

PRODUÇÃO DE ALFACE EM AQUAPONIA: INFLUÊNCIA DO TEOR DE PROTEÍNA BRUTA NA RAÇÃO AOS PEIXES

¹Luís Antônio Kioshi Aoki Inoue; ²Maikely Larissa Bormann Maciel dos Santos; ³Larissa Selini Dorce;

⁴Erika do Carmo Ota; ⁴Tarcila Souza de Castro Silva

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

² Faculdade Anhanguera de Dourados, Curso Medicina Veterinária, Dourados, MS

³ Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, MS

⁴ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Projeto BRS AQUA/CNPq, Dourados, MS

RESUMO: A aquaponia é a integração da aquicultura à produção vegetal. Isso é possível graças ao acúmulo de nutrientes oriundos das rações fornecidas aos peixes e do metabolismo dos organismos aquáticos. Entretanto, mais estudos são necessários para o aperfeiçoamento da produção de peixes e vegetais em aquaponia. O presente trabalho avaliou a influência da utilização de duas rações comerciais para peixes, sendo uma de 36% e a outra 45% de proteína bruta. Foram montados seis minissistemas de aquaponia para o teste das duas rações em triplicatas. Os resultados indicaram tendência de melhor crescimento dos peixes que receberam a ração de 45% de proteína bruta. Porém o crescimento de alface foi superior ($P < 0,05$) nos minissistemas de aquaponia, em que os peixes receberam a ração de 36% de proteína bruta. Rações para peixes em aquaponia devem ser confeccionadas e utilizadas levando-se em consideração o sistema como um todo e não somente do ponto de vista da nutrição animal. Os sistemas aquapônicos são complexos, sendo o equilíbrio entre todos os componentes como os peixes, ração, plantas e microrganismos o principal fundamento para o seu pleno funcionamento.

Palavras-chave: aquicultura, *Carassius aurata*, peixes ornamentais.

LETTUCE PRODUCTION IN AQUAPONICS SYSTEM: INFLUENCE OF THE CRUDE PROTEIN LEVEL TO THE FISH

ABSTRACT. Aquaponia integrates aquaculture and vegetal production. This is possible due to the nutrients accumulation from the aquafeeds, and the aquatic organisms metabolism. However, more studies are necessary for the amelioration and production increases of the fish and plants in this system. The study evaluated the influences of two commercial fish feeds in aquaponia (36% and 45% crude protein). In this way, six experimental aquaponics systems were assembled for the test in triplicates. The results showed tendency of higher fish growth fed 45% crude protein. Nevertheless, plant growth was higher ($P < 0.05$) in the aquaponics systems that fish were fed 36% crude protein. Fish feeds in aquaponics systems should be tailored and used considering the system as a whole and not only from the view of the fish nutrition. Aquaponics systems are complex. Equilibrium among all the components as fish, feeds, plants and microorganisms is the main foundation for the full operation.

Keywords: Aquaculture, *Carassius aurata*, goldfish.

PRODUCCIÓN DE LECHUGAS EN ACUAPONIA: INFLUENCIA DEL NIVEL DE PROTEÍNA EN EL ALIMENTO DE LOS PECES

RESUMEN. Acuaponia es la integración de la acuicultura y de la producción vegetal. Eso es posible por el acumulo de nutrientes perdidos de los pellets para el agua y de los nutrientes resultantes del metabolismo de los peces y bacterias contenidas en el medio. Pero son necesarios más trabajos todavía para el mejor manejo de la acuaponia y aumentos de las producciones de peces y plantas. Evaluamos la influencia de dos alimentos comerciales para peces en acuaponia (36% y 45% de proteína). Hicimos seis mini sistemas experimentales de acuaponia para el teste en triplicadas. Los resultados demostraron tendencia de mejor crecimiento de los peces alimentados con pellets de 45% de proteína. Entretanto, el crecimiento de plantas fuera mayores en los sistemas de acuaponia con peces alimentados con pellets de 36% de proteína. Alimentos para peces en acuaponia deben ser fabricados y utilizados pensando en el sistema como un todo. Y no solamente del punto de vista de la nutrición de los peces. Los sistemas acuaponicos son complejos. El equilibrio entre todos los componentes como peces, alimentos artificiales, plantas y microorganismos es el principio para su funcionamiento exitoso.

