

CÍNTIA CÁRMEN DE FARIA MELO

**FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM COM EFLUENTE DE BOVINOCULTURA E  
INTERAÇÕES COM O SISTEMA SOLO-PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

RIO PARANAÍBA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal  
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

M528f  
2019

Melo, Cíntia Cármen de Faria, 1993-  
Fertirrigação de pastagem com efluente de bovinocultura e  
interações com o sistema solo-planta / Cíntia Cármen de Faria  
Melo. – Rio Paranaíba, MG, 2019.

vii,43f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Alberto Carvalho Filho.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Água residuária. 2. Capim vaquero. 3. Lixiviação de  
nitrato. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências  
Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal).  
II. Título.

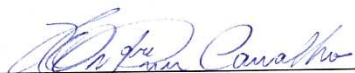
631.81

CÍNTIA CÁRMEN DE FARIA MELO

**FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM COM EFLUENTE DE BOVINOCULTURA E  
INTERAÇÕES COM O SISTEMA SOLO-PLANTA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 11 de junho de 2019.



André Mundstock Xavier de Carvalho



Vinícius Ribeiro Faria



Luís César Dias Drumond  
(Coorientador)



Alberto Carvalho Filho  
(Orientador)

*Salmo 17/18*

*Eu vos amo ó Senhor, sois minha força, minha  
rocha, meu refúgio e Salvador!  
Ó meu Deus, sois o rochedo que me abriga minha  
força e poderosa salvação.*

*Sois meu escudo e proteção: em vós espero!  
Invocarei o meu Senhor e dos meus perseguidores  
serei salvo!*

*Viva o Senhor! Bendito seja o meu rochedo. E  
louvado seja Deus, meu Salvador.  
Concedeis ao vosso rei grandes vitórias e mostrais  
misericórdia ao vosso ungido!*

*Aos meus pais Maria Cármen e José Olímpio,  
Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por todas as graças concedidas e à N. Sra. Aparecida por sua poderosa intercessão;

À Universidade Federal de Viçosa Campus Rio Paranaíba, por me propiciar formação profissional e por todas as experiências durante a graduação e o mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)\*, pelo incentivo à pesquisa concedendo apoio financeiro à discente autora desse trabalho;

Ao Grupo Sekita Agronegócios, pelo apoio à pesquisa colaborando com este estudo;

Ao professor Alberto Carvalho Filho, pela orientação durante o curso de mestrado, por sua disponibilidade e amizade;

Ao professor Luís César Drumond pela orientação durante a graduação e mestrado, pelos conhecimentos transmitidos, pelo convívio e amizade;

Ao professor André Mundstock pela valiosa colaboração com o desenvolvimento deste estudo, por sua disponibilidade inclusive compondo a banca de avaliação, e pela amizade;

Ao professor Vinícius Faria pela disponibilidade participando da banca de avaliação, contribuindo com este trabalho;

Aos funcionários da UFV-CRP que participaram direta ou indiretamente no desenvolvimento desse projeto, especialmente aos técnicos Marcelo, Vinícius, Jader, Paulo, Danilo e Bruno;

Ao Grupo de Estudo e Pesquisa em Plantas Forrageiras (GEPFor) pelo convívio e experiências que me propiciou;

Ao Laboratório de Análises de Solos e Alimentos (LASA) na pessoa dos coordenadores André e Fabrícia, por ceder o espaço e materiais utilizados no processamento e análises de amostras;

Aos meus pais Maria Cármen e José Olímpio, por tudo. Vocês me ensinam todos os dias a ser forte, ter esperança, e fazer sempre o melhor que puder. Mãe, você é o modelo de ser humano, humilde e sábia, a quem desejo dar somente alegrias;

Às minhas irmãs Eunice, Ênedes e Eunides, pelo apoio e carinho que me fortalecem;

Aos irmãos José, Wágner, Vander e Wáber, por torcerem sempre por mim e aos sobrinhos Ytallo, Luan, Nathan, Fernanda, Pietro, Maicon, Amanda e Pedro, por todas as alegrias que me propiciam;

Ao meu amado companheiro Danilo Amaral, pela paciência, carinho e apoio em todos os momentos;

A todos os amigos que de perto ou longe me incentivaram, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a realização desse trabalho.

