

**MOBILIDADE DOS ÍONS NITRATO E AMÔNIO EM ÁREA AGRÍCOLA SOB ADUBAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA DE LEITE E TORTA DE MAMONA**

Jonathas Batista Gonçalves Silva¹, Mauro Aparecido Martinez², Antônio Teixeira de Matos³, Carina Soares Pires⁴ & Geuzimar Terração da Silva⁵

1 - Engenheiro Agrícola e Ambiental, Professor da UFJF, jonathas.silva@ufjf.edu.br

2 - Engenheiro Agrícola, Professor da UFV, mmauro@ufv.br

3 - Engenheiro Agrícola, Professor da UFMG, atmatos@desa.ufmg.br

4 - Engenheira Agrícola e Ambiental, UFRRJ, carina.soarespires@gmail.com

5 - Engenheira Agrícola e Ambiental, UFRRJ, terraacaoufrj@gmail.com

Palavras-chave:

deslocamento miscível
disposição final de efluentes
lençol freático

RESUMO

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a mobilidade dos íons nitrato e amônio em um Argissolo Vermelho-Amarelo, quando aplicado água residuária de bovinocultura de leite (ARB) e torta de mamona. O experimento foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica, localizado no município de Seropédica, Rio de Janeiro. Na área utilizada nesse trabalho é cultivada a figueira (*Ficus carica* L.), variedade Roxo de Valinhos. Diferentes lâminas de ARB foram aplicadas no solo como fonte de adubação de nitrogênio (Adubação 1- 0% de ARB e adubação complementar com torta de mamona; Adubação 2- 50% da dose de N recomendada fornecida pela ARB e os outros 50% com a torta de mamona; Adubação 3- 75% da dose de N recomendada fornecida pela ARB e os outros 25% fornecido pela torta de mamona; Adubação 4- 100% da dose de N recomendada fornecida pela ARB). Nas parcelas experimentais foram instalados extratores a 0,15 e a 0,60 m de profundidade. As concentrações de nitrato obtidas foram muito elevadas, com valores de até 323 mg.L⁻¹. No entanto, os valores do amônio na solução do solo foram baixos, com valores abaixo de 0,44 mg.L⁻¹. Os resultados indicam a necessidade de um rigoroso monitoramento no uso de ARB e torta de mamona em áreas agrícolas.

Keywords:

Miscible displacement
final disposal of effluents
groundwater

MOBILITY OF NITRATE AND AMMONIUM IONS IN AGRICULTURAL AREA WHERE CATTLE WASTEWATER IS USED AS FERTILIZER SOURCE**ABSTRACT**

The aim of this study was to evaluate the mobility of nitrate and ammonium ions in an Ultisol when applied dairy cattle wastewater (ARB). The experiment was conducted in the Agroecological Production Integrated System, located in Seropédica, Rio de Janeiro. Fig (*Ficus carica* L.) crop of the variety Roxo de Valinhos is grown in the area used during this work. Different blades of ARB were applied to the soil as a source of nitrogen fertilization (T1-0% of ARB and additional fertilizers with castor bean cake, T2-50% of the recommended dose of N supplied by the ARB and the other 50% with the castor bean cake, T3-75% of the recommended dose of N supplied by the ARB and the other 25% provided by the castor bean cake, T4-100% of recommended dose of N provided by the ARB). In the experimental plots, extractors were installed at 0.15 and 0.60 m of depth. Nitrate concentrations obtained were very high, with values up to 323 mg.L⁻¹. However, the values of ammonium in the soil solution were low, with values below 0.44 mg L⁻¹. The results indicate the need for close monitoring when ARB and castor bean cake are used in agricultural areas.

INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção brasileira de leite estimada para o ano de 2016 foi superior a 35 bilhões, com uma produtividade média de 1.609 litros/vaca/ano (CONAB, 2016). A região sudeste do país é a maior produtora, sendo responsável por 34% de toda produção. Ressalta-se ainda que são 23 milhões de vacas ordenhadas, 1,3 milhão de produtores, 2 mil laticínios com inspeção, colocando o Brasil como quarto maior produtor de leite (ZOCCAL, 2016).

No entanto, a quantidade de dejetos produzidos diariamente por bovinos de leite é um dos maiores problemas em sistemas de manejo intensivo. A disposição dos resíduos das instalações animais tem se constituído num desafio para criadores e especialistas, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos. No que se refere às características qualitativas da água residuária da bovinocultura de leite, pode-se afirmar que a água é rica em material orgânico, sólidos totais e nutrientes, tais como o nitrogênio e o potássio (ERTHAL et al., 2010).

O lançamento direto dos efluentes da agroindústria em cursos de água, sem o adequado tratamento é um grande problema ambiental. Tal procedimento pode gerar desequilíbrios ecológicos e poluição decorrente da redução na concentração de oxigênio dissolvido na água, disseminação de patógenos e contaminação das águas com nitrogênio amoniacal, nitratos, metais pesados e outros elementos ou substâncias tóxicas.