Palabras-clave: Acuicultura; *Carassius aurata*; peces ornamentales.

INTRODUÇÃO

A aquaponia é a produção integrada de organismos aquáticos e vegetais. Peixes são mantidos e alimentados em sistemas de recirculação de água, onde essa após passar por filtros mecânicos e biológicos serve também para o crescimento de plantas alojadas em estruturas de hidroponia. Isso é possível, devido ao acúmulo de nutrientes oriundos das rações. Alguns sofrem transformações características do meio aquático, como o ciclo do nitrogênio sendo disponibilizado às plantas¹. Porém a aquaponia é um sistema que necessita de mais informações científicas, como a influência dos alimentos fornecidos aos organismos aquáticos, vazão e qualidade da água e disponibilidade de nutrientes às plantas, bem como os seus reflexos na produção, especialmente a vegetal².

As rações para peixes, mesmo em aquaponia, são formuladas para atender somente as demandas desses animais. Porém o arraçoamento é a principal entrada de nutrientes às plantas no sistema em questão. Existe um conceito geral da aquaponia, de que 60 a 100 gramas de ração que entra no sistema é o suficiente para o cultivo de um metro quadrado com plantas³. Entretanto, devido à grande diversidade de formulações de rações para peixes, autores como Cerozi⁴ et al. propõem outras visões da disponibilização dos nutrientes via ração para as plantas em aquaponia.

O objetivo do presente estudo foi avaliar efeitos da utilização de duas rações comerciais para peixes (*Carassius auratus*), 36% e 45% de proteína bruta, em minissistemas experimentais de aquaponia, como forma de melhor conhecer as relações dos nutrientes nos sistemas de aquaponia e sua relação com a produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Seis minissistemas de aquaponia foram montados um ao lado do outro em área externa do Laboratório de Piscicultura da Embrapa Agropecuária Oeste, para que fosse possível receber luz solar. Cada minissistema era composto por uma caixa plástica de 100 L (75 x 40 x 55 cm) para estocagem dos peixes, uma bomba submersa de aquário (500 L/h) e uma cama de cultivo e filtração biológica, composta de grãos de argila expandida (20 L), alojadas em outra caixa plástica (55 x 35 x 15 cm) com orifício, flange e pedaço de cano para manutenção de nível e circulação de água. Os minissistemas estão descritos em detalhes em outra publicação⁵.

Duas rações comerciais para peixes com 36% e 45% de proteína bruta foram testadas em triplicatas. Os tratamentos foram sorteados para casualização. Na Tab 1. estão as análises químicas realizadas das rações e outras informações dos rótulos.

(Tabela 1). Composições das rações (informações de rótulo e analisadas) utilizadas em ensaio de aquaponia para avaliação do crescimento de peixes e vegetais.

	Ração		Origem do dado
	36%	45%	
Umidade (g/kg)	120	120	rótulo
Proteína bruta (%)	35.05 ± 0.48	46.09 ± 0.13	analisado
Fibra bruta (g/kg)	50	35	rótulo
Extrato etéreo (g/kg)	70	90,00	rótulo
Materia mineral (g/k	140	150,00	rótulo
P (g/kg)	13.54 ± 0.31	14.43 ± 0.29	analisado
K (g/kg)	10.65 ± 0.17	12.35 ± 0.08	analisado
Ca (g/kg)	21.59 ± 0.60	23.60 ± 0.51	analisado
Fe (mg/kg)	457.24 ± 37.88	557.76 ± 47.22	analisado
Mg (g/kg)	1.93 ± 0.03	1.55 ± 0.02	analisado
S (g/kg)	4.67 ± 0.05	5.35 ± 0.04	analisado
Zn (mg/kg)	139.87 ± 2.01	285.24 ± 6.13	analisado
Mn (mg/kg)	79.58 ± 3.12	66.89 ± 1.42	analisado
Cu (mg/kg)	14.94 ± 0.29	16.61 ± 0.19	analisado
B (mg/kg)	2.82 ± 0.12	6.80 ± 0.18	analisado

Análises de plantas foram realizadas com base nos procedimentos padrões da AOAC⁶. Quatro peixes ornamentais, kinguios (*Carassius auratus*), foram estocados em cada minissistema e alimentados duas vezes ao dia até a saciedade aparente por 105 dias. Cada cama de cultivo recebeu três mudas de alface, retiradas de bandejas de produção de mudas, adquiridas no mercado local. As plantas apresentavam-se homogêneas em idade e tamanho. Semanalmente os sistemas eram sifonados até a metade para limpeza. Em seguida o nível de água era restabelecido por meio de adição de água da rede doméstica. Foram feitos três cultivos de alfaces em cada minissistema de aquaponia, sendo que cada um durou 35 dias.

