

Produção de biomassa vegetal hortícola através de um sistema de aquaponia associada ao cultivo de tilápia *Oreochromis niloticus* – variedade GIFT

Production of horticultural vegetable biomass through an aquaponics system associated with the cultivation of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* - GIFT variety

DOI:10.34117/bjdv6n12-009

Recebimento dos originais: 02/11/2020

Aceitação para publicação: 02/12/2020

Rafael Nóbrega Bezerra Tomaz

Mestre em Ciências Naturais

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza – CE

E-mail: rn_bt@hotmail.com

Oriel Herrera Bonilla

Pós-doutorado em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: oriel.herrera@uece.br

Eliseu Marlônio Pereira de Lucena

Pós-Doutor em Botânica Aplicada pela Texas A&M University

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE, Brasil

E-mail: eliseu.lucena@uece.br

Carlos Emanuel de Carvalho Magalhães

Doutor em Ciências (área de concentração - Química Analítica)

Instituição: Universidade Estadual do Ceará.

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700, Campus Itaperi, Fortaleza – CE, Brasil.

E-mail: prof.emanuel@uece.br

Derlange Belizário Diniz

Doutora em Ciência da Nutrição

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza - CE

E-mail: derlange.diniz@uece.br

Ivina Beatriz Menezes Farias

Graduanda em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Av. Dr. Silas Munguba, 6380. Fortaleza - Ceará.

E-mail: ivina.bmf@gmail.com

Sandro Ferreira do Nascimento

Graduando em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Rua Gustavo Barroso, 1218. Fortaleza - Ceará.

E-mail: tec.sandrof@gmail.com

José Vagner Rebouças Filho

Graduado em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Estadual do Ceará

Endereço: Rua Professor Costa Mendes, 925^a

E-mail: vagnerreboucas@outlook.com

RESUMO

A aquaponia é uma tecnologia relativamente recente a qual pode ser utilizada em diferentes contextos de clima e regiões devido a sua versatilidade. Por conta disso, maiores informações a respeito dessa tecnologia em nível regional são necessárias. Neste trabalho avaliou-se a produção de biomassa vegetal em sistema de aquaponia utilizando três fontes distintas de água, sendo duas delas sem tratamento prévio, através da produção de cúrcuma (*Curcuma longa* L.), quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) e tomate cereja (*Solanum lycopersicum* L.). Foram coletados dados referentes à altura e peso úmido dos quais foram obtidos à Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) e, posteriormente foi analisado estatisticamente por médio de um fatorial 2x3x3 e teste de Tuckey a 5% de probabilidade a fim de mensurar quais condições foram mais produtivas. Os resultados para TCA e TCR apresentaram diferenças significativas no período chuvoso para tomate e quiabo enquanto a cúrcuma se desenvolveu melhor durante a estação seca. O módulo com água do riacho apresentou melhores resultados no período chuvoso enquanto o com água do abastecimento público no período seco. Não foram detectados metais a níveis nocivos à saúde humana ou presença de coliformes termotolerantes ao final do experimento em ambas as estações avaliadas.

Palavras-Chave: Recirculação de água, produção de alimentos, aquicultura, hidroponia, agricultura sustentável.

ABSTRACT

Aquaponics is a relatively recent technology that can be used in different contexts of climate and regions due to its versatility. Because of this, more information about this technology at the regional level is needed. In this work, the production of vegetable biomass in an aquaponics system was evaluated using three different sources of water, two of them without previous treatment, through the production of turmeric (*Curcuma longa* L.), okra (*Abelmoschus esculentus* L.) and cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). Data on height and wet weight were collected and submitted to the Absolute Growth Rate (AGR) and Relative Growth Rate (RGR) and, subsequently, to a 2x3x3 factorial and Tuckey at 5% probability in order to measure which conditions were more productive. The results for AGR and RGR showed significant differences in the rainy season for tomatoes and okra while turmeric developed better during the dry season. The module with water from the stream showed better results in the rainy season, while the module with water from the public supply in the dry season. No metals were detected at levels harmful to human health or the presence of thermotolerant coliforms at the end of the experiment in both evaluated seasons.

Keywords: Recirculation of water, food production, aquaculture, hydroponics, sustainable agriculture.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos, assim como a diminuição na área de terras agricultáveis e danos ambientais causados pela agricultura convencional vem pressionando o homem a procurar tecnologias que causem menos impactos a fim de manter a oferta de proteína animal e de vegetais de qualidade (COHEN et al., 2018; KÖNIG et al., 2018).

A aquaponia é uma tecnologia social de produção de alimentos que integra aquicultura de recirculação com hidroponia (RAKOCY et al., 2004; KÖNIG et al., 2018). Tal união promove a ciclagem dos nutrientes oriundos da aquicultura dentro de um sistema fechado, através de filtragem mecânica e biológica, assim como na aquicultura de recirculação, entretanto, neste caso, os sais resultantes dessa ciclagem são utilizados pelas plantas na porção hidropônica do sistema, prolongando a boa qualidade da água (SOMERVILLE et al., 2014).

A utilização de esgoto doméstico, um efluente extremamente saturado de matéria orgânica e nutrientes, para produção de fitomassa com fins de tratamento de água (SANTOS; RODRIGUES; LAPOLLI, 2015) já é uma realidade, inclusive, esse tipo de água pode ser empregado para o cultivo de alimentos.

Sabe-se que os sistemas de aquaponia são muito produtivos (RAKOCY et al., 2004) e que são bastante diversificados quanto o seu funcionamento e manejo devido a diversidade de condições locais existentes nos mais variados climas e territórios (MCHUNU; LAGERWALL; SENZANJE, 2018), entretanto, informações sobre o desempenho desses sistemas quanto à produção de biomassa ainda são insuficientes. Para verificar essa produtividade, a Taxa de Crescimento Absoluto e Taxa de Crescimento Relativo podem ser obtidas para avaliar o ganho de altura e peso úmido (SAMUELSON et al., 1992; BENICASA, 2003).

