

## INFLUÊNCIA DA FERTIRRIGAÇÃO POR SULCO UTILIZANDO ÁGUA RESIDUÁRIA E DIFERENTES NÍVEIS DE ADUBAÇÃO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO

DÉBORA PANTOJO DE SOUZA<sup>1</sup>; JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ<sup>2</sup>;  
ALEXSANDRO OLIVEIRA DA SILVA<sup>2</sup> E RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ  
ROMÁN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, [deborapantojo@hotmail.com](mailto:deborapantojo@hotmail.com)

<sup>2</sup>Doutorando em Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, [queluz@fca.unesp.br](mailto:queluz@fca.unesp.br), [alexandro\\_oliveira01@hotmail.com](mailto:alexandro_oliveira01@hotmail.com)

<sup>3</sup> Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, [rmsroman@fca.unesp.br](mailto:rmsroman@fca.unesp.br)

### 1 RESUMO

A prática do reúso de águas residuárias é uma alternativa importante para a agricultura irrigada, pois essas águas apresentam elevadas concentrações de nutrientes essenciais para as plantas. O objetivo do presente trabalho foi verificar se a irrigação com esgoto tratado e o uso de diferentes níveis de adubação influenciam na produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). O experimento foi realizado em um delineamento casualizado em blocos no qual foram testados cinco níveis de adubação (100, 75, 50, 25 e 0% da dose recomendada) com quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais em um sistema de irrigação por sulcos. Os parâmetros utilizados para avaliar o efeito dos tratamentos aplicados foram: altura das plantas, produtividade, número de vagens, número de grãos por vagem, massa fresca e seca das plantas e massa de 100 grãos. Com os dados de produtividade obtidos e o uso de análise de regressão observou-se que a maior produção ocorreu para uma dose de 55,87% da adubação recomendada. Por outro lado, nos tratamentos com elevadas doses de adubação (75 e 100%) houve uma diminuição na produtividade devido ao excesso de nutrientes. Os resultados permitem concluir que para o feijoeiro a utilização de 50% da adubação recomendada ou de uma porcentagem ainda menor (25%), em conjunto com água residuária, permite a obtenção de elevada produtividade (>3500 kg ha<sup>-1</sup>).

**Palavras-chaves:** *Phaseolus vulgaris* L., esgoto doméstico, irrigação.

SOUZA D. P. de; QUELUZ, J. G. T.; SILVA, A. O. da; SÁNCHEZ ROMÁN, R. M. S.  
INFLUENCE OF FURROW FERTIGATION USING WASTE WATER AND  
DIFFERENT LEVELS OF FERTILIZATION ON BEAN YIELD

### 2 ABSTRACT

The practice of reusing wastewater is one important tool for irrigated agriculture, as this water has high concentrations of essential nutrients for plants. The objective of this study was to evaluate whether irrigation using treated sewage and the use of different levels of fertilization

would affect the yield of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). A completely randomized block design was used with five levels of fertilization (100, 75, 50, 25 and 0% recommended dose) with four replicates, amounting to 20 experimental plots in a system of furrow irrigation. The following parameters were used to evaluate the effect of the treatments: plant height, yield, number of pods, number of grains per pod, fresh and dry matter of plants and weight of 100 grains. Based on yield data and use of regression analysis, a higher yield was observed for 55.87 % fertilizer recommendations. Conversely, high doses of fertilization (75 and 100%) reduced yield, as a result of excessive nutrients. The results showed that using 50% fertilizer recommendation, or an even lower percentage (25%), together with the use of waste water allows high bean yield.

**Keywords:** *Phaseolus vulgaris* L., household sewage, irrigation.

### 3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das mais representativas explorações agrícolas, além de sua grande importância na alimentação básica da população. Porém, o feijoeiro é muito sensível à falta de água e a irrigação da cultura é necessária para garantir a produção na época seca (STONE et al., 2006), principalmente nas regiões do semiárido brasileiro. Infelizmente, o elevado crescimento populacional e industrial das últimas décadas afetou tanto a qualidade quanto a quantidade dos recursos hídricos disponíveis para o setor agrícola. Neste contexto, o uso de águas residuárias urbanas como fonte de água para agricultura irrigada tem recebido grande interesse (QADIR et al., 2010). O aspecto positivo de maior importância do reúso das águas residuárias na agricultura é que estas águas estão disponíveis durante todo o ano, uma vez que não dependem das precipitações pluviométricas e das estações do ano. Esse aspecto permite o aumento das áreas irrigadas, aumentando a produção anual de alimentos e a irrigação em locais que são afetados com a falta de água, principalmente regiões com climas árido e semiárido (KERAITA et al., 2008).

A irrigação com águas residuárias oferece benefícios socioeconômicos e ambientais, principalmente a redução do lançamento dos efluentes nos corpos de água e a recuperação de nutrientes (RODRÍGUEZ-LIÉBANA et al., 2014), permitindo reduzir o uso de fertilizantes químicos (GIL; ULLOA, 1997). Entretanto, dependendo da origem e qualidade do efluente, existem riscos de contaminação do solo e das culturas por patógenos (PALESE et al., 2009), além de promover o acúmulo de sais, alteração do pH e diminuição na taxa de infiltração do solo (BEDBABIS et al., 2014). Por outro lado, em comparação com águas superficiais e/ou subterrâneas o uso de águas residuárias na irrigação aumenta a produção de biomassa e a melhora a produtividade das culturas (JANG et al., 2012; MOJID et al., 2012). Por isso, encontrar um equilíbrio entre o uso destas águas em conjunto com a adubação mineral é de grande necessidade, reduzindo os custos com fertilizantes além de proporcionar um destino nobre a estas águas, aumentando a produção, diminuindo os gastos com adubos e aumentando a lucratividade do produtor.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar se a irrigação superficial com esgoto tratado e o uso de diferentes níveis de adubação influenciam na produtividade da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus efeitos sobre a fertilidade do solo.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de 09/05/13 a 12/12/13 na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista - FCA/UNESP, Botucatu, SP, Brasil no Departamento de Engenharia Rural nas coordenadas geográficas 22°51'08" Sul e 48°25'48,5" Oeste e a uma altitude de 763 metros acima do nível do mar. Antes da realização do experimento foram realizadas análises químicas do solo (Tabela 1) sendo as determinações realizadas no Laboratório de Análise Química da FCA/UNESP conforme metodologia para solos tropicais proposta por Raij et al. (2001). A Tabela 2 apresenta a granulometria e as características físico-hídricas do solo determinadas no laboratório de Água e Solo da FCA/UNESP.

