

TALINUM TRIANGULARE E OCIMUM BASILICUM COMO BIOFILTROS NATURAIS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM SISTEMAS AQUAPÔNICOS

TALINUM TRIANGULARE AND OCIMUM BASILICUM AS NATURAL BIOFILTERS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN AQUAPONIC SYSTEMS

Gabriela de Moraes Viana¹
Otilene dos Anjos Santos²
Edinaldo Nelson dos Santos-Silva³
Maiby Glorize da Silva Bandeira⁴
Alexander Armando Flores Arzabe⁵

RESUMO

A aquaponia é uma técnica de cultivo integrada entre peixes e plantas, promovendo o reaproveitamento de resíduos metabólicos dos peixes como fonte de nutrientes para o crescimento vegetal. Estudos demonstram que a dinâmica desses nutrientes pode ser influenciada pela espécie vegetal cultivada e seu estágio de desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do crescimento de *Talinum triangulare* (cariru) e *Ocimum basilicum* (manjerição) sobre a concentração de nutrientes na solução aquapônica ao longo do tempo. O experimento foi conduzido em um sistema de jangada flutuante, utilizando tambaquis como fonte de efluente, com quatro semanas de avaliação (S1 a S4) e amostragens horárias em cada semana (H0 a H4). Os parâmetros analisados foram TAN, nitrato, nitrito e ortofosfato. A qualidade da água manteve-se dentro de parâmetros adequados para a aquaponia. As concentrações de nutrientes variaram entre as espécies e ao longo do tempo. *T. triangulare* apresentou maior remoção de TAN nas horas centrais do dia, enquanto *O. basilicum* destacou-se na remoção de nitrito. A eficiência de absorção de nutrientes foi influenciada pela idade das plantas, embora não tenha havido diferença significativa entre as espécies. *T. triangulare* acumulou mais biomassa e mostrou correlação positiva com ortofosfato, ao passo que *O. basilicum* apresentou correlação

¹Autor correspondente. Mestra. Programa de pós-graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, Amazonas. Brasil. E-mail: gabimoraes88@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4221-2381>.

²Doutora. Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas. Brasil. E-mail: osantos77@yahoo.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3445-2935>.

³Doutor. Programa de pós-graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: nelson@inpa.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3340-4541>.

⁴Doutora. Programa de pós-graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA. Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: maiby.glorize@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0534-2611>.

⁵Mestre. Programa de pós-graduação em Biologia de Água Doce e Pesca Interior, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: alexanderarmando@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1777-9810>.

negativa mais forte com nitrito. Conclui-se que o desempenho na remoção de nutrientes está relacionado ao crescimento vegetal, reforçando a importância do manejo do tempo de cultivo e da escolha de espécies com perfis complementares.

Palavras-chave: qualidade da água; produção de biomassa; absorção de nutrientes pelas plantas; reuso de efluente; agricultura sustentável.

ABSTRACT

Aquaponics is an integrated cultivation technique combining fish and plants, promoting the reuse of fish metabolic waste as a nutrient source for plant growth. Studies have shown that the dynamics of these nutrients can be influenced by the cultivated plant species and its developmental stage. This study aimed to evaluate the effect of *Talinum triangulare* (cariru) and *Ocimum basilicum* (basil) growth on nutrient concentrations in the aquaponic solution over time. The experiment was conducted in a floating raft system using tambaqui fish as the effluent source, with four weeks of evaluation (S1 to S4) and hourly samplings each week (H0 to H4). The parameters analyzed were TAN, nitrate, nitrite, and orthophosphate. Water quality remained within appropriate parameters for aquaponics. Nutrient concentrations varied between species and over time. *T. triangulare* showed greater TAN removal during the central hours of the day, while *O. basilicum* stood out in nitrite removal. Nutrient uptake efficiency was influenced by plant age, although no significant difference was observed between the species. *T. triangulare* accumulated more biomass and showed a positive correlation with orthophosphate, whereas *O. basilicum* exhibited a stronger negative correlation with nitrite. It is concluded that nutrient removal performance is related to plant growth, emphasizing the importance of managing cultivation time and selecting species with complementary absorption profiles.

Key words: water quality; biomass production; plant nutrient uptake; effluent reuse; sustainable agriculture.

Artigo recebido em: 17/06/2025

Artigo aprovado em: 10/09/2025

Artigo publicado em: 01/10/2025

Doi: <https://doi.org/10.24302/sma.v14.5987>

1 INTRODUÇÃO

A aquaponia é um sistema integrado que combina aquicultura, hidroponia e microrganismos aquáticos¹, destacando-se pela eficiência no uso da água, redução da necessidade de fertilizantes sintéticos, ausência de pesticidas, herbicidas e antibióticos, além do baixo impacto ambiental². Nesse contexto, os efluentes deixam de ser vistos como subprodutos indesejados e passam a ser recursos valiosos para a produção simultânea de peixes e plantas, refletindo uma mudança de paradigma na aquicultura em direção à sustentabilidade e ao uso eficiente de recursos³.

Os efluentes provenientes dos tanques de peixes contêm nitrogênio (N), fósforo (P), matéria orgânica e inorgânica e sólidos suspensos totais^{2,3}. Dependendo da

espécie e do manejo, até 85% do fósforo, 80–88% do carbono e 52–95% do nitrogênio fornecidos à alimentação podem ser liberados no meio por ração não consumida, excreções, fezes e respiração⁴. Entre os compostos nitrogenados, amônia (NH₃) e nitrito (NO₂⁻) representam os maiores riscos à saúde dos peixes, podendo causar redução no crescimento por diminuição do apetite e mortalidade em concentrações elevadas⁵. Assim, a remoção de nutrientes é essencial para manter a qualidade da água e assegurar o desenvolvimento adequado de peixes e plantas.

