

Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*)

Effects of dairy industry wastewater on basal soil respiration, productivity, and nutrient removal by Tifton 85 grass (*Cynodon sp.*)

Jacineumo F. de Oliveira^{1*}, Ronaldo Fia¹, Fátima R. L. Fia¹, Fernando Neres Rodrigues¹, Luiz Fernando C. de Oliveira¹ e Luis Cesar de A. L. Filho²

¹ Universidade Federal de Lavras, Dpto. de Engenharia, Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária, CEP 37200-000, Lavras-MG, Brasil

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Dpto. de Ciências Ambientais e Tecnológicas, CEP 59625-900, Mossoró-RN, Brasil

(*E-mail: jacineumo@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/RCA17237>

Recebido/received: 2017.09.12

Recebido em versão revista/received in revised form: 2018.04.24

Aceite/accepted: 2018.05.11

RESUMO

As águas residuais são potenciais fontes de nutrientes, matéria orgânica e água se usadas na fertirrigação, contribuindo para o aumento de produção e atividade biológica do solo. Objetivou-se avaliar a respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 após aplicação de água residual de laticínios (ARL). Conduziu-se o ensaio na Universidade Federal de Lavras, em colunas de PVC com 0,30 m de diâmetro e 1,2 m de profundidade, preenchidas com Latossolo Vermelho Distrófico e cultivadas com Tifton 85. Os tratamentos compreenderam de adubação mineral (A_0T_0) recomendada para esta espécie (300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), e quatro doses de ARL: 100 (A_LT_1), 200 (A_LT_2), 300 (A_LT_3) e 400% (A_LT_4) da recomendação de N. Realizaram-se três cortes, aos 60, 90 e 120 dias após o transplante. As crescentes dosagens de ARL não proporcionaram incrementos na respiração basal do solo. A maior produtividade foi de 15,11 t ha⁻¹, ocorrida no segundo corte após dosagem de 7203 m³ ha⁻¹ de ARL (A_LT_4), proporcionando, assim, consideráveis remoções de macro e micronutrientes neste corte. Os resultados revelaram a necessidade para efetuar tratamentos adequados às ARLs antes de sua aplicação em solos agrícolas, bem como estudos mais aprofundados ao tema abordado.

Palavras-chave: Respiração basal, fertirrigação, Tifton 85, nutrição de plantas.

ABSTRACT

The wastewater is a potential source of nutrients, organic matter and water on the fertirrigation, contributing to increased production and biological activity of the soil. The objective of this study was to evaluate soil basal respiration, yield and nutrient removal by Tifton 85 grass after application of dairy wastewater (DW). The test was conducted at the Federal University of Lavras, in PVC columns with 0.30 m of diameter and 1.2 m deep, filled with Dystrofic Red Latosol cultivated with Tifton 85 grass. The treatments consisted of a (A_0T_0) control with recommended mineral fertilization for Tifton 85 grass (300 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N), and four doses of DW: 100 (A_LT_1), 200 (A_LT_2), 300 (A_LT_3) e 400% (A_LT_4) of the recommendation. Three cuts were performed, at 60, 90 and 120 days after planting. The doses of DW did not provide increases in soil basal respiration between treatments. The highest yield for 15.11 t ha⁻¹, occurred in the second cut after the dose of 7203 m³ ha⁻¹ of DW (A_LT_4), providing a considerable removal of macro and micronutrients. The results revealed the need to make appropriate treatments to ARLs your before application in agricultural soils, well as more detailed studies the subject.

Keywords: Basal respiration, fertirrigation, tifton 85 grass, plant nutrition.

INTRODUÇÃO

As águas residuais de laticínios são caracterizadas pelo seu elevado potencial poluidor, em virtude da grande carga orgânica existente na sua constituição (Tocchi *et al.*, 2013) e de nutrientes (Schierano *et al.*, 2017) advindos do leite, prejudicando os ecossistemas se lançada sem os tratamentos necessários.

A aplicação das águas residuais agroindustriais no solo apresenta-se como uma técnica interessante e efetiva de destino final, principalmente em condições de clima tropical e com disponibilidade de área, como é o caso do Brasil. Esta técnica baseia-se na capacidade depuradora do sistema solo-planta-microrganismos, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de degradação e remoção dos poluentes das águas residuais (Erthal *et al.*, 2010) e disponibiliza nutrientes da matéria orgânica (Batista *et al.*, 2014).

Diversos estudos demonstram a remoção de nutrientes e produtividade de cultivares com fertirrigação com águas residuais, a exemplo do cultivo de Tifton 85 (*Cynodon* sp.) em esgoto doméstico (Fia *et al.*, 2011) e azevém-Italiano (*Lolium multiflorum* Lam.) fertirrigado com água residual do processamento de azeite de oliva (Barbera *et al.*, 2014).

Dentre as espécies forrageiras, o Tifton 85 destaca-se por apresentar ótima adaptação à fertirrigação com águas residuais, apresentando ganhos significativos de produtividade, proteína bruta e elevado teor de nutrientes, sendo, portanto, importante para alimentação animal (Mufatto *et al.*, 2016).