Diante da degradação ambiental causada pelo lançamento de águas residuárias nas coleções de água e da ação fiscalizadora realizada por órgãos públicos responsáveis pela qualidade do meio ambiente, busca-se soluções específicas no sentido de tratar, dispor ou aproveitar os resíduos (ZOLIN et al., 2011; SOUSA NETO et al., 2012).

Uma das alternativas para a resolução do problema é o uso dessas águas em áreas agricultáveis (NOBRE et al., 2010). O aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas pode possibilitar o aumento de produtividade e qualidade dos produtos colhidos, redução da poluição ambiental e dos custos de produção, além de promover melhoria nas características químicas, físicas e biológicas do solo (MORRILL et al., 2012). Todavia, o uso incorreto pode trazer efeitos deletérios tanto ao solo quanto à cultura.

Dentre os elementos químicos presentes na água residuária, o nitrogênio é um dos elementos que tem merecido atenção quanto à concentração e forma de aplicação no solo, devido ao fato de que o íon amônio (NH_4^+), por ser um cátion, pode ser adsorvido pelas cargas negativas do solo, enquanto o nitrato (NO_3^-), por ser um ânion, é repelido, podendo permanecer na solução do solo, ficando sujeito à lixiviação e possíveis contaminações (RODRIGUES et al., 2011). Ressalta-se ainda que, do ponto de vista eletroquímico, existe uma grande diferença entre a adsorção de nitrato ao solo e a de outros oxianions, pois ele não é adsorvido especificamente, sendo sua adsorção apenas eletrostática, dependente exclusivamente da carga do solo (ALCÂNTARA e CAMARGO, 2005).

As quantidades e as frequências com que águas residuárias podem ser aplicadas ao solo, variam com o tipo de solo, com a natureza e composição dos resíduos, com as condições climáticas e com a espécie vegetal cultivada. Logo, a utilização da disposição de água residuária no solo deve ser realizada de forma cuidadosa, de modo a não contribuir com a contaminação de águas subterrâneas, superficiais e de plantas, por meio de metais pesados, e que não traga efeitos negativos às características físicas e químicas do solo (MATOS e MATOS, 2017). De acordo com Girotto et al. (2007), a disposição de dejetos líquidos de suínos sucessivamente ao longo dos anos nas mesmas áreas, pode causar sérios problemas, como contaminação de águas subterrâneas e superficiais por nitrato e fósforo.

Segundo Diesel et al. (2002), nitratos e bactérias podem vir a ser sério problema em relação à contaminação de águas subterrâneas, e compostos voláteis podem ocasionar problemas de odor desagradável, em função da disposição de dejetos de suínos no solo. Segundo FreezeBurkart e Stoner (2002) o nitrogênio dissolvido na forma de nitrato é o contaminante mais comumente encontrado nas águas subterrâneas. Algumas enfermidades têm sido associadas ao consumo de águas com elevadas doses de nitrato, como exemplo pode-se citar a metahemoglobinemia ou cianose infantil (síndrome do bebê azul) e possivelmente algumas formas de câncer no estômago e intestino (MATOS e MATOS, 2017).

Logo, para se realizar uma correta disposição de águas residuárias no solo é necessário se ter conhecimento das características de adsorção e mobilidade dos íons no perfil do solo, fator este

indispensável para a o controle da contaminação das águas subterrâneas.

Em virtude da escassez de dados sobre uso da água residuária de bovinocultura de leite, torna-se necessária a realização de estudos que enfoquem o comportamento dos íons nitrato e amônio na solução do solo em áreas utilizadas para a disposição final desse efluente. Diante do exposto propõe-se avaliar a mobilidade dos íons nitrato e amônio ao longo do perfil de um argissolo em épocas seca e chuvosa.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA – “Fazendinha Agroecológica km 47”), localizado no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro. A área utilizada nesse trabalho foi de 1.014 m², onde é cultivada a figueira (*Ficus carica L.*), variedade Roxo de Valinhos, implantada no ano de 2008, num espaçamento de 3 x 2 m. O solo da área experimental foi classificado como um Argissolo

Vermelho-Amarelo (CARVALHO et al.,2013). O experimento foi conduzido entre os meses de julho de 2011 e março de 2012.

De acordo com Carvalho et al. (2012), o clima da região foi classificado como Aw, segundo Köppen, com temperaturas elevadas e chuvas no verão e um inverno seco com temperaturas amenas. As chuvas se concentram no período de novembro a março, com precipitação anual média de 1213 mm e temperatura média anual de 24,5°C. Dados climáticos foram coletados de uma estação meteorológica instalada próxima a área experimental. A estação continha sensores de radiação solar global incidente (piranômetro Kipp & Zonen, mod. SP-LITE-L), velocidade e direção do vento (anemômetro, 033001-L RM YOUNG) e temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala, mod. HMP45C-L), além de um pluviôgrafo (Globalwater, GL400-1-1). Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados, respectivamente, os dados climáticos de temperatura máxima, média, mínima e precipitação, obtidos durante o período em que foi conduzido o experimento.