A remoção eficiente de nutrientes pelas plantas é essencial para a qualidade da água e o desempenho do sistema. Fatores como espécie vegetal, luz, temperatura, disponibilidade de nutrientes, estágio de crescimento e biomassa influenciam essa eficiência⁶.

Diversas espécies aquícolas são utilizadas em aquaponia, como tilápia, truta, carpa, bagre, pacu e tambaqui¹. O tambaqui, amplamente cultivado na aquicultura brasileira, destaca-se por seu potencial em sistemas aquapônicos, fornecendo concentrações significativas de nitrogênio e fósforo essenciais ao crescimento vegetal⁷. Além de gerar nutrientes em níveis comparáveis aos da tilápia, sua condição de espécie nativa reduz riscos ambientais, tornando-o uma opção estratégica para sistemas integrados no Brasil⁸.

Entre as espécies vegetais mais cultivadas em aquaponia estão alface, manjerição, espinafre, cebolinha, hortelã, rúcula e agrião. O *manjerição* (*Ocimum basilicum*) destaca-se por seu crescimento vigoroso, valor comercial e potencial em sistemas de cultivo sem solo⁹. Além disso, apresenta compostos fenólicos com propriedades antimicrobianas e sua integração em diferentes configurações de aquaponia, como NFT, DWC e *media beds*, proporciona alta produtividade e qualidade¹⁰, e a aplicação de fertilizantes combinados pode melhorar o rendimento e a composição de seu óleo essencial¹¹.

O cariru (*Talinum triangulare*), por sua vez, é uma planta alimentícia não convencional (PANC) com alto potencial terapêutico¹². Suas folhas apresentam compostos bioativos com propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes, antidiabéticas, hepatoprotetoras e anticancerígenas¹³. Também possuem elevado teor de proteínas, fibras e carboidratos, com baixo conteúdo lipídico¹⁴. Embora sua produtividade em aquaponia ainda não tenha sido estudada, resultados promissores em hidroponia¹⁵ sugerem que seu cultivo pode beneficiar sistemas integrados, agregando valor socioeconômico e ambiental¹⁶.

Neste contexto, a remoção eficiente de compostos nitrogenados e fosfatados é essencial para manter a qualidade da água e assegurar o desempenho produtivo do sistema e o cariru e o manjerição apresentam potencial para contribuir tanto para a eficiência na remoção de nutrientes quanto para a diversificação da produção. Sendo assim, investigar o desempenho dessas espécies, considerando sua idade, capacidade de absorção de nutrientes e relação com o rendimento vegetal, justifica-se pela necessidade de otimizar a eficiência de sistemas aquapônicos, contribuindo para a segurança alimentar e para práticas agrícolas sustentáveis.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de *T. triangulare* e *O. basilicum* na remoção de nitrogênio e fósforo em um sistema de aquaponia.

2 METODOLOGIA

2.1 Desenho do sistema aquapônico

Este projeto foi aprovado pela Comissão de Ética no uso de Animais da Universidade Federal do Amazonas (CEUA-UFAM 23105.039299/2022-33).

O experimento foi realizado no Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA), em Humaitá-AM, Brasil, durante 30 dias (outubro–novembro/2022), em viveiro coberto com filme plástico (7 × 20 × 4 m) e laterais com tela Optinet 50 MESH.

O sistema de recirculação aquícola, abastecido com água de poço, foi composto por seis tanques circulares (500 L), dois filtros mecânicos tipo swirl (500 L), dois filtros biológicos (1 × 4 × 0,3 m) com brita nº 2 (12,5–25 mm) e dois reservatórios (1.500 L). Sifões tipo bell nos filtros biológicos permitiram o funcionamento por inundação e drenagem.

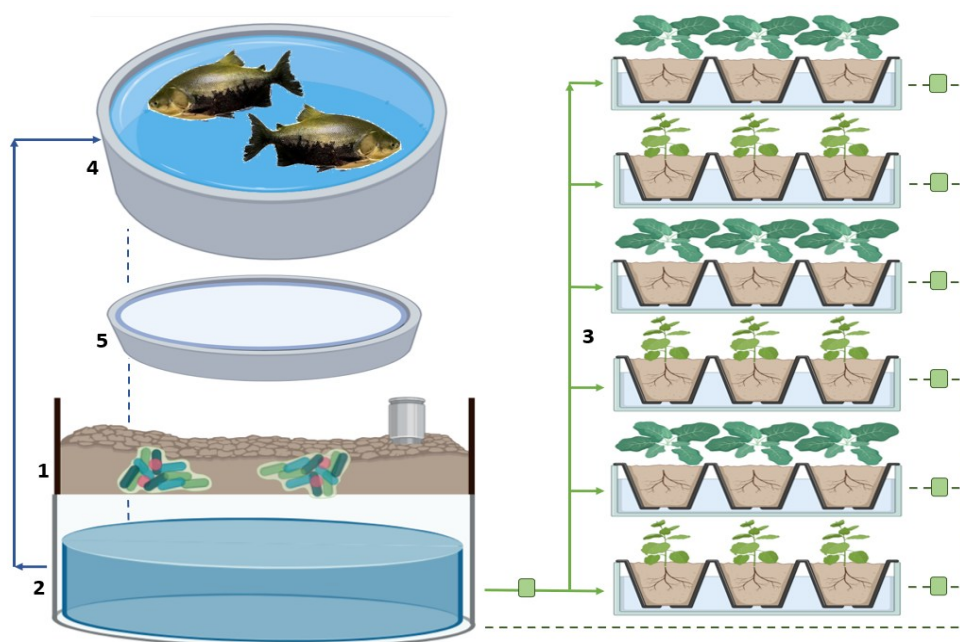
A unidade hidropônica incluiu seis canteiros com jangadas flutuantes (2 × 2,5 × 0,3 m), totalizando 15 m², com placas de poliestireno expandido. Cariru e manjerição foram alternados entre os canteiros, com raízes oxigenadas por pedras difusoras (20 × 30 mm) conectadas a soprador de ar (2 hp).