\*O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. CAPÍTULO I: ATRIBUTOS DO SOLO E LIXIVIAÇÃO DE ELEMENTOS EM PASTAGEM FERTIRRIGADA COM EFLUENTE DE BOVINOS .....	2
2.1 Introdução .....	3
2.2 Objetivos .....	5
2.3 Material e métodos .....	6
2.3.1 Local e área experimental .....	6
2.3.2 Desenho experimental .....	6
2.3.3 Caracterização do solo e do efluente .....	8
2.3.5 Aplicação dos tratamentos .....	9
2.3.6 Dados climatológicos e manejo da irrigação .....	10
2.3.7 Avaliações do solo .....	11
2.3.8 Avaliação do lixiviado .....	12
2.3.8 Análises estatísticas .....	13
2.5 Conclusões .....	21
2.6 REFERÊNCIAS .....	23
3. CAPÍTULO II - FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM COM EFLUENTES .....	27
3.1 Introdução .....	27
3.2 Objetivos .....	28
3.3 Material e métodos .....	29
3.4 Resultados e discussão .....	31
3.5 Conclusões .....	40
3.6 REFERÊNCIAS .....	41
4. CONCLUSÃO GERAL .....	43

## RESUMO

MELO, Cíntia Cármen de Faria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba, junho de 2018. **Fertirrigação de pastagem com efluente de bovinocultura e interações com o sistema solo-planta.** Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientador: Luís César Dias Drumond.

Na bovinocultura de leite, têm sido empregados sistemas intensivos como o confinamento tipo free stall, no qual é gerada uma grande quantidade de dejetos compostos por água e nutrientes, constituindo uma água residuária. Esse efluente pode ser utilizado como fonte alternativa de água e nutrientes para as culturas agrícolas, especialmente as pastagens. Porém, há algumas questões preocupantes em relação à fertirrigação com efluentes, como a possibilidade de ocorrer alterações indesejadas nos atributos do solo e contaminação de águas subsuperficiais pela lixiviação de elementos como nitrato e fósforo orgânico. Buscando esclarecer as questões citadas, esse estudo objetivou estudar os efeitos da fertirrigação do capim Vaquero (*Cynodon dactylon* cv. Vaquero) com Água Residuária de Bovinocultura (ARB), sobre atributos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, bem como avaliar a produtividade da forrageira e o risco de contaminação de águas subterrâneas por  $\text{NO}_3^-$  e P orgânico, sob tais condições. Foi conduzido um experimento em lisímetros de drenagem, com três tratamentos (adubação convencional com ureia, MAP e KCl para produzir  $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de MS (T1); ARB para produzir  $25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de MS (T2) e mescla de adubação convencional com ARB para produzir  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de MS). Não foi observado aumento na sodicidade ou salinidade do solo com a aplicação de ARB, porém, houve aumento estatisticamente significativo na dispersão de argila em superfície. A produção foi maior quando fertirrigada com ARB, mostrando ser essa uma boa fonte de nutrientes, permitindo inclusive uma maior extração de N e Na, com melhora significativa no valor nutritivo da forragem. A lixiviação de fósforo orgânico não foi significativa, e a de nitrato ficou abaixo do limite estabelecido por lei, mesmo sob aplicação de alta dose de nitrogênio. Infere-se que a ARB, pode ser utilizada na fertirrigação do capim Vaquero, substituindo ou complementando a adubação convencional, desde que haja o monitoramento do solo e da solução do solo, garantindo a conservação do solo e das águas subterrâneas. Recomenda-se calcular a dose de ARB pelo nutriente mais abundante, a fim de evitar o excesso de um nutriente que pode prejudicar o desenvolvimento da forrageira.

## ABSTRACT

MELO, Cíntia de Faria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa - Rio Paranaíba Campus, June, 2018. **Fertigation of pasture with bovine wastewater cattle and soil-plant interactions.** Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-advisor: Luís César Dias Drumond.