O solo fertirrigado com águas residuais apresenta características que favorecem o desenvolvimento de microrganismos. Para verificar a relação entre o sistema de produção agrícola e o meio ambiente, Araújo e Monteiro (2007) destacaram os indicadores biológicos como mais sensíveis às mudanças ambientais ocasionados por atividades agrícolas, onde estão relacionados a liberação de CO₂ advindo da atividade microbiológica do solo, destacando-se a respiração basal do solo (RBS), a biomassa microbiana do solo (BMS) e o quociente metabólico (qCO₂).

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o comportamento da respiração basal do solo, como indicativo de melhoria do solo, a produtividade e remoção de nutrientes de forragem após o fornecimento de diferentes dosagens de água residual de laticínios.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental e caracterização química do solo

O experimento foi instalado na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, latitude 21°13'45"S, longitude 44°58'31"W, altitude média de 917 m e clima Cwa (clima mesotérmico ou tropical de altitude), com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (Sá Junior *et al.*, 2012).

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2013) e suas características químicas e físicas estão presentes no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização físico-química do solo utilizado no preenchimento das colunas

pH _(H2O)	N	P	K	Na	Ca+Mg	Al	H+Al	SB	CTC	M.O
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	--- g kg ⁻¹ ---				----- cmol _c dm ⁻³ -----			g kg ⁻¹
5,6	0,20	3,21	0,02	-	0,92	0	2,32	0,98	3,30	16,4
Solo			Argila	Limo			Areia Grossa		Areia Fina	
			----- dag kg ⁻¹ -----							
	LVd		60	24	-		8		8	

pH - potencial hidrogeniônico em água; N - azoto total kjeldahl; P - fósforo disponível; Na - sódio disponível; Ca + Mg - cálcio mais magnésio de troca; Al - alumínio; H + Al - hidrogênio mais alumínio de troca (acidez potencial do solo); SB - soma de bases de troca; CTC - capacidade de troca catiônica; M.O - matéria orgânica.

Tratamentos, delineamento e configuração experimental

O ensaio foi composto por 15 colunas de solo construídas em PVC com 0,30 m de diâmetro (área de 0,07 m²) e 1,20 m de altura. As colunas foram preenchidas, a partir da base, com 0,05 m de brita nº zero, 0,05 m de areia grossa lavada e 1,05 m de Latossolo Vermelho Distrófico, que foi colhido na camada de 0 - 0,50 m de profundidade, secado à sombra e peneirado em malha de 4 mm. Foi cultivada a forrageira Tifton 85 (*Cynodon* sp.) nas colunas. Realizou-se a calagem do solo pelo método de saturação das bases (V= 60%) na profundidade de 0,30 m de todas as 15 colunas, adicionando-se o equivalente a 2,1 t ha⁻¹ de carbonato de cálcio PA (CaCO₃) a lanço, e deixando em pousio por 30 dias, afim de corrigir o pH do solo para 7,0 e melhorar a disponibilidade de nutrientes.

Os cinco tratamentos consistiram na aplicação da água residual de laticínios (ARL) proveniente de uma agroindústria de Lavras-MG, em quatro diferentes doses, e no tratamento controle, com adubação mineral (A₀T₀). As aplicações dos tratamentos seguiram as recomendações de 300 kg ha⁻¹ano⁻¹ de azoto proposto pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG para pastagem, sendo dividida em aplicações de estabelecimento e manutenção mensal de 25 kg ha⁻¹ entre agosto e dezembro de 2015. Na adubação mineral, utilizou-se ureia (45% de N), superfosfato simples (18% de P₂O₅) e cloreto de potássio (46% de K) segundo as recomendações de 300, 310 e 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, P e K (Ribeiro *et al.*, 1999).

Os tratamentos com ARL seguiram as seguintes dosagens: 100, 200, 300 e 400% da recomendação de N. Assim, as doses de ARL aplicadas mensalmente foram de 1801 m³ ha⁻¹ (A₁T₁), 3602 m³ ha⁻¹ (A₂T₂), 5403 m³ ha⁻¹ (A₃T₃) e 7203 m³ ha⁻¹ (A₄T₄), suprimindo, portanto, a necessidade mensal de N estabelecida de 25 kg ha⁻¹.

Foram realizadas, mensalmente, as caracterizações da ARL no Laboratório de Análise de Águas Residuais do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Engenharia da UFLA, segundo APHA *et al.* (2012). Destaca-se que todos os parâmetros de qualidade da água

residual de laticínios não cumpriram os limites de lançamentos em corpos hídricos estabelecidos pela resolução Conama 357 (Brasil, 2005), sendo necessário, portanto, tratamento prévio antes de seu lançamento. Os resultados estão no Quadro 2.

Manejo da rega

Durante os ciclos do Tifton 85, o manejo da rega, em todos tratamentos, foi baseado no balanço de água no solo, sendo considerados os fluxos de entrada (precipitação e a irrigação real necessária) e de saída (evapotranspiração da cultura e percolado), sendo as lâminas calculadas em função de frações da evapotranspiração de referência (ET₀). Ressalta-se que as aplicações das doses de ARL foram definidas para suprir a demanda de N estabelecido para cada tratamento, e que portanto, quando a lâmina de ARL eram superiores à demanda evapotranspiométrica do Tifton 85 e precipitações, não se realizava a complementação com água de irrigação, porém, se a lâmina de ARL fosse inferior à necessidade de água da cultura, complementava-se com água de irrigação até seu valor máximo para o dia de aplicação.

