

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TRANSPORTE DE SOLUTOS EM SOLO FERTIRRIGADO COM
EFLUENTE DE LATICÍNIOS**

GEOVANNA SOUZA SILVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação da Prof.^a Dra. Débora Astoni Moreira.

URUTAÍ-GO

Novembro de 2019

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TRANSPORTE DE SOLUTOS EM SOLO FERTIRRIGADO COM
EFLUENTE DE LATICÍNIOS**

GEOVANNA SOUZA SILVA

Orientadora: Prof.^a Dra. Débora Astoni Moreira

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação da Prof.^a Dra. Débora Astoni Moreira.

URUTAÍ-GO

Novembro de 2019

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Geovanna Souza Silva

Matrícula: 2015101200640013

Título do Trabalho: Transporte de solutos em solo fertilizado com efluente de laticínios

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutai, 33/33/2019
Local Data

Geovanna Souza Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

[Assinatura]
Assinatura do(a) orientador(a)

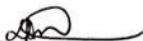
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

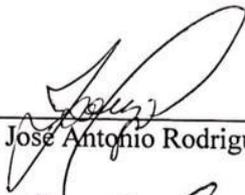
ALUNO: GEOVANNA SOUZA SILVA

ORIENTADORA: Profª. Drª. Débora Astoni Moreira

Aprovado pela Comissão Examinadora



Profª. Drª. Débora Astoni Moreira



Prof. Dr. José Antonio Rodrigues de Souza



Me. Carlos Bispo de Oliveira

Data da Realização: 01 de novembro de 2019

Sumário

1	Introdução	5
2	Metodologia.....	7
3	Resultados e Discussões.....	10
3.1	- Transporte de solutos em colunas de lixiviação	10
4	Considerações.....	13
5	Agradecimento	13
6	Referências	14

Resumo

A indústria de laticínios representa uma atividade de grande importância na economia brasileira e mundial, não apenas devido ao volume de oferta e geração de divisas, mas, também, pela composição na dieta alimentar humana. , a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critérios agronômicos e ambientais, pode causar problemas de infiltração de água no solo, de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e de toxicidade às plantas. O trabalho foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí (IFGoiano), em Urutaí - GO, localizado a 17°29'6"S, 48°12'27"O e altitude de 712 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado como úmido tropical com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação e temperatura médias, anuais, de 2000 mm e 28 °C. Esses resultados alertam para interação entre os solutos presentes na água residuária de laticínios com o solo, podendo, em caso de aplicação inadequada, tornar o solo salino com a possibilidade provocar excesso de potássio nas camadas superiores do solo, e de sódio nas camadas inferiores, resultando em salinização do lençol freático devido à lixiviação do sódio.

Palavras-chaves: Águas residuárias; Laticínios; Lençol freático.

Abstract

The dairy industry represents a very important activity in the Brazilian economy and worldwide, not only due to the volume of supply and generation of foreign currency, but also due to the composition in the human diet. The wastewater disposal in the soil-plant system, when done without agronomic and environmental criteria, can cause problems of soil water infiltration, soil contamination, surface and groundwater and plant toxicity. The experiment was conducted at Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí (IFGoiano), Urutaí - GO, located at 17°29'6"S, 48°12'27"O and altitude of 712 m. According to the Köppen classification, the climate of the region is Cwa type, characterize as tropical humidity, dry winter and rainy summer, with precipitation and temperature statistics around 2000 mm and 28°C yearly. The results alert to interaction between products present in residuary dairy water with soil, allowing, in case of improper application, to make the soil saline with a possibility of exceeding the Potassium in the upper-ground ranges of the soil, and sodium in the lower sides, resulting in groundwater salinization due to sodium leaching.

Keywords: Wastewater; Dairy; Groundwater.

1 Introdução

A indústria de laticínios representa uma atividade de grande importância na economia brasileira e mundial, não apenas devido ao volume de oferta e geração de divisas, mas, também, pela composição na dieta alimentar humana. O Brasil é o quinto maior produtor mundial de leite contando com 17 milhões de vacas destinada a essa produção repercutindo em 33,5 bilhões de litros de leite por ano e possui condições para se tornar um dos maiores exportadores de produtos lácteos devido às suas vantagens tais como disponibilidade de água, terra e custo de produção competitivo (OLIVEIRA et al., 2014).

No entanto, trata-se de uma atividade que consome muita água e gera grande quantidade de efluentes, cujos volumes dependem do tipo de processo utilizado, dos produtos produzidos, da qualidade da água requerida e das práticas de gestão aplicadas (VOURCH et al., 2008). Segundo Daufin et al. (2001), a relação entre o volume de leite processado e o volume de efluente gerado, chamada de coeficiente volumétrico de efluente líquido, pode oscilar entre 0,2 e 111 litros de efluente por litro de leite processado.