Além da produtividade, por muitos, em detrimento da utilização de águas não tratadas em sistemas de aquaponia, o monitoramento de parâmetros como presença de metais contaminantes (NGUYEN et al., 2019; ZHONG ET AL., 2018) e microrganismos patogênicos (RANA et al., 2011; FOX et al., 2012; SOMERVILLE et al., 2014) é essencial para garantir a qualidade do alimento e, por consequência, da saúde humana (SANTOS et al., 2012). Sendo assim, esse trabalho avaliou a produção de biomassa vegetal e parâmetros de duas fontes de água sem tratamento prévio e água do abastecimento público em três módulos aquaponicos idênticos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO

O presente trabalho foi realizado em duas etapas nas dependências do Núcleo de Estudos e Práticas Permaculturais do Semiárido – NEPPSA (3°47'27"S 38°33'21.7"O) da Universidade Estadual do Ceará – UECE sendo elas entre os meses de março e junho, temporada que abrange a quadra chuvosa local, e os meses de julho e outubro, temporada que abrange a quadra seca local de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, totalizando um período de 83 dias para cada.

2.2 MÓDULOS DE AQUAPONIA

Para o experimento foram montados três módulos idênticos e paralelos um ao outro, cada um utilizando dois canteiros do tipo fluxo e refluxo com sistema de sifão (TYSON; TREADWELL; SIMONNE, 2011), um tanque de 500 L, um filtro mecânico, uma bomba periférica de 3500 L/h e tubulação e conexões de PVC para água. O sistema foi desenhado de acordo com os princípios apontados por Somerville et al., (2014). Antes do transplante das mudas para os módulos de aquaponia, o sistema foi mantido em recirculação para que ocorresse o amadurecimento biológico. É indicado que esse amadurecimento ocorre em torno de vinte e um dias em recirculação, pois é quando ocorre a redução drástica nos níveis compostos nitrogenados nocivos aos peixes na solução (ENDUT et al., 2009).

2.3 PROTEÇÃO CONTRA FATORES EXTERNOS

Para impedir interferência externa em relação a possíveis chuvas, foi instalada uma cobertura com Lona para Estufas Difusoras NORTENE Cristal Transparente Anti-UV 8X105 REF150. A estrutura de suporte da coberta foi construída utilizando madeira de demolição, lona para estufa, canos de pvc de 30 mm e parafusos sextavados. Em decorrência do aparecimento de lagartas que surgiram no início do experimento, para o controle de pragas foi utilizado óleo comercial de Neem (*Azadirachta indica*) através de pulverização direta sobre a área foliar a fim de não contaminar o efluente em recirculação e, por consequência, os peixes. A aplicação foi realizada quinzenalmente.

2.4 CULTIVARES

Cada cama de cultivo foi dividida fisicamente em duas, totalizando quatro espaços por módulo, sendo cada um desses espaços destinados a um tratamento (espécie) diferente. As espécies de plantas

escolhidas foram cúrcuma (*Curcuma longa* L.) por ser um rizoma bem adaptável às condições do sistema de fluxo e refluxo, manjeriço (*Ocimum basilicum*) pelo crescimento rápido, quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.) por ser um cultivo bastante apreciado em diversas regiões do mundo (CHANCHAL et al., 2018) e tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) por sua rusticidade e produtividade. O quiabo e o tomate foram plantados a partir de sementes adquiridas em casa especializada em horticultura e irrigação. A cúrcuma e o manjeriço foram plantados a partir de rizomas e estacas enraizadas, respectivamente. No início do experimento as mudas de manjeriço não resistiram por conta do ataque constante de pragas e a espécie foi descartada do experimento, ficando uma parcela ociosa em cada módulo.

2.5 PEIXES CULTIVADOS E ENTRADA DE NUTRIENTES NO SISTEMA

Os peixes utilizados no experimento para produção do efluente foram tilápias *Oreochromis niloticus* da variedade GIFT, conhecidas popularmente como tilápia azul. Cada módulo foi povoado com vinte peixes de aproximadamente 100 g. Foi ofertada aproximadamente 100 g de ração do tipo extrusada para recria por tanque, diariamente, com pausas nos períodos de manutenção do sistema. Esses períodos não excederam dois dias. A ração utilizada foi a AQUAMIX T -300 E, recomendada para peixes onívoros na fase de crescimento de 50 a 300 g de peso médio. O material contido nos filtros mecânicos foi mantido para amortecer a depleção de nutrientes no sistema durante os períodos de manutenção.

2.6 TRATAMENTOS DE ÁGUA

Para cada módulo foi utilizado um tratamento de água específico, sendo eles água do sistema de abastecimento público, água de poço artesiano de 70 m de profundidade (3°47'24.07"S 38°33'21.85"O) e água do riacho "Alto da Coruja" (3°47'25"S 38°33'22"O). Todas as fontes de água estavam localizadas dentro das dependências da Universidade e próximas ao experimento. A água do riacho foi escolhida por apresentar indícios de receber efluentes domésticos durante seu percurso até o ponto de coleta. Foram coletados dados referentes aos parâmetros iniciais da água tais quais o nitrito, nitrato, amônia, fósforo total, condutividade elétrica (CE) e total de sólidos dissolvidos (TSD), por serem parâmetros físico-químicos que afetam o metabolismo dos peixes (Somerville et al., 2014). A água perdida por evapotranspiração foi repostada eventualmente com água destilada. A reposição foi realizada utilizando barris de 20 L como medida padrão.

2.7 PLANTIO, DISTRIBUIÇÃO DOS CULTIVARES E SECAGEM DO MATERIAL VEGETAL

O tomate e quiabo foram semeados um mês antes do transplante em semeadeiras de PVC para duzentas mudas. Foram separadas mudas para possíveis reposições por perdas após o transplante. O transplante foi realizado sete dias após o povoamento com os peixes nos módulos. A disposição de cada espécie por parcela nas camas de cultivo foi feita aleatoriamente por sorteio. Foram plantadas oito mudas por parcela sorteada. As mudas foram inicialmente pesadas em balança de precisão, a altura das plantas foi medida com paquímetro e, em seguida, transplantadas. Ao final do experimento que durou 83 dias, as plantas foram retiradas dos módulos, medidas e pesadas para obtenção do peso e altura final.

2.8 AVALIAÇÃO DOS DADOS – TCA E TCR

Foram coletados dados referentes à altura inicial, altura final, peso inicial e peso final (peso úmido). Foi obtida a média de duas em duas plantas de cada parcela para todos os dados coletados em todos os parâmetros avaliados. Com isso obteve-se o total de quatro repetições por tratamento, no caso das espécies de plantas. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em oito blocos ao acaso com quatro repetições e nove tratamentos totalizando 36 parcelas.