**Tabela 1.** Características químicas do solo antes da adubação.

pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----							%	mg dm <sup>-3</sup>
5,59	26,74	12,21	0,15	23,49	2,7	31,6	20,5	54,9	78,4	69,9	4,37

M.O = matéria orgânica; P = fósforo; H+Al = acidez potencial K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases; CTC = complexo de troca catiônica; V (%) = saturação por bases

**Tabela 2.** Granulometria e parâmetros físico-hídricos do solo

Granulometria			Parâmetros físico-hídricos				
Areia	Silte	Argila	dp	ds	P	θ <sub>cc</sub>	θ <sub>pmp</sub>
-----g kg <sup>-1</sup> -----			-----g cm <sup>-3</sup> -----		(%)	-----g g <sup>-1</sup> -----	
395,5	138,1	466,4	2,77	1,28	53,9	0,27	0,17

dp - densidade das partículas; ds - densidade do solo; P - porosidade total; θ<sub>cc</sub> - umidade na capacidade de campo; θ<sub>pmp</sub> - umidade no ponto de murcha permanente

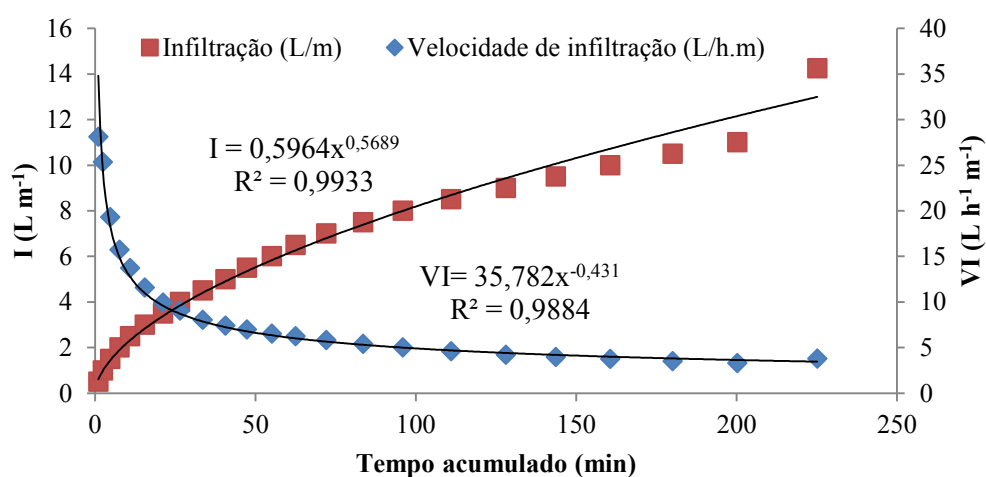
A cultura utilizada foi a do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar pérola, sendo que a semeadura foi realizada diretamente no solo no dia 09/05/2013. O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados, onde foram testados cinco tratamentos representando cinco doses de adubação com quatro repetições por tratamento, totalizando 20 parcelas experimentais. As doses de adubação estudadas foram: T1 - 100%; T2 - 75%; T3 - 50%; T4 - 25% e T5 - 0% da dose recomendada por Raij et al. (1997). A adubação foi realizada com sulfato de amônio (20% de N e 24% de S), superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O) e ureia (45% de N). A quantidade aplicada em cada parcela experimental encontra-se na Tabela 3.

**Tabela 3.** Quantidade de adubo utilizada por parcela experimental.

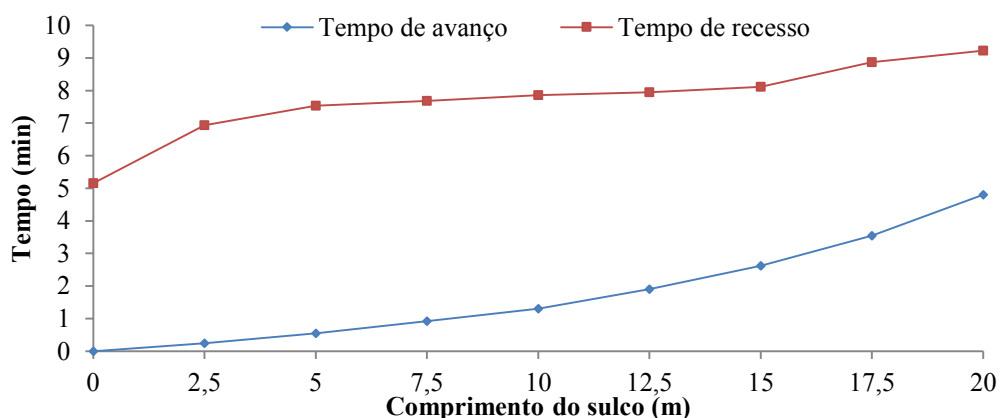
Adubo	Tratamento (kg ha <sup>-1</sup> )				
	T1 - 100 %	T2- 75 %	T3 - 50%	T4 - 25 %	T5 - 0 %
Sulfato de Amônio	104,0	78,0	52,0	26,0	0,0
Superfosfato Simples	389,0	291,7	195,0	97,2	0,0
Cloreto de Potássio	50,0	37,5	25,0	12,5	0,0
Ureia	111,12	83,3	55,6	27,8	0,0

A irrigação foi realizada com sistema de irrigação por sulcos com água residuária tratada oriunda da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu. A área foi preparada com sulcos com 20 m de comprimento e espaçados por 1 m, tendo uma área útil de 140 m<sup>2</sup>. Para aplicar o efluente foi utilizada tubulação de PVC com 2" e em cada saída de água para os sulcos foram instalados registros esféricos para controlar a vazão a uma taxa de aproximadamente 1,086 L s<sup>-1</sup>. Para um adequado manejo da irrigação foi realizada a avaliação do sistema de irrigação pelo método do infiltrômetro de sulco (MANTOVANI et al., 2009), obtendo-se os valores de infiltração do solo e velocidade de infiltração dos sulcos (Figura 1). Na área experimental a velocidade de infiltração básica encontrada foi de 3,5 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>. As fases de avanço e recesso dos sulcos para a vazão de 1,068 L s<sup>-1</sup> foram determinadas, conforme Figura 2.