Quadro 2 - Caracterização das águas residuais de laticínio (ARL) aplicadas durante o período experimental

Variáveis	ARL			
	Média + DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
pH	7,8 ± 0,3	5,2	10,5	31,3
CE (dS m ⁻¹)	3,2 ± 0,5	3,1	4,1	14,7
DQO (mg L ⁻¹)	7176 ± 4631	3367	13966	64,5
DBO (mg L ⁻¹)	2429 ± 1304	1245	3766	53,7
P (mg L ⁻¹)	16,1 ± 7,6	7,3	23	47,7
N (mg L ⁻¹)	84,8 ± 12,8	70	105	15,1
OeG (mg L ⁻¹)	2695 ± 2180	614	5696	80,9
Ca (mg L ⁻¹)	83,1 ± 29,4	39,2	117,9	35,5
Mg (mg L ⁻¹)	30,7 ± 10,9	14,5	43,6	35,5
Na (mg L ⁻¹)	134 ± 21,7	116,7	164,5	16,2
K (mg L ⁻¹)	16,3 ± 7,6	9,3	28,8	46,6
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	5,9 ± 1,0	5,2	7,5	16,1
CT (NMP 100mL ⁻¹)	3,5.10 ¹⁵ ± 7.10 ¹⁵	1,40.10 ⁸	1,40.10 ¹⁶	2.10 ²
CTerm (NMP 100mL ⁻¹)	3,5.10 ¹⁵ ± 7.10 ¹⁵	1,40.10 ⁸	1,40.10 ¹⁶	2.10 ²

pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica, DQO – demanda química de oxigênio, DBO – demanda bioquímica de oxigênio, P – fósforo total, N – azoto total kjeldahl, O e G – óleo e gorduras, Ca – cálcio, Mg – magnésio, Na – sódio, K – potássio, RAS – razão de adsorção de sódio, CT – coliformes totais, CTerm – coliformes termotolerantes.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) foi realizada pela equação de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 2006; Carvalho *et al.*, 2011), sendo os dados necessários obtidos na Estação Meteorológica Convencional instalada no campus da UFLA sob monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia. Adotou-se um coeficiente de cultura (k_c) de 0,8 para pastagens, como proposto por Drummond *et al.* (2006). Na Figura 1 apresenta-se os dados de temperatura, humidade relativa do ar e precipitação ocorrida durante o experimento.

As mudas da forrageira Tifton 85 foram produzidas em estufa utilizando-se recipientes de plástico contendo areia lavada e uma mistura de água de abastecimento e ARL na proporção de 1:1 (v/v), para que houvesse o desenvolvimento do sistema radicular. Após 20 dias, foram transplantadas para as colunas de solos.

Produtividade do Tifton 85

Foram realizados 3 cortes da forrageira Tifton 85, aos 60, 90 e 120 dias após o transplante para as colunas de solo. Os cortes foram realizados após cada início da floração a 0,05 m de altura.

Após as colheitas, as plantas foram encaminhadas para estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, e posterior trituração em moinho tipo Wiley para quantificação de rendimento de matéria seca, e análises dos teores nutricionais de azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio, segundo metodologia de Silva (2009).

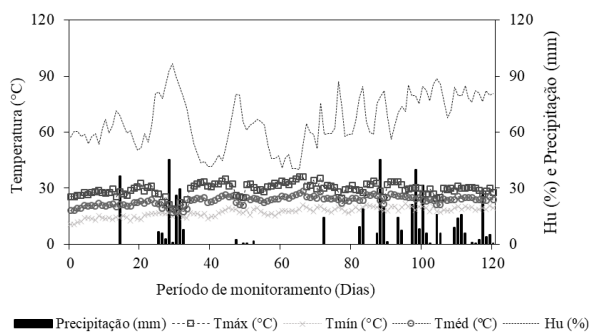


Figura 1 - Variação de temperatura, humidade relativa e precipitação durante o ensaio.

O ensaio foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições. Os resultados de produtividade do Tifton 85 foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a diferença entre médias avaliadas pelo teste de Tukey em nível de significância de 0,05 utilizando-se o software estatístico Sisvar 5.1 (Ferreira, 2011).

Respiração basal do solo

A atividade microbiana (respiração basal) foi avaliada ao final do ensaio, pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) libertado pelo processo de respiração microbiana. Para isso, foram colhidas amostras de solos na profundidade de 0,30 m (camada de maior adensamento radicular) após 120 dias de aplicação de ARL, utilizando-se 50 g de solo peneirado e incubado em frascos de vidro hermeticamente fechados contendo 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) 1,0 N durante dez dias a 25°C em incubadora BOD, seguindo a metodologia descrita por Jenkinson e Powlson (1976).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Respiração basal do solo (RBS)

Com a monitorização da atividade microbiana por meio da respiração basal (libertação de CO_2) foi possível avaliar os efeitos da aplicação das águas residuais de laticínios (ARL) e da adubação mineral (AQT_0) sobre a microbiota do solo. Os dados de análise de variância e teste estatísticos da respiração basal e humidade do solo estão representados nos Quadros 3 e 4.