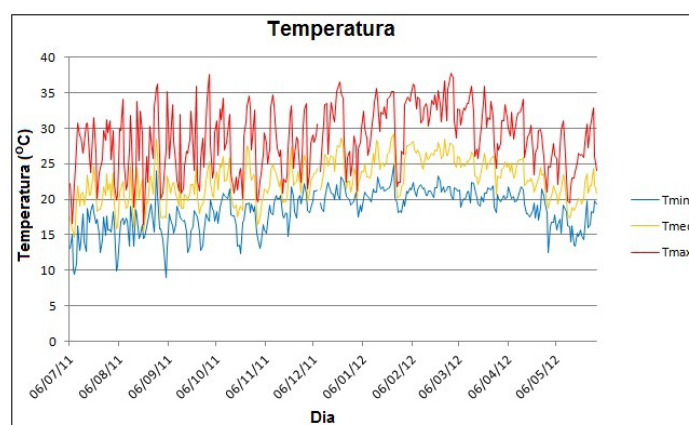


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima entre os meses de julho de 2011 e maio de 2012 no Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica-RJ.

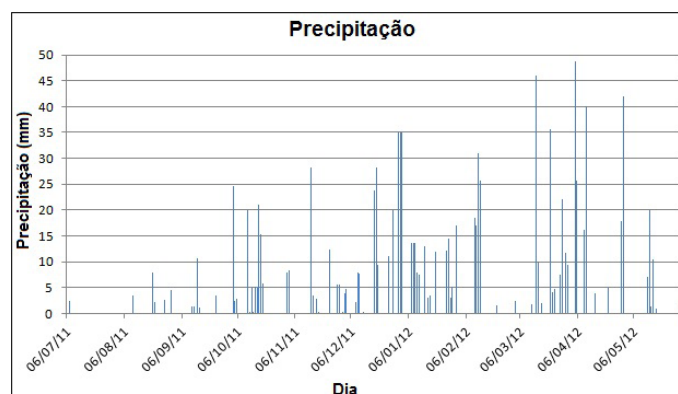


Figura 2. Precipitação entre os meses de julho de 2011 e maio de 2012 no Sistema Integrado de Produção Agroecológica, Seropédica-RJ.

Foi utilizada água residuária de bovinocultura de leite (ARB), obtida do estábulo do SIPA. Amostras desse efluente eram coletadas momentos antes da adubação e encaminhadas aos laboratórios. A caracterização da ARB foi realizada no Laboratório de Qualidade de Água, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV), seguindo-se as recomendações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 1995). A caracterização da ARB consistiu das seguintes análises: sólidos totais, DBO, DQO, C-total, N-total, N-NH₄⁺, N-NO_x, P-total, N-NO_x,

Ca, Mg, K, Na, Zn, Cu, Mn, pH e condutividade elétrica (CE). Na Tabela 1 apresentam-se as características da ARB.

Amostras da torta de mamona foram enviadas ao Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos do Departamento de Solos da UFV, para a realização de sua caracterização química, segundo metodologias propostas por EPA 3051, APHA 3120 B, APHA 4500-PC. Na Tabela 2 apresenta-se a caracterização química da torta de mamona.

Amostras de solo foram coletadas na área do experimento nas camadas de 0 a 0,20 e 0,40 a 0,60 m, a fim de se realizar a caracterização química

Tabela 1. Caracterização da água residuária da bovinocultura de leite proveniente do estábulo do SIPA

Características	Valores médios	Desvio padrão	Características	Valores médios	Desvio padrão
pH	6,48	0,34	K (mg L ⁻¹)	123,13	48,10
CE (mS cm ⁻¹)	2,91	0,61	Na (mg L ⁻¹)	75,00	64,95
ST (mg L ⁻¹)	24.179	3.012	Ca (mg L ⁻¹)	210,10	192,33
DQO (mg L ⁻¹)	26.875	12.590	Mg (mg L ⁻¹)	137,55	110,23
DBO (mg L ⁻¹)	3.522	1.914	RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	1,39	-
N-total (mg L ⁻¹)	696,20	400,49	Fe (mg L ⁻¹)	9,65	-
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	588,79	467,86	Cu (mg L ⁻¹)	6,25	-
N-NO _x (mg L ⁻¹)	1,07	-	Mn (mg L ⁻¹)	17,08	-
N-Orgânico (mg L ⁻¹)	15,27	-	Zn (mg L ⁻¹)	1,00	-
P (mg L ⁻¹)	81,15	40,65	-	-	-

Tabela 2. Caracterização química da torta de mamona utilizada na adubação da figueira

Parâmetro	Valor
Carbono Total (%)	37,55
Cálcio (%)	0,48
Magnésio (%)	0,18
Potássio (%)	0,52
Fósforo (%)	0,35
Nitrogênio Total Kjeldahl (%)	5,00
Densidade (mg cm ⁻³)	0,49
pH	5,75
Cobre (mg kg ⁻¹)	4,00
Zinco (mg cm ⁻³)	53,30
Manganês (mg cm ⁻³)	43,80
Ferro (mg cm ⁻³)	1.249,30
Cádmio (mg cm ⁻³)	0,60
Níquel	Não detectável
Chumbo	Não detectável
Cromo (mg cm ⁻³)	23,10

e física deste. As profundidades escolhidas representam, respectivamente, um ponto dentro e outro abaixo da zona radicular (LEONEL e DAMATTO JUNIOR, 2007). Após coletadas, as amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, sendo em seguida levadas ao Laboratório de Fertilidade e Rotina e ao Laboratório de Física do Solo, ambos do Departamento de Solos da UFV. As caracterizações foram realizadas segundo os métodos descritos pela EMBRAPA (2011). A caracterização física do solo incluiu textura, massa específica do solo, condutividade elétrica do extrato da pasta do solo saturado. A caracterização química do solo incluiu pH em água, acidez trocável e potencial, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica efetiva e potencial, soma de bases, teores trocáveis de Ca, K, Mg e Na, disponíveis de P e N total. Na Tabela 3 apresenta-se o resultado da caracterização do solo.