A água foi bombeada do reservatório para os tanques de peixes a 1.500 L/h, com tempo de residência de 1 h, fluindo por gravidade pelos filtros e retornando ao reservatório. No sistema hidropônico, a vazão foi mantida em 1.500 L/h, com tempo de residência de 1 h 30 min, também com retorno gravitacional.

Antes do experimento, o sistema operou por 30 dias apenas em modo aquícola, permitindo a colonização de bactérias nitrificantes e microrganismos benéficos, estabilizando os nutrientes.

Os exemplares de *Colossoma macropomum* foram adquiridos no CTTPAH (Humaitá-AM). A biomassa foi mantida ≤15 kg (15 kg/m³) para minimizar o estresse. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia (07h e 18h) com ração comercial (Laguna Sport, Brasil), correspondente a 3% da biomassa, contendo 36% de proteína bruta, 12% de lipídios e 3,7% de carboidratos.

Figura 1 – Croqui do sistema de aquaponia



Legenda: 1: Filtro biológico 1m³; 2: Reservatório 1,5m³ com a bomba submersa; 3: Canteiros 15m²; 4: Tanques de peixes 500L cada e 5: Filtro mecânico do tipo *Swirl* 500L. As linhas tracejadas indicam o fluxo da água pela ação da gravidade e as linhas contínuas o fluxo da água pelo uso da bomba d'água. As amostras de água foram recolhidas nos lugares 2 e 3 nos pontos indicados com um quadrado verde. O manjericão e o cariru foram distribuídos intercalados nos canteiros.

2.2 Manjericão e Cariru

Sementes de *Ocimum basilicum* foram adquiridas da Isla Sementes (SC, Brasil), e as de *Talinum triangulare* da propriedade Favera Ferro (Canutama-AM). A semeadura foi realizada diretamente em substrato composto por 70% fibra de coco e 30% vermiculita. Inicialmente irrigadas com água da torneira, as mudas passaram a receber efluente aquapônico diluído e, após o surgimento das primeiras folhas verdadeiras, efluente in natura¹⁷.

Mudas com três folhas verdadeiras, saudáveis e uniformes, foram transplantadas para seis canteiros hidropônicos, em dois tratamentos (cariru e manjericão) com três réplicas cada. A densidade foi de 25 plantas/m², totalizando 750 mudas (375 de cada espécie) em 15 m². Todas foram cultivadas sob as mesmas condições ambientais em estufa.

Ao final do ciclo, 30 plantas por canteiro foram coletadas aleatoriamente para quantificação da biomassa. A parte aérea e as raízes foram separadas na base do caule, pesadas frescas (g) e posteriormente secas a 60 °C até peso constante. Os rendimentos fresco e seco foram calculados com base nas médias por planta, sendo a biomassa total estimada pela multiplicação da biomassa média pelo número de plantas por canteiro⁹.

2.3 Parâmetros de qualidade de água

Temperatura (°C), pH, condutividade elétrica (CE; $\mu\text{S}/\text{cm}$) e oxigênio dissolvido (OD; mg/L) foram monitorados duas vezes ao dia (08h e 16h), antes da alimentação, nos tanques e canteiros, com sonda multiparâmetro (YSI Professionals). A alcalinidade foi medida semanalmente por titulação (Alfakit 2460 e 2058, SC, Brasil).

Para manter OD acima de 6,0 mg/L, utilizou-se bomba de ar (100 L/min). O pH foi ajustado a ~6,8 a cada dois dias, com adição de hidróxido de potássio (2 N) e hidróxido de cálcio saturado (0,05 N) na proporção 1:1, diretamente nos tanques. FeSO_4 (0,5 g Fe/L) foi aplicado foliarmente uma vez por ciclo, devido ao baixo teor de ferro na ração¹⁸. A reposição de água foi feita com água de poço, compensando perdas por evaporação e transpiração. O acúmulo de sódio foi desconsiderado, dado o curto período experimental.

Durante quatro semanas, foram quantificados NH_3 , NO_2^- , NO_3^- e PO_4^{3-} no reservatório e na saída dos canteiros. Seguindo protocolo adaptado de Buzby & Lin⁶, o fluxo dos canteiros foi interrompido semanalmente (mantida a aeração), e amostras foram coletadas nas horas H0, H1, H2, H3 e H4. As análises seguiram métodos fotolorimétricos (Alfakit AT 101), com leitura em fotolorímetro AT100P (Alfakit).

A eficiência de remoção de nutrientes (NH_3 , NO_2^- , NO_3^- e PO_4^{3-}) por *T. triangulare* e *O. basilicum* foi calculada com base na variação das concentrações entre o reservatório e a saída dos canteiros¹⁹.

$$\text{Eficiência de remoção (\%)} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100$$

Onde:

C_i = concentração de entrada

C_e = concentração de saída

2.4 Análise de dados

Os dados foram expressos como média $\pm$ desvio padrão ($n = 3$). A normalidade e homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Aplicou-se MANOVA e ANOVA univariada, seguidas de teste de Tukey para comparações post hoc quando necessário ($\alpha = 0,05$). A correlação entre biomassa total e média de remoção de nutrientes foi avaliada pelo teste de Spearman. As análises foram realizadas no R Studio²⁰.