Observa-se no Quadro 4 que a respiração basal e humidade do solo não apresentaram diferenças significativas em função das dosagens de ARL utilizadas nos tratamentos. Estes resultados podem ser explicados em função do acréscimo de precipitações ao final do experimento, resultando em aumento e padronização da humidade do solo em todas as colunas, e, por conseguinte, como destacado por Butenschoen *et al.* (2011), reduzindo a atividade biológica do solo. Outro fator, relatado por Santos *et al.* (2011), justificam que a aplicação excessiva de sais ao solo, como advindos da água

Quadro 3 - Análises de variância da respiração basal (RBS) e humidade do solo na camada de 0-0,20 m 30 dias após aplicação dos tratamentos com ARL

RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo h ⁻¹)				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,0063	0,0016	0,35 ^{ns}
Resíduo	10	0,0255	0,0025	
Total	14	0,0318		
Humidade do Solo (%)				
Tratamentos	4	92,4011	23,1003	0,85 ^{ns}
Resíduo	10	286,7418	28,6742	
Total	14	379,1423		

^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

residual de laticínios (Quadro 2) podem superar o efeito da matéria orgânica como fonte de energia biológica, e, conseqüentemente, ter maior atuação sobre a atividade osmótica das células dos microrganismos do solo, alterando, assim, a capacidade de mineralização da matéria orgânica e, portanto, a libertação de CO₂.

Corroborando com este resultado, Zanchi *et al.* (2012) verificaram na amazônia brasileira que a RBS foi reduzida até 27% com o incremento de humidade do solo em função das chuvas da região. Entretanto, Silveira *et al.* (2011) observaram resultados diferentes aos obtidos no presente trabalho. Estes autores encontraram incrementos na produção de C-CO₂ após aplicar 24 t ha⁻¹ de dejetos suíno, enquanto que Vieira e Pazianotto (2016) observaram aumento gradual de 0,36 e

Quadro 4 - Valores médios e teste estatísticos da respiração basal (RBS) e humidade do solo na camada de 0-0,20 m 30 dias após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	RBS (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo h ⁻¹)	Humidade do Solo (%)
A _Q T ₀	0,19a	30,42a
A _L T ₁	0,20a	31,69a
A _L T ₂	0,25a	34,53a
A _L T ₃	0,23a	36,11a
A _L T ₄	0,22a	36,82a
Média	0,22	33,91
CV (%)	10,95	8,18

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

0,18 mg kg⁻¹ hora⁻¹ de C-CO₂ nos tratamentos com 188,2 t ha⁻¹ de lodo doméstico e adubação mineral, respectivamente.

Com a presença de óleos e gorduras disponibilizados pela ARL, constatada pela coloração característica "esbranquiçada", foi possível, por observação, acompanhar o comportamento da degradação do material retido na superfície das colunas de solo com maior RBS (A_LT₂) ao longo de 30 dias após aplicação da última dosagem (Figura 2). Mesmo com a aplicação de doses elevadas de óleos e gorduras, presentes na água residual, não houve formação de incrustações superficiais que poderiam resultar no selamento superficial e, como consequência, na redução da capacidade de infiltração da água no solo e troca de gases com a atmosfera (Matos *et al.*, 2010).

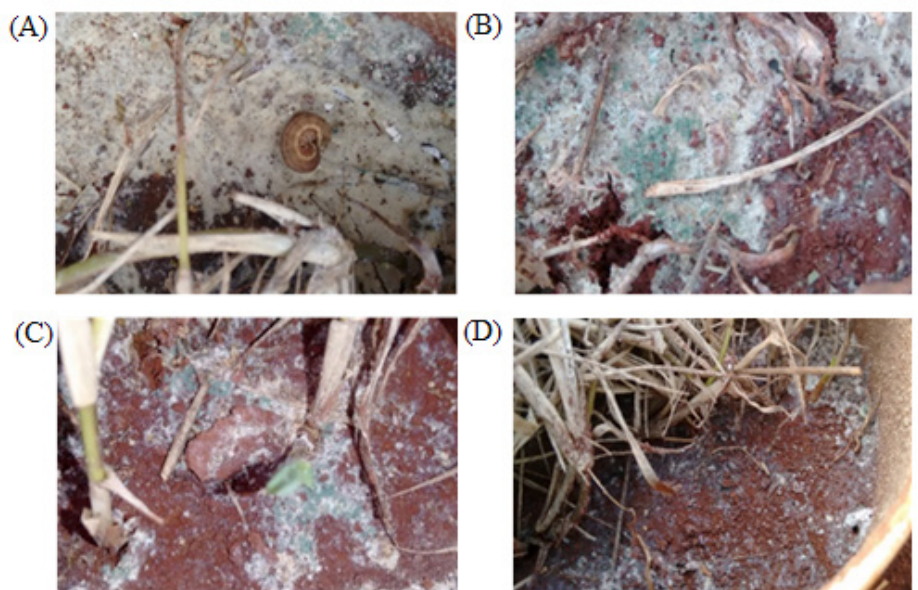


Figura 2 - Avaliação visual da atividade microbiológica do solo na degradação da matéria orgânica em coluna de solo fertirrigada com ARL em diferentes épocas (A) 1 dia, (B) 7 dias, (C) 21 dias e (D) 30 dias após a aplicação da ARL.

Produtividade da forrageira Tifton 85

Os resultados da análise de variância (Quadro 5) mostraram que o efeito da fertirrigação com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_0T_0) sobre a produtividade foram significativos ($p < 0,01$) no primeiro e segundo cortes. Os resultados dos testes de comparação de médias podem ser observados no Quadro 6.

