

PARÂMETROS QUÍMICOS INDICATIVOS DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Data de aceite: 01/08/2023

Ana Carolina Barbosa Kummer

<http://lattes.cnpq.br/3603542502448451>

Helio Grassi Filho

<http://lattes.cnpq.br/4064515192802807>

Fernando Ferrari Putti

<http://lattes.cnpq.br/1271601437211484>

André Luiz Justi

<http://lattes.cnpq.br/6336985419738703>

RESUMO: Com a possibilidade de utilização de águas residuárias em sistemas irrigados, o aspecto qualitativo ganha grande importância. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo investigar a viabilidade de utilização de água de reúso em culturas agrícolas via irrigação localizada por gotejamento. Para isso, utilizaram-se dados do monitoramento de parâmetros físico-químicos (K, Ca, Mg, Cu, Zn, S, N, pH e CE) da água residuária proveniente da saída de uma estação de tratamento de esgotos, utilizada na irrigação de soja e trigo em substituição à água potável. Os resultados foram comparados com dados da literatura de maneira a verificar as características químicas que podem limitar o emprego dessa água em sistema

de irrigação localizada por gotejamento e dos efeitos adversos que podem trazer às plantas a ao solo. Os teores de Ca, Mg, Cu e Zn, bem como os valores de pH, foram considerados normais, não conferindo limitações ao emprego da água residuária na agricultura irrigada. Assim, pode-se inferir que a água de reúso proveniente da ETE de Botucatu-SP, Brasil, pode ser utilizada para fins de irrigação.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente tratado, qualidade, água, reciclagem, irrigação localizada.

CHEMICAL PARAMETERS INDICATIVE OF WASTEWATER USE IN DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: With the possibility of using wastewater in irrigated systems, the qualitative aspect obtain importance. Therefore, this study aimed to investigate, through chemical characteristic, the feasibility of using of wastewater for agricultural crops by localized irrigation drip. For this, they monitored during seven months physico-chemical parameters (K, Ca, Mg, Cu, Zn, S, N, pH and Conductivity electrical) of wastewater from the output of a sewage treatment plant, used for irrigation

soy and wheat, replacing the drinking water. The results were compared with literature data in order to check the chemical features that may restrict the use of such water for irrigation system located drip, and the adverse effects it can bring the plants to soil. Values of Ca, Mg, Cu and Zn, and the pH were considered normal, giving no limitation to the use of wastewater in irrigated agriculture. Thus, it can be inferred that the recycled water from the WWTP Botucatu – São Paulo, Brazil, can be used for irrigation purposes.

KEYWORDS: treated effluente, quality, water, recycling, drip irrigation.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional vem exigindo uma agricultura que possibilite a produção de alimentos em maior quantidade e qualidade, e nesse contexto a irrigação ganha grande expressão, possibilitando a expansão de terras com potencial produtivo além de ampliar a produção com a adoção de tecnologias e manejo adequados.

A irrigação é uma prática milenar, que visa disponibilizar água para as plantas de forma controlada, no momento adequado e em quantidade suficiente, a fim de garantir a produtividade das culturas.

Nas últimas décadas, a crise hídrica, agravada pelos problemas de poluição, elevou a busca por fontes alternativas de água, principalmente para a irrigação, atividade reconhecida mundialmente por utilizar grandes volumes de água.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2022), dentre os usos consuntivos setoriais de água no país, a irrigação lidera o crescimento das retiradas de água, que em 2020 representou 50% da retirada total no país, com perspectivas no aumento da demanda em 15% até 2040.

Nesse sentido, surge como alternativa o uso de efluentes tratados ou águas residuárias, que em função do aumento das estações de tratamento de esgotos no território nacional, tiveram produção elevada nos últimos anos, possuindo características químicas positivas sob o ponto de vista agrônomo. O Brasil, atualmente, conta com 2,9 milhões de hectares irrigados com água de reúso, cerca de 35% das áreas irrigadas (ANA, 2022).

A prática da irrigação sempre esteve relacionada com a quantificação dos recursos hídricos, deixando-se em segundo plano a sua qualidade. Com a possibilidade de utilização de águas residuárias em sistemas irrigados, o aspecto qualitativo ganha grande importância, tanto no que se refere aos efeitos no solo e na planta, quanto aos efeitos no próprio sistema de distribuição de água.