Foram avaliados os crescimentos dos peixes e plantas. As plantas foram pesadas e medidas no início e no final de cada período de crescimento vegetal (35 dias). Foram ainda determinadas nas raízes e folhas o teor de umidade. Os peixes foram contados, pesados e medidos no início (dia 1) e no final do experimento (dia 105).

A partir dos valores de peso e comprimento dos peixes no início e fim do experimento em cada minissistema de aquaponia foram calculados:

- Biomassa inicial (g/caixa) = somatório do peso individual no início do experimento
- Biomassa final (g/caixa) = somatório peso individual no final do experimento
- Ganho de biomassa (g/caixa) = Biomassa final (g/caixa) – Biomassa inicial (g/caixa)
- Ganho em peso (g) = Peso médio final (g) – Peso médio inicial (g)
- Ganho em comprimento (cm) = Comprimento médio final (cm) – Comprimento médio inicial (cm)
- Sobrevivência = (número de peixes no final do experimento/densidade inicial)*100
- Conversão alimentar aparente = Ração fornecida (g/caixa) / Ganho de biomassa.

Os dados foram submetidos ao teste U, não paramétrico de Mann-Whitney. Adotou-se o nível de significância de 5%.

Os procedimentos experimentais foram avaliados e aprovados pela CEUA Embrapa Pantanal (Certificado 02_2020).

RESULTADOS

Os parâmetros de crescimento dos peixes não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$). Porém foram observadas tendências de melhor crescimento dos peixes alimentados com a ração contendo 45% de proteína bruta, de acordo ao observado na Tab 2.

(Tabela 2). Crescimento de peixes ornamentais e produção vegetal total em minissistemas de aquaponia sob duas condições de alimentação artificial - 36% e 45% proteína bruta durante 105 dias.

Variáveis	Densidade (quatro peixes/sistema)	
	Ração 36%	Ração 45%
Biomassa inicial (g/cx)	139,9±2,2	146,5±6,7
Biomassa final (g/cx)	209,0±64,7	231,9±9,1
Ganho de biomassa (g)	63,0±60,0	92,0±11,1
Peso inicial (g)	36,6±1,7	35,0±0,5
Peso final (g)	52,3±16,2	58,0±2,3
Ganho em peso (g)	15,9±15,4	23,0±2,7
Sobrevivência (%)	83,3±14,4	100
Conversão alimentar	2,4±1,1	1,8±0,2
Produção vegetal total (g)	737±32 ^a	601±108 ^b

Por outro lado, a maior produção vegetal ocorreu nos minissistemas de peixes alimentados com a ração de 36% de proteína bruta como observado na Tab 3.

(Tabela 3). Crescimento de alface em minissistemas de aquaponia com peixes alimentados com duas rações comerciais de 36% e 45% de proteína bruta.

Variáveis	Densidade (quatro peixes/sistema)	
	Ração 36%	Ração 45%
Colheita 1		
massa vegetal total (g/cx)	165±28 ^a	125±34 ^b
massa folhas (g/cx)	128±16 ^a	102±30 ^b
massa raízes (g/cx)	37±13 ^a	23±4 ^b

comprimento total (cm)	47±3	46±4
comprimento folhas (cm)	28±1	28±2
comprimento raízes (cm)	18±2	18±3
<hr/>		
Colheita 2		
<hr/>		
massa vegetal total (g/cx)	194±50 ^a	162±12 ^b
massa folhas (g/cx)	131±31 ^a	106±16 ^b
massa raízes (g/cx)	63±19 ^a	49±6 ^b
comprimento total (cm)	46±5 ^a	39±3 ^b
comprimento folha (cm)	19±1	19±1
comprimento raiz (cm)	26±5 ^a	21±3 ^b
<hr/>		
Colheita 3		
<hr/>		
massa vegetal total (g/cx)	377±71	314±82
massa folhas (g/cx)	274±80	240±68
massa raízes (g/cx)	104±10	74±14
comprimento total (cm)	57±6 ^a	50±3 ^b
comprimento folhas (cm)	25±3 ^a	23±1 ^b
comprimento raízes (cm)	29±5	29±5

Valores de massa vegetal total, folhas e raízes foram obtidas pela soma de 3 plantas.