Quadro 5 - Análises de variância das produtividades obtidas nos três cortes do Tifton 85 submetidos aos tratamentos com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_0T_0)

1º Corte				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	111,86	27,96	13,28**
Resíduo	10	21,05	2,11	
Total	14	133,00		
2º Corte				
Tratamentos	4	96,95	24,24	19,55**
Resíduo	10	12,40	1,24	
Total	14	14639,70		
3º Corte				
Tratamentos	4	14,79	3,70	1,46 ^{ns}
Resíduo	10	25,24	2,52	
Total	14	40,03		

**significativo a nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$)

Quadro 6 - Estimativa de produtividade média do Tifton 85 submetido aos tratamentos com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_0T_0)

Tratamentos	Produtividade Média (t ha ⁻¹)				
	1º Corte	2º Corte	3º Corte	Média ± DP	CV (%)
A_0T_0	10,06a	7,30c	5,56a	7,64±2,27	29,68
A_1T_1	2,10b	10,43b	5,03a	5,85±4,22	72,09
A_1T_2	3,64b	10,09bc	7,21a	6,98±3,23	46,20
A_1T_3	5,09b	11,76b	5,80a	7,55±3,66	48,53
A_1T_4	3,79b	15,11a	7,61a	8,84±5,76	65,21

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

QuA melhor resposta da produtividade, no primeiro corte, foi equivalente a 10,06 t ha⁻¹ após adubações minerais com a dosagem de 300, 310 e 200 kg ha⁻¹ de N (Ureia), P (P₂O₅) e K (KCl), respectivamente, sendo significativamente superiores aos resultados obtidos com ARL (Quadro 6). Neste corte, não se observaram diferenças significativas entre os tratamentos com doses crescentes de ARL, apresentando produtividades médias entre 2,10 e 5,09 t ha⁻¹. Estes resultados foram superiores à produtividade de 2,32 t ha⁻¹ obtida por Matos *et al.* (2013) no primeiro corte de Tifton 85 após aplicação de 46,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) via percolado de resíduo sólido urbano. Já Fia *et al.* (2011) obtiveram produtividades de 5,9 e 6,8 t ha⁻¹, no primeiro e segundo corte, respectivamente, após aplicação de 223,10 kg ha⁻¹ de N através da água residuária de suinocultura.

No segundo corte, registou-se um incremento na produtividade da planta teste com as crescentes dosagens de ARL (Quadro 6). Com efeito, as colunas de solo fertirrigadas com ARL a 400% da recomendação de N (A_1T_4) obtiveram uma produtividade média equivalente a 15,11 t ha⁻¹, significativamente superior (mais do dobro) relativamente às 7,30 t ha⁻¹ obtidas nas colunas com adubação mineral. Estes valores são muito superiores aos encontrados por Garcia *et al.* (2015) que observaram produtividades de 2,26 t ha⁻¹ de Tifton 85 e 1,50 t ha⁻¹ da forrageira Marandú (*Braquiária brizantha* cv. Marandú) no segundo corte após aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N com fertirrigação de esgoto doméstico tratado.

No terceiro corte não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos experimentais (Quadro 6). Resultados semelhantes foram relatados para o Tifton 85 fertirrigado com água residual da bovinocultura (Erthal *et al.*, 2010); para o Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) e Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) fertirrigado com efluente da carcinicultura (Miranda *et al.*, 2010) e capim-Elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) fertirrigado com água residual da suinocultura (Cabral *et al.*, 2011), em que a produtividade no terceiro corte foi inferior à obtida no segundo.

Acredita-se que estes resultados possivelmente estejam relacionados com a baixa disponibilidade

de nutrientes nas colunas no final do ensaio, visto que houve acréscimos de precipitações (Figura 1), que chegaram a 302 mm entre meados de novembro a dezembro de 2015, o que equivale a 21,4 L em cada coluna, e, portanto, contribuíram para um maior volume de percolado e maior lixiviação dos nutrientes. Outro fator, corroborado por Garcia *et al.* (2015), remete para o aumento da densidade de plantas nas condições experimentais, que contribuíram para a competição de luz e nutrientes em função do número de cortes, contribuindo, assim, para o decréscimo de produtividade. Ainda, a acumulação de sais, principalmente de sódio, pode ter afetado o crescimento das plantas.

Remoção de nutrientes pela forrageira Tifton 85

Foram calculadas as remoções médias de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), com base na produtividade e na concentração dos nutrientes na matéria seca da planta teste nos três cortes realizados (Quadros 7, 8 e 9).

Observa-se no Quadro 7, referente ao primeiro corte da cultura, ocorridos 60 dias após transplante, que houve efeito significativo da adubação mineral nas remoções de N, P, Ca e Mg, tendo a cultura apresentado rápida adaptação neste tratamento, e, conseqüentemente, proporcionando significativas remoções destes nutrientes quando comparado às observadas com as diferentes dosagens de ARL. Diferentemente, e em virtude das dosagens de ARL conterem elevada concentração de sódio advindo dos processos de limpeza e beneficiamento de produtos lácteos (Donatti *et al.*, 2017), observou-se que a planta teste removeu 2,50 kg ha⁻¹ de Na após receber as dosagens do tratamento A_LT₄, sendo significativamente superior aos 0,55 kg ha⁻¹ removido nas colunas com adubação mineral (A_QT₀). Para o Ca e Mg, foram observados resultados estatisticamente significativos de 20,29 e 7,50 kg ha⁻¹ de Ca e Mg, respectivamente, quando comparado à 7,81 e 2,89 kg ha⁻¹ de Ca e Mg, respectivamente, obtidos no tratamento A_LT₃, no qual recebeu 300% da recomendação de N.