**Figura 1.** Infiltração e velocidade de infiltração dos sulcos.



**Figura 2.** Curva de avanço e recesso dos sulcos.



Utilizando a equação de infiltração ( $I = 0,5964x^{0,5689}$ ) e uma lâmina de irrigação de 29,18 mm, a qual corresponde a irrigação real necessária (IRN), foi determinado o tempo de oportunidade ( $T_o = 15,55$  min) obtendo-se uma eficiência de 62,2%. A necessidade de água da cultura do feijoeiro, durante o experimento foi determinada conforme a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), esta determinada pelo método do Tanque Classe A (ALLEN et al., 1998).

Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) utilizou-se o Kc conforme Doorenbos e Kassam (1994) apresentando valores de 0,35 (estabelecimento da cultura), 0,75 (crescimento vegetativo), 1,13 (florescimento), 0,7 (frutificação) e 0,28 (maturação e colheita). Determinou-se a capacidade de água disponível (CAD) baseando-se na profundidade do sistema radicular de acordo com o desenvolvimento da cultura conforme Oliveira e Silva (1990). Para a determinação da água facilmente disponível no solo para as plantas (AFD) foi utilizado o fator “f” conforme Mantovani et al. (2009).

Antes das irrigações foram realizadas análises da água residuária tratada utilizada no experimento, as características físico-químicas e microbiológicas são exibidas na Tabela 4. As amostras de coliformes totais e série de sólidos foram coletadas conforme os métodos recomendados pelo Standard Method 1060B e preservadas de acordo com os métodos definidos pelo Standard Method 1060C (APHA, 2005).

**Tabela 4.** Características físico-químicas e microbiológicas do efluente.

<b>Parâmetros</b>	<b>Valores</b>
Coliformes fecais (NMP 100 ml <sup>-1</sup> )	1,3 x 10 <sup>4</sup>
Demanda química de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )	184,5
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	1120,5
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	64,5
Sólidos dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> )	1056,0
pH	7,4
Condutividade Elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,6
N total (mg L <sup>-1</sup> )	14,0
P total (mg L <sup>-1</sup> )	6,8
K (mg L <sup>-1</sup> )	19,7

Para verificar o estado nutricional das plantas de feijão irrigadas com esgoto tratado após o estágio florescimento, foram utilizadas cinco folhas de plantas aleatórias em cada parcela, secas em estufa a 70°C, moídas e levadas ao Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas para posterior análise de nutrientes.

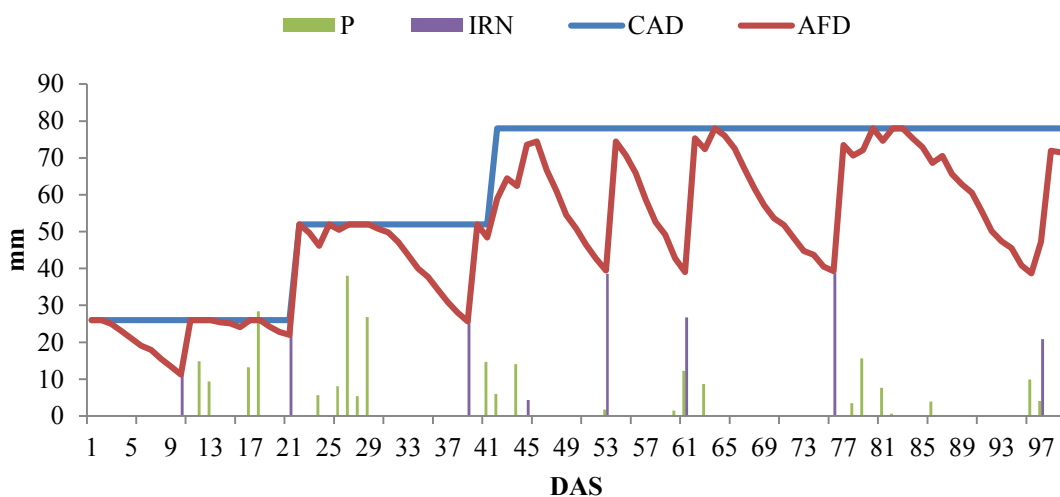
Para determinar os efeitos da irrigação com água residuária e o uso de diferentes doses de adubação foram realizadas medidas da altura das plantas no período entre o estágio fenológico V3 (primeira folha trifoliada aberta) e o estágio R7 (floração), após a colheita e medidas com auxílio de fita métrica, parâmetros de produtividade da cultura (PC, kg ha<sup>-1</sup>), massa de 100 grãos (M100g), massa fresca das plantas (MF, g) e massa seca das plantas (MS, g) medidas em balança de precisão de 0,01g, número de vagens (NV), comprimento das vagens (CV, cm) medidas com auxílio de fita métrica e número de grãos por vagem (GV) sendo esta a média de 4 plantas por parcela. Após o ciclo experimental foram coletadas amostras de solo em cada parcela na camada de 0-20 cm do solo (onde encontra-se a maioria das raízes) para determinação da fertilidade do solo e a influência dos tratamentos.