In dairy cattle, intensive systems such as free stall confinement have been used, in which a large amount of wastes composed of water and nutrients are generated, constituting a wastewater. This effluent can be used as an alternative source of water and nutrients for agricultural crops, especially pastures. However, there are some concerns regarding fertigation with effluents, such as the possibility of undesired changes in soil attributes and contamination of subsurface waters by the leaching of elements such as nitrate and organic phosphorus. The objective of this study was to study the effects of fertirrigation of Vaquero (*Cynodon dactylon* cv. Vaquero) grass with bovine wastewater (BW), on attributes of a RED-YELLOW LATOSOL, as well as to evaluate forage yield and the risk of contamination of groundwater by  $\text{NO}_3^-$  and organic P, under such conditions. An experiment was conducted in drainage lysimeters with three treatments (conventional fertilization with urea, MAP and KCl to produce 25 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of MS (T1); ARB to produce 25 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of MS (T2) and blend of conventional fertilization with ARB to produce 50 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> of DM). No increase in soil sodicity or salinity was observed with the application of BW, however, there was a statistically significant increase in surface clay dispersion. The production was higher when fertigated with BW, showing that this is a good source of nutrients, allowing even a higher extraction of N and Na, with a significant improvement in the nutritive value of the forage. The leaching of organic phosphorus was not significant, and that of nitrate was below the limit established by law, even under the application of high nitrogen doses. It is inferred that the ARB can be used in the fertirrigation of the Vaquero grass, replacing or complementing the conventional fertilization, since there is the monitoring of the soil and the solution of the soil, ensuring the conservation of soil and groundwater. It is recommended to calculate the dose of BW for the most abundant nutrient in order to avoid the excess of a nutrient that can impair the development of the fodder.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A pecuária leiteira constitui um dos setores mais importantes do complexo agroindustrial brasileiro, e de acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2018), os sistemas de produção mais utilizados são a criação a pasto, com ou sem suplementação, e os sistemas com animais totalmente confinados, como o free stall. Uma das principais características do confinamento de animais é a alta quantidade de dejetos produzidos em uma pequena área, o que pode ser considerado um problema, ou, ao contrário, uma oportunidade de utilização dos produtos derivados desses efluentes (BATISTA et al, 2014).

A demanda de água aumenta em âmbito mundial, em função do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças nos padrões de consumo, entre outros fatores (UNESCO, 2018). Para sustentar a crescente demanda por alimentos o uso global de água aumentou quase seis vezes nos últimos cem anos e continua crescendo, sendo que atualmente, a demanda mundial por água é estimada em  $4.600.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ . As captações de água para irrigação foram identificadas como a principal causa da redução dos níveis das águas subterrâneas em todo o mundo (BUREK et al, 2016), evidenciando a importância de uma gestão eficiente e intensiva desse recurso (WADA et al, 2016) e sua reutilização dentro dos sistemas de produção.

De acordo com HESPANHOL (2002), o atributo da escassez de água não é exclusivo das regiões áridas e semiáridas, havendo muitas regiões com recursos hídricos abundantes, porém insuficientes para satisfazer demandas excessivamente elevadas, e por isso ocorrem conflitos de usos e restrições de consumo, que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

Com a água de qualidade se tornado um recurso cada vez raro, aumenta também a necessidade de desenvolver técnicas que corroborem para seu uso e reúso de forma racional e sustentável. A AGENDA 21 (1994) dedicou importância especial ao reúso, recomendando a implementação de políticas de gestão para o uso e reciclagem de efluentes, integrando proteção da saúde pública de grupos de risco, com práticas ambientais adequadas. HESPANHOL (2002) ressalta que o conceito de “substituição de fontes”, se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para o abastecimento doméstico.

As possibilidades de reúso dependem de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2002). No entanto, como afirma OTENIO (2015) a legislação brasileira a cerca dessa técnica é ainda muito generalista e mais estudos são necessários para se conhecer os riscos envolvidos na sua implementação.