Oliveira *et al.* (2013) avaliaram o estado nutricional da forrageira Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) fertirrigada com água residual

Quadro 7 - Remoção média de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelo Tifton 85 nos tratamentos com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_QT₀) no primeiro corte

Tratamentos	1º Corte					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----					
A _Q T ₀	169,16a	3,45a	4,52a	0,55b	20,29a	7,50a
A _L T ₁	30,35b	0,04b	3,27a	0,34b	3,86b	1,43b
A _L T ₂	53,57b	0,06b	6,07a	0,65b	4,88b	1,80b
A _L T ₃	83,52b	0,10b	9,17a	1,76a	7,81b	2,89b
A _L T ₄	62,99b	0,45b	6,75a	2,50a	5,51b	2,04b
Média	79,92	0,82	5,96	1,17	8,47	11,6
CV (%)	30,81	97,24	43,46	28,80	35,45	39,74

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

de curtumes (ARC) e constataram que houve remoção de N e P com o aumento das dosagens de ARC, obtendo máximos de 369,5 e 13,9 kg ha⁻¹ de N e P, respectivamente, no primeiro corte após aplicação de 4545,5 m³ ha⁻¹. Enquanto que Fia *et al.* (2014) verificaram que o Tifton 85 foi capaz de remover entre 9,8 e 17,6 kg ha⁻¹ d⁻¹ de N e entre 0,6 e 1,7 kg ha⁻¹ d⁻¹ de P nos cortes 1, 2 e 3.

Após o desbaste proporcionado pelo primeiro corte, a cultura apresentou maior poder de remoção de nutrientes, disponíveis no solo com a adição dos tratamentos com ARL, no segundo corte (Quadro 8).

O teste de comparação de médias revelou diferenças estatísticas para a remoção apenas de N, Ca e Mg no segundo corte, sendo valores máximos obtidos quando aplicados os tratamentos A_LT₁ e A_LT₄, respectivamente (Quadro 8), sendo significativamente superiores aos observados com a aplicação da adubação mineral.

A cultura do Tifton 85, por apresentar alta potencialidade de remoção de nutrientes solo, resultando em consideráveis produtividades e suportando altas cargas de nutrientes disposto pelas aplicações de águas residuárias, como destacado por Oliveira *et al.* (2017) e Matos *et al.* (2013), removeu 248,98 kg ha⁻¹ de N (A_LT₁), 34,38 kg ha⁻¹ de Ca (A_LT₄) e 12,72 kg ha⁻¹ de Mg (A_LT₄),

Quadro 8 - Remoção média de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelo Tifton 85 nos tratamentos com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_0T_0) no segundo corte

Trata- mentos	2º Corte					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
----- kg ha ⁻¹ -----						
A_0T_0	88,69b	2,25a	16,90a	0,67a	23,43b	8,67b
A_{1T_1}	248,98a	2,44a	10,65a	1,75a	18,35b	7,79b
A_{1T_2}	234,52a	5,25a	16,68a	2,46a	17,18b	6,36b
A_{1T_3}	176,66ab	5,13a	12,70a	2,48a	21,17b	7,83b
A_{1T_4}	216,55a	5,76a	15,93a	4,45a	34,38a	12,72a
Média	193,56	3,73	14,57	2,98	31,38	8,47
CV (%)	18,56	52,12	30,26	42,14	16,01	30,1

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quadro 9 - Remoção média de azoto (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) pelo Tifton 85 nos tratamentos com água residual de laticínios (ARL) e adubação mineral (A_0T_0) no terceiro corte

Trata- mentos	3º Corte					
	N	P	K	Na	Ca	Mg
----- kg ha ⁻¹ -----						
A_0T_0	47,29a	1,03a	4,99ab	0,98a	3,39a	1,25a
A_{1T_1}	35,74a	0,54a	3,43c	0,81a	2,31a	0,86a
A_{1T_2}	43,97a	0,98a	6,08a	1,65a	2,40a	1,29a
A_{1T_3}	42,03a	1,39a	4,82ab	1,47ab	3,07a	1,14a
A_{1T_4}	63,61a	1,14a	6,68a	1,81b	3,66a	1,35a
Média	49,42	1,02	5,8	1,34	4,06	1,13
CV (%)	26,71	52,08	12,26	18,04	21,87	15,28

Médias seguidas da mesma letra colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

representando um acréscimo de 180,73, 46,73 e 46,70 %, respectivamente, aos resultados obtidos no tratamento com adubação química (Quadro 8). Queiroz *et al.* (2004) destacam que a cultura do Tifton 85 apresenta rápida recuperação aos cortes realizados, e que, portanto, o torna relevante na remoção de nutrientes do solo ao longo de vários cortes.