Na região de Botucatu-SP, Brasil, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas estudando-se a aplicação da água de reúso em culturas agrícolas como: milho (PLETSCH, 2012), laranja (ROMEIRO, 2012; MOREIRA, 2013; LANZA, 2014), trigo, soja (KUMMER, 2013), girassol (LIMA, 2015), feijão (MELO *et al.*, 2020) e tomate (SOUSA *et al.*, 2021). O enfoque principal dos trabalhos é avaliar o efeito da água residuária no solo e nas plantas, sendo escassos os trabalhos que abordem as características físico-químicas da

água residuária e suas implicações na infiltração do solo e o potencial de obstrução dos emissores, mediante o emprego em sistemas de irrigação.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi investigar a viabilidade de utilização de água de reúso em culturas agrícolas, via irrigação localizada por gotejamento. Para isso, utilizaram-se dados do monitoramento de parâmetros físico-químicos da água residuária oriunda de uma estação de tratamento de esgotos, utilizada para irrigação de soja e trigo em estufa agrícola. Os resultados foram comparados com dados da literatura de maneira a verificar as características físico-químicas que podem limitar o emprego dessa água no sistema de irrigação localizada por gotejamento, bem como os efeitos adversos que podem trazer às plantas e ao solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se dados da caracterização química da água residuária utilizada na irrigação localizada das culturas de trigo e soja, no Setor de Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, Botucatu-SP.

O município encontra-se entre as coordenadas geográficas 22°52'55" de latitude Sul e 48°26'22" de longitude Oeste, a aproximadamente 789 m de altitude. De acordo com Cunha e Martins (2009), o clima da região é temperado quente úmido, com deficiência hídrica nos meses de abril, julho e agosto, e período chuvoso nos meses de primavera-verão. A precipitação média anual é de 1.428mm e temperatura média anual é de 20,5°C.

As plantas foram cultivadas em vasos (43L) dispostos em estufa agrícola não climatizada. A distribuição de água às plantas ocorreu por meio de um sistema de irrigação localizada, utilizando-se gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 4 L h⁻¹. A lâmina de água aplicada diariamente em cada unidade experimental (vaso) foi determinada em função da eficiência do sistema de irrigação (95%), do coeficiente de cultivo (Kc) e da evaporação do tanque classe A, instalado na parte central da estufa agrícola.

Água residuária, objeto de estudo, foi proveniente da saída da estação de tratamento de esgotos (ETE) do município de Botucatu-SP, localizada na Fazenda Experimental Lageado pertencente à FCA/UNESP. Vale mencionar que o sistema de tratamento de esgotos é constituído por um desarenador, seguido de tanque de equalização, reator anaeróbio de fluxo ascendente, decantadores primário e secundário. Na ocasião, a estação tratava cerca de 386 L s⁻¹ de esgoto, com vazão média de tratamento de 355 L s⁻¹.

Com carreta tanque, semanalmente a água residuária era transportada da ETE até as proximidades da estufa agrícola, onde se encontrava um reservatório com capacidade de 1.000 L, no qual era acondicionada a água (Figura 1A e 1B).



Figura 1 – Reservatório de água residuária (A) e reabastecimento com carreta tanque (B).

Para monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água residuária, efetuaram-se coletas semanais na saída do reservatório (Figura 1A). Essas coletas ocorreram em duas épocas distintas (inverno e verão), compreendidas pelo período do ciclo de cultivo de cada cultura, ou seja, de junho a agosto de 2012 e de dezembro de 2012 a março de 2013, totalizando 22 semanas de monitoramento.

Tanto as coletas quanto a preservação das amostras seguiram a metodologia descrita em APHA (2005). Realizaram-se as análises químicas em triplicata, determinando-se os teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu) e zinco (Zn) por espectrofotometria de absorção atômica. As análises do teor de fósforo (P) foram realizadas pela colorimetria do metavanadato e os teores de enxofre (S) e nitrogênio (N), determinados pela turbidimetria do sulfato de bário e pelo semi-Kjeldahl, respectivamente. Efetuaram-se as medidas de condutividade elétrica (CE) através de um condutímetro da Tecnal (modelo Tec-5) enquanto o pH foi determinado por peagâmetro Tecnopon (modelo mCA 150).

Compararam-se os resultados médios (semanais e mensais) obtidos neste estudo com dados da literatura (AYERS e WESTCOTT, 1985; GILBERT e FORD, 1986¹ citado por BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006; CROOK, 1993² e USEPA, 1999³ citados por BLUM, 2003; BRASIL, 2005; AYERS e WESTCOT, 1986 citado por MOURA *et al.*, 2011), permitindo verificar a viabilidade de utilização de da água de reuso na irrigação de culturas agrícolas. Da mesma forma foi possível verificar, através da caracterização química, o potencial de risco de obstrução das tubulações e emissores (gotejadores) no sistema de irrigação localizada.

1. GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational Principles/Emitter Clogging. In: NAKAYAMA, F. S. BUCKS, D. A. Trickle irrigation of crop production. [S.l.]: Elsevier Science Publishers, 1986, 383 p.

2. CROOK, J. Critérios de Qualidade da Água de Reuso. Trad. Hilton F. Santos. In: Revista DAE, v.174, p.10-8, 1993.

3. USEPA. US Environmental Protection Agency. In: *Nacional Primary Drinking Water Regulations Current Drinking Water Standards*. Office of Water, 1999.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade da água para irrigação pode ser definida em razão da concentração de elementos químicos, físicos ou biológicos. De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), dentre as determinações usualmente necessárias para análise dessa água encontram-se: condutividade elétrica (CE), razão de adsorção de sódio (RAS), pH, Ca e Mg.

Outros elementos como N, P, K e S não são citados na literatura científica como limitantes no emprego da irrigação localizada. No entanto, sabe-se que a presença de alguns desses elementos pode ser favorável ao desenvolvimento das plantas, assim como o excesso pode trazer efeitos adversos ao solo e às espécies vegetais.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados médios semanais dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu e Zn, além dos valores médios de pH e condutividade elétrica (CE) da água residuária durante o período de monitoramento.

	Semana/mês de referência	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	pH	CE
		----- mg L ⁻¹ -----									dS/m
Inverno	1 ^a / jun	62	5,0	15	22	3	9,0	0,06	0,05	7,5	0,53
	2 ^a / jun	52	7,0	15	13	3	10,0	0	0	7,6	0,51
	3 ^a / jun	83	5,0	15	12	3	10,0	0	0	7,7	0,53
	4 ^a / jul	84	7,0	15	14	3	10,0	0	0	7,8	0,58
	5 ^a / jul	77	8,0	15	12	3	8,0	0	0	8,0	0,59
	6 ^a / jul	108	8,0	18	20	3	12,0	0	0	7,8	0,77
	7 ^a / ago	126	8,0	17	15	3	11,0	0	0	8,4	0,78
	8 ^a / ago	109	8,0	17	16	3	14,0	0	0	7,7	0,75
	9 ^a / ago	98	10,0	17	18	3	15,0	0	0	7,7	0,82
	10 ^a / ago	111	13,0	23	19	3	18,0	0	0	7,4	0,87
	11 ^a / ago	87	9,0	20	17	3	15,0	0	0	7,3	0,71
	Mín.	52,0	5,0	15,0	12,0	3,0	8,0	0,00	0,00	7,3	0,51
Máx.	126,0	13,0	23,0	22,0	3,0	18,0	0,06	0,05	8,4	0,87	
Média	90,6	8,0	17,0	16,2	3,0	12,0	0,01	0,00	7,7	0,68	

Verão	12 ^a / dez	26	2,0	15	13	2	10,8	0	0,01	7,7	0,54
	13 ^a / dez	17	2,8	17	18	2	11,2	0	0,01	7,7	0,54
	14 ^a / dez	19	5,4	15	13	2	10,4	0	0,01	7,4	0,64
	15 ^a / jan	21	3,2	16	13	3	9,3	0	0,01	8,6	0,46
	16 ^a / jan	18	2,3	11	11	2	5,6	0	0,02	7,3	0,23
	17 ^a / jan	17	3,1	13	19	2	6,5	0	0,02	7,2	0,36
	18 ^a / fev	13	4,9	14	18	2	8,5	0	0,01	7,3	0,46
	19 ^a / fev	15	5,1	14	15	2	13,5	0	0,01	7,8	0,45
	20 ^a / fev	14	3,9	14	16	3	11,4	0	0,01	7,9	0,44
	21 ^a / fev	19	4,1	16	20	3	11,7	0	0,01	7,7	0,40
	22 ^a / mar	20	5,0	16	22	3	8,6	0	0,03	7,8	0,43
	Mín.	13,0	2,0	11,0	11,0	2,0	5,6	0,00	0,01	7,2	0,23
Máx.	26,0	5,4	17,0	22,0	3,0	13,5	0,00	0,03	8,6	0,64	
Média	18,1	3,8	14,6	16,2	2,4	9,8	0,00	0,01	7,7	0,45	

Tabela 1 - Resultados médios semanais da condutividade elétrica (CE), pH e teores de macro e micronutrientes na água residuária de ETE utilizada na irrigação localizada por gotejamento, no período de inverno e verão, na região de Botucatu-SP

De forma geral, observa-se que a maioria dos elementos, exceto o Ca e Zn, apresentaram, em média, teores mais elevados no período de inverno (Tabela 1).