O nitrogênio foi tomado como nutriente de referência na fertirrigação da figueira com aplicação de ARB. A dose de nitrogênio aplicada foi de 260 g cova⁻¹ (433 kg ha⁻¹, considerando 1.666

plantas ha⁻¹) ao longo da safra 2011/2012, segundo recomendação de Almeida e Silveira (1997).

As lâminas necessárias à aplicação das diferentes doses de nitrogênio foram calculadas por meio da Equação 1 (MATOS e MATOS, 2017).

$$TA_{AR} = \frac{[N_{abs} - (T_{m1} MO \rho_s p 10^7 0.05 \frac{p}{12})]}{[T_{m2} N_{org} + (N_{ammoniacal} + N_{nitrate}) TR]} \quad (1)$$

em que,

TA_{AR} = lâmina de aplicação (m³ ha⁻¹);

N_{abs} = absorção de nitrogênio pela cultura para a obtenção da produtividade desejada (kg ha⁻¹);

T_{m1} = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente no solo (kg kg⁻¹), considerada 0,01 kg kg⁻¹ ano⁻¹ (MATOS e MATOS, 2017);

MO = conteúdo de matéria orgânica do solo (kg kg⁻¹);

ρ_s = massa específica do solo (t m⁻³);

p = profundidade de solo considerada (m), considerada 0,40 m;

Tabela 3. Caracterização física e química do Argissolo Vermelho-Amarelo coletada nas camadas de 0-20 e 0,40-60 m na área experimental do SIPA, antes da aplicação da água residuária de bovinocultura de leite

Características	Camadas (m)	
	0-0,20	0,40-0,60
Teor de areia grossa (dag kg ⁻¹)	70	71
Teor de silte (dag kg ⁻¹)	9	8
Teor de argila (dag kg ⁻¹)	21	21
Massa específica do solo (kg dm ⁻³)	1,29	1,33
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,106	0,087
pH em água	6,54	6,64
P (mg dm ⁻³)	149,10	50,80
K (mg dm ⁻³)	153,00	89,00
Na (mg dm ⁻³)	4,60	6,60
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,85	2,12
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,00	0,96
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,00	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,40	2,10
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,26	3,34
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	4,26	3,34
CTC total (cmol _c dm ⁻³)	6,66	4,94
MO (dag kg ⁻¹)	2,07	1,16
N (dag kg ⁻¹)	0,12	0,10

H + Al – acidez total; SB – soma de bases trocáveis; MO – matéria orgânica.

n = número de meses de cultivo da cultura, considerado 12 meses;

T_{m2} = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico ($\text{kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$), considerada $0,5 \text{m kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (MATOS e MATOS, 2017);

N_{org} = nitrogênio orgânico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg L^{-1});

N_{amomical} = nitrogênio amoniacal disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg L^{-1});

N_{nitrato} = nitrogênio nítrico disponibilizado pelo resíduo aplicado (mg L^{-1}), e;

TR = taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura ($\text{kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$), considerada $0,70 \text{ kg kg}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (MATOS e MATOS, 2017).

As formulações de adubação aplicadas foram:

- Adubação 1 - 100% da dose de nitrogênio recomendada para a figueira fornecida pela adubação com torta de mamona.
- Adubação 2 - 50% da dose de nitrogênio recomendada para a figueira fornecida pela aplicação da ARB e os outros 50% da dose de nitrogênio fornecido com a adubação com torta de mamona.
- Adubação 3 - 75% da dose de nitrogênio recomendada para a figueira fornecida pela aplicação da ARB e os outros 25% da dose de nitrogênio fornecido com a adubação com torta de mamona.
- Adubação 4 - 100% da dose de nitrogênio recomendada para a figueira fornecida pela aplicação da ARB.

A aplicação das fontes de nitrogênio foi parcelada em quatro épocas distintas, nos meses de agosto, setembro e novembro de 2011 e fevereiro de 2012, conforme recomendado por Almeida e Silveira (1997). A aplicação foi realizada sobre o solo sob a projeção da copa da figueira. A ARB foi aplicada com regadores, e a torta de mamona manualmente.

Com a finalidade de monitorar as concentrações de nitrato e amônio na solução do solo, foram instalados dois extratores de solução do solo em cada parcela, nas profundidades de 0,20 e 0,60 m (Figura 3). De acordo com Leonel e Damatto Junior (2007), a concentração das raízes é maior na faixa de 0 a 0,40 m de profundidade.