## **2. CAPÍTULO I: ATRIBUTOS DO SOLO E LIXIVIAÇÃO DE ELEMENTOS EM PASTAGEM FERTIRRIGADA COM EFLUENTE DE BOVINOS**

### **Resumo**

O uso de águas residuárias na fertirrigação de culturas traz benefícios como diminuição do custo com fertilizantes, racionalização do uso da água, aumento na produtividade e aporte de matéria orgânica ao solo. Porém, podem ocorrer também alterações na física do solo como a dispersão dos agregados e lixiviação de elementos como nitrato e fósforo orgânico. Para estudar as alterações provocadas no solo sob aplicação de água residuária de bovinocultura foi conduzido um experimento em lisímetros de drenagem, com três tratamentos (adubação convencional com ureia, MAP e KCl para produzir 25 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS (T1); ARB para produzir 25 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS (T2) e mescla de adubação convencional com ARB para produzir 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS). Foram avaliados os teores de argila dispersa em água (ADA), P, K, Ca, Mg, Na, carbono orgânico de um LATOSSOLO, e ainda CTC, soma de bases (SB), percentagem de matéria orgânica (MOS), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS). Determinou-se ainda a concentração de nitrato e fósforo na solução do solo. O teores de Mg foi significativamente maior nos tratamentos com ARB. Não foi observado aumento na sodicidade do solo, porém, houve aumento na dispersão de argila em superfície. A lixiviação de fósforo orgânico e nitrato não atingiram níveis preocupantes, ficando abaixo de 0,6 e 0,4 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. A fertirrigação com ARB pode ser realizada com o devido monitoramento das características do solo, contribuindo para a nutrição da pastagem como uma fonte multinutriente, sem provocar contaminação de águas subsuperficiais.

## 2.1 Introdução

O aumento da produção intensiva em confinamentos, especialmente de bovinos de leite, torna indispensável o planejamento desses sistemas, visando o tratamento e destinação do efluente gerado. Conforme CAMPOS et al (2002), o efluente é constituído basicamente pela água utilizada na lavagem de galpões e equipamentos, dejetos (fezes e urina) produzidos pelos animais e restos de alimentos, sendo relatados em sistema free stall uma produção de dejetos próxima de  $42 \text{ L UA}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , o que representa 9,5% do peso do animal.

As águas residuais têm grande potencial de reutilização como fontes de água, matéria orgânica e nutrientes nos cultivos agrícolas. CAMERON et al (1997), já discutiam a necessidade de buscar métodos ambientalmente eficientes de disposição de resíduos ressaltando a popularidade do uso do solo como meio de eliminação, reciclagem de nutrientes e conservação de água, e que essa prática estaria resultando em melhoria na física e fertilidade do solo.

De acordo com MATOS e MATOS (2017), embora as águas residuárias exibam conteúdos de material orgânico relativamente baixo, sua aplicação frequente e em altas doses pode incorporar quantidades apreciáveis de matéria orgânica no solo. De forma geral, as principais alterações causadas pela aplicação de águas residuárias no solo costumam ser químicas, o que pode, inclusive, intensificar alterações físicas no solo.

A física do solo influencia os seus processos químicos e biológicos e, por consequência, desempenha papel central em estudos sobre qualidade do solo. Ela se relaciona intimamente com o processo de infiltração, retenção e disponibilização de água para as plantas; na resposta ao manejo e na resistência à degradação; na ocorrência das trocas de calor e de gases com a atmosfera e no o crescimento das raízes das plantas (STRECK et al., 2008).

A qualidade da água que chega ao solo naturalmente ou por meio de irrigação e fertirrigação é um fator importante no processo de dispersão de argila. De acordo com TILLMAN e SURAPANENI (2002), a ocorrência de sodicidade e/ou salinidade também podem decorrer da aplicação de águas residuais ao solo, devido às altas concentrações de sais dissolvidos na água. O excesso de sódio e potássio em relação a cálcio e magnésio, comum em alguns efluentes, pode atuar como agente dispersante diminuindo a agregação das argilas, e assim reduzir a capacidade de infiltração e a troca

de gases com a atmosfera, comprometendo a produtividade das culturas (SCALOPPI e BAPTISTELLA, 1986; BONINI et al., 2014).