Foram avaliados os parâmetros referentes ao peso úmido e à altura através da taxa de crescimento absoluto (TCA) expressa em g.dia^{-1} (peso) e cm.dia^{-1} (altura); e taxa de crescimento relativo (TCR) expressa em $\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (peso) e $\text{cm.cm}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (SAMUELSON et al., 1992; BENICASA, 2003) de acordo com as equações:

$$TCA = \frac{\text{Med final} - \text{Med inicial}}{(t \text{ final} - t \text{ inicial})}$$

Onde a taxa de crescimento absoluto (TCA) é igual à média final do peso ou altura menos a média inicial do peso ou altura dividida pelo intervalo de tempo.

$$TCR = \frac{(\ln \text{Med final} - \ln \text{Med inicial})}{(t \text{ final} - t \text{ inicial})}$$

Onde a taxa de crescimento relativo (TCR) é igual ao logaritmo neperiano da média final menos o logaritmo neperiano da média inicial dividido pelo intervalo de tempo.

As fórmulas da TCA e TCR foram aplicadas a fim de avaliar o crescimento em altura e o ganho de massa ao decorrer do tempo do experimento. Ao final, os dados foram avaliados utilizando o

programa estatístico Sistema para Análises Estatísticas (ESTAT 2.0) da UNESP – FCAV – Campus Jaboticabal. Os dados oriundos das campanhas realizadas no período chuvoso e seco foram submetidos à análise de variância com fatorial de três fatores (2x3x3), sendo 2 estações, 3 espécies de plantas e 3 tratamentos de água, e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.9 PARÂMETROS DA ÁGUA

A nível de monitoramento, foram realizadas análises quanto a parâmetros indicadores de contaminação nos sistemas aquaponicos já que duas das águas coletadas para recirculação não passaram por tratamento prévio. Os marcadores escolhidos para contaminação por metais foram zinco, cobre, cromo e manganês. Em cada estação foram realizadas duas coletas para metais, sendo uma no início e outra ao final dos 90 dias. As coletas foram realizadas diretamente nos tanques. As análises dos metais foram efetuadas no Laboratório de Química Analítica e Ambiental da Universidade Estadual do Ceará. O método de análise realizado foi o de espectrometria de absorção atômica com chama (ROSSI et al., 2017; GAO et al., 2010; POHL et al., 2018; KHAJEH, 2011).

Outro importante parâmetro avaliado foi a qualidade da água quanto à presença de microrganismos patogênicos. A bactéria *Escherichia coli* foi utilizada como bioindicador para contaminação por fezes por ser encontrada somente no trato intestinal de animais homeotérmicos (RANA et al., 2011). As análises foram realizadas de acordo com a técnica do número mais provável (NMP/ml) (TONET et al., 2011). O marcador de contaminação foram as bactérias do tipo coliforme termotolerantes. As coletas aconteceram no total de quatro tempos por ciclo, tendo sido retiradas as amostras dos tanques em recipiente de vidro esterilizado em autoclave vertical. Os testes foram realizados no Laboratório de Microbiologia no Núcleo Experimental em Ciência e Tecnologia de Alimentos Regionais da Universidade Estadual do Ceará. Foram realizadas o total de quatro coletas por ciclo, divididas em tempo de coleta 1 (T1), tempo de coleta 2 (T2), tempo de coleta 3 (T3) e tempo de coleta 4 (T4).

Além dos marcadores para metais e microrganismos, foram coletados dados referentes aos parâmetros iniciais da água tais quais o nitrito (ABNT NBR 12619), nitrato (Método da Brucina), amônia (Standard Methods 4500 F. 4-115), fósforo total (Standard Methods 22^o Ed. 2012. 4500 C. 4 - 153) e Total de Sólidos Dissolvidos (TSD). Estudo comparando a produção em aquaponia à hidroponia sugere que a produção de alimentos em ambas as tecnologias pode ser equilibrada através do aporte externo de nutrientes além da adição de ração, já que a ração por si só não provém todos os nutrientes necessários às plantas (SUHL et al., 2016). RACKOY et al., (2004) sugeriram a adição de quelato de

ferro, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e KOH a fim de manter o pH do sistema dentro de uma faixa aceitável e realizar a complementação de ferro, cálcio e potássio em aquaponia, pois esses nutrientes são justamente os que não estão presentes em quantidade significativas na ração. Entretanto, neste trabalho não foi adicionado nenhum nutriente fora os que já estavam presentes na água e na ração a fim de observar o comportamento da produção de biomassa com menor quantidade de recursos possível.

Os valores obtidos foram avaliados respeitando o Valor Máximo Permitido (VMP) segundo a RESOLUÇÃO N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA respectivo a cada parâmetro de acordo com essa legislação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO (TCA) E TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR)

Através dos valores obtidos para a TCA e o teste de Tuckey ao nível de 5% referentes à altura (Tabela 1), foram observadas interações entre os fatores estações/espécies e estações/água. Tais observações indicaram diferenças significativas entre si, tendo sido o período chuvoso o qual, as plantas alcançaram os melhores resultados em relação ao período seco. Dessa forma, para a interação estações/espécies obteve-se o aumento em tamanho de 38,91 %, para cúrcuma, 46,87 % para o quiabo e 47,19 % para o tomate em relação aos dois períodos. Com relação aos resultados obtidos para a interação estações/água, os mesmos apresentaram aumento 25,50 % para o sistema com água do abastecimento público, 70,36 % para o com água do poço e 69,79 % para o com água do riacho. Tal como em ocorreu em relação às estações/espécies, a estação chuvosa foi a que obteve os melhores resultados.

Tabela 1 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) das plantas em função da altura ($\text{cm} \cdot \text{dia}^{-1}$). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

		Cúrcuma	Quiabo	Tomate
Estações/Espécies	Chuvosa	0,2231 aC	1,2659 aB	3,6496 aA
	Seca	0,1363 aC	0,6726 aB	1,9276 aA
		Abastecimento público	Poço	Riacho
Estações/Águas	Chuvosa	1,6038 aA	1,8940 aB	1,6408 aA
	Seca	1,1949 aB	0,5614 bB	0,5614 bA

Os valores de TCA referentes ao peso úmido (Tabela 2) apresentaram interações significativas quanto a estações/espécies e espécies/águas. No que diz respeito a interação entre estações/espécies, a estação seca obteve menor rendimento que a estação chuvosa para quiabo e tomate. Entretanto, no caso

da cúrcuma, a estação seca obteve rendimento maior que a estação chuvosa. Os valores para as diferenças entre os dois períodos foram de 85,10 % para a cúrcuma, 63,76 % para o quiabo e 50,16 % para o tomate. Os valores referentes à interação espécies/águas apontaram padrão irregular quanto ao comportamento das espécies tratamentos avaliados. Assim, observou-se que não houveram diferenças estatísticas significativas entre o tomate enquanto a cúrcuma no sistema com água do abastecimento público apresentou 39,83% a menos ganho de peso que os demais tratamentos. Da mesma forma ocorreu com o quiabo, sendo o tratamento do poço o único que apresentou diferença significativa entre os demais tendo esse mostrado um ganho de 19,50% a mais que os demais tratamentos.