Os valores de peso das folhas, peso das raízes e peso total das plantas foram sempre maiores nos minissistemas de aquaponia de peixes alimentados com ração de 36% de proteína bruta. Na colheita 2, os valores de comprimento total e comprimento de raízes foram mais altos nas unidades, em que os peixes receberam a ração de 36% de proteína bruta. Na colheita 3, os valores de comprimento total e comprimento de folhas foram superiores nos minissistemas de aquaponia, aos quais os peixes receberam a ração de 36%

de proteína bruta. Os valores de umidade das folhas e raízes não apresentaram diferenças e tiveram em torno de $92,6 \pm 3,2\%$ nas folhas e $92,7 \pm 1,4\%$ nas raízes.

A composição mineral de folhas, apresentadas na Tab. 4, apresentou maiores valores de enxofre e manganês nos minissistemas de aquaponia de peixes alimentados com ração de 36% de proteína bruta.

(Tabela 4). Composição mineral de folhas de alface cultivadas em aquaponia com fornecimento de duas rações distintas aos peixes.

	Ração 36% proteína		Ração 45% proteína	
P (g/kg)	6,87 ±	0,62	6,88 ±	0,89
K (g/kg)	55,87 ±	11,56	51,86 ±	9,09
Ca (g/kg)	32,02 ±	7,42	32,47 ±	8,72
Mg (g/kg)	4,41 ±	0,49	4,89 ±	0,95
S (g/kg)	4,44 ±	0,76 a	3,62 ±	0,99 b
Zn (mg/kg)	520,72 ±	174,38	480,57 ±	306,33
Mn (mg/kg)	910,42 ±	161,95 a	318,86 ±	238,5 b
Fe (mg/kg)	1008,66 ±	168,37	1037,82 ±	89,49
Cu (mg/kg)	11,53 ±	2,62	11,24 ±	1,43
B (mg/kg)	25,6 ±	1,97	26,97 ±	1,9
PB	28,27 ±	2,3	29,65 ±	1,92
N (%)	4,52 ±	0,37	4,74 ±	0,31

Já a composição mineral de raízes apresentou maiores teores de potássio e magnésio nos sistemas em que os peixes receberam ração de 36% de proteína bruta. Enxofre, nitrogênio e proteína bruta foram maiores nas raízes das plantas cultivadas em aquaponia de peixes que receberam a ração de 45% de proteína bruta, conforme observado na Tab 5.

(Tabela 5). Composição mineral de raízes de alface cultivadas em aquaponia com fornecimento de duas rações distintas aos peixes.

	Ração 36% proteína		Ração 45% proteína	
P (g/kg)	6,1 ±	1,78	8,19 ±	4,58
K (g/kg)	11,9 ±	1,56 a	9,69 ±	1,68 b
Ca (g/kg)	17,22 ±	2,15	18,91 ±	10
Mg (g/kg)	37,89 ±	7,2 a	27,41 ±	5,31 b
S (g/kg)	3,14 ±	0,46 b	5,55 ±	1 a
Zn (mg/kg)	451,7 ±	177,71	494 ±	116
Mn (mg/kg)	329,64 ±	129,93	277 ±	50
Fe (mg/kg)	13361 ±	1358	12468 ±	15
Cu (mg/kg)	58,53 ±	8,44	70,52 ±	16,34
B (mg/kg)	54,3 ±	5,53	51,32 ±	477
PB	15,86 ±	2,79 b	19,46 ±	1,76 a
N (%)	2,54 ±	0,45 b	3,11 ±	0,28 a