Segundo Cunha e Martins (2009), embora a região de Botucatu-SP apresente uma precipitação média anual acima de 1.400 mm, no inverno é característico da região ocorrer um período de estiagem. Observou-se no decorrer deste estudo, que a precipitação acumulada no inverno foi inferior à observada no verão (Tabela 2). Essa deficiência hídrica nos meses de junho, julho e agosto pode ter contribuído para elevar a concentração média dos elementos P, K, Mg, S, Cu e principalmente do N na água de reúso (Tabela 1), uma vez que, provavelmente, não houve diluição pela água da chuva.

Descrição	Inverno		Verão ¹	
	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)
Acumulada	161,8	-	777,0	-
Média	-	18,1	-	22,5
Máxima	84,8	22,3	54,2	26,7
Mínima	0,0	11,3	0,0	17,4

¹Temperatura externa.

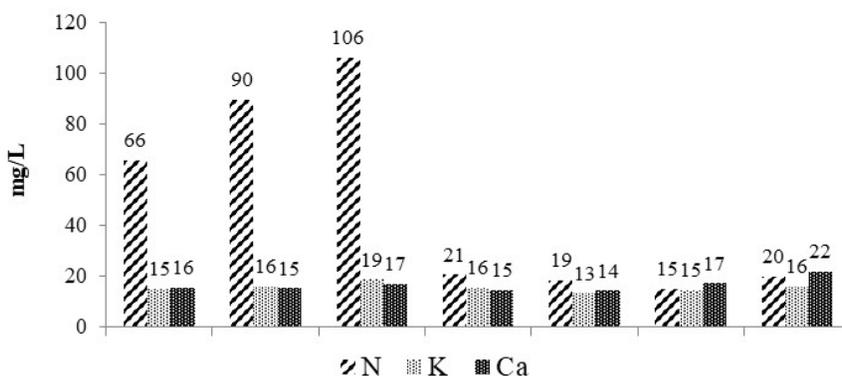
Tabela 2. Precipitação e temperatura do ar no período de estudo

Embora o Brasil não conte com uma legislação específica para o reaproveitamento de águas de qualidade inferior na agricultura, a resolução do Conama nº357/2005 (BRASIL, 2005) alterada pelas resoluções Conama nº393/2007, nº397/2008, nº410/2009 e nº430/2011, trazem entre outros, um conjunto de condições e padrões de qualidade de água (doce, salobra e salina) necessários ao atendimento dos usos preponderantes, inclusive na irrigação.

Dessa maneira os valores médios mensais de N (Figura 2) encontraram-se acima dos limites estabelecidos pela referida resolução (BRASIL, 2005), onde os teores de N na água doce classe III, que pode ser destinada à irrigação de forrageiras e cerealíferas, deve ser de 5,6 mg L⁻¹ para pH entre 7,5 e 8,0. Já nas diretrizes propostas por Ayers e Westcot (1985) para qualidade da água de irrigação, a concentração de N deve estar abaixo de 5,0 mg L⁻¹ para que não haja restrição ao uso, pois acima de 3,0 mg L⁻¹ a restrição se torna severa.

Sandri, Matsura e Testezlaf (2006), avaliando as características de água residuária proveniente de dejetos domésticos e sanitários na irrigação de alface, registraram teores de N que variaram de 32,5 a 37,4 mg L⁻¹, enquanto que os maiores teores de P-total na água residuária foram de 2,35 mg L⁻¹, diferente do observado neste estudo, que acusou a maior média mensal de 9,6 mg L⁻¹ de P no mês de agosto (Figura 2).

Durante todo o período de monitoramento (Tabela 1) os valores médios de P encontraram-se acima do teor máximo permitido nas águas doces classe III (Brasil, 2005), que é de 0,15 mg L⁻¹ de P. No entanto, segundo Blum (2003), o excesso de P na água de irrigação não implica em prejuízos, assim como quantidades elevadas de P nas águas residuárias de esgotos domésticos, não são suficientes para suprir a demanda nutricional das culturas.