Figura 3. Extratores instalados a profundidade de 0,20 e 0,60 m em cada parcela experimental.

A coleta da solução do solo foi realizada mensalmente, entre agosto de 2011 e março de 2012, conforme método apresentado por Salomão (2009). Na coleta da solução do solo, os extratores foram submetidos a uma sucção de aproximadamente -80 kPa utilizando-se uma bomba manual (Figura 4a), após quatro horas do término da irrigação ou da ocorrência de uma chuva. A coleta da amostra foi realizada 12 horas após a aplicação da sucção, com o auxílio de uma seringa conectada a uma mangueira (Figura 4b).

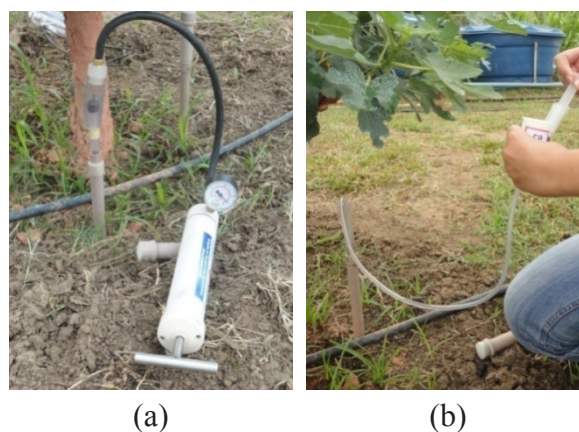


Figura 4. Bomba manual utilizada na aplicação do vácuo (a) e coleta das amostras de solução do solo (b).

As concentrações de nitrato e amônio foram determinadas no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes da EMBRAPA Agrobiologia, segundo métodos propostos por Olsen (2008) e Alves et al. (1994), respectivamente.

O experimento foi montado em esquema de

parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as formulações de adubação, nas subparcelas as profundidades de coletas de amostras e nas subsubparcelas os períodos do regime pluviométrico do local (época seca e chuvosa), no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 10% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas empregando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011). Na análise estatística, independentemente da interação de maior grau ser ou não significativa, optou-se pelo desdobramento da mesma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 apresentam-se os valores médios da concentração nitrato na solução do solo determinadas nas profundidades de 0,20 e 0,60 m após as adubações, nas épocas seca e chuvosa, bem como o resultado do Teste de Tukey a 10% de significância.

Diante dos resultados obtidos, verificou-se que as concentrações médias de nitrato na solução do solo obtidas nas Adubações 1 e 2 foram maiores que aquelas determinadas nas Adubações 3 e 4, na profundidade de 0,20 m, considerando-se a época seca. A concentração de nitrato obtida nas soluções na Adubação 4 foi ainda inferior a Adubação 3. Considerando a profundidade de 0,60 m e a época seca, verificou-se que as concentrações de nitrato obtidas nas Adubações 1 e 3 foram superiores àquelas determinadas na Adubação 4.

Os teores de nitrato obtidos nesse estudo estão coerentes com aqueles encontrados por Coelho

et al. (2014) e Cruz; Parron e Rocha (2012), que trabalharam com ureia e nitrato de cálcio. Andrade Neto (2009) obteve valores de até 352,90 e 450,00 mg L⁻¹ de nitrato na solução do solo, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, respectivamente, em uma área de plantio de bananeira da terra. Cruz; Parron e Rocha (2012) obtiveram valor médio de até 329,81 mg L⁻¹ de nitrato na solução do solo em uma área cultivada com café.

Ao avaliar a variação da concentração de nitrato na solução do solo entre as profundidades monitoradas, verificou-se que, nas Adubações 1 e 2, as médias foram superiores nas amostras coletadas na profundidade mais superficial, em relação à profundidade de 0,60 m, na época seca. Acredita-se que esse resultado está associado ao fato do nitrogênio presente na torta de mamona está prontamente disponível, uma vez que esse elemento está predominantemente na forma orgânica. Sendo assim, o nitrogênio não foi rapidamente nitrificado e perdido por lixiviação para camadas mais profundas e absorvido pelas plantas. Nas Adubações 3 e 4 não foi observada diferença estatística entre os valores determinados em diferentes profundidades.

Na época chuvosa, verificou-se que somente na Adubação 1 houve diferença estatística entre as médias da concentração de nitrato determinadas nas distintas profundidades. Foi observado que a concentração de nitrato na solução do solo foi maior na profundidade de 0,60 m em relação à menor profundidade. Tal comportamento pode estar associado à alta mobilidade desse elemento no solo, o que deve ter contribuído na lixiviação

Tabela 4. Valores médios da concentração de nitrato na solução do solo, em mg L⁻¹, determinados nas profundidades de 0,20 e 0,60 m, após adubação, nas épocas seca e chuvosa

Adubação	Época Seca		Época Chuvosa	
	Profundidade			
	0,20 m	0,60 m	0,20 m	0,60 m
Adubação 1	323,17 aA	197,49 aB	53,28 abB	121,37 aA
Adubação 2	295,12 aA	117,93 bcB	77,57 aA	29,48 bA
Adubação 3	125,75 bA	170,37 abA	23,01 abA	60,46 abA
Adubação 4	56,80 cA	57,21 cA	8,76 bA	60,72abA