Os resultados obtidos foram submetidas à análise de variância (teste F) e os efeitos dos tratamentos foram determinados pela análise de regressão sendo testados os modelos linear, polinomial de 2° grau e exponencial. As equações de regressão foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão a 0,01 e 0,05 de probabilidade, pelo teste F e no maior valor do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para isto, foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas média, máxima média e mínima média, obtidas durante o cultivo foram, respectivamente, 20,8°C, 26,4°C e 16,4°C. A Faixa de temperatura média ótima é de 18 a 24°C, sendo 21°C a ideal para o cultivo do feijão (VIEIRA et al., 2006). A precipitação total durante o período do experimento foi de 254 mm. Aos 26 DAS foi registrada a maior precipitação (38 mm), aumentando o turno de rega. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) variou de 0,54 a 8,4 mm dia<sup>-1</sup> no qual o valor total da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) durante o experimento foi de 296 mm, valor semelhante ao encontrado por Stone et al. (2006) em estudo sobre a evapotranspiração da cultura do feijoeiro sob diferentes palhadas de cobertura, estes autores observaram valores de ET<sub>c</sub> entre 253 e 343,7 mm. A IRN foi de 200,3mm valores estes menores que a ET<sub>c</sub> devido ao regime de precipitação ocorrido durante o experimento como a Figura 3 demonstra.

**Figura 3.** Balanço hídrico simplificado da cultura do feijoeiro durante o experimento. CAD: Capacidade de água disponível, AFD: Água facilmente disponível, IRN: Irrigação real necessária, P: precipitação.



Os resultados da diagnose foliar de acordo com os fatores estudados, demonstram que apenas as variáveis Ca, Mg, B sofreram influência dos tratamentos propostos (Tabela 5). O Fe foi o nutriente de maior absorção pela cultura apresentando teores elevados nas folhas, possivelmente, como o efluente possuía uma grande quantidade de Fe esse foi absorvido pela planta em todos os tratamentos. Esse fato também pode ser explicado por conta dos cátions micronutrientes (Fe, Cu e Mn) sofrerem grande influência do pH e do conteúdo de cálcio no solo (GRATTAN; GRIEVE, 1999), como a água residuária apresenta grandes quantidades de matéria orgânica houve uma redução do pH do solo, sendo assim, em condições ácidas, os cátions micronutrientes apresentam maior solubilidade e disponibilidade facilitando a absorção pelas plantas.

**Tabela 5.** Diagnóstico foliar do feijoeiro em todas as parcelas.

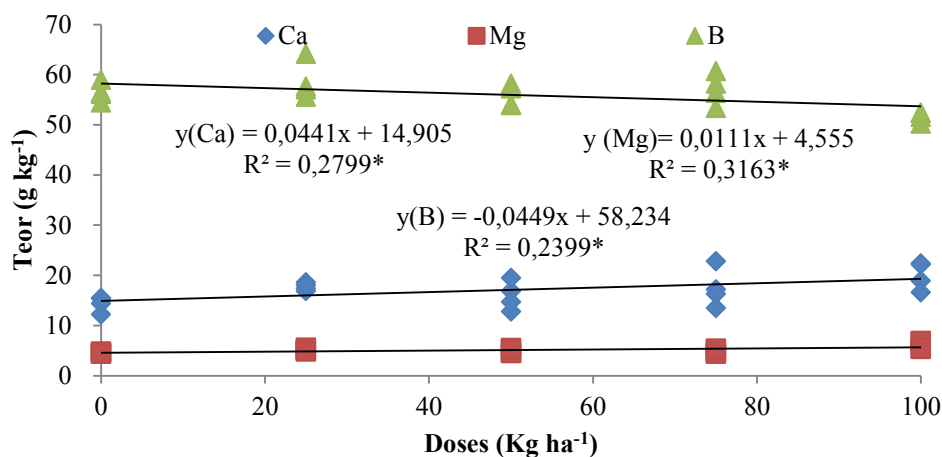
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
T1	42	3	22	20	6	2	52	13	311	57	39
T2	40	3	20	17	5	2	60	12	197	52	33
T3	45	3	22	16	5	2	49	13	183	47	35
T4	41	3	22	20	6	2	59	13	264	53	34
T5	41	3	23	14	5	2	57	13	188	51	35

Fonte de variação	Quadrado médio											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Bloco	10 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	4 <sup>ns</sup>	28*	2,4 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	18 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	1571 <sup>ns</sup>	403*	33*	
Tratamento	14 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	5 <sup>ns</sup>	25*	3,4*	0,02 <sup>ns</sup>	85*	0,7 <sup>ns</sup>	12869 <sup>ns</sup>	53 <sup>ns</sup>	19 <sup>ns</sup>	
CV(%)	6,18	10,3	7,5	15,5	10,6	6,14	6,95	6,09	29,09	16,9	7,51	

<sup>ns</sup>: não significativo, \* significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F, T1 a T5- tratamentos representando as doses de adubação de 100 a 0% respectivamente

Observou-se um efeito linear da regressão para o teor de Ca, Mg e B nas folhas do feijoeiro (Figura 4). Para o Ca e Mg houve um aumento no teor das folhas de 0,0441 e 0,0111 g kg<sup>-1</sup> com aumento unitário da adubação. Para o B houve uma redução de 0,0449 g kg<sup>-1</sup> com o aumento unitário da dose de adubação utilizada. Carvalho et al. (2014) em estudos sobre o teor e acúmulo de nutrientes em feijão comum submetido ao déficit hídrico, observaram diferenças significativas a 5% de probabilidade para Ca e Mg na fase do florescimento até a maturação dos grãos. Portanto, o aumento das doses de adubação como a falta de água podem promover diferenças nos teores foliares para estes nutrientes, mostrando sensibilidade à absorção destes.

**Figura 4.** Regressão ajustadas para o teor de Ca, Mg e B nas folhas de feijoeiro em função das doses de adubação estudadas.

Nota: \*significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F.