Os efluentes líquidos (águas residuária) apresentam altos teores de matéria orgânica, gorduras, sais, sólidos suspensos e nutrientes, e são considerados a principal fonte de poluição dessas indústrias. O tratamento convencional desses efluentes passa por inúmeros problemas, que normalmente inclui tratamento primário para remoção de sólidos suspensos e gorduras e, tratamento secundário biológico tem sido relatado. Além da eficiência em um método de desinfecção é necessário avaliar também a sustentabilidade do processo. A elaboração sustentável de alimentos tem se tornado um tópico de relevância aos consumidores, que estão cada vez mais acordados e exigindo produtos mais seguros e com menor influência à saúde humana e ao meio ambiente (WELBER et al., 2018).

Esses problemas estão relacionados à elevada produção de espuma, à baixa sedimentabilidade do lodo, à baixa resistência a choques de carga, às dificuldades na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos problemas na degradação de gorduras, óleos e outros tipos específicos de poluentes, como corantes (CAMMAROTA; FREIRE, 2006).

Assim, a utilização de águas residuária de laticínios na agricultura tem surgido como uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, ciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola, reduzindo os custos de produção e melhorando as características físicas, químicas e microbiológicas do solo (CAVALCANTE, 2012).

Todavia, o uso incorreto pode trazer efeitos deletérios tanto ao solo quanto à cultura. A taxa de aplicação de águas residuárias deve estar baseada no nutriente que estiver em maior concentração relativa e na quantidade deste nutriente requerido pela cultura, pois, caso esses níveis sejam suplantados, além de comprometer a produtividade da cultura, podem provocar poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (MATOS, 2014). Neste sentido se reveste de respeito apurar as taxas de utilização mais adequadas da água residuária nesse sentido, com base nos solutos presentes em concentração superiores e avaliar seus efeitos do ponto de vista agrônomico e ambiental (ERTHAL et al., 2010).

As principais alterações descritas para os solos fertirrigados com águas residuárias se resumem aos efeitos sobre o carbono e nitrogênio totais, atividade microbiana e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007). Em resumo, a disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando feita sem critérios agrônomicos e ambientais, pode causar problemas de infiltração de água no solo, de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e de toxicidade às plantas (ERTHAL et al., 2010).

Segundo Valdez-Aguilar e Reed (2010) águas de irrigação com predomínio de HCO_3^- , elevada condutividade elétrica baixa e razão de adsorção de sódio, a exemplo das águas residuárias de laticínios, podem acarretar aumento do pH do solo, conseqüentemente diminuindo a disponibilidade dos nutrientes do solo, podendo acentuar a deficiência dos nutrientes, principalmente de micronutrientes. Também, a presença de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas e pode tornar os solos inadequados ao cultivo (AYERS; WESTCOT, 1999).

De acordo Larcher (2006), o valor máximo de sódio absorvido pelas plantas em habitat halófito é de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Embora estudos sobre o aproveitamento agrícola de diversos tipos de águas residuárias já tenham sido realizados, pouco se conhece a respeito das doses a serem aplicadas da água residuária de laticínios, considerando-se o sódio como elemento químico referencial, de forma a não comprometer a qualidade química e física do solo, de produtividade da cultura e não contaminar as águas subterrâneas, fazendo com que, dessa forma, a prática de aproveitamento da água residuária seja agrônomicamente e ambientalmente sustentável.

Sabendo-se do grande impacto ambiental negativo provocado pela disposição inadequada da água residuária de laticínios e do potencial que apresenta para ser aproveitado na fertirrigação de culturas agrícolas, objetivou-se, com a realização deste trabalho, avaliar as alterações no solo quando submetido a diferentes doses de água residuária de laticínios.

2 Metodologia

O Trabalho foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí (IFGoiano), em Urutaí – GO, localizado a 17°29'6''S, 48°12'27''O e altitude de 712 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado como úmido tropical com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação e temperatura médias, anuais, de 2000 mm e 28 °C (SILVA,2015).

Os estudos de transporte no solo de solutos presentes na água residuária de laticínios foram conduzidos de acordo com Almeida Neto et al. (2010). Foram utilizadas colunas de lixiviação construídas com tubos de PVC com 4,7 cm de diâmetro e 20,0 cm de comprimento, cujas paredes internas foram cobertas com uma mistura de cola e areia, de modo a impedir o escoamento preferencial. Na extremidade inferior das colunas foram dispostos disco de lã de vidro e uma tela plástica, para impedir a perda de material sólido, enquanto na camada superior, utilizou-se apenas uma lã de vidro a fim de se evitar alterações superficiais.

Na tabela 1 estão apresentadas as características físicas e químicas do solo utilizado nos ensaios experimentais.