Tabela 2 – Taxa de crescimento absoluto (TCA) das plantas em função do peso úmido (g.dia-1). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estações/Espécies	Cúrcuma		Quiabo	Tomate
	Chuvosa	0,1406 aC	7,0500 aB	14,3996 aA
Seca	0,9432 aB	2,5556 bB	7,1782 bA	
Espécies/Águas	Abastecimento público		Poço	Riacho
	Cúrcuma	0,4410 bB	0,6565 bA	0,5282 bA
	Quiabo	5,0584 bA	5,1929 aBA	4,1571 bAB
	Tomate	10,9662 aA	6,1577 aA	15,2428 aA

A espécie de peixe escolhida, a constante entrada controlada de ração nos dois períodos o qual o experimento ficou em execução, foram fatores chave para a manutenção da solução nutritiva em recirculação. A constante entrada de nutrientes e matéria orgânica promoveu a reprodução dos microorganismos responsáveis pelo ciclo do nitrogênio, o que tornou o sistema cada vez mais produtivo, pois houve uma grande biodisponibilização de íons (Tabela 5) para as plantas como descrito na literatura (WONGKIEW et al., 2017).

A partir de aproximadamente quarenta dias de experimento, foi observado visualmente o crescimento mais homogêneo nos três módulos (Figura 2). O resultado das TCAs da altura e do peso úmido obtidas neste trabalho diferiram do encontrado por Rana et al., (2011) onde o grau de saturação de matéria orgânica na solução nutritiva de água misturada a efluentes domésticos influenciaram positivamente o desenvolvimento e acúmulo de biomassa em tomateiros. Levando em consideração que no presente experimento foram utilizados três tipos distintos de água diferentes, sendo dois deles águas não tratadas, embora a quantidade de nitrogênio inicial (Tabela 5) foi abaixo do que foi disponibilizado no trabalho supracitado. Ainda assim, o sistema tratado com água do riacho, iniciou uma maior quantidade de nutrientes disponíveis (Tabela 5) apresentando bons resultados para ambas as estações, tanto para a TCA quanto para a TCR (Tabelas 1, 2, 3, 4), confirmando essa tendência.

O tomate cereja, apesar de rústico, é bastante exigente com relação a nutrientes. Ainda assim, a adubação orgânica é suficiente para que produza bem, pois se adapta bem às condições de diferentes solos, podendo ser irrigado, inclusive, com águas de diferentes salinidades sob tais circunstâncias. O uso de efluentes de peixes, esterco bovino e outros adubos orgânicos podem incrementar a produtividade do tomateiro (MAIA et al., 2013). A produção do tomate cereja depende diretamente da matéria orgânica ofertada às mudas e da luz solar.

Com a utilização de filmes difusores como cobertura protetora, determinadas variedades de tomate apresentam maior desenvolvimento já que há maior incidência de luz solar sobre os cultivos (COSTA et al., 2015). A luminosidade tem papel fundamental no crescimento das plantas e no acúmulo de biomassa (LIMA et al., 2008; LUCCHESI, 1984). A utilização de ambiente protegido para cultivo de vegetais tem influência positiva na produtividade das plantas (FAYAD et al., 2001), o que pode ter influenciado na assimilação de luz e nutrientes.

Nesse experimento, os tomateiros se apresentaram como a espécie que de maneira geral obteve melhor desempenho em relação às demais (Tabelas 1, 2), seguido do quiabo e, por fim, da cúrcuma nas duas estações avaliadas. Isso pode ter ocorrido pela utilização do filme difusor e pela rusticidade da espécie em relação às outras. O tamanho das raízes pode ter sido fator chave para o desenvolvimento dos tomateiros nos três módulos do experimento, pois o tamanho do sistema radicular tem influência sobre a eficiência na captação de nutrientes da planta e, por sua vez, no desenvolvimento da mesma (ENDUT et al., 2009). No caso da cúrcuma, o sombreamento (Figura 2) gerado pelo adensamento de cultivares (SANTOS et al., 2010) pode ter influenciado diretamente em seu desenvolvimento, tal como do quiabo em relação ao tomate.

Das três espécies avaliadas, a cúrcuma foi a que se comportou de maneira diferente nos resultados da TCR da massa úmida durante a estação seca (Tabela 3). Em todos os tratamentos se mostrou diferenciada no ganho de altura e massa nesse período. O tempo no qual o experimento ocorreu não permitiu maior acúmulo de biomassa nos rizomas, provavelmente deve-se ao sistema radicular ser menor (ENDUT et al., 2009) que as outras plantas testadas e competir diretamente com as mesmas. A presença de perfilhos foi observada em todos os tratamentos. O incremento na quantidade de nitrogênio e potássio, em especial o potássio, pode influenciar na produtividade e crescimento da cúrcuma (MAY et al., 2005). Isso pode indicar uma maior concentração de nutrientes no sistema do riacho, já que foi onde se mostraram os melhores resultados e onde havia maior quantidade de matéria orgânica em suspensão no início do experimento (Tabela 5). Embora o potássio não tenha sido avaliado, é um dos

nutrientes essenciais às plantas que não está disponível em abundância na ração dos peixes (RACKOY et al., 2004; SUHL et al., 2016).

O quiabo é uma cultura que necessita de um aporte de nutrientes razoável para produzir em sua plenitude. Embora haja necessidade de adubação artificial, o quiabeiro responde muito bem à adubação orgânica (CARDOSO; BERNI, 2012). Estudo realizado por Santos et al. (2011) demonstrou que a produtividade e vitalidade de plantas de milho semeadas sobre solo antes povoado com quiabo foi menor, sendo necessário realizar adubação complementar para garantir quantidades suficientes de nitrogênio e potássio, demonstrando a dependência do cultivar por esses elementos. Entretanto, no presente estudo, quiabo apresentou um desenvolvimento maior no período chuvoso, período este o qual apresentou menor saturação de nutrientes no período inicial (Tabela 5).