3 RESULTADOS

3.1 Parâmetros de qualidade da água

A temperatura da água variou de 25,3 a 29,5 °C e o pH foi mantido entre 6,6 e 6,8 nos canteiros das plantas. A condutividade oscilou entre 0,500 e 0,575 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os valores de oxigênio variaram entre 6,43 a 7,47 mg/L. As concentrações máximas observadas de alcalinidade total, dureza total e dureza de cálcio foram de 35,5 mg/L, 187 mg/L e 75,5 mg/L, respectivamente.

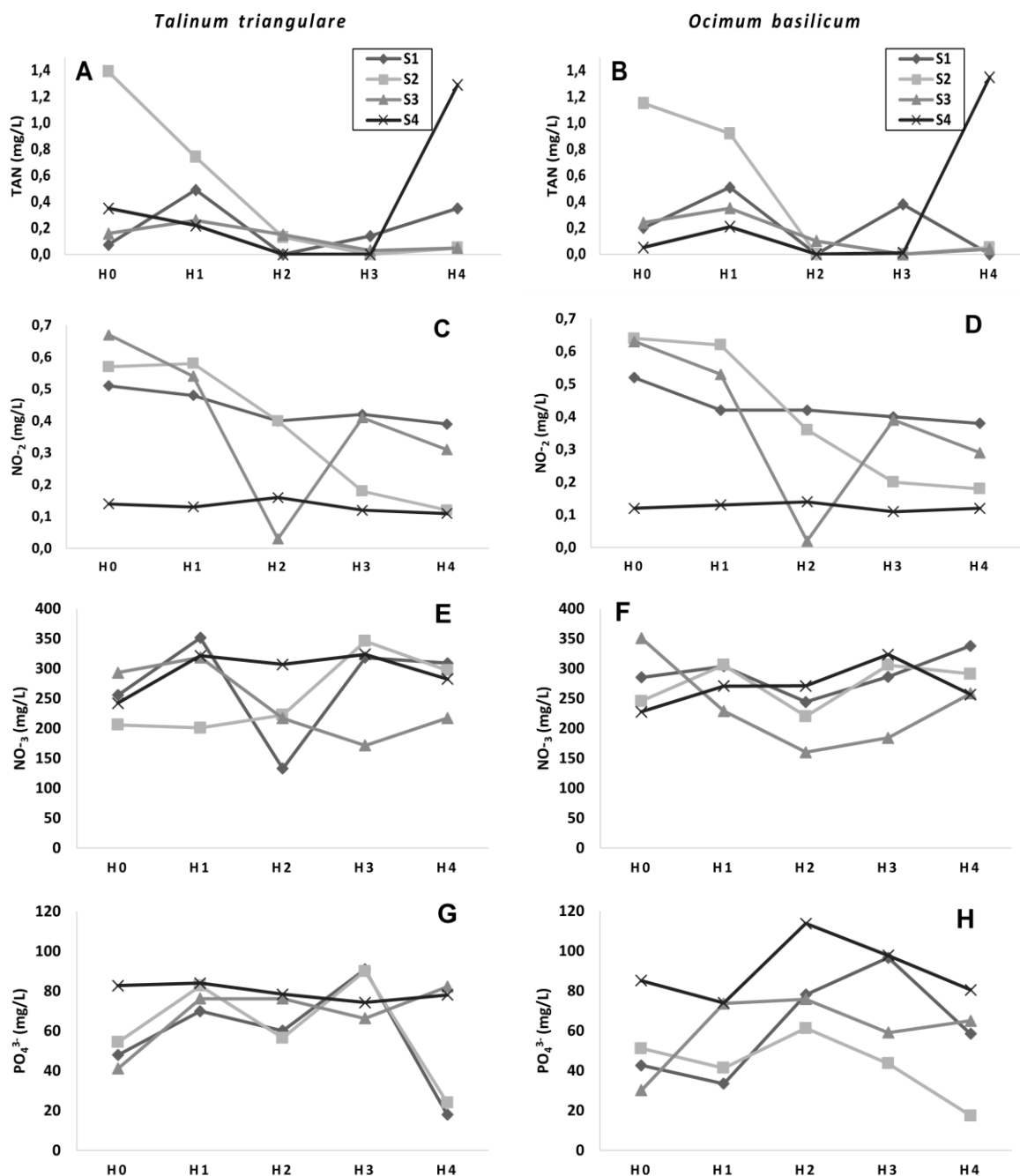
3.2 Concentração de nutrientes e eficiência do *T. triangulare* e *O. basilicum* na sua remoção

A concentração de nutrientes ao longo do experimento apresentou padrões distintos entre as duas espécies estudadas. Para *T. triangulare*, os níveis de TAN foram mais elevados no início das análises (H0), especialmente na segunda semana (S2) com 1,39 mg/L, seguida de uma queda gradual nas horas subsequentes (Fig. 2A). Houve um aumento abrupto e expressivo na H4 da S4 com 1,29 mg/L, sugerindo um acúmulo inesperado de TAN nessa fase final do ciclo semanal. O mesmo padrão ocorreu para *O. basilicum*, tendo a concentração de TAN da H0 da S2 1,15 mg/L e na H4 da S4 1,35 mg/L (Figura 2B).

Os níveis de nitrito (NO_2^-) de *T. triangulare* e *O. basilicum* foram os menores ao longo das horas da última semana (S4), com mínimo de 0,11 e máximo de 0,16 mg/L (Fig. 2C e 2D). As concentrações foram relativamente semelhantes entre as duas espécies nas semanas S1, S2 e S3, em relação até mesmo à queda abrupta para 0,03 mg/L na H2 da S3. Em relação ao nitrato (NO_3^-), as concentrações foram mais estáveis ao longo do tempo para ambas as plantas, tendo a menor concentração de 133,04 mg/L na H2 da S1 do *T. triangulare* (Fig. 2E e 2F).

