

Potencial produtivo do maracujazeiro amarelo irrigado com esgoto doméstico tratado
Productive potential of yellow passion fruit irrigated with wastewater
Potencial productivo del maracuyá amarillo regado con aguas residuales domésticas
tratadas

Recebido: 19/08/2020 | Revisado: 26/08/2020 | Aceito: 04/09/2020 | Publicado: 06/09/2020

Cley Anderson Silva de Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4114-8699>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil

E-mail: cleyanderson@ifce.edu.br

Juarez Cassiano de Lima Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1780-4924>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: limajr.soil@gmail.com

Francisco Marcus Lima Bezerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9334-8297>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: mbezerra@ufc.br

Lucas de Souza Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0150-3801>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: lucasscunha93@gmail.com

Fábio Freire de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7798-6339>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão de Pernambuco, Brasil

E-mail: fabio.freire@ifsertao-pe.edu.br

Kleiton Rocha Saraiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1902-7038>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: kleiton.rocha@ifpi.edu.br

Clayton Moura de Carvalho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4382-5382>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Brasil

Resumo

O reuso de água apresenta-se como alternativa viável ambiental e economicamente na produção agrícola. Nesse contexto objetivou-se avaliar a produtividade do maracujazeiro amarelo, bem como as alterações proporcionadas no solo em função de diferentes níveis de reposição da evapotranspiração da cultura, utilizando como fontes hídricas o esgoto doméstico tratado e água de poço. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso (DBC) com esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de duas fontes hídricas (efluente de esgoto doméstico tratado e água de poço artesiano) e, nas subparcelas, cinco lâminas de irrigação baseadas na evapotranspiração da cultura (50; 75; 100; 125 e 150% da ETc). A massa fresca do fruto e diâmetro de fruto aumentaram significativamente em função do uso de água de poço como fonte hídrica. O aumento da disponibilidade hídrica proporcionou incrementos no número de frutos e na produtividade média da cultura. A utilização de efluente de esgoto doméstico tratado não promoveu alterações indesejáveis nos parâmetros químicos avaliados, possibilitando produtividade satisfatória e ambientalmente viável, podendo ainda substituir parcialmente a adubação química.

Palavras-chave: Efluente doméstico, Evapotranspiração, Manejo de irrigação, *Passiflora edulis* Sims.

Abstract

Water reuse is a viable alternative environmentally and economically in agricultural production. In this context, the objective was to evaluate the productivity of the yellow passion fruit, as well as the changes provided in the soil due to different levels of replacement of the evapotranspiration of the crop, using treated domestic sewage and well water as water sources. The experiment was carried out in a randomized block design (DBC) with a split plot scheme with four replications. The plots consisted of two water sources (treated domestic sewage effluent and artesian well water) and, in the subplots, five irrigation depths based on the evapotranspiration of the crop (50; 75; 100; 125 and 150% of ETc). The fresh weight of the fruit and fruit diameter increased significantly due to the use of well water as a water source. The increase in water availability provided increases in the number of fruits and in the average productivity of the crop. The use of treated domestic sewage effluent did not promote

undesirable changes in the evaluated chemical parameters, enabling satisfactory and environmentally viable productivity, and may even partially replace chemical fertilization.

Keywords: Domestic effluent, Evapotranspiration, Irrigation management, *Passiflora edulis* Sims.

Resumen

La reutilización del agua es una alternativa viable ambiental y económicamente en la producción agrícola. En este contexto, el objetivo fue evaluar la productividad de la maracuyá amarilla, así como los cambios proporcionados en el suelo por diferentes niveles de reposición de la evapotranspiración del cultivo, utilizando como fuentes de agua aguas residuales domésticas tratadas y agua de pozo. El experimento se realizó en un diseño de bloques aleatorios (DBC) con un esquema de parcela dividida con cuatro repeticiones. Las parcelas consistieron en dos fuentes de agua (efluente de aguas residuales domésticas tratadas y agua de pozo artesiano) y, en las subparcelas, cinco profundidades de riego en función de la evapotranspiración del cultivo (50; 75; 100; 125 y 150% de ET_c). El peso fresco de la fruta y el diámetro de la fruta aumentaron significativamente debido al uso de agua de pozo como fuente de agua. El aumento de la disponibilidad de agua proporcionó aumentos en el número de frutos y en la productividad media del cultivo. El uso de efluentes de aguas residuales domésticas tratadas no promovió cambios indeseables en los parámetros químicos evaluados, permitiendo una productividad satisfactoria y ambientalmente viable, pudiendo incluso reemplazar parcialmente la fertilización química.

Palabras clave: Efluentes domésticos, Evapotranspiración, Manejo de riego, *Passiflora edulis* Sims.

1. Introdução

A redução da oferta de água em quantidade e qualidade adequada, principalmente pela contaminação de aquíferos, tem colocado em discussão o grande volume utilizado na produção agrícola (Silva, Bassi & Rocha Junior, 2016). Estima-se que aproximadamente 67% da demanda hídrica seja consumida pela agricultura irrigada (Ana, 2017), esta problemática é agravada no nordeste brasileiro, onde as condições climáticas potencializam o consumo hídrico das culturas, além disso as irregulares e baixas precipitações pluviométricas comprometem a viabilidade da produção agrícola.

O reuso de água tem despontado como alternativa hídrica e nutricional na produção agrícola, principalmente para as regiões com baixas precipitações pluviométricas. Inclusive, Freitas et al. (2012) trabalhando com duas fontes hídricas água de poço e esgoto constatou maiores produtividades para a cultura irrigada com esgoto, o que está associado aos nutrientes presentes no esgoto. Segundo os mesmos autores, o reuso de água funciona como fertirrigação, disponibilizando nutrientes à planta, parceladamente, a cada irrigação realizada. Para Freitas et al. (2018b) o esgoto doméstico tratado pode substituir em até 100% da nutrição mineral.