- As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si em nível de 10% de probabilidade pelo Teste de Tukey

para profundidades superiores àquelas monitoradas neste trabalho. A lixiviação do nitrato para camadas mais profundas do perfil do solo é indesejável, pois, além de não ser mais absorvido pelas plantas, pode contaminar as águas subterrâneas (MANTOVANI; ERNANI e SANGOI, 2007). O nitrato encontrado na profundidade de 0,60 m dificilmente será absorvido pela cultura da figueira, pois o seu sistema radicular se concentra nos primeiros 0,40 m do perfil do solo (LEONEL e DAMATTO JUNIOR, 2007). Portanto, valores elevados de nitrato na solução do solo nas camadas inferiores à rizosfera podem indicar um risco à qualidade das águas subterrâneas, uma vez que esse elemento pode lixiviar ao longo do perfil do solo, alcançando o lençol freático

Andrade Neto (2009) verificou um incremento na concentração de nitrato na solução na profundidade de 0,40 m em relação a de 0,20 m, ao avaliar o efeito da aplicação de ureia e nitrato de cálcio no solo. Cruz; Parron e Rocha (2012) verificaram aumento de até 500% na concentração de nitrato na solução do solo obtida a 1,0 metro de profundidade, quando comparada a camadas mais superficiais do solo. Matos; Lemos e Barros (2004) verificaram aumento nas concentrações de nitrato nas camadas maiores que 0,20-0,30 m, no perfil dos solos de rampas de tratamento de águas residuárias.

Ao comparar a concentração de nitrato entre as distintas épocas de coleta da solução do solo,

verificou-se que na época chuvosa as médias foram menores em relação à época seca, nas Adubações 1, 2 e 3. Tal comportamento deve estar associado à diluição do nitrato na solução do solo e posterior lixiviação, pois o solo no período chuvoso possui maior teor de água. O mesmo é observado na Figura 5, onde está apresentada a variação da concentração de nitrato na solução do solo determinada ao longo do período experimental, nas profundidades de 0,20 m (a) e 0,60 m (b). Na Figura 3 verificou-se uma tendência de redução na concentração de nitrato na solução do solo ao longo do tempo. Tal comportamento está associado ao início do período chuvoso e, portanto, a ocorrência do aumento do teor de água no solo, que proporcionou a diluição do íon na solução do solo e consequentemente redução de sua concentração no meio.

A alta mobilidade do nitrato no solo associado ao risco de contaminação do lençol freático justifica a preocupação em relação disposição de efluentes ricos em nitrogênio no solo. Percebe-se então que, um acompanhamento periódico do teor de nitrato na solução do solo torna-se importante no manejo eficiente da disposição de água residuárias em terras agricultáveis.

Na Tabela 5 apresentam-se os valores médios da concentração de amônio na solução do solo nas profundidades de 0,20 e 0,60 m após as adubações, nas épocas seca e chuvosa, bem como o resultado do Teste de Tukey a 10% de significância.

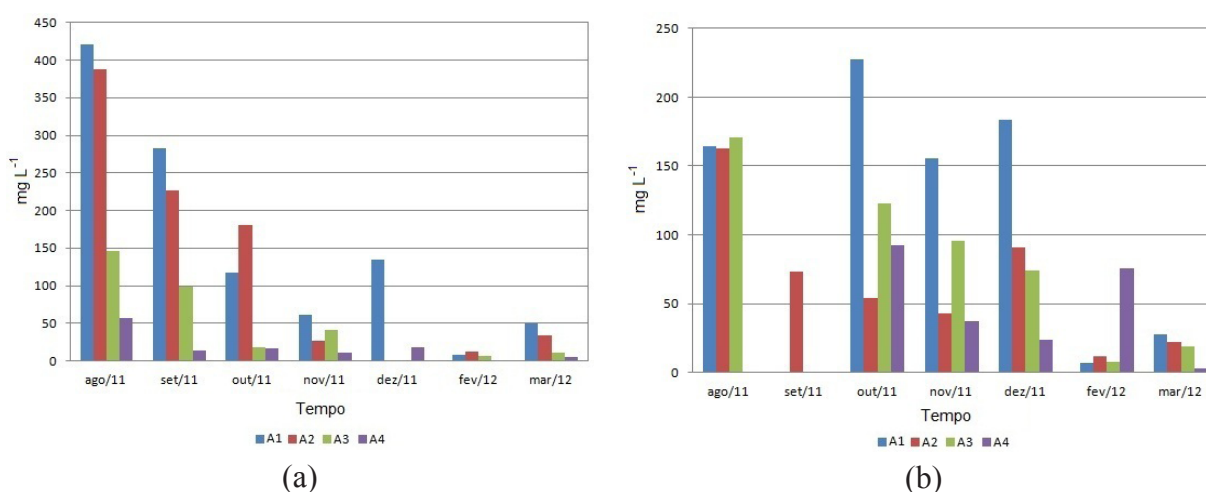


Figura 5. Variação da concentração de nitrato na solução do solo ao longo do experimento, nas profundidades de 0,20 m (a) e 0,60 m (b).