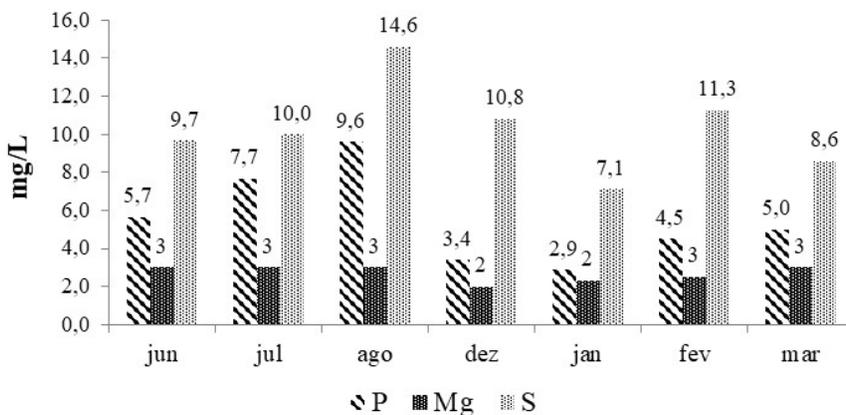


Figura 2. Teores médios mensais de Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) em água residuária de ETE utilizada na irrigação localizada por gotejamento.

Do ponto de vista agrônomo, a água de reúso pode ser benéfica possibilitando complementar a adubação química, trazendo como consequência a economia de fertilizantes e a redução nos custos de produção. Nesse sentido, as concentrações de N mais elevadas observadas no período de inverno (Tabela 1), em especial no mês de agosto (Figura 2), sinalizam o potencial fertilizante da água de reúso, uma vez que o N é o elemento com maior exigência quantitativa pela maioria das culturas.

Nas mesmas condições deste estudo, Kummer (2013) relatou aumento de 76 e 137% na produtividade de trigo e de soja, respectivamente, utilizando essa mesma água residuária em substituição à água potável, em solo sem adubação nitrogenada (química ou orgânica) complementar. Isso ressalta a importância da contribuição dos macro e micro nutrientes na água de reúso para o desenvolvimento das culturas.

O teor médio mensal de K (Figura 2) variou entre 13 e 19 mg L⁻¹, valores superiores às faixas usuais de K na água de irrigação (2 mg L⁻¹) (AYERS e WESTCOT, 1985) e nas águas superficiais (1 – 3 mg L⁻¹) (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011). Já o teor de Mg pouco variou (Tabela 1), com médias mensais oscilando entre 2 e 3 mg L⁻¹ (Figura 2).

Em todo período de monitoramento as concentrações de Ca e Mg encontraram-se abaixo de 400 mg L⁻¹ e de 60 mg L⁻¹, respectivamente, sendo consideradas normais para água de irrigação, segundo critérios de Ayers e Westcot (1986) citado por Moura et al (2011), uma vez que se aproximaram das concentrações de Ca (15 mg L⁻¹) e Mg (4 mg L⁻¹) encontradas em águas superficiais (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Para Bernardo, Soares e Mantovani (2006), o grande problema relacionado ao Ca e Mg na água de irrigação, é a possibilidade de precipitação desses elementos sob a forma de carbonatos na presença de elevada concentração de bicarbonato, podendo contribuir para reduzir a concentração de Ca e Mg na solução do solo e, conseqüentemente, elevar a proporção de sódio no meio.

Costa *et al.* (2009), observaram valores elevados de Ca (128 mg L⁻¹) e Mg (122mg L⁻¹) em água residuária utilizada na irrigação de milho, fato provavelmente relacionado à origem do efluente (decantado de um reator anaeróbio de fluxo ascendente). No entanto Moura *et al.* (2011), avaliando a qualidade da água de um córrego para irrigação, registraram teores de Ca entre 13 e 64 mg L⁻¹ e de Mg entre 12 e 74 mg L⁻¹, com alguns valores superiores aos dos encontrados neste estudo onde se trabalhou com água residuária.

O teor médio mensal de S (Figura 2) variou de 7,1 a 14,6 mg L⁻¹, valores superiores aos encontrados por Sandri, Matsura e Testezlaf (2006), que avaliando a qualidade da água residuária utilizada em irrigação, obtiveram valores de S variando de 2,5 a 4,0 mg L⁻¹.