Segundo Albuquerque et al. (2016) a prática do uso de efluente de esgoto tratado não é de hoje, porém, há um interesse crescente na necessidade de reaproveitá-lo, principalmente na agricultura. Muitos trabalhos recentes têm sido realizados com a utilização de efluente de esgoto tratado na irrigação de diversas culturas, entre elas alface (Varallo et al., 2012, Silva et al., 2015; Urbano et al., 2017; Gomes Filho et al., 2020a; Santos et al., 2020), algodão (Sousa Neto et al., 2012), banana (Alves et al., 2017), cana-de açúcar (Freitas et al., 2018a), feijão (Rebouças et al., 2010; Feitosa et al., 2015; Freitas et al., 2018b; Gomes Filho et al., 2020b), girassol (Bezerra et al., 2014), pimenta (Silva et al., 2014; Silva et al., 2019), quiabo (Santos et al., 2018) e rabanete (Khaliq et al., 2017).

Embora o uso do esgoto doméstico tratado na produção agrícola resulte em várias vantagens produtivas, econômicas e ambientais, deve se ter cuidado com o uso desta fonte hídrica no solo principalmente quanto: ao aumento de pH e as concentrações elevadas de sódio (Na) na água de irrigação, decorrentes da própria dieta humana e da intensa utilização dos produtos de limpeza (Mota & Sperling, 2009). Diante do exposto, objetivou-se avaliar as variáveis de produção e de solo do maracujazeiro amarelo irrigado com esgoto doméstico tratado e água de poço.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE, situada no município de Tianguá - CE, localizado nas coordenadas geográficas 3° 44'16'' de latitude Sul e 40° 59'30'' de longitude Oeste e altitude média de aproximadamente 740 m. De acordo com a classificação de Koppen, o clima predominante é do tipo Aw (tropical, com estação seca), com temperatura média de 22 °C e com pluviosidade média anual de 1.258 mm (Climate-data.org, 2020).

O efluente de esgoto doméstico tratado (EEDT) utilizado foi proveniente de domicílios do município de Tianguá - CE e tratado por sistema de lagoas de estabilização em série. Para a irrigação foi utilizado o efluente de esgoto, presente na lagoa de maturação. Amostras do EEDT, usado para o experimento, foram analisadas no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária (LABOSAN), pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus de Juazeiro do Norte - CE (Tabela 1).

Tabela 1. Condutividade elétrica (CE), pH, concentrações de cálcio, Magnésio, Cloretos, Potássio, Fósforo, Sódio e Amônia total no efluente doméstico tratado utilizado na irrigação.

CE	pH	Ca	Mg	Cloretos	K	P	Na	RAS	Amônia Total
dS m ⁻¹	----	-----	-----	mg L ⁻¹	-----	-----	-----	(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	mg N ⁻¹ L ⁻¹
1,04	7,66	11,9	15,8	217,4	36,4	7,4	164,6	7,32	3,5

Fonte: Dados da presente pesquisa.

Para a determinação dos atributos físicos e químicos do solo (Tabela 2) foram coletadas amostras de solo nas camadas 0–20 e 20–40 cm. As análises químicas foram realizadas no laboratório de solos da Universidade Federal do Ceará (UFC). O experimento foi instalado em um Neossolo Quartzarênico, franco-arenoso (Embrapa, 2018).

Tabela 2. Atributos químicos e físicos do solo na área experimental.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (g kg ⁻¹)						
Prof. (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Classificação Textural
0 - 20	380	438	155	27	20	Areia franca
20 - 40	275	495	83	147	71	Franco arenoso
PARÂMETROS					0 - 20 (cm)	20 - 40 (cm)
Umidade 7 kPa (m ³ m ⁻³)					-	0,090
Umidade 33 kPa (m ³ m ⁻³)					0,077	0,085
Umidade 1500 kPa (m ³ m ⁻³)					0,048	0,049
Condutividade elétrica (CE) (dS m ⁻¹)					0,24	0,15
Densidade do Solo (kg dm ⁻³)					1,37	1,30
pH (H ₂ O)					5,10	4,90
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					0,40	0,30
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					0,40	0,30
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					0,15	0,12
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)					0,27	0,16
P assimilável (mg kg ⁻¹)					9,00	3,00

Fonte: Dados da presente pesquisa.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC), com parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas de duas fontes hídricas para irrigação, sendo água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (EDT); e, nas subparcelas foram avaliados os efeitos de cinco lâminas de irrigação, baseadas na evapotranspiração da cultura (ET_c), L1 = 50% ECA; L2 = 75% da ECA; L3 = 100% da ECA; L4 = 125% da ECA e L5 = 150% da ECA. A lâmina de 150% da ET_c foi utilizada com o intuito de se testar a fração de lixiviação, de modo a avaliar os riscos inerentes das altas concentrações de sódio em relação aos cátions de cálcio e magnésio, presente no esgoto doméstico, pois Garcia et al. (2007) verificaram que o incremento da fração de lixiviação minimiza os riscos de salinização do solo.

A evapotranspiração de referência foi estimada com a utilização do tanque Classe A (Equação 1), seguindo metodologia descrita por Bernardo et al. (2019).

$$ET_o = K_t \times ECA \quad (1)$$

Em que, E_{To} é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); E_{CA} é a evaporação medida do Tanque Classe “A” (mm dia^{-1}), e K_t é o coeficiente de ajuste do tanque (adimensional).

O K_t foi determinado seguindo o boletim da FAO 24 (Equação 2) utilizando os dados meteorológicos locais obtidos por uma estação meteorológica DAVIS modelo 651.

$$K_t = 0.108 - 0.0286 \times U^2 + 0.0422 \times \ln(b) + 0.1434 \times \ln(UR) - 0,000631 [\ln(b)]^2 \ln(UR) \quad (2)$$

Em que, u_2 – velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); b é a área coberta de bordadura ao tanque e UR é a umidade relativa do ar diária (%).

A evapotranspiração da cultura foi estimada por meio da Equação 3.

$$E_{Tc} = E_{To} \times K_c \quad (3)$$

Em que, E_{Tc} – evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); E_{To} – evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e K_c – coeficiente de ajuste de cultivo.

A irrigação total necessária foi calculada por meio da Equação 4.

$$ITN = \frac{[(E_{Tc} - P) \times PAM]}{E_a} \quad (4)$$

Em que, ITN é a irrigação total necessária, (mm); E_{Tc} e P são, respectivamente, a evapotranspiração da cultura e a precipitação pluviométrica no intervalo entre irrigações (turno de rega), ambos em mm; E_a é a eficiência de aplicação de água; PAM representa a percentagem de área molhada.