Figura 2 – Área de cultivo no sistema aquaponico com a presença das plantas testadas. (a) – Mudas com quatro dias após o transplante; (b) – Plantas aos 62 dias após o transplante.



A respeito dos resultados específicos para a TCR, com relação aos valores encontrados para altura (Tabela 3) houve interação entre os três fatores, sendo essas estações/águas, estações/águas e espécies/águas. Em relação à interação espécies/estações, a estação chuvosa mostrou maior crescimento que a estação seca. No período das chuvas, a cúrcuma cresceu 78,99 %, o quiabo 46,13 % e o tomate 21,1 % a mais que seus respectivos no período seco.

Na interação entre os fatores estações/águas houve melhor desempenho de ganho em altura no período chuvoso. O sistema obteve maior crescimento na estação chuvosa foi o módulo contendo água do do riacho (Tabela 3) com 40,78 % a mais que o sistema de menor rendimento, no caso, o que utilizou água do abastecimento público. Na estação seca, o sistema que apresentou o maior crescimento foi que utilizou água do abastecimento público onde houve diferença de 29,60 % a mais que no sistema contendo água do poço, sendo este último o representante de menor valor final para o período avaliado. Para a interação espécies/águas, o sistema contendo água do riacho foi o que obteve os melhores resultados crescimento em relação aos demais, tendo a cúrcuma crescido 55,86 %, o quiabo 50,30 % e o tomate 7,59 % a mais que os menores valores encontrados para cada espécie, respectivamente.

Tabela 3 – Taxa de crescimento relativo (TCR) das plantas cultivadas no sistema aquopônico em função da altura (cm.cm⁻¹.dia⁻¹). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Estações/espécies	Cúrcuma		Quiabo		Tomate	
	Chuvosa	Seca	Abastecimento público	Poço	Riacho	
Estações/espécies	Chuvosa	0,0276 bA	0,0310 bA	0,0466 aA		
	Seca	0,0058 cB	0,0167 bB	0,0368 aB		
Estações/Águas	Chuvosa	0,0268 bA	0,0311 bA	0,0473 aA		
	Seca	0,0223 aA	0,0157 bB	0,0212 aB		
Espécies/Águas	Cúrcuma	0,0113 cB	0,0132 bB	0,0256 aA		
	Quiabo	0,0209 bB	0,0168 bB	0,0338 aA		
	Tomate	0,0415 cA	0,0402 bA	0,0435 aA		

A TCR referente ao peso úmido (Tabela 4) revelou interações significativas entre estações/águas e águas/espécies. Para estações/águas, a estação chuvosa foi a que rendeu os melhores resultados para módulos com água do poço e riacho, sendo as diferenças entre as duas estações para esses tratamentos de 16,35 % e 40,82%, respectivamente. O módulo com água do abastecimento público se destacou na estação seca, sendo 13,97 % mais produtivo que na temporada chuvosa. Com relação à interação águas/espécies, o abastecimento módulo com água do riacho obteve o maior resultado em ganho de massa na cúrcuma (80,76 %) enquanto o quiabo se destacou nos módulos com água do poço e riacho (80,25 %) e o tomate no módulo com água do abastecimento poço (24,38 %).

Tabela 4 – Taxa de crescimento relativo (TCR) das plantas cultivadas no sistema aquaponico em função do peso úmido ($\text{g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$). Valores médios seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Águas		Abastecimento público	Poço	Riacho
Estações/Águas	Chuvosa	0,0431 aB	0,0477 aB	0,0752 aA
	Seca	0,0501 aA	0,0399 aA	0,0445 bA
Espécies/Águas	Cúrcuma	0,0125 bB	0,0623 aB	0,065 aA
	Quiabo	0,0125 bA	0,0633 aA	0,0557 aA
	Tomate	0,0459 bAB	0,0607 aB	0,0459 aA

Mesmo com o adensamento de oito plantas por parcela em cada tratamento, tendo cada um deles uma área aproximada de 80 cm^2 , foi possível observar a presença de frutos nos quiabeiros e tomateiros, sendo o quiabo a espécie que iniciou a produção mais cedo – 52 dias, e produziu mais frutos. No trabalho de Peil, Albuquerque Neto e Rombaldi (2014), foi realizado o plantio em adensamento de duas variedades de cultivares de tomateiro. Dentre os resultados obtidos, houve um aumento linear da produtividade de tomateiros adensados a 7,8 plantas por m^2 , tanto em peso úmido quanto em relação à produção de frutos. Neste aspecto, os sistemas de aquaponia se mostraram viáveis para o plantio em adensamento, sendo essa mais uma característica da espécie que favoreceu seu bom desempenho nos três tratamentos demonstrado pelos resultados obtidos através da TCA e TCR (Tabelas 1,2,3 e 4).

3.2 MONITORAMENTO DE PARÂMETROS DA ÁGUA EM FUNÇÃO DO APORTE DE NUTRIENTES

Segundo a Resolução do CONAMA No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 águas de classe II, entidade que regula ou disciplina o uso da água, determina que tanto a água para consumo humano, como para criação de peixes devem apresentar parâmetros de qualidade mínimo de uso. Na Tabela 5, apresentamos a análise dos parâmetros físico-químicos determinados nas águas usadas no sistema aquaponico para o início e final da estação chuvosa e estação seca em comparação com os Valores Máximos Permitidos recomendados pelo órgão regulador. Foi observado valores acima do recomendado para fósforo no período inicial e final e TDS no período final da estação chuvosa. No caso da estação seca, foram encontrados valores acima do máximo permitido para fósforo e TDS no início e fim do experimento enquanto o nitrato se mostrou acima do VMP no fim do experimento.

Tabela 5 – Características físicas e químicas iniciais e finais do fator água do experimento no sistema aquaponico e Valor Máximo Permitido (VMP) de acordo com a legislação (CONAMA - RESOLUÇÃO N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005). AP = Água de abastecimento público; P = Água de poço; R = Água do riacho.