Tabela 1 – caracterização física e química do solo presente na área experimental nas diferentes camadas

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	MOS	SB
			mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³		g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³
0-10	4,99	0,00	0	0,221	0,504	4,04	0,2	4,62	21,324	0,74
10-20	5,04	0,00	0	0,227	0,53	4,48	0,2	3,465	14,445	0,78
20-30	5,19	0,00	0	0,219	0,426	4,05	0,1	3,63	17,197	0,66
90-100	5,18	0,00	0	0,288	0,551	4,73	0,2	3,3	17,197	0,86

Prof.	T	t	V	M	ISNa	AD	Ds	DP	VTP	K0
	cmol _c dm ⁻³			%		g kg ⁻¹	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm h ⁻¹	g cm ⁻³
0-10	5,36	0,94	13,85	21,22	0,33	228,8	2,18	2,74	0,20	10,07
10-20	4,24	0,98	18,31	20,48	0,46	128,8	1,93	2,70	0,29	7,91
20-30	4,29	0,76	15,44	13,11	0,41	148,8	1,96	2,60	0,25	15,29
90-100	4,16	1,06	20,66	18,88	0,49	130	1,53	2,56	0,40	10,07

Sendo: pH – acidez ativa, P – fósforo total, K – potássio total, Ca = cálcio trocável, Mg= magnésio trocável, Na = sódio trocável, Al = acidez trocável, H+Al = acidez potencial, MOS - matéria orgânica, SB – soma de bases, T = CTC potencial, t – ctc efetiva, V – saturação por bases, M – saturação por alumínio, ISNa – índice de saturação por sódio, AD = argila dispersa em água, Ds – massa específica do solo, VTP – volume total de poros, K0 – condutividade hidráulica.

As colunas foram preenchidas a partir da deposição sucessiva de camadas de solo com dois centímetros de espessura e sua posterior compactação no interior do tubo de PVC até a geração de uma coluna com 0,15 m de altura. A compactação foi obtida de modo a se obter

massa específica semelhante aquela anteriormente determinada pelo método da proveta, obtendo-se uma coluna homogênea e evitando a ocorrência de fluxo preferencial dentro da coluna de solo.

Em seguida, as colunas foram saturadas com água destilada, colocando-as dentro de um recipiente com altura de lâmina equivalente a $2/3$ da coluna e deixando-as em repouso por 72 h, conforme recomendações de Ferreira (1987), promovendo-se, assim, a expulsão de bolhas de ar que pudessem obstruir o fluxo da solução nos poros.

Posteriormente as colunas foram interligadas a frascos de Mariotte contendo água destilada, por um período suficiente para passar dois volumes de poros. Após completa infiltração da água destilada, os frascos de Mariotte contendo a água residuária foram interligados às colunas de solo. O sistema foi montado de modo a aplicar, simultaneamente, água residuária de laticínios em quatro diferentes concentrações de sódio (250; 625; 1250; 2500 mg L⁻¹ de Na), obtidas a partir do efluente bruto (bruto e diluições em 2, 4 e 10 vezes com água destilada).

A aplicação do efluente foi realizada utilizando frascos de Mariotte, posicionados próximos à extremidade superior das colunas, mantendo-se uma carga hidráulica média de 0,02 m. O experimento foi montado e conduzido por três vezes.

Para obtenção das curvas de efluente, os lixiviados dos frascos de Mariotte foram coletados em recipientes de numeração sequenciada e volumes conhecidos, determinando-se as concentrações de Na, Ca, Mg e K por espectrofotometria de absorção atômica. De posse da correlação entre os dados de concentração relativa C/C_0 (relação entre a concentração iônica no efluente e no lixiviado) e o volume de poros, além do fluxo, massa específica do resíduo, teor de água e comprimento da coluna, foram determinados o fator de retardamento (R) e o coeficiente dispersivo-difusivo (D), por meio do programa computacional DISP 1.1 (Borges Junior e Ferreira, 2006).

Foram utilizadas água residuária proveniente do Laticínios Valença (Laticínios JL Ltda), uma vez que tal agroindústria, ciente da degradação ambiental que vem causando pelo lançamento inadequado destes efluentes no curso de água, já que realiza apenas o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de gordura), estava procurando se adequar a legislação ambiental, buscando alternativas de tratamento para seus resíduos. Na Tabela 2 estão apresentadas as características médias da água residuária de laticínios utilizadas nos ensaios experimentais.

Tabela 2 - Caracterização físico-química das amostras dos efluentes de laticínios utilizados nos ensaios experimentais

Parâmetros	Valores
Temperatura (°C)	29,60 ± 0,50
pH	4,70 ± 0,70
Sódio total (mg L ⁻¹)	2534,70 ± 509,91
Condutividade Elétrica (µS cm ⁻¹)	2.025,50 ± 607,30
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	6.333,00 ± 1.195,00
Sólidos em suspensão totais (mg L ⁻¹)	767,00 ± 456,50
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	28,00 ± 9,50
Turbidez (UNT)	1.104,00 ± 313,9
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	8.437,00 ± 1.536,0
DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	3.374,80 ± 952,0
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	115,50 ± 31,04
Fósforo total (mg L ⁻¹)	393,35 ± 74,50
Potássio total (mg L ⁻¹)	218,56 ± 11,71
Cálcio total (mg L ⁻¹)	41,43 ± 7,33
Magnésio Total (mg L ⁻¹)	184,39 ± 53,85
RAS ((mmolc L ⁻¹) ^{1/2})	23,90 ± 8,66
Coliformes Totais (NMP 100 mL ⁻¹)	2,42 ± 10 ⁹
Coliformes Termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	7,70 ± 10 ⁵

Sendo: pH – potencial hidrogeniônico, DQO – demanda química de oxigênio, DBO – demanda bioquímica de oxigênio, RAS – relação de adsorção de sódio.