O tempo de irrigação foi calculado por meio da Equação 5.

$$T = \frac{ITN \times S_1 \times S_2 \times F_i}{n_e \times q_e} \quad (5)$$

Em que, T é o tempo de irrigação (horas); ITN – irrigação total necessária, (mm); S_1 é o espaçamento entre emissores; S_2 – espaçamentos entre fileiras de plantas; Ft é o fator de aplicação da água em função do tratamento. Os valores de Ft utilizados serão 0,50; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,50 para os tratamentos L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente; n_e é o número de emissores por planta e q_e é a vazão média dos emissores, em $L h^{-1}$.

O método de irrigação utilizado foi o localizado, por gotejamento, os emissores utilizados tinham vazão de $2,5 L h^{-1}$ na pressão de serviço de 100 kPa, espaçados 0,5 m, totalizando seis gotejadores por planta.

Após iniciar o período produtivo da cultura as variáveis de produção: número de frutos por planta (NF), massa dos frutos (MF), comprimento dos frutos (CF), diâmetro dos frutos (DF) e potencial produtivo (PP), foram coletadas duas vezes por semana até o final do ciclo da cultura, foram mensuradas como realizado por Araújo et al. (2012).

Para avaliar os efeitos da irrigação com esgoto doméstico tratado sobre as características químicas do solo, foram realizadas análises químicas e comparadas antes e após o experimento, nas camadas 0-20 e 20-40 cm, também foi comparada com as características do solo relativo à irrigação com água de poço que recebeu referente a 100% da ETc (Embrapa, 2009).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativo, as médias referentes às fontes hídricas comparadas pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade e para as lâminas estudadas foi realizado teste de regressão, usando o software SISVAR (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

Parâmetros de produção da cultura

De acordo com os dados apresentados na Tabela 3, houve efeito significativo ($P < 0,05$) sobre a massa de frutos (MF) e diâmetro de frutos (DF) em função das fontes hídricas. Já para as diferentes lâminas de irrigação foram verificadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para o número de frutos (NF) e potencial produtivo (PP). A interação entre tratamentos (A x L) influenciou significativamente as variáveis NF, MF e PP.

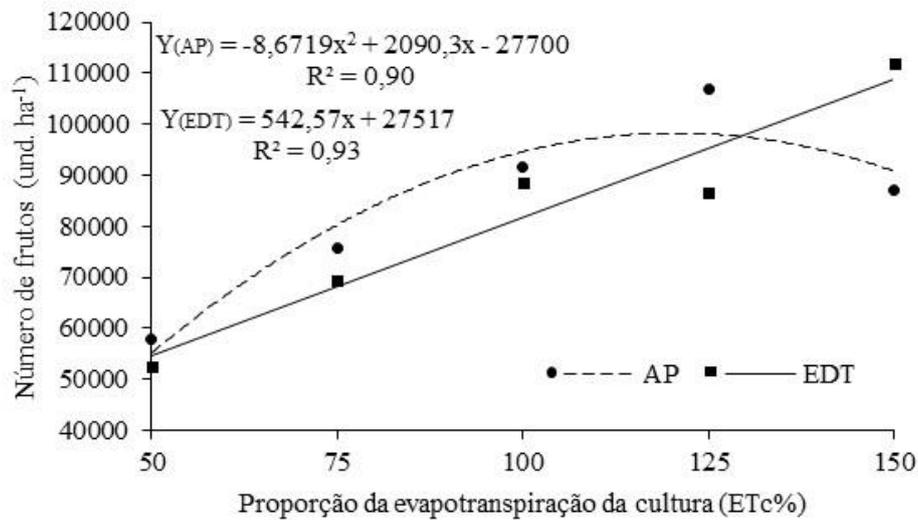
Tabela 3. Análise de variância para número de frutos (NF), massa de frutos (MF), diâmetro de frutos (DF), comprimento de fruto (CF) e potencial produtivo (PP) da cultura do maracujazeiro sob lâminas de irrigação com água e efluente doméstico. Fonte: Dados da presente pesquisa.

FV	Quadrado Médio					
	GL	NF	MF	DF	CF	PP
Blocos	3	289392913,71 ^{ns}	84,15 ^{ns}	1,89 ^{ns}	19,47 ^{ns}	17,97 ^{ns}
Trat. A (Água)	1	39866950,82 ^{ns}	861,62 [*]	21,99 [*]	3,99 ^{ns}	15,23 ^{ns}
Resíduo A (Água)	3	45793911,35	61,46	1,78	3,19	2,68
Parcelas	7	-	-	-	-	-
Trat. L (Lâmina)	4	2764452388,76 ^{**}	365,58 ^{ns}	9,93 ^{ns}	10,03 ^{ns}	153,39 ^{**}
Int. A x L	4	539036010,06 ^{**}	801,21 ^{**}	3,45 ^{ns}	4,50 ^{ns}	49,74 ^{**}
Resíduo L	24	32781670,10	109,69	4,70	4,40	2,56
Total	39	-	-	-	-	-

* = significativo (0,05); ** = significativo (0,01); ^{ns} = não significativo; FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; NF: número médio de frutos; MF: massa média dos frutos; DF: diâmetro médio dos frutos; CF: comprimento médio dos frutos; PP: potencial produtivo. Fonte: Dados da presente pesquisa.

A média de frutos por hectare foi de 83.771 e 81.774 unidades, para a cultura irrigada com AP e EDT, respectivamente, não apresentando diferença estatística significativa. Já para lâmina de irrigação foi verificado aumento significativo do número de frutos em função ao aumento da disponibilidade hídrica. Para a cultura irrigada com água de poço, o modelo matemático que melhor se ajustou foi o polinomial quadrático ($R^2 = 0,93$), sendo, de forma semelhante, observado por Sousa et al. (2003). Já para a cultura irrigada com EDT o modelo linear ($R^2 = 0,90$) foi o que melhor se ajustou aos dados (Figura 1).

Figura 1. Número de frutos de Maracujá irrigado com diferentes lâminas de irrigação com de água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (EDT).



Fonte: Dados da presente pesquisa.

Uma possível explicação para os modelos matemáticos distintos para as duas fontes hídricas deve-se: para água de poço o aumento da lâmina de irrigação a superior a 125% da ETc pode ter lixiviado parte dos nutrientes e conseqüentemente provocando a diminuição do número de frutos, haja vista a textura arenosa do solo.