O S pode estar presente na água de irrigação em diversas formas, sendo as mais frequentes: sulfato (SO₄⁻²) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011) e para Gilbert e Ford (1986) citado por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a água de irrigação deve apresentar uma concentração abaixo de 0,2 mg L⁻¹ de H₂S para que haja pequeno risco de entupimento de emissores, pois acima desse valor o risco é considerado severo. Segundo Almeida (2010), a concentração de 1 mg L⁻¹ de S na água de irrigação, pode favorecer o desenvolvimento de bactérias sulfurosas ocasionando a obstrução de filtros e emissores.

Se por um lado é desejável que a água de reúso contenha elementos essenciais para o desenvolvimento dos vegetais, por outro, tais elementos devem se apresentar em concentrações que não comprometam negativamente o solo, as plantas, tampouco o sistema de irrigação, principalmente a irrigação localizada.

Nesse sentido, Crook (1993) e Usepa (1999) citados por Blum (2003), propuseram limites aceitáveis de concentração de determinados elementos quando se utiliza água por longos períodos ou em curto espaço de tempo (Tabela 3).

Parâmetro	Limite recomendado (mg L ⁻¹)		Interpretação
	LP*	PC*	
Cobre (Cu)	0,2	5,0	Em teores entre 0,1 e 1,0 mg L ⁻¹ é tóxico para vários tipos de plantas.
Zinco (Zn)	2,0	10,0	Em concentrações elevadas pode ser tóxico à várias plantas; a toxicidade é reduzida em pH elevado (≥ 6) e em solos de textura fina ou orgânicos.
	Limite recomendado		
pH	6,0 – 8,5		O efeito do pH sobre o desenvolvimento das plantas é indireto (Ex.: efeito sobre a toxicidade de metais pesados).

*Limite para uso da água por períodos curtos (PC) (< 20 anos) e por longos períodos (LP) (acima de 20 anos); 1 Adaptado de Crook (1993) e Usepa (1999) citados por Blum (2003).

Tabela 3 - Limites toleráveis de parâmetros químicos em água de reúso para irrigação agrícola¹

Comparando-se os dados da Tabela 1 e das Figuras 3 e 4 com as informações da Tabela 3, observa-se que os teores de Cu e Zn não ultrapassaram as concentrações que limitam a utilização da água de irrigação por longos períodos. A máxima concentração de Zn foi obtida no mês de junho (Tabela 1) enquanto que a maior média mensal constatou-se no mês de março (Figura 3), sem exceder a faixa recomendada para o elemento (5 mg L^{-1}) para águas doces classe III que podem ser utilizadas para irrigação de forrageiras e cerealíferas (BRASIL, 2005).

A presença de Cu na água residuária foi observada somente na primeira data de coleta (Tabela 1), sem registros para os demais meses de monitoramento (Figura 3).

Resultados semelhantes foram observados por Kummer *et al.* (2012) em monitoramento da qualidade da água de reúso para irrigação do trigo, entre os meses de maio a outubro de 2011, onde os teores de Cu e Zn não ultrapassaram os limites recomendados para uso da água por longos períodos (CROOK, 1993 e USEPA, 1999 citados por BLUM, 2003), com concentração máxima de $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ de Cu e $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ de Zn.

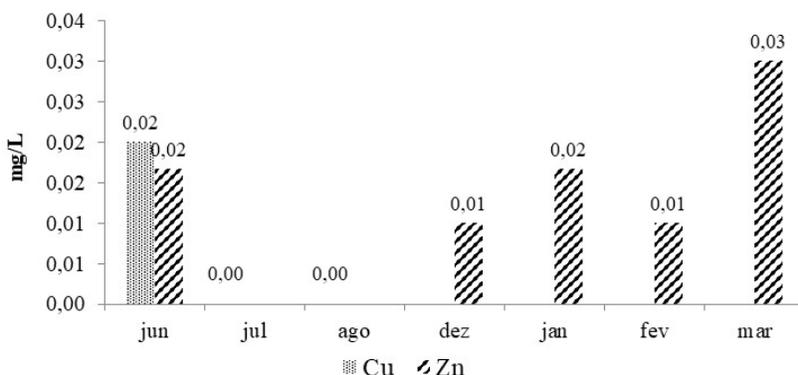


Figura 3 - Teores médios mensais de Cobre (Cu) e Zinco (Zn) em água residuária de ETE utilizada na irrigação localizada por gotejamento.