A Tabela 6 apresenta a análise de variância para a altura das plantas. Observa-se que não houve efeito significativo para as doses de adubação nas avaliações realizadas entre os dias 20 a 46 DAS. Apenas aos 54 DAS houve efeito significativo para as doses aplicadas para esta variável. Em estudo sobre o efeito do nitrogênio em cultivares de feijoeiro comum, Salgado et al. (2012) observaram diferenças significativas entre as doses de N utilizadas para a variável

altura das plantas, possivelmente o acúmulo dos nutrientes ao longo do ciclo de cultivo influenciam de maneira positiva no vigor das plantas.

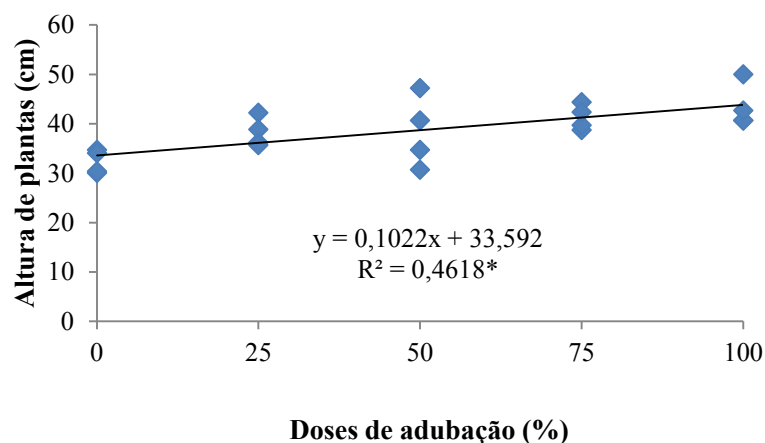
**Tabela 6.** Análise de variância para variável altura das plantas.

Fonte de variação	G.L	DAS					
		20	26	32	38	46	54
Bloco	3	1,1 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	67,3 <sup>ns</sup>	7,3 <sup>ns</sup>	22,3 <sup>ns</sup>
Tratamentos	4	0,3 <sup>ns</sup>	1,3 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	79,0 <sup>ns</sup>	12,3 <sup>ns</sup>	73,8*
CV (%)		12,77	8,6	9,34	43,39	9,67	10,39

<sup>ns</sup>: não significativo, \* significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F.

Na Figura 5 é mostrada a análise de regressão para a variável altura das plantas no 54 DAS. Observa-se um aumento de 0,1022 cm com incremento unitário das doses de fertilizantes utilizadas, provavelmente o aumento de nitrogênio disponível no solo contribuiu com o crescimento das plantas. Além do efeito dos tratamentos, o aumento de N disponível no solo pode ser explicado por dois fatores, o primeiro é a concentração de nitrogênio na água residuária e o segundo é a mineralização da matéria orgânica também presente no efluente. Uma das principais funções da matéria orgânica mineralizada é fornecer nutrientes para as plantas, especialmente de N, P e S (LOURENZI et al., 2011), e o incremento na adubação mineral pode ter efeito significativo no crescimento das plantas. Zucareli et al. (2010) em estudos sobre índices biométricos e fisiológicos na cultura do feijão utilizando diferentes doses de adubos fosfatados, observaram uma redução na taxa de crescimento provocada pela restrição de fósforo na adubação (sem aplicação e com doses menores).

**Figura 5.** Altura das plantas em relação a diferentes doses no 54 DAS.



**Nota:** \*significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F.

A Tabela 7 apresenta a análise de variância para os parâmetros M100g, PR, MF e MS. A variável M100g não apresentou efeito significativo, por outro lado, as variáveis PR, MF e MS foram estatisticamente significativas para os tratamentos aplicados. Estudo realizado por Assis Júnior et al. (2007), sobre o uso de águas salinas na irrigação do feijoeiro, indica que o uso dessas águas reduz a produtividade e a massa seca das plantas. Portanto, os sais presentes na água residuária em conjunto com a adubação podem ter provocado à redução na massa fresca e seca das plantas. Entretanto, outros estudos indicam que o uso de águas salinas não



influenciam na Massa de 100 grãos e no diâmetro das sementes do feijão-de-corda (NEVES et al., 2008) como ocorreram no presente experimento.

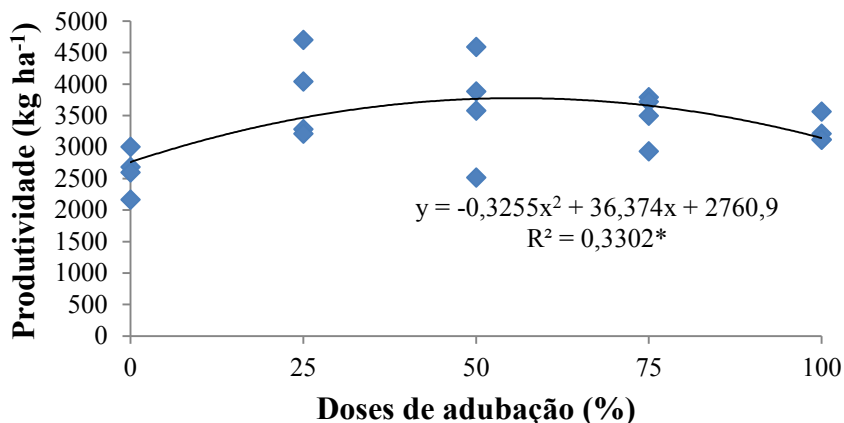
**Tabela 7.** Quadrados médios da análise de variância para os parâmetros produtivos da cultura.