Tabela 5. Valores médios da concentração de amônio na solução do solo, em mg L⁻¹, determinados nas profundidades de 0,20 e 0,60 m, após adubação, nas épocas seca e chuvosa

Adubação	Época Seca		Época Chuvosa	
	Profundidade			
	0,20 m	0,60 m	0,20 m	0,60 m
Adubação 1	0,440 bA	0 aB	0,050 bA	0 aA
Adubação 2	0,217 bcA	0 aA	0,405 aA	0 aB
Adubação 3	0,690 aA	0 aB	0,012 bA	0,002 aA
Adubação 4	0,012 cA	0 aA	0,040 bA	0,037 aA

- as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si em nível de 10% de probabilidade pelo Teste de Tukey

Diante dos resultados apresentados na Tabela 4, verificou-se que a concentração de amônio na solução do solo foi menor na Adubação 4, diferindo estatisticamente das Adubações 1 e 3, na profundidade de 0,20 m, considerando-se a época seca. Na profundidade de 0,60 m, na mesma época, não foi detectada a concentração de amônio na solução do solo.

Na época chuvosa, na profundidade de 0,20 m, a concentração de amônio na solução do solo diferiu estatisticamente somente na Adubação 2, sendo maior em relação as demais. Na profundidade de 0,60 m não foi verificada diferença da concentração média de amônio entre adubações.

Pode-se observar que a concentração de amônio foi muito baixa na solução do solo. Esse resultado pode ser explicado pelo processo da nitrificação, onde o amônio é convertido a nitrato e ainda ao fato do amônio ter sido absorvido pelas plantas. Outro fator que colabora no processo da nitrificação é o fato do pH está próximo de 6,5, além de o solo não se apresentar encharcado.

Avaliando a variação da concentração de amônio na solução do solo entre as profundidades monitoradas, verificou-se que as médias diferiram nas Adubações 1 e 3, considerando-se a época seca. Os valores da concentração de amônio nas Adubações 1 e 3 foram maiores na profundidade de 0,20 m em relação a profundidade de 0,60 m. Na época chuvosa, somente na Adubação 2, foi verificado diferença dos valores de amônio entre as profundidades de 0,20 e 0,60 m. De igual modo, o valor da concentração de amônio na Adubação 2 foi maior na profundidade mais superficial. A concentração de amônio foi maior na profundidade mais superficial, evidenciando maior retenção

deste cátion nos sítios de troca do solo.

Cruz; Parron e Rocha (2012) verificaram o mesmo comportamento ao analisar a mobilidade de íons no perfil do solo sob cultivo do cafeeiro. Os autores observaram uma concentração de amônio na solução do solo igual a 15,14 e 0,32 mg L⁻¹, a 0,50 e 1,00 m de profundidade, respectivamente.

Ao analisar a concentração de amônio entre as distintas épocas de coleta, verificou-se diferença estatística das médias entre as épocas seca e chuvosa nas Adubações 1 e 3, sendo que os valores diminuíram do período seco para o chuvoso, considerando-se a profundidade de 0,20 m. Tal comportamento pode ser explicado pela maior solubilização e posterior lixiviação dos sais presentes no solo, em razão da infiltração e percolação da água da chuva. Cruz; Parron e Rocha (2012) obtiveram um valor médio da concentração de amônio na solução do solo igual a 7,73 mg L⁻¹, entre os meses de janeiro e março, período chuvoso na região.

Na profundidade de 0,60 m não houve diferença estatística em nível de 10% de significância pelo Teste de Tukey da concentração de amônio na solução do solo entre as épocas de coleta das amostras.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que:

- As concentrações de nitrato na solução do solo obtidas nas profundidades monitoradas foram muito elevadas, com valores de até 323 mgL⁻¹;
- As concentrações de nitrato na solução do solo foram menores quando a adubação da cultura

foi realizada com 100% de ARB, quando comparada com a tora de mamona;