DISCUSSÃO

A integração da aquicultura à produção vegetal é possível na aquaponia, graças à atividade biológica de bactérias como as do ciclo do nitrogênio, naturalmente presentes no meio aquático. Era esperado que nos minissistemas de peixes alimentados com ração de 45% de proteína bruta houvesse melhor crescimento dos animais⁷ e vegetais⁸, já que as taxas de entrada de nitrogênio proteico para o crescimento e a excreção amoniacal, factível de se converter a nitrato pelo processo de nitrificação, eram maiores⁹. No entanto, somente os peixes apresentaram a tendência de melhor crescimento com a ração de 45% de proteína bruta. Souto¹⁰ et al. relataram melhor desempenho zootécnico em kinguios alimentados com rações de 3200 kcal/kg de energia e 38-40% de proteína digestíveis. Essa observação pode indicar que no presente trabalho os peixes alimentados com a ração de 45% de proteína bruta aparentemente receberam a dieta mais aproximada das suas exigências nutricionais.

A produção de plantas, pelo contrário, foi mais alta na condição, em que os peixes foram alimentados com ração de 36% de proteína bruta, apresentando maior produção de massa vegetal nas três colheitas realizadas. Este resultado coloca em evidência de que as características das rações para peixes em aquaponia devem ser pensadas não somente em relação à aquicultura. O balanceamento de rações e o manejo alimentar dos peixes podem ser limitantes às plantas em aquaponia, já que o arraçoamento é a única entrada de

nutrientes nos sistemas¹¹. Porém a maior parte dos trabalhos em aquaponia se referem aos efeitos apenas da quantidade de alimento fornecido aos peixes⁸, sendo necessárias mais informações sobre as características físicas, químicas e biológicas das rações, bem como o manejo alimentar empregado nesse sistema, tais como frequências alimentares, taxas de alimentação em diferentes temperaturas, vazões da água e métodos de processamento dos alimentos para peixes em aquaponia. Mais estudos são ainda necessários a respeito das transformações orgânicas dos nutrientes oriundos das rações nos sistemas^{2, 12, 13}.

Na aquaponia, as rações fazem indiretamente a nutrição das plantas, podendo influenciar em sua composição nutricional. A composição nutricional das plantas apresentou relação com a das rações, uma vez que o maior de enxofre, nitrogênio e proteína bruta foram observados nas raízes dos minissistemas que receberam a ração com maior teor de proteína bruta e enxofre. O mesmo foi observado para o teor de magnésio e manganês, os quais foram mais elevados nos minissistemas que receberam a ração com 36% PB e que continha as maiores quantidades desses minerais. Por outro lado, os demais nutrientes (fósforo, potássio, cálcio, ferro, zinco, cobre e boro) tiveram concentrações mais altas na ração de 45%, mas não houve relações em seus teores nas folhas e raízes analisadas. Possivelmente esses teores, mesmo que menores na ração de 36%, foram suficientes para a nutrição das plantas e assim não foram constatadas deficiências nutricionais aparentes. A maioria dos minerais podem já estar presentes nos aditivos comerciais de rações de organismos aquáticos. Ou ainda são possivelmente metabolizados e retidos pelos peixes para posterior disponibilização às plantas¹¹, porém mais estudos são necessários.

Os resíduos das rações e peixes podem suprir a maioria dos nutrientes para as plantas em aquaponia se é atingido equilíbrio entre a quantidade de ração diária fornecida, volume do sistema, vazão, tipo e tamanho de cama de cultivo (NFT nutrient film technique ou floating etc), variedade e quantidade de plantas entre outros fatores⁸. Porém o lodo, oriundo do alimento não consumido e fezes dos peixes, pode levar a perda de até metade dos nutrientes disponíveis no sistema, como o fósforo¹². Goddek¹⁴ relataram processos anaeróbicos e queda de pH em sistemas aquapônicos ricos em matéria orgânica, o que pode ser prejudicial aos peixes e plantas. Em adição, Cerozi e Fitzsimmons¹⁵ descreveram melhor disponibilidade de fósforo para as plantas em sistemas aquapônicos com pH de 5,5 a 7,2 e com influência positiva da alcalinidade e da matéria orgânica dissolvida. No presente trabalho, possivelmente os sistemas de aquaponia que receberam