Já para o EDT, como o solo foi adubado para atender as necessidades da cultura, independente da fonte hídrica, e como o esgoto doméstico possui nutrientes, nas menores lâminas a concentração de nutrientes do solo mais o presente no esgoto (macro e micronutrientes) pode ter influenciado negativamente o número de frutos.

No entanto, quando se aumentou a lâmina de irrigação, com o efeito da diluição, quanto maior o volume fornecido, maior o aumento do número de frutos, até a lâmina máxima (150% ETc), corroborando com trabalhos anteriores de Rebouças et al. (2010) e Bezerra et al. (2014). De acordo com Mesquita et al. (2012) o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação influencia negativamente, e de forma linear o desenvolvimento do maracujazeiro.

Os íons contidos no EDT ocasionaram o aumento da energia requerida para que ocorra a ET, desta forma, quanto maior a quantidade de sais dissolvidos, evidente nas menores lâminas, menor a intensidade de água evapotranspirada, afetando negativamente o número de frutos. Freire et al. (2011) trabalhando com estresse salino na cultura do maracujazeiro constataram que a água salina reduziu o consumo hídrico da cultura. Reforçando essa afirmativa Taiz & Zeiger (2013) explicam que a salinidade também causa redução no

potencial osmótico das plantas, fazendo com que a água se torne menos disponível, diminuindo a transpiração e consequentemente suas variáveis produtivas.

Os maiores valores de NF por hectare foram de 106.744 e 111.761, obtidos com as lâminas referentes a 125% e 150% da ETc para irrigação com água de poço e EDT, respectivamente. O máximo número frutos obtidos no presente trabalho foi inferior ao verificado por Rodolfo Junior et al. (2009), na Paraíba, em que os autores observaram 171.021 frutos por hectare, o que pode estar associado ao maior tempo de avaliação da produção, a doze meses da pesquisa.

A cultura irrigada com água de poço produziu frutos mais pesados, de 230 g contra as 221 g obtidas com esgoto doméstico tratado. Para essa variável de produção a lâmina de irrigação não teve efeito significativo, estando de acordo com Sousa et al. (2003) e Souza e Ribeiro (2016), pois os mesmos constataram que a disponibilidade hídrica não influenciou na massa média do fruto do maracujá.

O diâmetro do fruto também foi influenciado apenas em função a fonte hídrica, de 79,54 e 78,06 mm para a cultura irrigada com AP e EDT, respectivamente. Já o comprimento dos frutos não foi influenciado pelas fontes de variação, fonte hídrica e lâminas de irrigação, com médias de 92,47 e 91,84 mm, para a AP e EDT, respectivamente. Os valores de diâmetro e comprimento dos frutos observados no presente trabalho ficaram dentro do intervalo apresentado por Chagas et al. (2016) que trabalhando com diferentes genótipos verificaram diâmetros e comprimento de frutos que variaram na faixa de 76,80 a 99,42 mm e 73,59 a 109,71 mm, respectivamente.

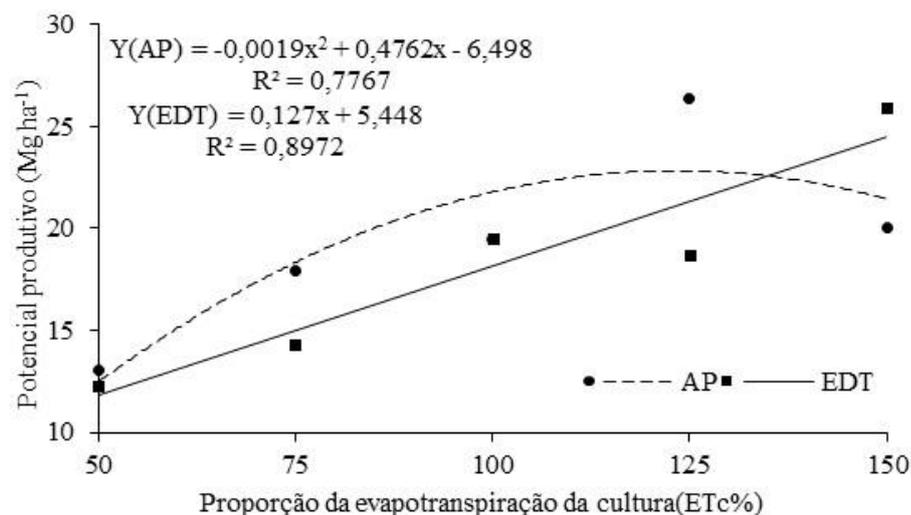
As médias de potencial produtivo para a cultura irrigada com água de poço e esgoto doméstico tratado foram de 19,3 e 18,1 Mg ha⁻¹, respectivamente, não diferenciando-se estatisticamente entre si. Estas médias foram superiores à produtividade média nacional, que é de aproximadamente 14,1 Mg ha⁻¹ (Ibge, 2018), valor similar a produtividade média obtida com a menor lâmina, no presente estudo, evidenciando a importância da irrigação para a produção agrícola.

Os bons resultados de produtividade obtidos com o uso do esgoto como fonte hídrica evidenciam a tolerância da cultura sob água com condutividade elétrica alta. A condutividade elétrica do esgoto, utilizado no presente trabalho foi de 1,04 dS m⁻¹, pois o classifica como de alta salinidade para irrigação, segundo Embrapa (2001), não sendo recomendado seu uso em solos com drenagem deficiente e mesmo com drenagem adequada, só devendo ser aplicada em irrigação de plantas tolerantes aos sais. Soares et al. (2002) concluíram que o maracujazeiro se classifica como cultura moderadamente tolerante. Ainda segundos os autores

só há efeito negativo no crescimento do maracujazeiro sob água de irrigação com condutividade elétrica superior a 4,43 dS m⁻¹.

O aumento da disponibilidade hídrica proporcionou incrementos na produtividade, corroborando com Sousa et al. (2003), que também constataram aumento da produtividade em função do incremento da disponibilidade hídrica. Os modelos matemáticos que melhor se ajustaram ao potencial produtivo (PP) em função a disponibilidade hídrica foi o polinomial quadrático ($R^2 = 0,89$) para a cultura irrigada com água de poço e o linear ($R^2 = 0,77$) para o maracujazeiro irrigado com EDT (Figura 2). Os maiores potenciais produtivos observados foram de 26,3 e 25,9 Mg ha⁻¹, obtidos com 125% e 150% da ETc, para água de poço e esgoto, respectivamente.