- Os valores de amônio na solução do solo foram baixos, com valores que não excederam a 0,44 mgL⁻¹;
- Os resultados evidenciam a necessidade de mais estudos que abordem a disposição de efluentes agroindustriais no solo. Além da necessidade de um rigoroso monitoramento da mobilidade do nitrato no perfil do solo, ao se usar a ARB e a torta de mamona como fontes a de adubação nitrogenada em áreas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCANTARA, M.A.K.; CAMARGO, O.A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.4, p.369-376, 2005.
- ALMEIDA, M.M.; SILVEIRA, E.T. Tratos culturais na cultura da figueira no sudoeste de Minas Gerais. **Informe agropecuário**, v.18, n.188, p.27-33, 1997.
- ALVES, B.J.R. et al. Métodos de determinação de nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Eds.). **Manual de métodos empregados em estudo de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.449-509. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 46).
- AMERICAM PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. New York: APHA/WWA/WPCR, 1995.
- ANDRADE NETO, T.M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra**. 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)– Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.
- BURKART, M.R. & STONER, J.D. Nitrate in aquifers beneath agricultural systems. **Water Science and Technology**, v.45, n.9 p.19–29, USDA, 2002.
- CAMPOS, A.T. et al. Tratamento biológico aeróbio e reciclagem de dejetos de bovinos em sistema intensivo de produção de leite. **Ciência e agrotecnologia**, v.26, n.2, p.426-438, mar./abr. 2002.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, D.G.; ROCHA, H.S.; ALMEIDA, W.S.; SOUSA, E.S. Evapotranspiration and crop coefficient for potato in organic farming. **Revista Engenharia Agrícola**, v.33, p.201-211, 2013.
- CARVALHO, D.F.; LIMA, M.E.; OLIVEIRA, A.D.; ROCHA, H.S.; GUERRA, J.G.M. Crop coefficient and water consumption of egg plant in no-tillage system and conventional soilpre. **Revista Engenharia Agrícola**, v.32, p.784-793, 2012.
- COELHO, E.; COSTA, F.S.; SILVA, A.C.P.; CARVALHO, G.C. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.3, p.263–269, 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Perspectivas para agropecuária/ Companhia Nacional de Abastecimento. V 1. Brasília. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_24_11_44_50_perspectivas_agropecuaria_2015-16_-_produtos_verao.pdf>. Acesso em: 04 maio 2017.
- CRUZ, C.J.D.; PARRON, L.M.; ROCHA, A.L.A. Disponibilidade e mobilidade de íons em solução de solo sob cultura de cafeeiro. In: **SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO**, 12. 2008, Brasília. Anais eletrônicos... 2008. Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/2?q=ROCHA,%20A.%20L.%20A.>. Acesso em: 23 maio 2012.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos.

Concórdia, SC. **Boletim Informativo BIPERS**, v.10, n.14, 2002. 31p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Principais países produtores de leite no mundo - 2010**. c2012a. Disponível em: <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/tabela0212.php>>. Acesso em: 19 ago. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2010b. **Evolução da produção de leite na Região Sudeste, 1990/2010**. c2012b. Disponível em: <<http://www.cnpqgl.embrapa.br/nova/informacoes/estatisticas/producao/grafico02.53.php>>. Acesso em: 19 ago. 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed revista. Rio de Janeiro: E-Embrapa CNPS, 2011. 230p.

ERTHAL, V.J.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, maio 2010a.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FOOD AGRICULTURAL ORGANIZATION. 2012. **Food Outlook. Global Market Analysis**. June, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/al978e/al978e00.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2012.

GIROTTI, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; LOURENZI, C.R.; VIEIRA, R.C. B.; LORENSINI, F.; TRENTIN, E.E. Acúmulo de cobre e zinco no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 2007. Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/CBCS_Gramado/Arquivos%20trabalhos/Ac%20Famulo%20de%20cobre%20e%20zinco_Eduardo%20G..pdf. Acesso em: 11 fev. 2008.

LEONEL, S.; DAMATTO JÚNIOR, E.R. Perfil radicular da figueira sob efeito de níveis de adubação orgânica. **Revista brasileira de fruticultura**, v.29, n.1, p.191-194, abr. 2007.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. . Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. v.1. 371p .

MANTOVANI, A.; ERNANI, P.R.; SANGOI, L.A. adição de superfosfato triplo e a percolação de nitrogênio no solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v.31, n.5, p.887-895, set./out. 2007.

MORRILL W.B.B.; ROLIM, M.M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E.M.R.; OLIVEIRA, V.S.; ALMEIDA, G.L.P. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.2, p.182-188, 2012.

NOBRE, R.G.; GHEYI, H.R.; SOARES, F.A.L.; ANDRADE, L.O.; NASCIMENTO, E.C.S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.747-754, 2010.

OLSEN, K.K. Multiple wavelength ultraviolet determinations of nitrate concentration, method comparisons from the preakness brook monitoring project, october 2005 to october 2006. **Water, air, & soil pollution**, v.187, n.1, p.195-202, Jan 2008.

OTTOMAN, M.J.; POPE, N.V. Nitrogen fertilizer movement in the soils as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.5, p.1883-1892, Set 2000.

RODRIGUES, M.B.; VILAS BOAS, M.A.; SAMPAIO, S.C.; REIS, C.F.; GOMES, S.D. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alfafa. **Engenharia Ambiental**, v.8, n.3, p.173-182, Jul 2011.

SALOMÃO, L.C. **Determinação do tempo de vácuo, momento de coleta e posicionamento de extratores de cápsulas porosas em solo arenoso.** 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)– Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2009.

SANTOS, S.S. et al. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Revista engenharia na agricultura**, v.14 n.1, p.32-38, jan./mar. 2006.

SOUSA NETO, O.N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N.S.; OLIVEIRA, F.R.A.; DINIZ, A.A.

Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.200-208, 2012.

ZOCAL, R. **Alguns números do leite.** 2016. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/alguns-numeros-do-leite/>> Acesso em: 04 maio 2017.

ZOLIN, C.A.; PAULINO, J.; BERTONHA, A.; FREITAS, P.S.L; FOLEGATTI, M.V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.22-28, 2011.