Quando o sódio domina o complexo sortivo do solo em relação ao cálcio, o solo pode apresentar dispersão de coloides, que conduz a degradação de suas propriedades físicas. De acordo com MIRANDA et al. (2008), esta degradação constitui impedimento ao movimento do ar e da água, dificultando o processo de infiltração, agravando ainda mais a salinidade, pois, dificulta a drenagem e a retirada dos sais do perfil do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

O reúso de efluentes é um método de gestão sustentável dos recursos hídricos por diminuir a contaminação direta de águas superficiais. No entanto, há de se considerar que, existindo contato com águas freáticas, a poluição de águas superficiais pode provocar também a poluição de águas subterrâneas (MATOS e MATOS, 2017), pois, a água da chuva ou irrigação pode arrastar consigo substâncias dissolvidas (lixiviação) e chegar ao lençol freático.

Embora a ênfase seja dada ao  $\text{NO}_3^-$ , geralmente o fósforo é o elemento mais limitante nas águas em relação ao aumento da atividade biológica (KEENEY, 1982). O fósforo se movimenta pouco na maioria dos solos, razão pela qual raramente é perdido por lixiviação. No entanto, BERWANGER et al (2008), estudando sua mobilidade em solo sob plantio direto e aplicação de dejetos líquidos de suínos, observou aumento no P disponível do solo até 15 cm de profundidade.

Segundo RAIJ (1991), no solo o P pode ser encontrado em formas inorgânicas e orgânicas, sendo que a orgânica aumenta em maiores concentrações de matéria orgânica e com a redução do pH. A forma orgânica refere-se ao P ligado a compostos como ácidos nucleicos e fosfolipídios, que por serem moléculas estáveis, não interagem com as partículas do solo.

A lixiviação de formas orgânicas de P é preocupante, pois, de acordo com CORRELL (1998), nos cursos d'água as formas orgânicas de P são hidrolisadas liberando íon fosfato, passível de absorção pelos autotróficos como algas e cianobactérias, que passam a crescer excessivamente, aumentando as taxas de respiração, que leva à hipoxia em águas superficiais.

## **2.2 Objetivos**

### **Gerais**

Avaliar os efeitos da aplicação de água residuária de bovinocultura (ARB) e adubação convencional em atributos químicos e físicos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico.

Analisar a dinâmica de fósforo orgânico e nitrato no solo, como indicadores de risco ambiental relacionados ao uso de ARB em sistemas fertirrigados.

### **Específicos**

Compreender o efeito da aplicação de ARB sobre a estabilidade dos agregados do solo.

Avaliar o incremento de P, K, Ca, Mg, S e Na no solo com aplicação de ARB, bem como possíveis alterações na M.O., e na CTC do solo.

Avaliar o efeito da ARB sobre a salinidade e sodicidade do solo, através do cálculo da RAS e da PST.

Determinar as concentrações de  $\text{NO}_3^-$  e P orgânico na solução lixiviada do solo;

Avaliar a lixiviação de Na e K no sistema solo-planta.

## 2.3 Material e métodos

### 2.3.1 Local e área experimental

Um experimento foi instalado na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba, localizada no município de Rio Paranaíba-MG, com altitude média de 1100 m. O experimento foi conduzido de maio a novembro de 2018. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é classificado como Cwa, apresentando as estações de verão e inverno bem definidas, com a temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C.

### 2.3.2 Desenho experimental

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos e três repetições, sendo os tratamentos:

- T1 – 963 kg de N, 57 kg de P e 3.295 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K, fornecidos via adubação mineral;
- T2 – 963 kg de N, 57 kg de P e 3.295 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K fornecidos exclusivamente via água residuária de bovinocultura (ARB);
- T3 – 1.926 kg de N, 114 kg de P e 6.590 kg de K ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo metade fornecida via ARB e metade via adubação mineral.