Figura 2. Potencial produtivo de Maracujá irrigado com diferentes lâminas de irrigação a partir de água de poço (AP) e esgoto doméstico tratado (EDT).



Fonte: Dados da presente pesquisa.

O comportamento linear da variável PP para a cultura irrigada com esgoto doméstico tratado, em função do aumento da disponibilidade hídrica pode ser justificado pela mesma fundamentação abordada para a variável NF, em que: nas menores lâminas de irrigação a concentração elevada de nutrientes, em função da adubação recomendada para a cultura somada aos nutrientes (macro e micro) presentes no esgoto podem ter contribuído negativamente para a produção da cultura, no entanto ao aumentar as lâminas de irrigação e com isso diminuir a concentração de nutrientes em função da disponibilidade hídrica, pode ter proporcionado aumento linear.

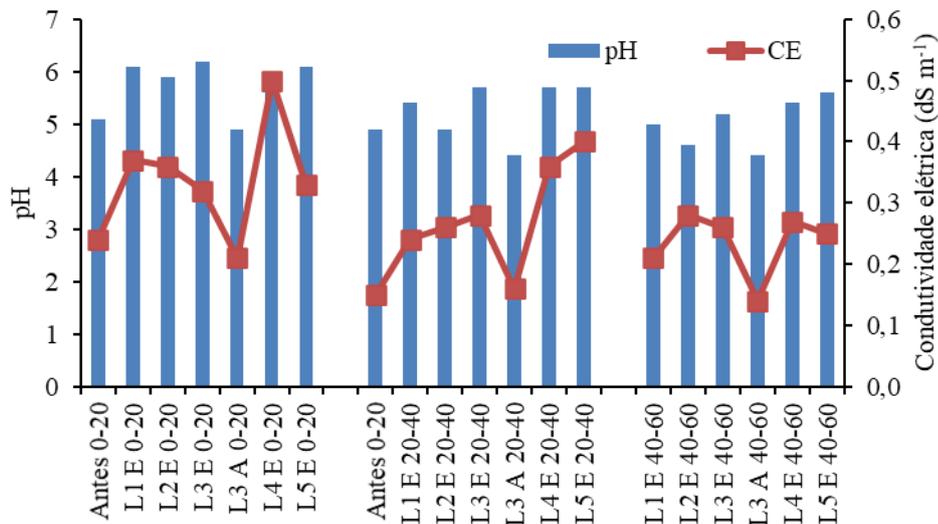
Seguindo essa linha de raciocínio Freitas et al. (2018b) trabalhando com a cultura do feijoeiro irrigado com esgoto doméstico tratado e água de poço, sob diferentes lâminas de irrigação e níveis adubação, constataram que o aumento da disponibilidade hídrica proporcionou incremento de produção linear para a cultura irrigada com esgoto, e polinomial no caso da água de poço. Ainda segundo os autores, para a cultura irrigada com água de esgoto o aumento do nível de adubação pode influenciar negativamente na produtividade principalmente nas menores lâminas de irrigação, podendo ser atribuído às concentrações elevadas de nutrientes.

Diante do exposto, a redução do fertilizante químico quando se irriga com esgoto doméstico tratado pode ser uma estratégia viável, possibilitando manter a produtividade e diminuir os gastos com adubação. Tais assertivas corroboram com o Sousa Neto et al. (2012), Freitas et al. (2012) e Freitas et al. (2018b) ao concluírem que a irrigação com esgoto doméstico tratado pode diminuir a utilização dos fertilizantes químicos.

Parâmetros químicos do solo

Em todas as camadas de solo avaliado 0 à 60 cm foi verificado aumento do pH em função do uso do esgoto doméstico na irrigação, enquanto o inverso foi verificado para o solo irrigado com água de poço, em que verificou-se redução do pH (Figura 3). Corroborando com Duarte et al. (2008) que trabalhando com água de poço levemente ácida também constataram redução de pH do solo.

Figura 3. Condutividade elétrica (CE) e pH do solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, antes e depois do experimento, para as lâminas de irrigação (50%, 75%, 100%, 125% e 150% da ETc) com esgoto doméstico tratado e água de poço (100% da ETc).



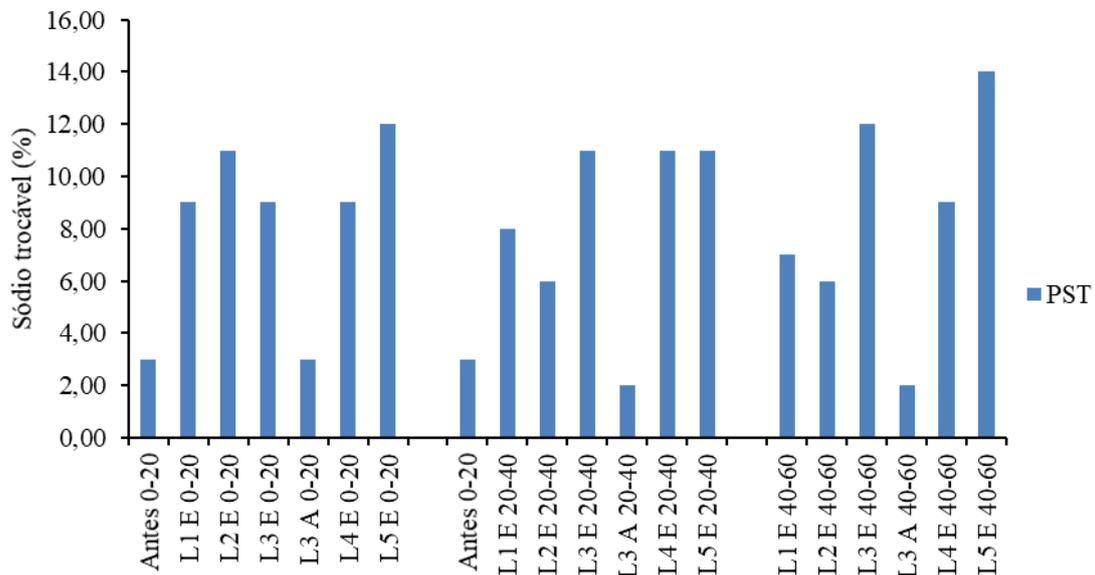
Fonte: Dados da presente pesquisa.