Parâmetros Chuva	Inicial			Final			VMP (Piscicultura)	VMP (Hortaliças)
	AP	P	R	AP	P	R		
NO ₂ - mg / L	<0,01	0,026	<0,01	0,030	0,020	0,040	<1,0	<1,0
NO ₃ - mg / L	<0,015	0,235	1,098	9,870	5,340	5,560	<10,0	<10,0
NH ₃ mg / L	0,114	0,087	0,087	0,890	1,560	1,230	<3,7	<3,7
P mg / L	0,137	0,101	0,219	4,260	5,340	3,860	<0,050	<0,050
TSD mg/L	374	328	479	1109	1120	1106	<500	<500

Parâmetros Seca	Inicial			Final			VMP (Piscicultura)	VMP (Hortaliças)
	AP	P	R	AP	P	R		
NO ₂ - mg / L	<0,01	0,040	< 0,01	0,200	0,390	0,140	<1,0	<1,0
NO ₃ - mg / L	3,460	5,533	< 0,15	10,460	10,490	12,900	<10,0	<10,0
NH ₃ mg / L	<0,01	<0,01	1,550	< 0,01	1,730	1,770	<3,7	<3,7
P mg / L	0,500	0,530	1,670	8,230	19,000	8,100	<0,050	<0,050
TSD mg/L	505	505	506	955	956	927	<500	<500

3.3 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE METAIS CONTAMINANTES

A presença de metais pesados e microrganismos na água pode resultar na acumulação ou internalização desses contaminantes nos seres vivos que dependem de determinado ambiente (JANA, 1998). Levando em conta que este trabalho foi realizado utilizando sistemas aquaponicos, devemos levar em consideração a absorção desses elementos pelas plantas, fato que pode reduzir drasticamente as concentrações no efluente em recirculação (ZHENG ET AL., 2016). Embora os elementos químicos avaliados neste trabalho sejam essenciais ao desenvolvimento dos seres vivos incluindo os seres humanos, concentrações relativamente baixas são capazes de prejudicar a saúde humana (FOX et al., 2018; BONSIGNORE et al., 2018), portanto o monitoramento dos mesmos é importante, levando em consideração que foram utilizadas águas sem tratamento prévio.

Dessa forma, os resultados das concentrações (Tabela 6) em contrapartida à legislação local, a respeito dos elementos químicos avaliados, o cobre foi o que apresentou os maiores valores, ainda que todos abaixo do VMP específico para águas de classe 1 (Tabela 6), ao final do ciclo do período seco. O cromo não foi detectado em nenhum dos dois ciclos. As concentrações encontradas para o manganês não atingiram o VMP, já o zinco ultrapassou o VMP no tratamento poço do início do período chuvoso. Nenhum dos efluentes avaliados se mostrou caracterizado como sendo água de classe 3 em nenhuma das coletas, estando os tratamentos de água próprios para uso com fins de aquicultura e produção de hortaliças.

Tabela 6 – Concentrações dos parâmetros cromo, cobre, manganês e zinco para o início e fim dos dois períodos avaliados pelo experimento e VMP (mg/L) para águas de classe 1 e 3 (CONAMA - RESOLUÇÃO N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005). AP = Abastecimento Público; P = Poço; R = Riacho.

Concentrações (mg/l)								
Parâmetros	Amostra inicial período chuvoso			Amostra final período chuvoso			VMP	
	AP	P	R	AP	P	R	Classe 1	Classe 3
Cr	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05
Cu	-	-	-	-0,00167	-0,00095	0,003871	0,009	0,2
Mn	-	-	-	-	-	-	0,1	0,5
Zn	0,008642	0,026318	-	0,017986	0,014334	0,010134	0,18	5
Parâmetros	Amostra inicial período seco			Amostra final período seco				
	AP	P	R	AP	P	R		
Cr	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05
Cu	-	-	-	0,056010	0,044399	0,05123	0,009	0,2
Mn	-0,00146	-	0,037955	-	-	-	0,1	0,5
Zn	-0,01223	-0,00122	-0,00408	-	-	-	0,18	5

Alguns trabalhos onde foram utilizadas águas potencialmente contaminadas sugeriram que para determinadas situações, as concentrações encontradas nos próprios peixes não foram suficientes para que os animais não pudessem ser consumidos (ZHONG et al., 2018; Rahman et al., 2019; TAWHEEL, SHUHAIMI-OTHMAN E AHMAD, 2013; YOUNIS et al., 2015), embora tenham se destacado um ou mais elementos potencialmente tóxicos que apresentaram concentrações próximas ou acima do que se considera seguro.

Assim como neste trabalho, Diem et al. (2017) também observaram um aumento nas concentrações de cobre, manganês e zinco (Tabela 6) com o passar do tempo devido a entrada de ração e de água em sistema aquaponico, enquanto Rackoy et al. (2004) observaram valores abaixo do normal para esse tipo de cultivo em sistema comercial. Para os metais pesados, este trabalho apresentou resultados similares à literatura consultada quanto à presença de metais nos efluentes, sendo levada em consideração a bioacumulação dos elementos avaliados ainda que essa não tenha sido quantificada.

O acúmulo dos elementos químicos supracitados nos efluentes avaliados pode estar ligado à alimentação dos peixes, já que há a entrada desses micronutrientes através da ração ofertada (BARROS et al., 2004; LIN, LIN E SHIAU, 2008; JIANG et al., 2016). A ausência do manganês e do zinco ao final do período seco pode estar relacionada à bioacumulação desses elementos nos tecidos dos animais e vegetais (RANA et al., 2011). No entanto, outros testes devem ser realizados a fim de quantificar o acúmulo desses e de outros metais nos efluentes em recirculação através de sistemas aquaponicos de maneira a mensurar mais precisamente os possíveis riscos oferecidos por conta disso.

3.4 MARCADOR MICROBIOLÓGICO

Os resultados encontrados neste trabalho para a contaminação por bactérias coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* no período chuvoso apresentaram-se positivos a 35° C para os tratamentos com água do abastecimento público e com água do riacho em T1, sendo o tratamento com água do riacho o que apresentou a mais elevada concentração de microrganismos por ml. Entretanto, o tratamento com água do abastecimento público não apresentou contaminação por *E. coli*, podendo ter ocorrido tal contaminação no percurso da água através da rede de abastecimento da própria Universidade.

No ciclo realizado durante o período seco, os tratamentos se comportaram de maneira diferente, tendo ocorrido contaminação por *E. Coli* em T1 e T2 e não apresentando contaminação nos tempos de coleta subsequentes. Diferentemente do ciclo que abrangeu o período chuvoso, período seco apresentou resultados positivos para os testes presuntivos e BVB até o final do experimento. Moriarty et al. (2018) concluíram que a presença de bactérias *E. coli* e outros coliformes são microrganismos que podem ser comumente encontrados nos sistemas aquaponicos, não sendo comum a internalização dos mesmos nos vegetais e animais. Isso pode explicar a presença desses microrganismos em todas as coletas para o teste BVB, embora sejam necessários outros testes para averiguar internalização de patógenos.