Fonte de variação	G.L	M100g	PR	MF	MS
Bloco	3	1,85 <sup>ns</sup>	500811,05 <sup>ns</sup>	401,40*	11,08*
Tratamento	4	1,13 <sup>ns</sup>	867780,30*	543,20*	19,29*
CV (%)		5,11	15,26	10,27	9,98

M100g - massa de 100 grãos; PR- produtividade; MF- massa fresca; MS-massa seca, <sup>ns</sup> - não significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F, \* - significativo a 5% (P<0,05) de probabilidade pelo teste F

Para os tratamentos aplicados, as maiores produtividades, em média, foram obtidas no T4 (3810 kg ha<sup>-1</sup>) e no T3 (3640 kg ha<sup>-1</sup>) e a menor produção foi obtida no T5 (2610 kg ha<sup>-1</sup>), provavelmente pela falta de nutrientes. A Figura 6 mostra a análise de regressão para o parâmetro PR. Observa-se que o modelo de produtividade ajustado ( $y = -0,3255x^2 + 36,374x + 2760,9$ ) apresenta um efeito quadrático na variável resposta (produtividade) em função do fator estudado (doses de adubo). Derivando a equação da produtividade, nota-se que o maior valor de produtividade para a cultura do feijão irrigado com água residuária tratada ocorre para a dose de 55,87% da adubação recomendada comprovando que o uso da água residuária utilizada para a fertirrigação pode complementar a adubação, reduzindo os seus custos.

**Figura 6.** Produtividade do feijoeiro irrigado com água residuária em relação à dose de fertilizante aplicada.

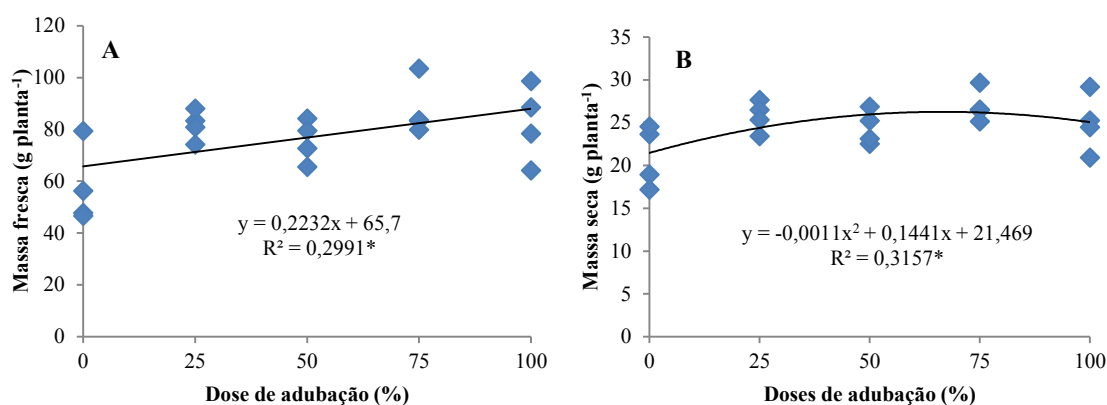


**Nota:** \*significativo a 5% (P<0,05) pelo teste F.

A aplicação de adubos em doses superiores a 50% contribui para uma redução na produtividade da cultura, possivelmente pelo acúmulo de sais (fertilizantes + água residuária). Resultados semelhantes foram obtidos por Assis Júnior et al. (2007), que observaram uma redução na produção do feijão-de-corda ocasionada pela salinidade da água de irrigação. A salinidade reduz a transpiração das plantas e, conseqüentemente, ocasiona a baixa assimilação de carbono pela cultura (SILVA et al., 2013). A Figura 7 apresenta a análise de regressão para as variáveis MF e MS. O modelo ajustado para a MF mostra que há um incremento de 0,2232 g planta<sup>-1</sup> para cada aumento unitário da dose de adubação, enquanto que o modelo ajustado para a variável MS indica que os maiores valores ocorrem próximos à dose de adubação de 65,5%.

Bezerra et al. (2010) em estudos sobre a rotação de culturas (feijão e milho) e o uso de águas salinas, concluíram que, independente da composição iônica da água de irrigação, a salinidade reduz o crescimento vegetativo, sendo que as reduções na produção de matéria seca podem ser superiores a 40%. O acúmulo de sais não interferiu de maneira significativa na MF das plantas, possivelmente como a umidade do solo se mantinha elevada devido à irrigação, o efeito do potencial osmótico pode ter sido minimizado.

**Figura 7.** Análise de regressão para os parâmetros massa fresca (A) e massa seca (B) da cultura do feijoeiro irrigada com água residuária em relação à dose de fertilizante aplicada.



**Nota:** \*significativo a 5% ( $P < 0,05$ ) pelo teste F.

A Tabela 8 é apresenta a análise de variância para os parâmetros NV, GV e CV. Apenas NV apresentou efeito significativo para o teste F a 5% de probabilidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Bezerra et al. (2010) que utilizaram água com diferentes condutividades elétricas na irrigação do feijão caupi. Além disso, os autores também observaram que não houve influência da salinidade no número de grãos por vagem.

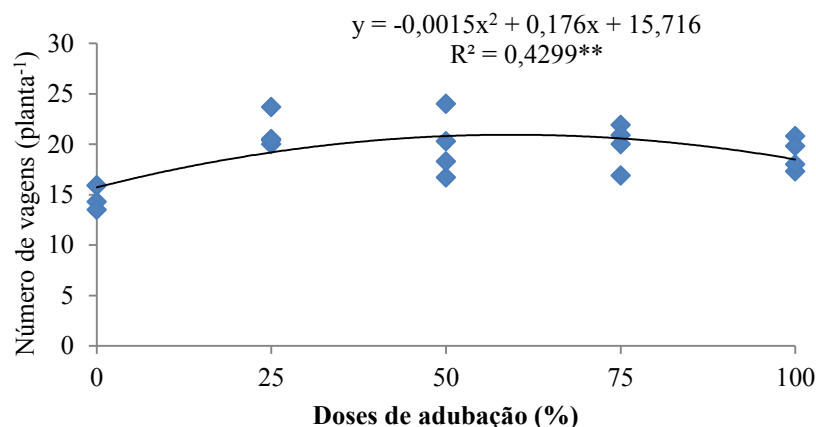
**Tabela 8.** Quadrados médios da análise de variância para os parâmetros obtidos através das vagens da cultura do feijoeiro

Fonte de variação	G.L	NV	GV	CV
Bloco	3	6,53 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1,85 <sup>ns</sup>
Tratamentos	4	22,63*	0,12 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
CV (%)		10,52	8,25	5,11

NV - número de vagens; GV - grãos por vagem; CV - comprimento das vagens. \* significativo a 5% ( $P < 0,05$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativa a 5% ( $P < 0,05$ ) pelo teste F.