3 Resultados e Discussões

3.1 - Transporte de solutos em colunas de lixiviação

A partir do conhecimento das propriedades e das interações de determinada substância química com o meio, e de sua movimentação e persistência no solo, é possível se prever os riscos de contaminação e os impactos que ela possa causar ao meio ambiente (COSTA et al., 1999). De acordo com Anami et al. (2008), o conhecimento da dinâmica da água e solutos no solo em condições de não saturação, é importante para a proposição de técnicas e medidas que, além de ganhos econômicos, possam viabilizar a exploração racional e a preservação dos recursos hídricos. Na Figura 1, estão apresentadas as curvas de efluente para cálcio, magnésio, potássio e sódio, obtidas com o latossolo vermelho amarelo pelo ajustamento do modelo teórico aos dados experimentais.

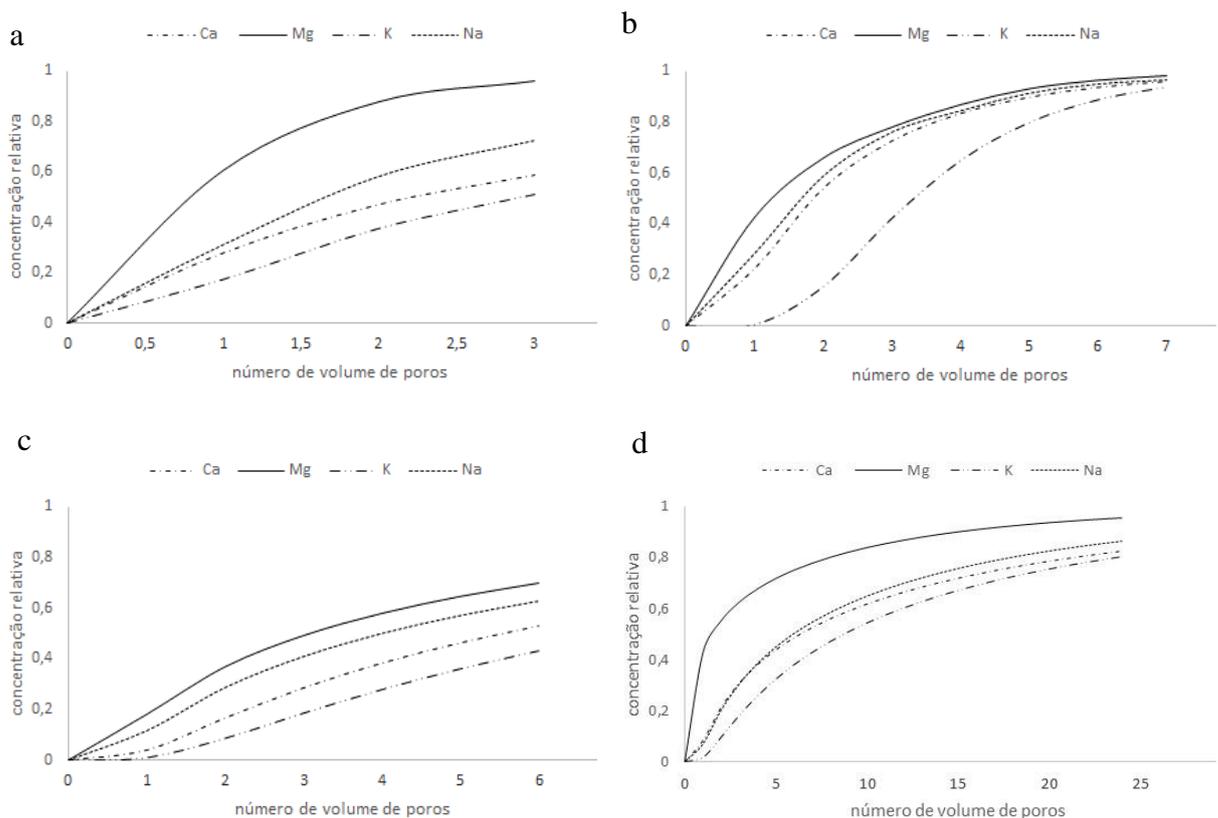


Figura 1 - Curvas de efluente cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) presentes na água residuária de laticínios bruta (a), diluída duas vezes (b), quatro vezes (c) e dez vezes (d), ajustada aos dados experimentais, obtidos com latossolo vermelho amarelo.