Já os níveis de ortofosfato (PO_4^{3-}), a menor concentração foi de 17,5 mg/L na H4 da S2 para *T. triangulare* e 18 mg/L H4 da S1 para *O. basilicum* (Fig. 2G e 2H). Para *O. basilicum*, houve um pico notável de fosfato na H2 da quarta semana (S4) com 113,83 mg/L, indicando uma possível fase de maior absorção de fósforo. Enquanto isso, *T. triangulare* manteve as concentrações de PO_4^{3-} relativamente estáveis ao longo do tempo, sem grandes variações entre as semanas e horas analisadas.

Figura 2: Evolução das concentrações de TAN, nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) e ortofosfato (PO_4^{3-}) na água das unidades aquapônicas com *T. triangulare* e *O. basilicum* ao longo do experimento. As medições foram realizadas ao longo de quatro semanas (S1, S2, S3 e S4, correspondendo às semanas 1, 2, 3 e 4) e em diferentes intervalos de tempo dentro de cada semana (H0, H1, H2, H3 e H4, correspondendo às horas 0, 1, 2, 3 e 4).



Em relação à eficiência de remoção, *T. triangulare* pareceu ser mais eficaz na remoção de TAN nas H2 e H3, respectivamente 85,7 e 91% e *O. basilicum* na H2 com 94% (Tab. 1). Já para a remoção de nitrito (NO_2^-), ambas as plantas não conseguiram ter mais de 51% de eficiência. Nenhuma das plantas foi significativamente eficaz na

remoção de nitrato (NO_3^-) ou ortofosfato (PO_4^{3-}), com exceção de um leve efeito para *T. triangulare* em H4 com 4,66%.

Tabela 1 – Eficiência na remoção de nutrientes, ammonium (TAN), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) e ortofosfato (PO_4^{3-}) por *Talinum triangulare* e *Ocimum basilicum* a Hora 1, 2, 3 e 4 (H1, H2, H3 e H4 respectivamente).

Nutriente (mg/L)	Planta	Eficiência da Remoção (%)			
		H1	H2	H3	H4
TAN	<i>T. triangulare</i>	12,5	85,7	91,0	11,2
	<i>O. basilicum</i>	0	94,0	73,9	9,6
Nitrito (NO_2^-)	<i>T. triangulare</i>	8,2	47,7	39,9	50,6
	<i>O. basilicum</i>	11,0	51,0	42,8	49,7
Nitrato (NO_3^-)	<i>T. triangulare</i>	0	0	0	0
	<i>O. basilicum</i>	0	25,95	0	0
Ortofosfato (PO_4^{3-})	<i>T. triangulare</i>	0	0	0	4,66
	<i>O. basilicum</i>	0	0	0	0

3.3 Efeito da idade das plantas na remoção de nutrientes

A análise MANOVA foi conduzida para examinar como dois fatores independentes – espécie de planta (*T. triangulare* e *O. basilicum*) e Semanas (S1, S2, S3 e S4) – influenciam as variáveis dependentes TAN, nitrito, nitrato e ortofosfato, além de avaliar a interação entre esses fatores. Não houve diferença significativa entre *T. triangulare* e *O. basilicum* em relação às variáveis dependentes, por outro lado, o efeito da idade foi altamente significativo (Pillai's Trace = 1.281, $F_{(12,237)} = 14.728$, $p < 0.01$), indicando que os níveis de TAN, nitrito, nitrato e ortofosfato variaram significativamente ao longo do tempo, conforme as semanas avançavam. A interação entre espécie de planta e idade não foi significativa (Pillai's Trace = 0.128, $F_{(12,237)} = 0.884$, $p = 0.563$). Isso sugere que o efeito do tempo (Semanas) sobre as variáveis dependentes foi semelhante para ambas as espécies de planta, ou seja, o padrão de mudança ao longo das semanas não dependeu da espécie de planta.

3.4 Rendimento de *T. triangulare* e *O. basilicum* e a concentração de amônia total, nitrito, nitrato e ortofosfato da água

T. triangulare apresentou maior acúmulo de biomassa total (fresca e seca) em comparação a *O. basilicum*. A altura média foi de 1,17 cm para *T. triangulare* e 0,88 cm para *O. basilicum*. A massa fresca de *T. triangulare* ($221,33 \text{ g planta}^{-1}$) foi 3,4 vezes superior à de *O. basilicum* ($65,07 \text{ g planta}^{-1}$), sendo 199,33 g da parte aérea e 22,00 g das raízes. Na massa seca, *T. triangulare* também se destacou, com 43,30 g frente aos 5,47 g de *O. basilicum* — diferença de quase oito vezes (Tabela 2).

A correlação entre biomassa e nutrientes variou entre as espécies. Em *T. triangulare*, observou-se correlação negativa moderada com nitrito ($\rho = -0,61$, $p < 0,05$) e positiva forte com ortofosfato ($\rho = 0,76$, $p < 0,05$), indicando redução do nitrito e aumento do fósforo com o crescimento vegetal. Já *O. basilicum* apresentou correlação negativa mais forte com nitrito ($\rho = -0,85$, $p < 0,001$), sugerindo maior capacidade de remoção. A correlação com ortofosfato foi positiva, mas moderada ($\rho = 0,56$, $p < 0,05$).

Não foram observadas correlações significativas com TAN ou nitrato em nenhuma das espécies.