Na camada de 0 a 20 cm, o pH do solo antes do experimento era de 5,2 e após o uso do esgoto na irrigação o pH médio ficou de 6,0, e de 4,9 para o solo irrigado com água de poço. Possivelmente, essa elevação de pH seja decorrente do pH básico do esgoto doméstico. Com o aumento da profundidade do solo (20 a 40 cm e 40 a 60 cm) foi registrado redução do pH de 5,5 para 5,18 com irrigação do esgoto, que pode ser explicado provavelmente em função das menores concentrações de esgoto nessas camadas. Já para o solo irrigado com água de poço foi verificado o mesmo pH de 4,4, nessas duas camadas.

Foi verificado aumento da CE do solo irrigado com esgoto doméstico após exploração agrícola em função do aporte de sais contidos no mesmo, principalmente em função dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P^+ , N^+ e Na^+ . Comportamento semelhante foi encontrado por Varallo et al. (2012), em um solo cultivado com alface, irrigado com água de reuso, durante dois ciclos da cultura, os autores também verificaram aumentos na CE do solo.

Houve aumento na concentração de Sódio do solo (230, 370 e 380%), irrigado com esgoto, em todas as camadas avaliadas (0-20, 20-40 e 40-60 cm), respectivamente, em comparação com o solo irrigado com água de poço. Esse aumento expressivo de sódio enfatiza a importância de se monitorar sempre o solo quando o mesmo for irrigado com esgoto doméstico (Figura 4).

Figura 4. Porcentagem de sódio trocável (PST) do solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, antes e após o experimento, para as lâminas de irrigação (50%, 75%, 100%, 125% e 150% da ETc) com esgoto doméstico tratado e água de poço (100% da ETc).



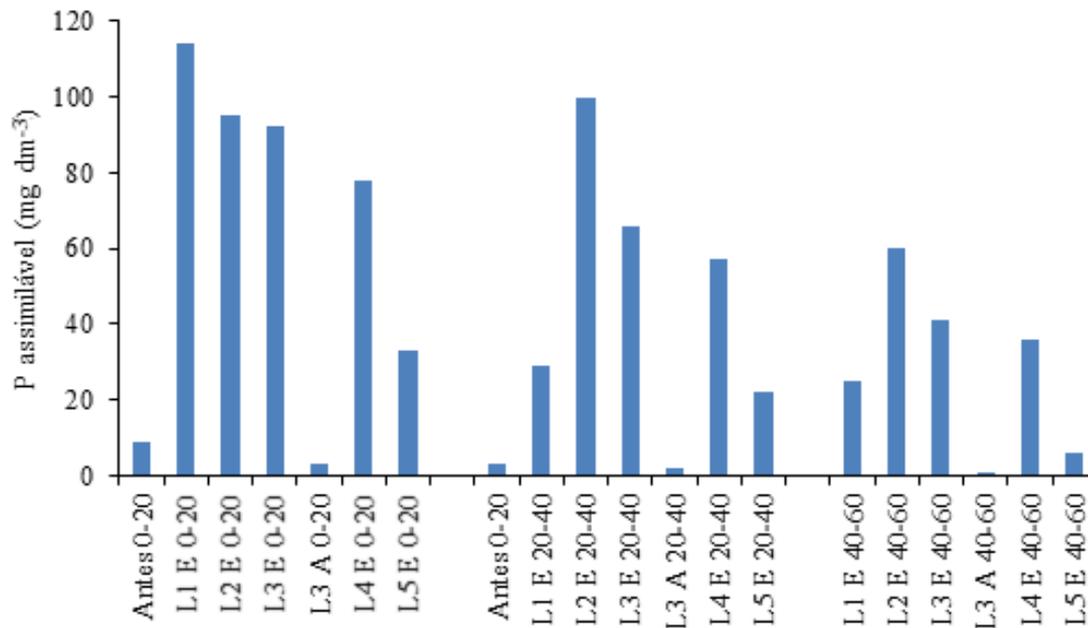
Fonte: Dados da presente pesquisa.

De acordo com Fonseca et al. (2007) a concentração de sódio e dos teores de sais solúveis do solo são parâmetros alterados pelo uso do esgoto doméstico tratado na irrigação. Em função das concentrações de sódio, cálcio, magnésio e CE do esgoto doméstico, o mesmo é classificado como de risco médio à sodificação, quando utilizado na irrigação, segundo Richards (1954). Santos et al. (2017) também observaram aumento considerável do sódio no solo após o uso de esgoto como fonte hídrica. Ainda segundo autores esse aumento do sódio no solo pode comprometer o equilíbrio solo-planta, com o uso contínuo do esgoto na irrigação, devido ao efeito dispersivo desse elemento.

Houve uma tendência do aumento de sódio em função do aumento da lâmina de irrigação. Comportamento também observado por Santos et al. (2017). Para os referidos autores o sódio deve ser a primeira referência à reutilização permanente de efluentes na agricultura.

Houve aumento na quantidade de fósforo assimilável do solo em função da irrigação com esgoto doméstico (Figura 5), quando comparado ao solo antes do experimento e sob irrigação com água de poço. As águas residuárias são uma importante fonte de fósforo e, quando utilizadas na irrigação, elevam os níveis desse nutriente no solo (Souza et al., 2015).

Figura 5. Quantidade de Fósforo assimilável do solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, antes e após o experimento, para as lâminas de irrigação (50%, 75%, 100%, 125% e 150% da ETc) com esgoto doméstico tratado e água de poço (100% da ETc).



Fonte: Dados da presente pesquisa.

No solo irrigado com EDT, os maiores incrementos de fósforo foram de 1267% (0 - 20 cm) e de 3333% (20-40 cm), para as lâminas L1 e L2, respectivamente. Esses adicionais expressivos de P ao solo, além de valor agrônômico, tem impacto ambiental, haja vista que o P é um dos elementos que mais atua no processo de eutrofização de mananciais. As menores concentrações de P no solo em função das maiores lâminas de irrigação podem estar associadas à exportação desse nutriente pela produção, dessa forma como as maiores lâminas proporcionaram maior produtividade, logo exportaram mais P do solo.