Também Gilbert e Ford (1986) citado por Bernardo, Soares e Mantovani (2006), propuseram uma classificação da qualidade da água de irrigação, onde relacionam a concentração e/ou valores de parâmetros químicos com o potencial risco de entupimento de emissores. Dentre os parâmetros citados por esses autores encontra-se o pH que deve estar numa faixa compreendida entre 7,0 e 8,0 para risco moderado de entupimento, onde valores abaixo de 7,0 e acima de 8,0 caracterizaram risco baixo e severo, respectivamente.

Em todo período de avaliação (Tabela 1) o pH mostrou-se acima de 7,0. Valores acima de 8,0 foram observados na primeira semana de agosto e na primeira semana de janeiro apontando para risco severo de entupimento de emissores. No entanto, observa-se que os valores médios mensais de pH ficaram na faixa compreendida entre 7,6 e 7,8, indicando risco moderado de entupimento de emissores (Figura 4).

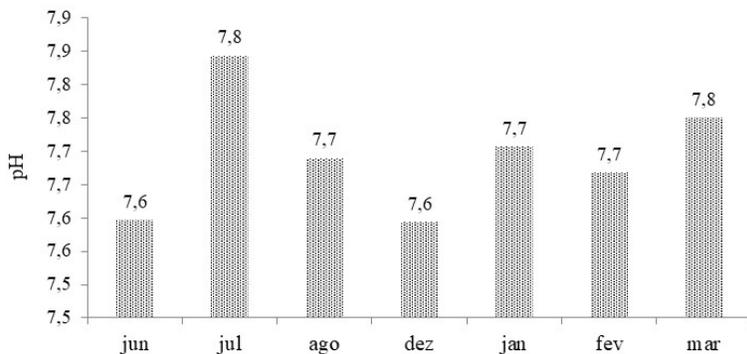


Figura 3 - Valores médios mensais de pH na água residuária utilizada para irrigação.

O risco de entupimento ocorre, pois como efeito indireto, o pH em determinadas condições pode contribuir para a precipitação de elementos químicos, inclusive metais pesados. De acordo com a classificação proposta por Crook (1993) e Usepa (1999) citados por Blum (2003), os valores de pH deste estudo encontram-se dentro dos limites recomendados para utilização de água residuária em sistemas agrícolas.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sandri, Matsura e Testezlaf (2006) que verificaram pH médio de 7,0 na água residuária utilizada na irrigação de alface. Já em estudo da qualidade da água de um córrego para fins de irrigação na produção de alimentos, Dalastro *et al.* (2014) verificaram pH entre 6,4 e 7,2. Para Ayers e Westcot (1985), a amplitude normal de pH na água de irrigação é de 6,5 a 8,4, o que corrobora com os resultados encontrados neste trabalho.

As variações mensais de condutividade elétrica apontaram para uma água com salinidade média (CE entre 0,25 e 0,75 dS.m⁻¹, a 25°C) de acordo com a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), à exceção do mês de agosto, onde obteve-se uma CE média mensal de 0,79 dS.m⁻¹ (Figura 5).

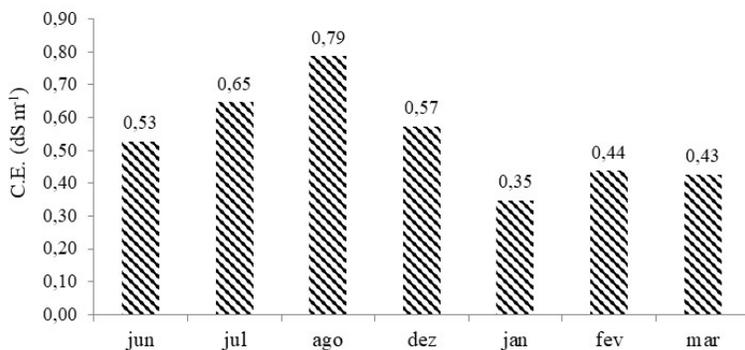


Figura 5 - Valores médios mensais de Condutividade Elétrica (CE) na água residuária utilizada para irrigação.