Para o parâmetro NV a análise de regressão apresentou efeito quadrático (Figura 8) e o maior valor observado para a variável foi obtido, derivando-se a equação, na dose de 58,67%. Possivelmente, o excesso de sais, provocado pela aplicação de fertilizantes e a fertirrigação com água residuária provocou efeito negativo no NV. Bezerra et al. (2010) observaram que o aumento da salinidade na água de irrigação ( $T_1 = 0,8$ ;  $T_2 = 2,2$ ;  $T_3 = 3,6$ ;  $T_4 = 5,0$  dS.m<sup>-1</sup>) acarreta em uma diminuição do número de vagens por planta ( $T_1 = 8,03$ ;  $T_2 = 6,34$ ;  $T_3 = 5,52$ ;  $T_4 = 5,56$  vagens planta<sup>-1</sup>).

**Figura 8.** Número de vagens por planta do feijoeiro irrigado com água residuária em relação à dose de fertilizante aplicada.



**Nota:** \*significativo a 5% ( $P < 0,05$ ) pelo teste F.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda que a concentração de coliformes fecais para o reúso irrestrito de águas residuárias na agricultura deve ser  $\leq 1000$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  (OMS, 2006). Neste experimento, verificou-se que a concentração de coliformes fecais esteve acima do recomendado pela OMS ( $1,354 \times 10^4$  NMP por  $100 \text{ mL}^{-1}$ , de acordo com a Tabela 4). Entretanto, após a colheita, em amostras retiradas aleatoriamente da área não foi constatada a contaminação da cultura (raiz, parte aérea e vagem) do feijoeiro por coliformes fecais, análise realizada conforme métodos recomendados pelo Standard Method 1060B (APHA, 2005).

Análise da fertilidade do solo após o ciclo de produção na profundidade de 0-20 cm demonstra (Tabela 9) as diferenças significativas entre os tratamentos estudados para as variáveis pH, M.O, P, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V. Tais diferenças, devem ser atribuídas ao uso da água residuária que apresenta elevado teor de nutrientes e matéria orgânica em conjunto com os níveis de adubação estudados, contudo em certa frequência de uso para a fertirrigação as águas residuárias podem prejudicar o desenvolvimento da cultura, elevando a condutividade elétrica e pH do solo, como afirmam Ribeiro et al. (2009) em estudos sobre os efeitos do uso da água residuária na cultura do cafeeiro, em que estes autores observaram que a aplicação prolongada da água residuária em doses de 135 mL de potássio aumenta o nível da condutividade elétrica do solo, podendo causar prejuízos a cultura. Por outro lado, Roveda et al. (2011) em estudos sobre a fertilidade do solo e a nutrição de culturas entre elas o feijoeiro, utilizando águas residuárias de indústrias de enzimas, observaram um aumento considerável de fósforo no solo, porém nenhum efeito foi relatado para o pH, H+Al, K, Ca, Mg e V.

**Tabela 9.** Análise de variância para os parâmetros de fertilidade do solo obtidos ao final do experimento

Trat	pH	Quadrado médio									
		M.O	P <sub>resina</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mgdm <sup>-3</sup>	mmolc dm <sup>-3</sup>							%
T1	5,5	31,7	24,0	26,4	3,2	47,0	21,9	72,2	98,6	72,7	14,0
T2	5,5	36,2	27,4	27,0	3,1	44,0	20,3	67,5	94,5	71,2	12,4
T3	5,6	32,4	23,8	24,1	2,0	50,1	23,1	75,4	99,5	75,7	10,7
T4	5,6	28,5	25,6	25,0	1,4	42,1	19,3	62,8	87,8	71,1	11,2
T5	5,4	26,7	15,8	28,8	2,8	32,1	16,7	51,6	80,5	63,7	10,3

F.V	Quadrado médio										
	pH	M.O	P <sub>resina</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	S
Bloco	0,04 <sup>ns</sup>	9 <sup>ns</sup>	25 <sup>ns</sup>	4,6 <sup>ns</sup>	1,2*	117*	22*	256*	203 <sup>ns</sup>	58*	2,8 <sup>ns</sup>
Trat	0,06*	56*	86*	12,0*	2,3*	191*	23*	351*	254*	81*	7,3 <sup>ns</sup>
CV(%)	2,23	10,9	21,1	7,34	20,1	13,0	12,1	11,9	8,28	4,69	4,69

\* significativo a 5% (P < 0,05) pelo teste F; <sup>ns</sup> - não significativa a 5% (P < 0,05) pelo teste F.

As equações ajustadas para as variáveis que apresentaram diferenças significativas (Tabela 10) mostram um aumento crescente nos valores de pH, M.O, Mg, CTC e V, com incremento de 0,0022 (CaCl<sub>2</sub>), 0,07 (g dm<sup>-3</sup>), 0,044 (mmolc dm<sup>-3</sup>), 0,171 (mmolc dm<sup>-3</sup>) e 0,074 (%) a cada aumento unitário das doses de fertilizantes utilizadas. Para P, K, H+Al e Ca houve ajuste polinomial no qual os maiores valores observados foram de 65, 36,1, 54,3 e 70,64 % da dose recomendada respectivamente. Segundo Caovilla et al. (2010) em estudos sobre as características químicas de solo com soja e irrigado com água residuária de suinocultura o solo não apresentou após o ciclo experimental aumentos nas suas características químicas, sendo observado apenas aumento de K e P na superfície do solo quando utilizados um sistema de irrigação por gotejamento.