O número de volume de poros correspondente à concentração relativa 0,5 é uma primeira indicação, no sentido da existência ou não de interações soluto-solo (Ferreira et al., 2006). De acordo com Nielsen e Biggar (1962), quando o valor é maior que 1,0, ocorre interação do soluto com a fração coloidal do solo. Assim, analisando-se a Figura 1, verifica-se que, para todas as concentrações de água residuária de laticínios e para todos os íons avaliados, a exceção do íon magnésio utilizando-se o efluente bruto, a concentração relativa de 0,5 ocorreu em valores de números de poros superiores a 1, indicando que ao escoar através do perfil do solo, parte do soluto é adsorvida, resultando um fator de retardamento acima da unidade. Portanto, quanto maior é o fator de retardamento maior será a interação soluto-solo.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros de transporte dos íons cálcio, magnésio, potássio e sódio, obtidos pelo ajustamento do modelo teórico aos dados experimentais, utilizando-se o programa computacional DISP (BORGES JUNIOR E FERREIRA, 2006).

Tabela 3 - Fator de retardamento (fR) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons de cálcio, magnésio, sódio e potássio, obtidos pelo ajustamento do modelo teórico aos dados experimentais

Efluentes	Cálcio			Magnésio			Potássio			Sódio		
	Peclet	fR	D	Peclet	fR	D	Peclet	fR	D	Peclet	fR	D
Bruto	1,04	2,22	77,90	3,05	0,82	26,57	1,41	2,93	57,45	1,93	1,64	41,97
2x	2,97	1,84	27,27	1,73	1,26	46,82	8,06	3,30	10,05	2,63	1,64	30,80
4x	1,65	5,56	49,09	1,19	3,07	68,07	2,00	7,10	40,50	1,27	4,00	63,78
10x	0,85	6,35	95,29	0,4	1,5	202,5	1,31	8,74	61,83	1,06	5,94	76,42

Sendo: bruto – efluente bruto, 2x – efluente diluído 2 vezes, 4x – efluente diluído 4 vezes, 10x – efluente diluído 10 vezes, Peclet – número de Peclet, fR, fator de retardamento, D – coeficiente dispersivo-difusivo.

Analisando a Tabela 3, verifica-se que a água residuária de laticínios, em todas as concentrações avaliadas, resultou em valores de número de Peclet inferior a 10, que conforme classificação proposta por Gonçalves (2008) indicam predominância do transporte convectivo dos íons avaliados através do perfil do solo. Também, observa-se que o fator de retardamento apresentou valores superiores a unidade, a exceção do íon magnésio no efluente bruto, o que conforme Ferreira et al. (2006), indicando baixa mobilidade dos íons e uma elevada interação solo-soluto.

Matos et al. (2013) estudando o deslocamento de íons provenientes da vinhaça em colunas lixiviação também observaram fator de retardamento para o íon magnésio abaixo do

valor unitário, indicando não ter havido interação do soluto com a fração coloidal dos solos, sendo justificado pelo fraco poder competidor deste cátion pelos sítios de troca do solo.

Analisando-se o coeficiente dispersivo-difusivo para um mesmo íon, verifica-se que houve incrementos nos valores deste coeficiente com aumento das diluições do efluente, o que possivelmente está relacionado com as concentrações dos íons presentes na água de diluição, uma vez que apresentou teores dissolvidos iguais a 13; 10; 6,5 e 17,5 mg L⁻¹ para o cálcio, magnésio, potássio e sódio, respectivamente.

De acordo com Ferreira et al. (2006) e Matos et al. (2013), para uma mesma velocidade média de escoamento de uma solução, valores mais elevados do coeficiente dispersivo-difusivo correspondem a uma menor declividade da curva de efluente, em virtude da maior mistura na interface entre os fluídos deslocado e deslocador. Assim, verifica-se que, para uma mesma concentração do efluente, a preferência de interação foi K>Ca>Na>Mg.

A sequência de preferência observada seguiu a ordem de reatividade dos íons avaliados, ou seja, quanto mais reativo foi o íon, maior foi sua preferência de troca (ATKINS; JONES, 2012). Ferreira et al. (2006) estudando o transporte de íons presentes na água residuária de café conilon aplicadas em diferentes tipos de solo e, Matos et al. (2013), ao aplicarem água residuária de vinhaça em diferentes tipos de latossolos, verificaram que a preferência de interação foi K>Ca>Mg para o latossolo.

Esses resultados alertam para interação entre os solutos presentes na água residuária de laticínios com o solo, podendo, em caso de aplicação inadequada, tornar o solo salino com a possibilidade provocar excesso de potássio nas camadas superiores do solo, e de sódio nas camadas inferiores, resultando em salinização do lençol freático devido à lixiviação do sódio.