No verão não foram observados valores acima de $0,75 \text{ dS.m}^{-1}$ enquanto que no inverno, em pelo menos quatro semanas, esse valor foi superado (Tabela 1). Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a água com salinidade média pode ser utilizada sempre que houver grau moderado de lixiviação na irrigação de espécies vegetais com moderada tolerância aos sais, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade. De acordo com a interpretação de Ayers e Westcott (1985), essa água não apresenta restrição ao uso na irrigação, pois os valores médios mensais de CE, em sua maioria, ficaram abaixo de $0,70 \text{ dS.m}^{-1}$. A CE variou de $0,23$ a $0,87 \text{ dS.m}^{-1}$ (Tabela 1) diferentemente do observado por Kummer et al. (2012), cuja variação foi de $0,59$ a $0,69 \text{ dS.m}^{-1}$, no entanto apresentaram médias próximas. Em trabalho realizado por Sandri, Matsura e Testezlaf (2006), avaliando a irrigação da alface com água residuária os autores registraram CE variando de $0,52$ a $0,63 \text{ dS.m}^{-1}$ enquanto que Costa *et al.* (2009) verificaram CE de $1,36 \text{ dS.m}^{-1}$ em água residuária utilizada para irrigação de milho.

CONCLUSÕES

- A água residuária proveniente da saída da estação de tratamento de esgotos do município de Botucatu/SP pode ser utilizada em sistemas agrícolas irrigados, desde que analisados os critérios químicos que limitam a utilização dessa água no sistema de irrigação, no solo ou na planta;
- As variações mensais de condutividade elétrica apontaram para uma água com salinidade média podendo ser utilizada na irrigação de plantas que apresentem tolerância moderada aos sais, ressaltando que deve apresentar grau moderado de lixiviação do solo;
- Os teores dos macronutrientes Ca e Mg e dos micronutrientes Cu e Zn, bem como os valores de pH, foram considerados normais, não conferindo limitação ao emprego da água residuária na agricultura irrigada.
- Não se pode afirmar que os teores de N, P, K e S foram limitantes na irrigação localizada.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021**: relatório pleno. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2022.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.

American Public Health Association - APHA. **Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater**. USA: Washington, 2005.

AYERS, R. S.; WETCOT, D. T. **Water quality for agriculture** (Revised). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 1985. 174 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. E Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. p.125-174.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357/2005**, de 17 de março de 2005. – In: Resoluções, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 12 jun. 2023.

COSTA, F. X.; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V.; SOARES, F. A. L.; ALVA, I. D. M. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, p.687-693, 2009.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, V. 14, n.1, p.1-11, janeiro-março, 2009.

DALASTRA, C.; HERNANDEZ, F. B. T.; BARBOZA, G. C.; SONEGO C. R. Qualidade da água do córrego do Cedro para fins de irrigação na produção de alimentos consumidos *in-natura*. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.1, n.2, p.52-63, out./dez. 2014.

KUMMER, A. C. B. K. Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja. 2013. 178 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

KUMMER, A. C. B.; SILVA, I. P. F.; LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p.297-308, 2012.

LANZA, M. H. Utilização de lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeiras 'Valência'. 2014. 64 f. **Dissertação** (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

LIMA, R. A. S. Utilização de resíduos de tratamento de esgoto como suprimento hídrico e nutricional na cultura do girassol. 2015. 59 f. **Dissertação** (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

MELO, M. R. M.; SOUSA, F. G. G.; CARVALHO, R. S. C.; GRASSI FILHO, H.; KLAR, A. E. Água residuária como alternativa de irrigação em duas cultivares de feijão. **Revista Irriga**, Botucatu, v.25, n.2, p.388-401, abr./jun., 2020.

MOREIRA, L. L. Q. Alterações químicas no sistema solo-planta após adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira 'Valência'. 2013. 68 f. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

MOURA, R. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; LEITE, M. A.; FRANCO, R. A. M.; FEITOSA, D. G.; MACHADO, L. F. Qualidade da água para uso em irrigação na microbacia do córrego do Cinturão Verde, município de Ilha Solteira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.1, p.68-74, 2011.

PARON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de Procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. 1 ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2011, 67 p.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 67 p.

PLETSCH, T. Ap. Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado. 2012. 71 f. **Tese** (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

ROMEIRO, J. C. T. Atributos químicos do solo e crescimento de laranjeiras 'pera' irrigadas com efluentes de esgoto tratado e fertilizadas com lodo de esgoto compostado. 2012. 145 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, jan./abr., 2006.

SOUSA, F. G. G.; CARVALHO, R. S. C.; MELO, M. R. M.; GRASSI FILHO, H. Absorção de macronutrientes e sódio pelo tomateiro submetido a irrigação com e sem déficit hídrico, utilizando diferentes concentrações de água residuária. **Revista Irriga**, Botucatu, v.26, n.1, p.65-76, jan./mar., 2021.