Os elevados níveis de fósforo presente no solo, após a realização deste trabalho, tornam necessária uma atenção especial sobre o uso do esgoto na irrigação. Segundo Klein & Agne (2013), existe a possibilidade de impactos negativos em função do excesso do fósforo no solo. Inclusive, Souza et al. (2015) relatam que alta concentração de fósforo no solo, decorrente do uso do esgoto, pode acarreta na deficiência induzida de outros nutrientes. No entanto, o solo estudado possui baixo teor de P, revelando a importância do esgoto doméstico como fonte hídrica e para a elevação do P do solo, podendo após alguns ciclos de cultivo, substituir em 100% as fontes externas. Como já constatado também por Freitas et al. (2018b).

4. Conclusões e Sugestões

O esgoto doméstico tratado pode ser utilizado como fonte hídrica alternativa para o cultivo do maracujazeiro amarelo, sob lâmina de 150% da ETc.

Os nutrientes presentes no esgoto doméstico tratado podem substituir parcialmente os adubos químicos, em especial o Fósforo, que tem sua concentração aumentada no solo após a produção do maracujazeiro.

O uso do esgoto doméstico tratado deve ser consorciado com água de poço, de modo a minimizar concentração elevadas de sódio em relação às de cálcio e magnésio, provenientes do esgoto.

Os solos irrigados com esgoto doméstico tratado devem ser analisados periodicamente a fim de se verificar os níveis de sódio no solo.

Para pesquisas posteriores recomenda-se a análise química do esgoto durante o ano, a fim de se avaliar a concentração dos nutrientes em função do: 1 - Período chuvoso ou estiagem; 2 - Dieta humana e 3 – Eficiência da conversão da matéria orgânica em mineral das lagoas de estabilização.

Agradecimentos

Ao Instituto de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Tianguá (IFCE), pelo fomento de bolsa de pesquisa.

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará pela disponibilização da área e fomento parcial da pesquisa (CAGECE).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento parcial da pesquisa.

Referências

Albuquerque Júnior, J. E., Azevedo, C. A. V., Azevedo, M. R. Q. A., Xavier, J. F., & Monteiro Filho, A. F. (2016). Qualidade de águas residuárias e salobras utilizadas no cultivo hidropônico de três cultivares de alface crespa. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(2), 19-24. DOI: <http://doi.org/10.18378/rvads.v11i2.4569>

Alves, P. F. S., Santos, S. R., Kondo, M. K., Mizobutsi, G. P., Caldeira, L. A., Alves, I. S., Antunes, A. B., & Oliveira, G. F. (2017). Banana fertigation with treated sanitary wastewater: postharvest and microbiological quality. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(3), 1229-1240. DOI: <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1229>

Agência Nacional de Águas - Ana. (2017). *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília: ANA, 85 p.

Araújo, H. F., Costa, R. N. T., Crisóstomo, J. R., Saunders, L. C. U., Moreira, O. C., & Macedo, A. B. M. (2012). Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(2), 159-164. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000200005>

Bernardo, S., Mantovani, E. C., Silva, D. D., & Soares, A. A. (2019). *Manual de Irrigação*. (5a ed.), Viçosa: Editora UFV, 545p.

Bezerra, F. M. L., Freitas, C. A. S., Silva, A. R. A., Mota, S. B., & Aquino, B. F. (2014). Irrigation with domestic treated sewage and nitrogen fertilizing in sunflower cultivation. *Engenharia Agrícola*, 34(6), 1186-1200. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000600014>

Chagas, K., Alexandre, R. S., Schmildt, E. R., Bruckner, C. H., & Faleiro, F. G. (2016). Divergência genética em genótipos de maracujazeiro azedo, com base em características físicas e químicas dos frutos. *Revista Ciência Agronômica*, 47(3), 524-531.

Climate-data.org. (2020). *Clima do município de Tianguá – CE*. Recuperado de <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/ceara/tiangua-44090/>. Acesso em: 26/09/2020

Duarte, A. S., Airoidi, R. P. S., Folegatti, M. V., Botrel, T. A., & Soares, T. M. (2008). Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 302-310. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000300012>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2009). *Manual de análises químicas de solos, planta e fertilidade*. 2. ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 627 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2001). *Qualidade de água para fins de irrigação (conceitos básicos e práticas)*. (2001). Petrolina: Embrapa Semiárido, 32 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 5.ed. revisada e ampliada. Brasília: Embrapa, 356 p.

Feitosa, S. O., Silva, S. L., Feitosa, H. O., Carvalho, C. M., & Feitosa, E. O. (2015) Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. *Revista Agropecuária Técnica*, 36(1), 146-155. DOI: <http://dx.doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.23360>

Ferreira, D. F., Silva, S. L., Feitosa, H. O., Carvalho, C. M., & Feitosa, E. O. (2015) Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. *Revista Agropecuária Técnica*, 36(1), 146-155. DOI: <http://dx.doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.23360>

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>

Fonseca, A. F., Herpin, U., Paula, A. M., Victória, R. L., & Melfi, A. J. (2007). Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, 64(2), 194-209. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000200014>

Freire, J. L., Cavalcante, L. F., Rebequi, A. M., Dias, T. J., & Souto, A. G. L. (2011). Necessidade hídrica do maracujazeiro amarelo cultivado sob estresse salino, biofertilização e cobertura do solo. *Revista Caatinga*, 24(1), 82-91.

Freitas, C. A. S., Bezerra, F. M. L., Silva, A. R. A., Albiero, D., & Nascimento, J. A. M. (2018a). Energy analysis of ethanol from sugarcane irrigated with treated domestic sewage. *Revista Ciência Agronômica*, 49(3), 389-398. <http://doi.org/10.5935/1806-6690.20180044>

Freitas, C. A. S., Nascimento, J. A. M., Bezerra, F. M. L., & Lima, R. M. M. (2018b). Use of treated sewage as water and a nutritional source for bean crops. *Revista Caatinga*, 31(2), 487-494. <http://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n225rc>

Freitas, C. A. S., Silva, A. R. A., Bezerra, F. M. L., Andrade, R. R., Mota, F. S. B., & Aquino, B. F. (2012). Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(10), 1031-1039. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001000001>

Garcia, G. O., Ferreira, P. A., Miranda, G. V., Neves, J. C. L., Moraes, W. B., & Santos, D. B. (2007). Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. *Idesia (Arica)*, 25(3), 93-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300010>

Gomes Filho, R. R., Santos, M. R. A., Carvalho, C. M., Faccioli, G. G., Nunes, T. P.; Santos, R. C.; Valnir Junior, M.; Lima, S. C. R. V., Mendonça, M. C. S., & Geisenhoff, L.O. (2020a). Microbiological quality of lettuce irrigated with treated wastewater. *International Journal of Development Research*. 10(4), 34989-34992.