Tabela 2 – Massa fresca e seca e altura de plantas cultivadas em sistema aquapônico

Planta	Altura (cm)	Massa fresca (g plant ⁻¹)			Massa seca (g plant ⁻¹)		
		Total	Parte aérea	Raízes	Total	Parte aérea	Raízes
<i>T. triangulare</i>	1,17	221,33	199,33	22,00	43,30	41,82	1,48
<i>O. basilicum</i>	0,88	65,07	52,00	13,07	5,47	4,49	0,98

4 DISCUSSÃO

4.1 Concentração de nutrientes e eficiência do *T. triangulare* e *O. basilicum* na sua remoção

A dinâmica dos nutrientes em sistemas aquapônicos resulta da interação entre excreção dos peixes, atividade microbiana e absorção vegetal de TAN, nitrito, nitrato e ortofosfato^{2,21}. No presente estudo, *T. triangulare* e *O. basilicum* apresentaram padrões distintos de remoção de TAN e nitrito ao longo das semanas, refletindo diferentes capacidades de assimilação.

As concentrações de TAN foram mais elevadas no início das análises (H0), com picos na S2 (1,39 mg/L para *T. triangulare* e 1,15 mg/L para *O. basilicum*), similares aos valores reportados por Hu *et al.*²³. Na H4 da S4, houve novo aumento (1,29 e 1,35 mg/L, respectivamente), possivelmente relacionado à saturação da absorção pelas plantas, como descrito por Buzby & Lin⁶. A eficiência de remoção de TAN variou entre horas e espécies: *T. triangulare* teve melhor desempenho nas H2 e H3 (85,7% e 91%), enquanto *O. basilicum* destacou-se na H2 (94%), em consonância com Junaid *et al.*²². Esses resultados sugerem absorção radicular modulada pela disponibilidade de nitrogênio.

O nitrito apresentou variações menores, com reduções mais evidentes na S4 (mínimos de 0,11 mg/L para *T. triangulare* e 0,16 mg/L para *O. basilicum*), atribuídas à ação conjunta de bactérias nitrificantes e absorção vegetal⁴. Os valores são próximos aos descritos por Hu *et al.*²³, indicando padrão estável de absorção por *O. basilicum*. O nitrato, principal fonte de nitrogênio assimilável²⁴, manteve-se relativamente estável, com o menor valor (133,04 mg/L) registrado para *T. triangulare* na H2 da S1. Essa estabilidade sugere equilíbrio entre absorção e nitrificação, conforme observado por Delaide *et al.*²⁵ e Wongkiew *et al.*²¹.

O ortofosfato apresentou maior variação, com mínimos na H4 da S2 (24 mg/L para *T. triangulare* e 17,5 mg/L para *O. basilicum*) e máximo na H2 da S4 (113,83 mg/L para *O. basilicum*). Essas flutuações refletem o estágio fenológico das plantas e a disponibilidade de fósforo, influenciada por sua baixa solubilidade^{2,26}. A remoção foi baixa para nitrato e ortofosfato, com leve efeito apenas na H4 para *T. triangulare* (4,66%). Essa baixa eficiência já foi relatada por Delaide *et al.*²⁵, sendo atribuída à fixação em substratos e competição iônica.

Em suma, ambas as espécies mostraram potencial para remoção de nutrientes, com variações associadas ao tempo de residência dos compostos e ao crescimento vegetal. As diferenças entre *T. triangulare* e *O. basilicum* indicam que a escolha da espécie deve considerar as demandas específicas do sistema^{9,23}.

4.2 Efeito da idade das plantas na remoção de nutrientes

O estágio de desenvolvimento das plantas influencia diretamente a absorção de nutrientes em sistemas aquapônicos. Neste estudo, a MANOVA indicou efeito altamente significativo da idade das plantas sobre as concentrações de TAN, nitrito, nitrato e ortofosfato (Pillai's Trace = 1.281, $F(12,237) = 14.728$, $p < 0.01$), enquanto a interação espécie $\times$ idade não foi significativa. Isso sugere que ambas as espécies seguiram padrões semelhantes de absorção, modulados pelo ciclo de crescimento.

As concentrações de TAN não variaram significativamente entre as semanas, possivelmente devido à eficiência do sistema de nitrificação e ao balanço entre excreção e absorção²¹. Em contraste, o nitrito variou ao longo do tempo: em *T. triangulare*, houve pico na S3; em *O. basilicum*, a S4 apresentou queda acentuada. Esses resultados corroboram Delaide *et al.*²⁵, que destacam o papel do estágio de crescimento e da taxa de absorção radicular na remoção de nitrito. A baixa absorção nas fases iniciais pode estar associada ao desenvolvimento limitado do sistema radicular e à baixa demanda nutricional²⁴. Khan *et al.*²⁶ ressalta que a absorção depende da fisiologia vegetal, incluindo energia metabólica, diferenciação vascular e demanda interna. Assim, os picos de nitrito na S3 podem indicar transição metabólica, com oferta superando a demanda.

As concentrações de nitrato permaneceram estáveis, sem variações significativas entre semanas, em conformidade com Hu *et al.*²³, que observaram menor variação do NO_3^- em sistemas aquapônicos. Esse equilíbrio sugere uma taxa de absorção compatível com a de nitrificação, favorecendo a estabilidade do sistema⁴. O ortofosfato apresentou comportamento distinto entre espécies: *T. triangulare* manteve níveis estáveis; *O. basilicum* teve queda significativa entre S3 e S4. Essa diferença pode refletir o avanço fenológico e o desenvolvimento radicular²⁶, como também reportado por Saha *et al.*⁹, que observaram aumento na absorção de fósforo após a terceira semana em cultivo hidropônico. Além disso, a disponibilidade de fósforo pode ser limitada por sua precipitação em sistemas aquapônicos².