Embora o potássio seja essencial em quase todos os processos necessários ao crescimento e reprodução das plantas, além de proporcionar maior resistência ao ataque de pragas e doenças, estiagens, excesso de água, elevações ou reduções de temperaturas ambientes (NOVAIS et al, 2007; GOMES et al, 2015), quando em excesso, pode interferir no crescimento das plantas em virtude do efeito osmótico e da toxicidade de íons específicos presentes na solução (FREIRE et al., 2003; ANDRIOLO et al., 2010), bem como limitar a absorção de cálcio, enxofre, fósforo e sódio, inibir a absorção de magnésio e causar deficiência de zinco (MALAVOLTA et al., 1997)

A elevada mobilidade do sódio e associada à baixa interação deste íon presente na água residuária de laticínios com o latossolo pode tornar a água freática salina e com excesso de sódio, ficando inadequada para consumo e, caso ingerido, provocar retenção de água no corpo, com o aumento do volume hídrico no seu interior, o que acarretará na elevação da

pressão arterial. Em consequência do acúmulo de sódio no interior do corpo humano, esse mineral provoca alguns problemas de saúde, tais como: câncer, problemas renais, cardíacos e também acidente vascular cerebral (AVC) (WYNESS et al., 2012; WHO, 2013).

4 Considerações

Os ensaios em colunas de lixiviação demonstraram a preferência de interação de $K > Ca > Na > Mg$, independentemente da diluição do efluente, seguindo-se a ordem de reatividade dos íons. Esses resultados alertam para interação entre os solutos presentes na água residuária de laticínios com o solo, podendo, em caso de aplicação inadequada, tornar o solo salino com a possibilidade provocar excesso de potássio nas camadas superiores do solo, e de sódio nas camadas inferiores, resultando em salinização do lençol freático devido a lixiviação do sódio. Assim, para o solo estudado (Latosolo vermelho amarelo), nas condições de clima quente e úmido, a aplicação de até 600 kg de sódio por hectare de solo cultivado com capim mombaça, passa a ser uma nova recomendação técnica.

5 Agradecimento

Agradeço primeiramente a meu pai Célio Maurício, minha mãe Rosilena e meu irmão Kayky, que estiveram sempre presentes dando apoio financeiro e emocional para que eu continuasse na minha luta durante esta etapa da minha vida. Não esquecendo os meus avós e tios que se mantiveram presentes nesses anos.

Um agradecimento especial ao meu amigo Lucas Ferreira que está presente na minha vida a muitos anos, mostrando sem exitar apoio no momento em que mais precisei.

Agradeço as minhas amigas e companheiras de casa Maria Cecília, Nathália Caroline e Isadora, por serem pacientes todos esses anos e ter me dado tanto apoio.

Muito obrigada aos amigos que fiz durante essa graduação dando importância a Nayline Cristina minha melhor amiga e companheira, por todas as horas em que eu precisei e não houve recusa ao me atender. Ao Luiz Felipe, Guilherme, Maria Rosa e Lara por ter contribuído de certa forma para que meu sonho possa se tornar realidade.

Obrigada também ao meu professor José Antonio e orientadora Débora.

Agradeço a Deus por essa vitória!

Enfim, um muito obrigado a todos que me ajudaram para concluir esta jornada.

6 Referências

AGOURAKIS, D. C.; CAMARGO, I. M. C.; COTRIM, M. B.; FLUES, M. Comportamento de zinco e manganês de pilhas alcalinas em uma coluna de solo. *Revista Química Nova*, v.29, n.5, p.960-964, 2006.

ALENCAR, C. A. B; OLIVEIRA, R. A; CÓSER, A. C; MARTINS, C. E; CUNHA. F. F; COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE CAPINS MANEJADOS POR PASTEJO SUBMETIDOS A DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. *Engenharia na agricultura, Viçosa – MG. V.18 N.5, Setembro/Outubro 2010. Reveng 429-437p.*

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage*. 1998, Paper n. 56, FAO, Rome

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; MATOS, V. P; LAMBERT, T. F.; DIAS, E. F. Influência da qualidade da água no comportamento dispersivo da argila do latossolo vermelho-amarelo. *Engenharia na agricultura, Viçosa - MG, v.18, n.3,2010*

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. New York: APHA, AWWA, WPCR, 2012.

ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; GOMES, S. D.; QUEIROZ, M. M. F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.75-80, 2008.

ANDRIOLO, J. L.; JÄNISCH, D.I.; SCHMITT, O.J.; DAL PICIO, M.; CARDOSO, F.L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 267-272, 2010.

Animal, v. 4, n.1, p.185-203, 2012

ARAUJO, A.S. Características agronômicas e nutricionais do capim-Marandu em função da aplicação de resíduo líquido de frigorífico. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v.32, n.1, p. 9-17, 2010.

ATKINS, P.W.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. *Manual de irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV/Imprensa Universitária, 2006. 625 p.

BORGES JUNIOR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.604-611, 2006.

CAIELLI, E. L., BONILHA NETO, L.M., LOURENÇO, A.J. 1991 Avaliação agrônômica e qualitativa de pastos de capim-elefante Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) fertilizados com nitrogênio ou consorciados com leguminosas tropicais para produção de carne. *Bol. Ind. Anim.*, 48(1):63-76.