Gomes Filho, R. R.; Silva, S. L.; Carvalho, C. M.; Faccioli, G. G.; Nunes, T. P.; Santos, R. C.; Valnir Júnior, M.; Guimarães, C. M.; Araújo Filho, R. N.; Geisenhoff, L. O. & Machado, C. A. C. (2020b). Response of treated domestic effluente irrigation on microbiological characteristics of bean grown in protected environment, *International Journal of Development Research*, 10(05), 35582-35586. DOI: <http://doi.org/10.37118/ijdr.18848.05.2020>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Ibge. (2018). *Produção agrícola 2018: lavoura permanente*. Recuperado de: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/0>. Acesso em: 02/09/2020.

Khaliq, S. J. A., Al-Busaidi, A., Ahmed, M., Al-Wardy, M., Agrama, H., & Choudri, B.S. (2017). The effect of municipal sewage sludge on the quality of soil and crops. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6, 289–299. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40093-017-0176-4>

Klein, C., & Agne, S. A. A. (2013). Fósforo: De nutriente à poluente. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8(8), 1713-1721. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>

Mesquita F. O., Cavalcante, L. F., Pereira, W. E., Rebequi, A. M., Lima Neto, A. J., & Nunes, J. C. (2012). Produção de mudas de maracujazeiro amarelo submetidas à salinidade em solo com biofertilizante bovino. *Ciencia del Suelo*, 30(1), 31-41.

Mota, F. S. B., & Sperling, M. V. (2009). *Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção*. Rio de Janeiro: AESB, 428p.

Rebouças, J. R. L., Dias, N. S., Gonzaga, M. I. S., Gheyi, H. R., & Sousa Neto, O. N. (2010). Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, 23(1), 97-102.

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: U.S. Salinity Laboratory, 160p.

Rodolfo Junior, F. R., Cavalcante, L. F., & Buriti, E. S. (2009). Crescimento e produção do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizantes e adubação mineral com NPK. *Revista Caatinga*, 22(2), 149-160.

Santos, C. K., Santana, F. S., Ramos, F. S. M., Faccioli, G. G., & Gomes Filho, R. R. (2018). Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*Abelmoschus esculentus* L.). *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(4), 2276-2783. DOI: <http://doi.org/10.7127/rbai.v12n400975>

Santos, M. R. A., Gomes Filho, R. R., Faccioli, G. G., Carvalho, C. M., Nunes, T. P., Carvalho, L. L. S., Araújo Filho, R. N., Pedrotti, A.; Valnir Júnior, M., & Lima, S. C. R. V.

(2020). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Irrigated with Domestic Sewage Treated in Protected Environment. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 10 (6), 47-52. DOI: <http://doi.org/10.9790/9622-1006034752>

Santos, S. R., Ribeiro, D. P., Matos, A. T., Kondo, M. K., & Araújo, E. D. (2017). Changes in soil chemical properties promoted by fertigation with treated sanitary wastewater. *Engenharia Agrícola*, 37(2), 343-352. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n2p343-352/2017>

Silva, C. L., Bassi, N. S. S., & Rocha Junior, W. F. (2016) Technologies for rational water use in Brazilian agriculture. *Revista Ambiente & Água*, 11(2), 239-249. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1808>

Silva, L. L., Carvalho, C. M., Souza, R. P. F., Feitosa, H. O., Feitosa, S. O., & Gomes Filho, R. R. (2014). Utilização de efluentes domésticos no crescimento da pimenta (*Capsicum chinense*), cultivar tequila bode vermelha. *Agropecuária Técnica*, 35(1), 121-133. DOI: <http://doi.org/10.25066/agrotec.v35i1.19440>

Silva, S. L., Feitosa, S. O., Feitosa, E. O., Feitosa, H. O., & Carvalho, C.M. (2015). Crescimento da alface crespa irrigada com efluente tratado e água salina sob diferentes concentrações em ambiente protegido. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, 8(3), 2015, 45-52. DOI: <http://doi.org/10.5935/PAeT.V8.N3.05>

Silva, V. F., Bezerra, C. V. C., Nascimento, E. C. S., Ferreira, T. N. F., Lima, V. L. A., & Andrade, L. O. (2019). Production of chili pepper under organic fertilization and irrigation with treated wastewater. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(2), 84-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n2p84-89>

Soares, F. A. L., Gheyi, H. R., Viana, S. B. A., Uyeda, C. A., & Fernandes, P. D. (2002). Water salinity and initial development of yellow passion fruit. *Scientia Agrícola*, 59(3), 491-497. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000300013>

Sousa Neto, O. N., Andrade Filho, J., Dias, N. S., Rebouças, J. R. L., Oliveira, F. R. A., & Diniz, A. A. (2012). Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. *Revista*

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(2), 200-208. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000200011>

Sousa, V. F., Folegatti, M. V., Frizzone, J. A., Corrêa, R. A. L., & Eloi, W. M. (2003). Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(4), 497-504. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2003000400008>

Souza, A. M. S., Carvalho, R. S., Santos, H. B., Machado, C. A., Dantas, I. L. A., & Faccioli, G. G. (2015). Qualidade da água deso e água residuária proveniente do sistema de lagoas de estabilização. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 9(1), 24-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v9n100269>

Souza, S. F., & Ribeiro, V. G. (2016). Yellow passion-fruit irrigated in diferent cropping systems. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(3), e-512. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452016512>

Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 918p.

Urbano, V. R., Mendonça, T. G., Bastos, R. G., & Souza, C.F. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>

Varallo, A. C. T., Souza, C. F., & Santoro, B. L. (2012). Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa* L.). *Engenharia Agrícola*, 32(2), 271-279. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Cley Anderson Silva de Freitas – 20%

Juarez Cassiano de Lima Júnior – 20%

Francisco Marcus Lima Bezerra – 15%

Lucas de Souza Cunha – 15%

Fábio Freire de Oliveira – 10%

Kleitton Rocha Saraiva – 10%

Clayton Moura de Carvalho – 10%