A ausência de interação significativa entre espécie e idade reforça que a idade da planta é um fator determinante na absorção de nutrientes, conforme observado por Junaid *et al.*²². Estratégias como escalonamento do plantio e ajustes no tempo de colheita podem otimizar a remoção de nutrientes e melhorar a estabilidade do sistema²⁵. Assim, este estudo confirma que a idade da planta é um fator-chave na dinâmica dos nutrientes, especialmente para nitrito e ortofosfato. A estabilidade de TAN e nitrato indica equilíbrio no sistema, enquanto as variações observadas refletem a influência do estágio de crescimento na demanda nutricional. A compreensão dessa relação é essencial para o manejo eficiente e sustentável de sistemas aquapônicos.

4.3 Rendimento de *T. triangulare* e *O. basilicum* e sua relação com a concentração de nutrientes

A relação entre o rendimento biométrico e a dinâmica dos nutrientes é crucial para a eficiência dos sistemas aquapônicos. Neste estudo, *T. triangulare* apresentou maior acúmulo de biomassa fresca ($221,33 \text{ g planta}^{-1}$) e seca ($43,30 \text{ g planta}^{-1}$) em comparação com *O. basilicum* ($65,07 \text{ g}$ e $5,47 \text{ g planta}^{-1}$, respectivamente). Esse desempenho superior está associado à maior eficiência na absorção de fósforo, evidenciada pela forte correlação positiva entre biomassa e ortofosfato ($\rho = 0,76$, $p < 0,05$).

Estudos anteriores confirmam a alta capacidade de absorção de fósforo de *T. triangulare*, atribuída ao rápido metabolismo e elevado crescimento¹⁴. Essa espécie também apresenta altos teores de cálcio e potássio, importantes para a fotossíntese e atividade enzimática, além de potencial para biofortificação com micronutrientes como o zinco¹⁶. Para *O. basilicum*, a correlação entre biomassa e fósforo foi moderada ($\rho = 0,56$, $p < 0,05$), e a correlação com nitrito, negativa e forte ($\rho = -0,85$, $p < 0,001$), indicando maior eficiência na remoção de compostos nitrogenados, especialmente nitrito⁹.

Na alocação de biomassa, *T. triangulare* concentrou o crescimento na parte aérea ($199,33 \text{ g planta}^{-1}$), enquanto o manjeriço, embora com menor crescimento total, apresentou maior proporção radicular ($13,07 \text{ g planta}^{-1}$ vs. $22,00 \text{ g planta}^{-1}$). Esse padrão pode favorecer a absorção de nutrientes dissolvidos, como indicam Espinosa-Moya *et al.*²⁷ e Braglia *et al.*²⁸, explicando a maior eficiência de *O. basilicum* na remoção de nitrito.

A correlação negativa entre biomassa e nitrito em ambas as espécies sugere um papel ativo das plantas na depuração do sistema. Por outro lado, a ausência de correlação significativa com TAN e nitrato indica que esses nutrientes não foram limitantes. Lennard & Goddek² destacam que a remoção de nitrato depende da densidade de plantio e do tempo de residência da água. Em síntese, *T. triangulare* se destaca pelo vigor e eficiência na captação de fósforo, enquanto *O. basilicum* contribui para a redução do nitrito. Essa complementaridade pode ser explorada em cultivos mistos, otimizando a remoção de nutrientes e promovendo maior sustentabilidade ao sistema¹.

5 CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que *Talinum triangulare* e *Ocimum basilicum* apresentam desempenhos distintos na remoção de nutrientes em sistemas aquapônicos, influenciados pela biomassa e pelo estágio de crescimento. *T. triangulare* destacou-se pela maior produção de biomassa e elevada absorção de ortofosfato, configurando-se como espécie eficiente no aproveitamento dos recursos do sistema. Já *O. basilicum* apresentou maior remoção de nitrito, contribuindo para a manutenção da qualidade da água.

A eficiência de absorção variou com a idade das plantas, ressaltando a importância do manejo do ciclo de cultivo para otimizar a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados. As correlações entre biomassa e nutrientes reforçam a necessidade de ajustar a densidade de plantio e o tempo de cultivo para equilibrar a produtividade vegetal com a disponibilidade de nutrientes para os peixes.

Portanto, a escolha das espécies deve considerar tanto a eficiência na absorção de nutrientes quanto o impacto do crescimento vegetal na estabilidade do sistema. O cultivo consorciado de espécies com perfis complementares de absorção surge como estratégia promissora para ampliar a remoção de compostos indesejáveis e aumentar a sustentabilidade dos sistemas aquapônicos. Os resultados reforçam o potencial da aquaponia como alternativa sustentável para a produção de alimentos, incentivando o aprimoramento de técnicas de manejo e diversificação de culturas.