CALVALCANTI, J. E. Manual de tratamento de efluentes industriais. 2. ed. São Paulo:

CAMMAROTA, M.C.; FREIRE, D.M.G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. *Bioresource Technology*, New York, v.97, n.17, p.2195-2210, 2006.

CARMO, A. I.; ANTONINO, A. C. D.; NETTO, A. M.; CORRÊA, M. M. Caracterização hidrodispersiva de dois solos da região irrigada do Vale do São Francisco. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.14, n.7, 2010.

COSTA, F. A., FRAÇA, G. E., ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. *Inf. Agropec.*, Belo Horizonte, 12 (139) julho de 1986.

COSTA, N. L. 1995. Adubação nitrogenada e consorciação de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* cv. Cameroon) com leguminosas forrageiras tropicais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30 (3):401-408

COSTA, S. N.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; RAMOS, V. B. N. Mobilidade de nitrato em coluna de solo sob condições de escoamento não permanente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, p.190-194, 1999.

DAUFIN, G.; ESCUDIER, J.P.; CARRERE, H.; BEROT, S.; FILLAUDEAU, L.; DECLOUX, M. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. *Food and Bioproducts Processing*, Orlando, v.79, n.2, p.89-102, 2001

DOORENBOS, J., PRUITT, J.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage, 24)

EMBRAPA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (EMBRAPA – CNPS, Documentos, 1).
Engenho Editora Técnica, 2012

ERTHAL, V.J.T.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.5, p.467-477, 2010.

EULCIDES, V. P. B. Manejo do capim-mombaça para períodos de águas e seca. 2014. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2118000/artigo-manejo-do-capim-mombaca-para-periodos-de-aguas-e-seca>>. Acesso em 12 nov. 2018

FERREIRA, P. A.; GARCIA, G. O.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F. Transporte no solo de solutos presentes na água residuária de café conilon. *Acta Scientiarum - Agronomy*, v.28, p.29-35, 2006.

FONSECA, A.F.; HERPIM, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agrícola*, v.64, n.2, p.194-209, 2007

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; VICTOR, H.; ALVAREZ, V.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 45-52, 2003.

GODOY, V. A.; ZUQUETTE, L. V. Avaliação do retardamento de fosfato em colunas indeformadas de solo residual arenoso de área irrigada com efluente de tratamento de esgotos. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*. v. 9, n. 11, 2013.

GOMES, E. R. S.; SAMPAIO, S. C; CORRÊA, M. M.; VILAS BOAS, M. A.; ALVES, L. F. A.; ALVES SOBRINHO, T. Movimento de nitrato proveniente de água residuária em colunas de solo. *Revista Engenharia Agrícola*, v.24, n.3, p.557-568, 2004.

GOMES, E. R.; BROETTO, F.; QUELUZ, J. G. T.; BRESSAN, D. F. Efeito da fertirrigação com potássio sobre o solo e produtividade do morangueiro. *Irriga, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA*, p. 107-122, 2015

GONÇALVES, A. D. M. A.; MIRANDA, P. R.; SABADIN, J. F. G.; KAMOGAWA, M. Y. Temperature effect in potassium and nitrate ions in soil transport. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.438-447,2008.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N; TOMASIEWICZ, D.J; SHEPPARD, S. C. A IMPORTÂNCIA DO FÓSFORO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DA PLANTA. INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS. Nº 95 SETEMBRO/2001. Piracicaba-SP, Brasil

JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; RESENDE, M. D. V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C. Melhoramento genético de *Panicum maximum*. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B. do; JANK, L. (Ed.). Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p. 55-87.

JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; RESENDE, M. D. V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C. Melhoramento genético de *Panicum maximum*. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B. do; JANK, L. (Ed.). Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p. 55-87.

LARCHER W (2006) *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, Rimas Artes e Textos. 531p.

LOZANO, C. S.; TONELLO, T. U.; BORTOLETTO, E. C.; ARAÚJO, M. A.; TONELLO, A. P.; CASCAVEL, P. B. Resposta do capim mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) submetido à aplicação de água residuária de abatedouro de aves. *Enciclopédia Biosfera*, v.11, n.22, p.3797-3805, 2015

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. cap.3, p.76-77.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.758-762, 2005
 MANTOVANI, E. C. Manejo da irrigação na cafeicultura. In: MANTOVANI, E.C. Curso de cafeicultura irrigada. Uberaba-MG: Universidade de Uberaba – UNIUBE, 2002. p. 84.

MATOS, A. T. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos. Viçosa: UFV, 2014.

MATOS, A.T.; GARIGLIO, H.A.A. & LO MONACO, P.A.V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 17:743-749, 2013

MATOS, A.T.; MATOS, M. P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. Editora UFV, Viçosa. 2016. 371p.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.456–465, 2006.

MESSIAS, A. S.; TÁVORA, B. E.; SILVA, R. C. R.; NASCIMENTO, A. E. Percolação de sódio através de solos do Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. Numero 1 - 2º Semestre 2006.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Missible displacement: III Theoretical considerations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 26, p. 216211, 1962.