Com o aumento das precipitações entre 80 e 120 dias após transplante (Figura 1), possivelmente houve perda de nutrientes e sais através dos percolados, e assim, redução da remoção dos mesmos. Dessa forma, consequentemente, houve redução da produtividade em todos os tratamentos, e, por conseguinte, a não diferença estatística na remoção de N, P, Ca e Mg entre os tratamentos, no terceiro corte (Quadro 9).

As maiores remoções de K e Na no terceiro corte foram de 6,68 e 1,81 kg ha⁻¹, respectivamente, após aplicação do tratamento ALT_4 (Quadro 8) Resultados superiores aos 1,55 e 0,03 kg ha⁻¹ de K e Na, respectivamente, obtidos por Erthal *et al.* (2010) aplicando-se 186,6 kg ha⁻¹ de N via água residual de bovinicultura (ARB).

As maiores remoções de N ocorreram no segundo corte, obtendo-se 249 kg ha⁻¹ de N com dosagem aplicada de 300 kg ha⁻¹ de N pela ARL. Embora as maiores dosagens de ARL tenham contribuído

com o aumento de nutrientes e matéria orgânica, acredita-se que as aplicações de ARL tenham contribuído para o aumento da salinidade do solo e, consequentemente, aumento da pressão osmótica do meio, proporcionando stress hídrico e dificultando, portanto, a disponibilidade e a capacidade de remoção de água e nutrientes pelas plantas, como observado por Fia *et al.* (2011), Garcia *et al.* (2015) e Oliveira *et al.* (2017).

De forma semelhante ao observado para o azoto, observaram-se maiores remoções de P e K no segundo corte, sendo de 5,75 e 15,90 kg ha⁻¹, respectivamente, quando aplicado o tratamento com a mais alta dose de ARL, sendo estes resultados inferiores aos 10,35 e 59,05 kg ha⁻¹ de P e K obtidos por Oliveira *et al.* (2017) aplicando-se 600 kg ha⁻¹ de N através de água residual de matadouro de suínos.

Acredita-se que as baixas remoções de P e K estejam associadas às baixas aplicações destes nutrientes nas colunas de solo cultivadas, visto que o critério das dosagens seguiu a recomendação de azoto. Entretanto, destaca-se que as maiores remoções de P e K no segundo e terceiro corte estão provavelmente associadas à temperatura e a luminosidade constatadas no período final da primavera (novembro) e início do verão (dezembro).

CONCLUSÃO

Não houve incrementos significativos da respiração basal do solo entre todos as dosagens de ARL e adubação mineral.

O período de mineralização dos nutrientes e matéria orgânica, na fase inicial, não foi suficiente para disponibilizar a demanda da cultura, sendo necessário a complementação com adubação mineral.

As condições climáticas (precipitações) e a alta concentração de sódio na água de ARL tiveram grandes impactos na produtividade do Tifton 85.

A maior produtividade e remoção de nutrientes ocorreram no segundo corte, com aplicação de 7203 m³ ha⁻¹.

Os resultados revelaram a necessidade de se efetuarem tratamentos adequados às ARLs antes de sua aplicação em solos agrícolas, bem como estudos mais aprofundados sobre o tema abordado.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da CAPES e FAPEMIG pela disponibilidade de bolsa de pesquisa e recursos para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. & Smith, M. (2006) - *Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 1ª ed, Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations – Paper 56, 298 p.
- APHA, AWWA & WEF (2012) - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22ª. ed. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, Washington-DC, 1496 p.
- Araújo, A.S.F. & Monteiro, R.T.R. (2007) - Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, vol. 23, n. 3, p. 66-75.
- Barbera, A.C.; Maucieri, C.; Loppolo, A.; Milani, M. & Cavallaro, V. (2014) - Effects of olive mill wastewater physico-chemical treatments on polyphenol abatement and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) germinability. *Water Research*, vol. 52, p. 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.004>
- Batista, R.O.; Martinez, M.A.; Paiva, H.N.; Batista, R.O. & Cecon, P.R. (2014) - O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. *Revista Ciência Florestal*, vol. 24, n. 1, p. 127-135. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509813330>
- Brasil (2005) - *Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005*. Conselho Nacional de Meio Ambiente. [cit. 2018.04.24]. www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf.
- Butenschoen, O.; Scheu, S. & Eisenhauer, N. (2011) - Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 43, n. 9, p. 1902-1907. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.05.011>
- Cabral, J.R.; Freitas, P.S.L.; Rezende, R. Muniz, A. S. & Bertonha, A. (2011) - Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 15, n. 8, p. 823-831. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000800009>
- Carvalho, L.G.; Rios, G.F.A.; Miranda, W.L. & Neto, P.C. (2011) - Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol. 41, n. 3, p. 456-465. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i3.12760>
- Donatti, R.N.; Gomes, T.M.; Menegassi, L.C. & Rossi, F. (2017) - Sodium phytoremediation by green manure growing in soil irrigated with wastewater of dairy industry. *Engenharia Agrícola*, vol. 37, n. 4, p. 665-675. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n4p665-675/2017>
- Drumond, L.C.D.; Zanini, J.R.; Aguiar, A.P.A.; Rodrigues, G.P. & Fernandes, A.L.T. (2006) - Produção de matéria seca em pastagem de Tifton 85 irrigada, com diferentes doses de dejetos líquidos de suíno. *Engenharia Agrícola*, vol. 26, n. 2, p. 426-433. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000200010>