Os resultados negativos nas últimas coletas de ambos os períodos foram similares ao descrito no experimento de Rana et al. (2011), onde a remoção das concentrações finais de *E. coli* não apresentaram diferenças entre os tratamentos abordados naquele trabalho. Em síntese, não havendo contaminação externa, o sistema se autorregulou de maneira a não permitir a presença de *E. coli*, pois nem os peixes e nem as plantas são hospedeiros desse microrganismo e os filtros biológicos reduzem as populações dos mesmos (FOX et al., 2012; TONET et al., 2011). Sendo assim, este trabalho demonstrou uma biofiltração ótima no período chuvoso por não apresentar nenhuma contaminação e reduzir a quantidade de *E. coli* e outros coliformes a zero nas três últimas coletas. No caso do período seco pode ter havido contaminação por fezes de aves já que a estrutura coberta era aberta nas laterais.

A ausência dos coliformes ao final dos dois ciclos avaliados indicou que os sistemas aquaponicos se mostraram seguros quanto a este parâmetro e podem ser utilizados para produção de alimentos com águas que inicialmente estejam contaminadas com esses microrganismos. Com relação ao VMP estimado por lei, apenas o tratamento com água do riacho apresentou resultado positivo na primeira coleta do período chuva. Nos demais tempos de coleta não houve presença de *E. coli*, estando os sistemas livres de contaminação. O tratamento da água do riacho em T1 e os todos os três tratamentos em T2 apresentaram resultados positivos para contaminação por *E. coli*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto para TCA quanto para TCR, o período chuvoso se destacou como sendo o que melhor obteve desempenho em ganho de peso e altura nas plantas com exceção da cúrcuma que apresentou melhores valores no período seco. O sistema com água do riacho foi o que melhor apresentou resultados quanto à produtividade na estação chuvosa enquanto o com água do abastecimento público obteve maior produtividade na estação seca. Quanto ao monitoramento de parâmetros, o sistema se mostrou seguro a produção de alimentos utilizando águas sem tratamento prévio, pois embora tenha sido acusada a presença de metais e *E. coli* no sistema, tanto os valores obtidos para os metais não apresentaram risco à saúde humana quanto a presença de *E. coli* não foi detectada ao final do experimento nas duas estações avaliadas. Sendo assim, esse tipo de tecnologia demonstrou ser promissora para regiões onde a água é um bem escasso e muitas vezes de má qualidade. Ainda assim, faltam muitas informações sobre essa tecnologia que sejam voltadas para a realidade do semiárido brasileiro, além do que, mais estudos sobre a produtividade desses sistemas são necessários para que seja possível encontrar metodologias que se adequem a realidade local.

REFERÊNCIAS

- BARROS, M. M. et al. Níveis de cobre em dietas para a tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, [s.l.], v. 26, n. 4, p.429-436, 10 abr. 2004. Universidade Estadual de Maringa. <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v26i4.1713>.
- BENICASA, M. M. P. (2003) *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: 305 FUNEP. 42p.
- BONSIGNORE, M. et al. Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [s.l.], v. 162, p.554-562, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.044>.
- CARDOSO, M. O; BERNI, R. F. Nitrogen applied in okra under non-tightness grown and residual fertilization. *Horticultura Brasileira*, [s.l.], v. 30, n. 4, p.645-652, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362012000400014>.
- CHANCHAL, D. K. et al. A BRIEF REVIEW ON ABELMOSCHUS ESCULENTUS LINN. OKRA. *International Journal of Pharmaceutical Sciences And Research*, [s.l.], v. 9, n. 1, p.58-66, 1 jan. 2018. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. [http://dx.doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.9\(1\).58-66](http://dx.doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.9(1).58-66).
- COHEN, A. et al. Combined Fish and Lettuce Cultivation: An Aquaponics Life Cycle Assessment. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 69, p.551-556, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.029>.
- COSTA, E. et al. Ambientes e substratos na formação de mudas e produção de frutos de cultivares de tomate cereja. *Horticultura Brasileira*, [s.l.], v. 33, n. 1, p.110-118, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-053620150000100018>.
- ENDUT, A. et al. Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. *Desalination and Water Treatment*, [s.l.], v. 5, n. 1-3, p.19-28, may 2009. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2009.559>.
- ENDUTA, A. et al. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. *Desalination and Water Treatment*, [s.l.], v. 32, n. 1-3, p.422-430, ago. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2011.2761>.
- FOX, B. K.. A Preliminary Study of Microbial Water Quality Related to Food Safety in Recirculating Aquaponic Fish and Vegetable Production Systems. *Food Safety And Technology*, Mañoa, v. 51, p. 1-11, 2012.
- FAYAD, J. A. et al. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, [s.l.], v. 19, n. 3, p.365-370, nov. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362001000300016>.
- GAO, Y. et al. Simultaneous and selective preconcentration of trace Cu and Ag by one-step displacement cloud point extraction for FAAS determination. *Talanta*, [s.l.], v. 81, n. 1-2, p.586-590, 15 abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2009.12.038>.

JANA, B.B. Sewage-fed aquaculture: The Calcutta model. *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 11, n. 1-4, p.73-85, out. 1998. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8574\(98\)00024-JIANG, W. et al. Nutritive values, flavor amino acids, healthcare fatty acids and flesh quality improved by manganese referring to up-regulating the antioxidant capacity and signaling molecules TOR and Nrf2 in the muscle of fish. Food Research International, \[s.l.\], v. 89, p.670-678, nov. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.020](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-8574(98)00024-JIANG, W. et al. Nutritive values, flavor amino acids, healthcare fatty acids and flesh quality improved by manganese referring to up-regulating the antioxidant capacity and signaling molecules TOR and Nrf2 in the muscle of fish. Food Research International, [s.l.], v. 89, p.670-678, nov. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.020)

KHAJEH, M.. Application of Modified Organo-Nanoclay as the Sorbent for Zinc Determination by FAAS: An Optimization Study of an Online Pre-concentration System. *Biological Trace Element Research*, [s.l.], v. 145, n. 1, p.118-125, 16 ago. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-011-9169-8>.

KÖNIG, B. et al. Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, [s.l.], v. 180, p.232-243, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>.

