. 911–917, 1959.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Documentos 189. p. 11, 2015.

CARVALHO, A. R.; BRUM, O. B.; CHIMÓIA, E. P.; FIGUEIRÓ, E. A. G. **Avaliação da produtividade da aquaponia comparada com hidroponia convencional.** Revista Eletrônica de Extensão da URI, 2017.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. A.; NAVARRO, Z. **Trajatória do Agro.** In: Plataforma Visão de futuro do Agro. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/trajetoria-do-agro>. Acesso em: 20 jan. 2024.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. **Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production.** Aquaculture, 2007.

CUNHA, C. F. S. **Aplicação da tecnologia de biofloco num sistema IMTA: O futuro da aquacultura sustentável.** Faculdade de Ciências da Universidade do Porto Departamento de Biologia, 2020.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B.; BISOGNI, J. J. **Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems.** *Aquaculture*, v. 257, p. 346–358, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

EMERENCIANO, M.; BALLESTER, E.; CAVALLI, R.; WASIELESKY, W. **Biofloc Technology Application in Shrimp Intensive Farming.** *Brazilian Journal of Oceanography*, 2011.

FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture: Systems at Breaking Point.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.

FERREIRA, W. de A.; BOTELHO, S. M.; CARDOSO, E. M. R.; POLTRONIERI, M. C. **Manipueira: um adubo orgânico em potencial.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 21 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 107).

FERREIRA, W. de A.; BOTELHO, S. M.; VILAR, R. R. L. **Composição química dos subprodutos da agroindústria do dendê.** Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: Palmas, 1998. 18 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 119).

FREITAS, S. C.; SILVA, T. D. S.; DE CARVALHO, P. G. B.; TUPINAMBÁ, D. D.; KOAKUZU, S. N.; CARVALHO, A. V.; MOURA, C. F. H. **Procedimento operacional padrão para determinação de fibras solúvel e insolúvel.** Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, ISSN 0103-6068, 94, 2008. 28 p.

GODDEK, S.; DELAIDE, B.; MANKASINGH, U.; RAGNARSDOTTIR, K. V.; JIJAKLI, H.; THORARINSDOTTIR, R. **Challenges of sustainable and commercial aquaponics.** *Sustainability*, Basel, Switzerland, v. 7, 2015.

HARGREAVES, J. A. **Biofloc Production Systems for Aquaculture.** Southern Regional Aquaculture Center, 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. v. 1, p. 44-45.

JENKINS, D. J. A.; KENDALL, C. W. C. **High-complex carbohydrate or lente carbohydrate foods?**. The American Journal of Medicine, v. 113, 2002.

KATAYAMA, M. **Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão**. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. Nutrição e adubação de hortaliças. Jaboticabal: Potafos, 1990. p. 141-148.

KRUMMENAUER, D; JÚNIOR, C. A. S.; POERSCH, L. H.; FOES, G. K.; LARA, G. R. de; W. W. JUNIOR **Cultivo de Camarões Marinhos em Sistema de Bioflocos: Análise da Reutilização da Água**. Atlântica, Rio Grande, 34(2) 103-111, 2012.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. **A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system**. Aquaculture International, Cork, Ireland, v. 12, p. 539-550, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.

MENDES, F. T. de C.; FREITAS, A. S. de; ALCANTRA, E.; MARQUES, R. F. de P. V.; OLIVEIRA, A. S. de; BARBOSA, R. A.; PÁDUA, M. C. de; JUNQUEIRA, R. R. **Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia**. Research, Society and Development, v. 10, n. 9, 2021.

MOHALLEM, D. F.; TAVARES, M.; SILVA, P. L.; GUIMARÃES, E. C.; FREITAS, R. F. **Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte**. Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 60, n. 2, p. 449-453, 2008

NAMIESNIK, A.; RABAJCZYK, A. **Speciation Analysis of Chromium in Environmental Samples**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 42, n. 4, 2012.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de Laboratórios: Solo, Água, Nutrição Vegetal, Nutrição Animal e Alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313 p.

OHSE, S.; SANTOS, O. S. dos; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D. **Qualidade de Cultivares de Alface Produzidos em Hidroponia** Scientia Agricola, v.58, n.1, p.181-185, jan./mar. 2001.