a ração de 45% de proteína ficaram menos equilibrados, já que foi observado melhor crescimento de plantas nos sistemas que receberam ração de 36% de proteína. Possivelmente ainda produziram mais resíduos sólidos. Seria desejável a retirada contínua desses excessos de ração não consumida e fezes dos peixes em aquaponia por meio de decantadores e filtros mecânicos mais eficientes. Existe a proposição da utilização de sistemas desacoplados de tratamento do lodo da aquaponia, para mineralização e posterior disponibilização de nutrientes para plantas, entretanto maiores estudos são ainda necessários^{12, 14}.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento e aprimoramento de rações para peixes em condições de aquaponia é um desafio, já que os alimentos artificiais disponíveis para organismos aquáticos são dimensionados para atenderem as exigências nutricionais em aquicultura somente. Em aquaponia, as rações devem levar em consideração as necessidades biológicas dos animais, plantas e microrganismos presentes no sistema como um todo. Isso pode ser relevante nas condições em que a produção de plantas tem a maior participação na geração de renda, ou ainda onde um aumento na produtividade vegetal pode levar a um aumento significativo da lucratividade da atividade.

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA (06.14.07.011.00.02.006; 26.14.07.011.00.02), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) e Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado do Mato Grosso do Sul (FUNDECT) pelo apoio financeiro. Agradecemos ao Sr. Edson da Silva pelo apoio técnico.

REFERÊNCIAS

1. Rahmatullah R, Das, M, Rahmatullah, SM. Suitable stocking density of tilapia in an aquaponic system. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, v. 14, n. 1-2, p. 29-35, 2010.
2. Cerozi B. A aquaponia funciona muito bem! *Panorama da Aquicultura*, v. 185, p. 30-35, 2022.

3. Somerville C, Cohen M, Pantanella E, Stankus A, Lovatelli A. Small-scale aquaponic food production. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 589, 487 p., 2014.
4. Cerozi B, Oliveira-Neto JW, Leonel RARCD, Alves APC. Nutrient release coefficient: a proposed batch reactor assay to determine the elemental composition of aquaponic nutrient solutions. *Aquaculture International*, v. 30, p. 735-746, 2022.
5. Mendonça WCB, Santana AF, Marcondes, AS, Banhara DGA, Sousa RM, Ziemniczak HM, Inoue LAKA, Silva CAH. Produção de massa verde e ganho em peso de peixes ornamentais em mini sistema doméstico de aquaponia. *Agrarian*, v. 13, n. 50, p. 529-534, 2020.
6. AOAC. Association of Official Agricultural Chemists International. The Official methods of analysis. 19th ed. Gaithersburg, MD, USA, 2012.
7. Lochmann RT, Phillips H. Dietary protein requirement of juvenile golden shiners (*Notemigonus crysoleucas*) and goldfish (*Carassius auratus*) in aquaria. *Aquaculture*, v. 128, n. 3-4, p. 277-285, 1994.
8. Emerenciano MGC, Mello G, Pinho SM, Molinari D, Blum MN. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. *Panorama da Aquicultura*, v. 25, p. 24-35, 2015.
9. Kaushik SJ. Influence of the nutritional status on the daily pattern of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio* L.) and the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Reproduction, Nutrition Development*, v. 20, p. 1751-1765, 1980.
10. Souto C, Lemos MVA, Martins GP, Guimarães IG. Protein to energy ratios in goldfish (*Carassius auratus*) diets. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 37, n. 6, p. 550-558, 2013.
11. Robaina L, Pirhonen J, Mente E, Goosen NJ. Fish diets in aquaponics. In: Goddek S, Joyce A, Kotzen B, Brunell G. (org.) *Aquaponics food production systems*. Suíça: Springer Nature Switzerland. 2019. DOI: [10.1007/978-3-030-15943-6_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_13)
12. Rakocy JE, Shultz RC, Bailey DS, Thoman ES. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae*, v. 648, p. 63-69, 2004.

13. Hussain T, Verma AK, Tiwari VK, Prakash C, Rathore G, Shete AP, Sarahran N. Effect of water flow rates on growth of *Cyprinus carpio* and spinach plant in aquaponic system. *Aquaculture International*, v. 23, p. 369-384, 2015.
14. Goddek S, Delaide B, Joyce A, Wuertz S, Keesman K. Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. *Aquaculture Engineering*, v. 83, p. 10-19, 2018.
15. Cerozi B, Fitzsimmons K. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponic nutrient solution. *Bioresource Technology*, v. 219, p. 778-781, 2016.