- Embrapa (2013) –*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro. 353 p.
- Erthal, V.J.T.; Ferreira, P.A.F.; Pereira, O.G & Matos, A.T. (2010) - Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 5, p. 458-466. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000500002>
- Ferreira, D.F. (2011) - A computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 35, n. 6, p. 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Fia, F.R.L.; Matos, A.T.; Fia, R.; Lambert, T.F. & Matos, M.P. (2011) - Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. *Ambiente & Água*, vol. 6, n. 1, p. 77-89. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.175>
- Fia, R.; Vilas Boas, R.B.V.; Campos, A.T.; Fia, F.R.L. & Souza, E.G. (2014) - Removal of nitrogen, phosphorus, copper and zinc from swine breeding wastewater by bermudagrass and cattail in constructed wetland systems. *Engenharia Agrícola*, vol. 34, n. 1, p. 112-113. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000100013>
- Garcia, G.O.; Riggo, M.M.; Cecílio, R.V.; Reis, E.F. & Fertossi, A.P.A. (2015) - Massa seca e extração de nutrientes por duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. *Bioscience Journal*, vol. 31, n. 1, p. 215-226. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-22049>
- Jenkinson, D.S. & Powlson, D.S. (1976) - The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 8, n. 3, p. 209-213. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- Matos, A.T.; Abrahão, S.S.; Lo Monaco, P.A.V.; Sarmiento, A.P. & Matos, M.P. (2010) - Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n. 12, p. 1311-1317.
- Matos, A.T.; Silva, D.F.; Lo Monaco, P.A.V. & Pereira, O. G. (2013) - Produtividade e composição química do capim-Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduo sólido urbano. *Revista Engenharia Agrícola*, vol. 33, n. 1, p. 188-200. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100019>
- Miranda, F.R.; Cavalcante, R.R.R.; Ribeiro, E.M.; Lima, R.N. (2010) - Uso de efluentes da carcinicultura na irrigação de *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombaça. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 41, n. 1, p. 46-52.
- Mufatto, L.M.; Neres, M.A.; Nath, C.D.; Stangarlin, J.R.; Scheidt, K.C.; Casarotto, L.; Sarto, J.R.W. & Sunahara, S.M.M. (2016) - Characterization and quantification of the population of fungi in area of Tifton 85 bermudagrass hay fertilized with swine biofertilizer. *Revista Ciência Rural*, vol. 46, n. 3, p. 486-491. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150467>
- Oliveira, J.F.; Neris, F.R.; Fia, R.; Vilela, H.S. & Mafra, D.C.B. (2017) - Performance of tifton 85 grass under fertirrigation with slaughterhouse wastewater. *Engenharia Agrícola*, vol. 37, n. 4, p. 790-800. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n4p790-800/2017>
- Oliveira, P.R.; Matos, A.T. & Lo Monaco, P.A.V. (2013) - Desempenho agrônomico e estado nutricional do capim mombaça fertirrigado com águas residuárias de curtume. *Engenharia na Agricultura*, vol 21, n. 2, p. 173-186.
- Queiroz, F.M.; Matos, A.T.; Pereira, O.G.; Oliveira, R.A. & Lemos, F. A. (2004) - Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Engenharia na Agricultura*, vol. 12, n. 2, p. 77-90.
- Ribeiro, C.A.; Guimarães, P.T.G. & Alvares, V.H. (1999) - *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. – 5ª Aproximação*. 1. ed. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, Viçosa-MG, 359 p.
- Sá Junior, A.; Carvalho, L.G.; Silva, F.F. & Alves, M.C. (2012) - Application of the Köppen Classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*. vol. 108, n. 1-2, p. 1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>
- Santos, K.C.F.; Silva, M.S.L.; Silva, L.D.; Miranda, M.A. & Freire, M.B.G.S. (2011) - Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 3, p. 619-627.
- Schierano, M.C.; Maine, M.A. & Panigatti, M.C. (2017) - Dairy farm wastewater treatment using horizontal subsurface flow wetlands with *Typha domingensis* and different substrates. *Journal of Environmental Technology*, vol. 38, n. 2, p. 192-198. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2016.1231228>

- Silva, F.C. (2009) - *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2ª ed. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 627 p.
- Silveira, M.; Castilhos, D.D.; Castilhos, R.M.V. & Vivian, G. (2011) - Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suínos. *Revista Brasileira de Agrociência*, vol. 17, n. 1, p. 85-93. <http://dx.doi.org/10.18539/CAST.V17I1.2035>
- Tocchi, C.; Federici, E.; Scargetta, S.; D'Annibale, A. & Patruccioli, M. (2013) - Dairy wastewater polluting load and treatment performances of an industrial three-cascade-reactor plant. *Process Biochemistry*, vol. 48, n. 5-6, p. 941-944. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.04.009>
- Vieira, R.F. & Pazianotto, R.A.A. (2016) - Microbial activities in soil cultivated with corn and amended with sewage sludge. *SpringerPlus*, vol. 5, p. 1844-1860. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3502-9>
- Zanchi, F.B.; Waterloo, M.J.; Kruijt, B; Kesselmeier, J.; Luizão, F.J.; Manzi, A.O. & Dolman, A.J. (2012) - Soil CO₂ efflux in central amazonia: environmental and methodological effects, *Acta Amazonica*, vol. 42, n. 2, p. 173-184. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000200001>