REFERÊNCIAS

1. Baganz GFM, Junge R, Portella MC, Goddek S, Keesman KJ, Baganz D, Staaks G, Shaw C, Lohrberg F, Kloas W. The aquaponic principle: It is all about coupling. *Rev. Aquac.* 2022; 14:252–264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>.
2. Lennard W, Goddek S. Aquaponics: The Basics, in: Goddek S, Joyce A, Kotzen B, Burnell GM (Eds.) *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer International Publishing. 2019; pp 113–143. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_5.
3. Lennard W. The symbiaponics aquaponics method: a precision nutrient mass balance method for sizing & managing aquaponic systems. Ed. Wilson Lennard. 2021; Acesso em: <https://drive.google.com/file/d/1Br3EhWX6nzpSQGaomS4Cg9c8NXzekx9g/view?pli=1>.
4. Eck, M., Körner, O., Jijakli, M.H. (2019). Nutrient Cycling in Aquaponics Systems. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Burnell, G.M. (eds) *Aquaponics Food Production Systems*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9
5. Yildiz YH, Robaina L, Pirhonen J, Mente E, Domínguez D, Parisi G. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces: a review. *Water*. 2017; 9(1):13. <https://doi.org/10.3390/w9010013>
6. Buzby KM, Lin L. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*. 2014; 63:39–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.09.002>.
7. Gomes LC, Simões LN, Araújo-Lima CARM. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: Baldissierotto B, Gomes LC (Eds) *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*, UFSM, Santa Maria; 2010. p. 175-204.

8. Pinho SM, David LH, Garcia F, Keesman KJ, Portella MC, Goddek S. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquac. Int.* 2021; 29:1427–1449. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>.
9. Saha S, Monroe A, Day MR. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Science*, 2016; 61. 181–186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aosas.2016.10.001>.
10. Knaus U, Pribbernow M, Xu L, Appelbaum S, Palm HW. Basil (*Ocimum basilicum*) Cultivation in Decoupled Aquaponics with Three Hydro-Components (Grow Pipes, Raft, Gravel) and African Catfish (*Clarias gariepinus*) Production in Northern Germany. *Sustainability*, 2020; 12(20), 8745. <https://doi.org/10.3390/su12208745>.
11. Giang TV, Huyen TT, Hai NH. Application of combined fertilizers to improve growth, yield and essential oil composition of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024; 185(2):50-59. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-2-50-59>.
12. Nya E, Uffia I, Elijah G, Eka M, Owoh L. Molecular Characterization of *Talinum triangulare* (Jacq.) Wild Germplasm Using DNA Barcoding Method. *European Journal of Biology and Biotechnology*. 2023; Vol 4, Issue 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.24018/ejbio.2023.4.2.377>.
13. Afolabi OB, Olasehinde OR, Owolabi OV, Jaiyesimi KF, Adewumi FD, Idowu OT, Mabayoje SO, Obajuluwa AO, Akpor OB. Insight into antioxidant-like activity and computational exploration of identified bioactive compounds in *Talinum triangulare* (Jacq.) aqueous extract as potential cholinesterase inhibitors. *BMC Complementary Medicine and Therapies*. 2024; 24:134 <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04424-2>.
14. Alexandre ECF, Andrade JWS, Jakelaitis A, Pereira LS, Sousa GD, Oliveira GS. composição mineral e bromatológica de *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd cultivada sob sombreamento. *Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável*. 2018; 8(2). <https://doi.org/10.21206/rbas.v8i2.491>
15. Araujo AF, Silva Filho DF, Blind AD, Figueiredo JNR, Souza LAG. Rendimento do caruru, *Talinum triangulare*, em sistema de cultivo hidropônico. *Scientia Plena*. 2018; 14, 070201. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2018.070201>.
16. Souza MMV, Souza ADV, Rodrigues AA, Batista PF, Castro ST, Silva IMHL, Jakelaitis A, Costa AC, Sales JF. The allelopathic effects of aqueous *Talinum triangulare* (jacq.) willd extracts on the development of *Lactuca sativa* L. seedlings. *Brazilian Journal of Biology*. 2024; vol. 84, e279983. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.279983>.
17. Kim HJ, Yang T, Lin MY, Langenhoven P. Plant propagation for successful hydroponic production. *Acta Hort.* 2018; 1212, 109–116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1212.22>.

- 18.Kasozi N, Abraham B, Kaiser H, Wilhelmi B. The complex microbiome in aquaponics: significance of the bacterial ecosystem. *Ann. Microbiol.* 2021; 71. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01613-5>.
- 19.Boxman SE, Nystrom M, Capodice JC, Ergas SJ, Main KL, Trotz MA. Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. *Aquac. Res.* 2017; 48(5):2463–2477. <https://doi.org/10.1111/are.13083>.
- 20.R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2024. Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 21.Wongkiew S, Hu Z, Chandran K, Lee JW, Khanal SK. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering.* 2017; 76, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>.
- 22.Junaid AA, Kamarudin MS, Junaid QO, Edaroyati WP, Isyaka MS, Dauda AB, Umar DM, Igoli JO, Amin SMN. Nutrient uptake and recovery potentials of *Ocimum basilicum* and *Corchorus olitorius* in a polyculture aquaponic system. *Scientific African.* 2023; 20. e01645. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01645>.
- 23.Hu Z, Lee JW, Chandran K, Kim S, Brotto AC, Khanal SK. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics, *Bioresour. Technol.* 2015; 188, 92–98, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>.
- 24.Ye JY, Tian WH, Jin CW. Nitrogen in plants: from nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology.* 2022; 2:4. <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00030-1>.
- 25.Delaide B, Delhaye G, Dermience M, Gott J, Soyeurt H, Jijakli MH. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system, *Aquac. Eng.* 2017; 78, 130–139. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>.
- 26.Khan MIR, Nazir F, Maheshwari C, Chopra P, Chhillar H, Sreenivasulu N. Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *The Plant Genome.* 2023; 16:e20362. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>.
- 27.Espinosa-Moya A, Álvarez-González A, Albertos-Alpuche P. Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems. *Ata Universitaria.* 2018; 28(2):1–8. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1387>.
- 28.Braglia R, Costa P, Di Marco G. Phytochemicals and Quality Level of Food Plants Grown in an Aquaponics System. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2022; 102, no. 2: 844–850. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11420>.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM/POSGRAD.