LENZ, G. L. et al. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, [s.l.], v. 43, n. 4, p.614-630, 19 dez. 2017. *Boletim do Instituto de Pesca*. <http://dx.doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p614>.

LIMA, J. D. et al. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). *Acta Amazonica*, [s.l.], v. 38, n. 1, p.5-10, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672008000100002>.

LUCCHESI, A. A.. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, [s.l.], v. 41, n. 1, p.181-202, 1984. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0071-12761984000100011>.

MAIA, J. T. L. S. et al. Adubação orgânica em tomateiros do grupo cereja. *Biotemas*, [s.l.], v. 26, n. 1, p.37-44, 18 fev. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7925.2013v26n1p37>.

MAY, A., et al. Desenvolvimento e produtividade da cúrcuma (*Curcuma longa* L.) em função de doses de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Jaboticabal*, v. 7, n. 3, p.72-78, 01 jun. 2005. Disponível em: < encurtador.com.br/cowTX >. Acesso em: 09 set. 2018.

MCHUNU, N.; LAGERWALL, G.; SENZANJE, A.. Aquaponics in South Africa: Results of a national survey. *Aquaculture Reports*, [s.l.], v. 12, p.12-19, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2018.08.001>.

MORIARTY, M. J. et al. Inactivation with UV-radiation and internalization assessment of coliforms and *Escherichia coli* in aquaponically grown lettuce. *Lwt*, [s.l.], v. 89, p.624-630, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.038>

NGUYEN, L. et al. Comparison of organic and inorganic microminerals in all plant diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, [s.l.], v. 498, p.297-304, january. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.034>.

PEIL, R. M. N.; ALBUQUERQUE NETO, A. A. R.; ROMBALDI, C. V.. Densidade de plantio e genótipos de tomateiro cereja em sistema fechado de cultivo em substrato. *Horticultura Brasileira*, [s.l.], v. 32, n. 2, p.234-240, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362014000200021>.

POHL, P. et al. Development and optimization of simplified method of fast sequential HR-CS-FAAS analysis of apple juices on the content of Ca, Fe, K, Mg, Mn and Na with the aid of response surface methodology. *Talanta*, [s.l.], v. 189, p.182-189, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2018.06.053>.

RAKOCY, J. et al. AQUAPONIC PRODUCTION OF TILAPIA AND BASIL: COMPARING A BATCH AND STAGGERED CROPPING SYSTEM. *Acta Horticulturae*, [s.l.], n. 648, p.63-69, fev. 2004. International Society for Horticultural Science (ISHS). <http://dx.doi.org/10.17660/actahortic.2004.648.8>.

RANA, S. et al. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 37, n. 6, p.981-988, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.01.009>.

RAHMAN, M. S. et al. Assessment of heavy metals contamination in selected tropical marine fish species in Bangladesh and their impact on human health. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, [s.l.], v. 11, p.1-10, may 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100210>.

ROSSI, E. et al. Selective determination of Cr (VI) by on-line solid phase extraction FI-SPE-FAAS using an ion exchanger resin as sorbent: An improvement treatment of the analytical signal. *Microchemical Journal*, [s.l.], v. 130, p.88-92, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2016.08.004>.

SAMUELSON, M.E.; ELIASON, L. & LARSON, C.M. Nitrate - regulated growth and cytokinin responses in seminal roots of barley. *Plant Physiology*, 98: p.309-315. 1992

SANTOS, J.b. et al. Interferência de plantas daninhas na cultura do quiabo. *Planta Daninha*, [s.l.], v. 28, n. 2, p.255-262, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83582010000200004>.

SANTOS, D. M. S. et al. Microbiological water quality and gill histopathology of fish from fish farming in Itapecuru-Mirim County, Maranhão State. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, [s.l.], v. 34, n. 2, p.199-205, 28 mar. 2012. Universidade Estadual de Maringa. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciobiolsci.v34i2.8460>.

SANTOS, G. S. et al. Exposure of male tilapia (*Oreochromis niloticus*) to copper by intraperitoneal injection: DNA damage and larval impairment. *Aquatic Toxicology*, [s.l.], v. 205, p.123-129, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.10.010>.

SANTOS, Ma. R. dos et al. Produção de milho-verde em resposta ao efeito residual da adubação orgânica do quiabeiro em cultivo subsequente. *Revista Ceres*, [s.l.], v. 58, n. 1, p.77-83, fev. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2011000100012>.

SANTOS, M. A.; RODRIGUES, E. B.; LAPOLLI, F. R.. Tratamento de esgoto por zona de raízes: experiência vivenciada numa escola rural do município de Campos Novos/SC. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, [s.l.], v. 5, n. 2, p.47-55, 30 dez. 2015. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i2.280>.

SOMERVILLE, C. et al., 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589*. FAO, Rome (262 pp).

TAWHEEL, A.; SHUHAIMI-OTHMAN, M.; AHMAD, A.k.. Assessment of heavy metals in tilapia fish (*Oreochromis niloticus*) from the Langat River and Engineering Lake in Bangi, Malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [s.l.], v. 93, p.45-51, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.03.031>.

SUHL, J. et al. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, [s.l.], v. 178, p.335-344, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.013>.

TYSON, R. V.; TREADWELL, D. D.; SIMONNE, E. H.. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems. *Horttechnology*, Orlando, v. 21, n. 1, p.6-13, fev. 2011. Disponível em: <encurtador.com.br/rOR13>. Acesso em: 07 set. 2018.

TONET, A. et al. Análise microbiológica da água e da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema aquapônico, hidropônico e em solo. *Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos, Campo Mourão (pr)*, v. 2, n. 2, p.83-88, 06 dez. 2011.

LIN, Y.; LIN, S.; SHIAU, S.. Dietary manganese requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, [s.l.], v. 284, n. 1-4, p.207-210, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.049>.

WONGKIEW, S. et al. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, [s.l.], v. 76, p.9-19, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>.

YOUNIS, E. M. et al. Seasonal variations in the body composition and bioaccumulation of heavy metals in Nile tilapia collected from drainage canals in Al-Ahsa, Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, [s.l.], v. 22, n. 4, p.443-447, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.11.020>.

ZHENG, J. et al. Competitive sorption of heavy metals by water hyacinth roots. *Environmental Pollution*, [s.l.], v. 219, p.837-845, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.001>

ZHONG, W. et al. Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, [s.l.], v. 157, p.343-349, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.048>.