OHSE, S.; RAMOS, D. M. R.; CARVALHO, S. M. de; FETT, R.; OLIVEIRA, J. L. B. **Composição centesimal e teor de nitrato em cinco cultivares de alface produzidas sob cultivo hidropônico.** Bragantia, Campinas, v. 68, n. 2, p. 407-414, 2009.

PALANIAPPAN, P. L. & KARTHIKEYAN, S. **Bioaccumulation and depuration of chromium in the selected organs and whole body tissues of freshwater fish Cirrhinus mrigala individually and in binary solutions.** Journal of Environmental Sciences, v. 21, p. 229-236, 2009.

PEREIRA, H. B. **Efeito da fertilização orgânica na nitração, produção de sólidos e uso de água em sistema BFT.** Universidade Federal do Rio Grande - FURG Instituto de Oceanografia, 2018.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. **Meio Ambiente, Impacto Ambiental e Desenvolvimento Sustentável: Conceituações Teóricas Sobre o Despertar da Consciência Ambiental.** REUNIR Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, v. 2, n. 4, p. 35, 2012.

PINHO, S. M. **Flocponics: The Integrations of Biofloc Technology With Plant Production.** Wageningen University & Research, 2022

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Potafós, 1991

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. **Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics—Integrating fish and plant culture.** Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 454. 2006

RAYMENT, G.E. and HIGGINSON, F.R. **Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods.** Inkata Press. 1992. The analysis of dietary fiber in food. New York: M. Dekker, 1981. p. 123-158.

RESH, H. M. **Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower**. 7th ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2012.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. **The detergent system of analysis and its application to human foods**.

SCHRYVER, P. de; CRAB, R.; DEFOIR, T. et al. **The Basics of Bio-Flocs Technology: The Added Value for Aquaculture**. Aquaculture, 2008.

SECANHO, A. A. M. B.; AGUIA, D. R. da C.; PINHEIRO, J. H. P. A. SECANHO, L. B. B. G. P.; VANZELA, L. S.; MANSANO, C. F. M. **Manual de licenciamento ambiental da aquicultura do estado de São Paulo**. Universidade Brasil. Fernandópolis - SP, 2022

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e Nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. 1.ed. Campinas: UNICAMP, 1987.

SILVA, F. S. S. MORAIS, L. J. O. e CUNHA, I. P. R. **Dificuldades dos professores de Biologia em ministrar aulas práticas em escolas públicas e privadas do município de Imperatriz (MA)**. Educação, Políticas Públicas e Sociedade, 1 (1), 135-149, 2011.

SILVA, S. O. da.; TIRADENTES, C. P.; SANTOS, S. X. dos. **Decomposição e ciclagem de nutrientes: uma análise da abordagem do livro didático e da prática docente no ensino médio**. ISSN 0121-3814, p. 57-70, 2019.

SOARES, E. C. et al. **Peixe com salada: aquaponia possibilita o cultivo de peixes e alfaces sem agrotóxicos**. Panorama da Aquicultura. v.148, p. 24-29, 2015.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PEREZ, E.; BAKKALI, A. **Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589, 2014

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. de; FURLAN JÚNIOR, J.; CAMPOS, P. I. de F.; GERMANO, V. L. C. **Compostagem: lixo orgânico urbano e resíduos da agroindústria do açaí**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 85 p

TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, SP: Agropecuária, 1997. 274 p.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

VAN KEULEN, J.V. and YOUNG, B.A. **Evaluation of acid insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies**. J. Animal. Sci. 44:282, 1977.

VEIGA, M. M. **Introducing New Technologies for Abatement of Global Mercury Pollution in Latin America**. Ed. Unido/UBC/Cetem, Rio de Janeiro, 94 p., 1997.

YASUHARA, T.; NOKIHARA, K. **High-throughput analysis of total nitrogen content that replaces the classic Kjeldahl method**. Journal of agricultural and food chemistry, v. 49, p. 4581-4583, 2001.

YURI, J. E.; MOTE, J. H.; RESENDE, G.M de; SOUZA, R. J de. **Nutrição e Adubação de Cultura de Alface**. In: PRADO, R. de M.; FILHO, A. B. C. **Nutrição e Adubação de Hortaliças**. Jaboticabal: Unesp, p. 559-577, 2016.

ZAMBON, F.R.A. **Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.)**. In: MULLER, J.J.v.; CASA LI, V.W.D. (Eds.) **Seminários de Olericultura**. 2ed. 1982. 2.v., p.316-348.