**Tabela 10.** Equações ajustadas para os parâmetros de fertilidade do solo obtidos ao final do experimento

Análise	Equação ajustada	R <sup>2</sup>
pH (CaCl <sub>2</sub> )	$y = 5,47 + 0,0022x$	0,50*
M.O (g dm <sup>-3</sup> )	$y = 27,55 + 0,070x$	0,55**
P <sub>resina</sub> (g dm <sup>-3</sup> )	$y = 16,507 - 0,0025x^2 + 0,325x$	0,79*
K (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 2,47 + 0,000374x^2 - 0,027x$	0,60**
H+Al (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 28,22 + 0,001143x^2 - 0,1242x$	0,62*
Ca (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 32,58 + 0,003171x^2 - 0,448x$	0,85**
Mg (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 18,100 + 0,044x$	0,53**
SB (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 51,86 + 0,003829x^2 - 0,566x$	0,83*
CTC (mmolc dm <sup>-3</sup> )	$y = 83,65 + 0,171x$	0,72**
V (%)	$y = 67,3 + 0,074x$	0,42**

\*\* e \* significativo a 1 (P < 0,01) e 5% (P < 0,05) pelo teste F

## 6 CONCLUSÕES

O uso da água residuária proporcionou altas produtividades para a cultura do feijoeiro mesmo com a utilização de menores doses de adubos químicos o que confirma o aporte de nutrientes que o efluente traz ao solo.

Analisando os parâmetros de produção percebe-se que a utilização da água residuária proveniente de estações de tratamento de esgoto na agricultura irrigada é uma opção viável para o fornecimento de água e nutrientes para as culturas agrícolas, permitindo reduzir a quantidade de fertilizantes aplicada durante o ciclo de cultivo. No caso do feijoeiro a utilização de 50% da adubação recomendada ou de uma porcentagem menor (25%) permite a obtenção de elevada produtividade (>3500 kg ha<sup>-1</sup>) que pode ser economicamente satisfatória.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage, n. 56).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 21. ed. Washington, DC: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1220 p.
- ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p.702-713, 2007.
- BEDBABIS, S.; ROUINA, B. B.; BOUKHRIS, M.; FERRARA, G. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, London, v. 133, p. 45-50, 2014.
- BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 1075-1082, 2010.
- CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, M. F.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 692-697, 2010.
- CARVALHO, J. J.; SAAD, J. C. C.; BASTOS, A. V. S.; NAVES, S. S.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, n. 1, p. 104-117, 2014. Volume especial.
- DOORENBOS, J.; KANSSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de: GHEYI, H.R.; SOUZA, A.A. de; DAMASCO, F.A.V.; MEDEIROS, J.F. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO; Irrigação e drenagem, n. 33).

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Recife, v. 6, p. 36-41, 2008.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrition relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, Lexington, v. 78, p. 127-157, 1999.

GIL, I.; ULLOA, J. J. Positive aspects of the use of water: the reuse of urban wastewater and its effect on areas of tourism. **Options. Mediterraneennes**, Paris, v.31, p.218-229, 1997.

JANG, T. I.; KIM, H. K.; SEONG, C. H.; LEE, E. J.; PARK, S.W. Assessing nutrient losses of reclaimed wastewater irrigation in paddy fields for sustainable agriculture. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 104, p. 235-243, 2012.

KERAITA, B.; JIMÉNEZ, B.; DRECHSEL, P. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Wallingford, v. 3, n. 58, p. 1-15, 2008.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.1827-183, 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. atual. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355 p.

MOJID, M. A.; BISWAS, S. K.; WYSEURE, G. C. L. Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilisers on wheat cultivation in Bangladesh. **Field Crops Research**, Maryland, v. 134, p. 45-50, 2012.

NEVES, A. L. R.; GUIMARÃES, F. V. A.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B. Tamanho e composição mineral de sementes de feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, p. 569-574, 2008.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 317-322, 1990.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Relatório mundial de saúde**. Brasília, DF: Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde, Ministério da Saúde, 2006.

PALESE, A. M.; PASQUALE, V.; CELANO, G.; FIGLIUOLO, G.; MASI, S.; XILOYANNIS, C. Irrigation of olive groves in Southern Italy with treated municipal wastewater: effects on microbiological quality of soil and fruits. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 129, p. 43-51, 2009.

QADIR, M.; WICHELNS, D.; RASCHID-SALLY, L.; MCCORNICK, P. G.; DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P. S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 561-568, 2010.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 285p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. (Boletim Técnico, n. 100).

RIBEIRO, M. S.; LIMA, L. A.; FARIA, F. H. S.; REZENDE, F. C.; FARIA, L. A. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 569-577, 2009.

RODRÍGUEZ-LIÉBANA, J. A.; ELGOUZIA, S.; MINGORANCEA, M. D.; CASTILLOA, A.; PEÑA, A. Irrigation of a Mediterranean soil under field conditions with urbanwastewater: effect on pesticide behaviour. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 185, n. p.176-185, 2014.

ROVEDA, L. F.; MOTTA, A. C. V.; DIONÍSIO, J.; BRONDANI, G. E.; GABARDO, J.; PIMENTEL, I. C.; CUQUEL, F. L. Fertilidade, produção e nutrição de plantas à água residuária da indústria de enzimas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 3, p. 338-347, 2011.

SALGADO, F. H. M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C.; TONELLO, L. P.; PASSOS, N. G.; FIDELIS, R. R. Efeito do nitrogênio em feijão cultivado em terras altas no sul do estado de Tocantins. **Ambiência**, Guapurava, v. 8, n. 1, p. 125-136, 2012.

SILVA, A. O.; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. F.; TANAKA, A. A.; SILVA JÚNIOR, J. F. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1143-1151, 2013.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A.; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, 2006.

VIEIRA, C.; JÚNIOR PAULA, T. J.; BORÉM, A. **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

ZUCARELI, C.; JÚNIOR RAMOS, E. U.; OLIVEIRA, M. A.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Índices biométricos e fisiológicos em feijoeiro sob diferentes doses de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 1313-1324, 2010.