NILDO, S. D.; BLANCO, F. F. EFEITO DOS SAIS NO SOLO E NA PLANTA. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. Fortaleza – CE. 2010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p

OLIVEIRA, J. F. et al. Avaliação de sistema de tratamento de laticínio e o efeito do efluente gerado nos atributos físico-químico de um argissolo vermelho. *REVENG Engenharia na agricultura*, viçosa - mg, V.22 N.1, JANEIRO / FEVEREIRO 2014 58-66p.

on dietary salt and potassium. Disponível em:
 <<http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/s>

PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiology Plantarum*, Oxford, v. 133, p. 670-681, 2008.

PIERANGELI, M. A. P.; NÓBREGA, J. C. A.; LIMA, J. M; GUILHERME, L.R.G.; ARANTES, S. A. C. M. Sorção de cádmio e chumbo em Latossolo Vermelho Distrófico sob efeito de calcário e fosfato. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, n.1, p.42-47, 2009.

Pimentel, M. S.; De-Polli, H.; Lana, Â. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.39, p.225-232, 2009.

RIBEIRO, L.S. Estudo da degradação dos Resíduos sólidos Urbanos através dos parâmetros físicos e físico-químicos em um biorreator em escala experimental. Campina Grande: UFCG, 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental).

RODRIGUES, J.O. et al. Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú, Revista Ciência Agronômica, v.38, n.4, p.360-365, 2007.

SAEG (2006) Sistema de análises estatísticas e genéticas Versão 9.1. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 142p.

SALES, M. F. L.; VALENTIM, J.; ANDRADE, C. M. S. Capim mombaça: formação e manejo de pastagens no Acre. *Embrapa Acre-Fôlder/Folheto/Carlilha (INFOTECA-E)*. 2002

SAMPAIO, S.C.; CAOVILO, F.A.; OPAZO, M.A.U. NÓBREGA, L.H.P.; SUSZEK, M.; SMANHOTTO, A. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, p.150-159, jan./fev. 2010

SANTOS, J.S. DOS; LIMA, V.L.A. DE; JUNIOR, J.C.F.B.; SILVA, L.V.B.D.; AZEVEDO, C.A.V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n.11, p.1226–1233, 2010.

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. N.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. AVALIAÇÃO DE ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, n.6, p. 940-947, Nov. /Dec. 2010

SANTOS, P.M; SANTOS, A.C; SILVA, J.E.C; SILVA NETO, S.P; ALEXANDRINO, E. Atributos morfogênicos de pastos de capim-mombaça adubados com resíduo de laticínio. Revista Caatinga, v. 27, n. 3, p. 221 – 231, 2014.

SERAFIM, R. S; GALBIATTI, J. A. Efecto de la aplicación de la agua residual porcina en el pasto *Brachiaria brizantha* cv Marandu. Revista Colombiana de Ciência

SILVA NETO, S.P; SILVA, J.E.C; SANTOS, A.C; CASTRO,J.G.D; DIM, V.P; 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 1048 p.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, J. A. R; CARVALHO, W. B.; MENDONÇA, R. B.; MOREIRA, D. A. Distribuição da umidade do solo num sistema irrigado por gotejamento superficial com diferentes inclinações do terreno. REVENG Engenharia na agricultura, viçosa - mg, v.23 n.3. p.261-269, 2015

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V., FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.2563-2572, 2008.

SILVA, J. G D.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; PREVIERO, C. A. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-mombaça cultivado em diferentes lâminas de

efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 59, n.5, p. 606-613, 2012

SILVA, J. G D.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; PREVIERO, C. A. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-mombaça cultivado em diferentes lâminas de efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. *Rev. Ceres, Viçosa*, v. 59, n.5, p. 606-613, 2012

SIMONETTI, A.; MARQUES, W. M.; COSTA, L. V. C. Produtividade de capim-mombaça (*Panicum maximum*), com diferentes doses de biofertilizante. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* v. 10 n.1, p.107-115, 2016

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; MATOS, A. T. ; RODRIGUES, A. S. L. . Effect of irrigation with wastewater from swine in the chemical properties of a latossol. *African Journal of Agricultural Research JCR*, v. 8, p. 5166-5173, 2013.

VALDEZ-AGUILAR, L.A, REED, D.W. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. *Journal of Plant nutrition*, n.33, p.1472-1488, 2010.

VELOSO, M. E. C.; Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1991. (Tese de Mestrado)

VILELA, NATHANE MANUELLE SILVA et al. Parâmetros de transporte do potássio presente em esgotos sanitários dispostos em colunas de solo. *Engenharia Agrícola*, v. 38, n. 1, 2017.

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination, Orlando*, v.219, p.190-202, 2008.

WHO (World Health Organization). Publicado em 2013. WHO issues new guidelines

WYNESS, L.A.; BUTRISS, J.L.; STANNER, S.A. Reducing the population's sodium intake. The UK Food Standards Agency's salt reduction programme. *Public Health Nutrition*, v. 15, p. 254- 261, 2012.