As doses de nutrientes foram calculadas pelo método do balanço de massa, visando a produção de forragem necessária para 3 unidades animal (UA) por hectare nos tratamentos 1 e 2, e 6 UA ha<sup>-1</sup> no tratamento 3. Foi utilizado como critério o atendimento da demanda de P através da ARB, desta forma o N e o K foram aplicados sabidamente em excesso.

As unidades experimentais foram constituídas por lisímetros de drenagem (Figura 1), visando um volume de solo mais representativo e possibilitar a coleta da solução lixiviada do solo. Os lisímetros são equipamentos utilizados para medição de evapotranspiração em sistemas agrícolas, e são constituídos basicamente por uma caixa com camadas filtrantes no fundo (areia, brita), preenchida com solo e cultivada com a espécie que se deseja estudar. O lixiviado é conduzido até o recipiente coletor por um tubo de drenagem conectado ao fundo da caixa, sendo o coletor colocado no fosso de observação.



**Figura 1.** Montagem das unidades experimentais: **A)** Vista geral do local do experimento; **B)** Detalhe da instalação das caixas na valeta; **C)** Camada de brita ao fundo; **D)** Camada de areia sobre a brita; **E)** Início da reconstituição das camadas de solo no lisímetro; **F)** Detalhe dos tubos de drenagem **G)** Visão geral ao final da montagem; **H)** Visão geral dos lisímetros após a implantação da forrageira; **I)** Detalhe dos coletores de lixiviado nas caixas de observação.

Os lisímetros foram montados utilizando caixas d'água de 1 m<sup>3</sup>, preenchidas com 10 cm de brita 1 ao fundo, 5 cm de areia média, seguidos de 60 cm de solo oriundo da própria área experimental. A ordem natural das camadas do solo foi respeitada ao preencher as caixas. Entre a camada de areia e o solo foi colocada uma manta de drenagem (Bidim) a fim de diminuir o teor de argila no lixiviado.

### 2.3.3 Caracterização do solo e do efluente

O solo do local foi classificado como um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. Suas características químicas constituem a Tabela 1 e alguns parâmetros físicos na Tabela 2. Com base na análise química foi realizada a calagem do solo para elevar a saturação por bases para 60%, aplicando o calcário em superfície. Após 20 dias da aplicação do calcário foi aplicado gesso agrícola na dose de 1,5 t ha<sup>-1</sup> visando à mobilização das bases até as camadas mais profundas. A forrageira *Cynodon dactylon* cv. Vaquero foi semeada no mês de dezembro de 2017, aproveitando a época chuvosa para seu estabelecimento.

**Tabela 1.** Análise química do solo utilizado no experimento, na profundidade de 0 a 30 cm

pH	P(res)	S-SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	SB	t	T	V	M.O
CaCl <sub>2</sub>	--- mg dm <sup>-3</sup> ---							cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	g dm <sup>-3</sup>
4,8	12	20	0,07	2,7	0,6	0,4	0,01	5,7	3,3	3,5	9,0	37	23,5

**Tabela 2.** Análise física do solo utilizado

Prof	Densidade	Areia	Silte	Argila	Textura
cm	g cm <sup>-3</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
0-20	0,66	180	120	700	Muito argilosa
20-40	0,60	180	120	700	Muito argilosa
40-60	0,60	180	120	700	Muito argilosa

O efluente foi obtido dos galpões de bovinocultura de leite da Fazenda Grupo Sekita, no município de Rio Paranaíba-MG. O mesmo foi coletado após a saída do quinto biodigestor, e acondicionado em caixas de plástico até o momento da aplicação. A análise química encontra-se na Tabela 3.

O sistema de tratamento de efluentes da propriedade é composto basicamente por um separador de sólidos, a partir do qual o efluente líquido segue para uma bateria de seis biodigestores. Após a biodigestão o efluente é conduzido para uma lagoa de aeração, da qual é feita a captação para aplicação do mesmo nos cultivos da propriedade via aspersão por pivô central.

**Tabela 3.** Parâmetros químicos da água residuária de bovinocultura utilizada

N	P	K	Ca	Mg	S	Na	CE	pH	RAS*
-----mg L <sup>-1</sup> -----							mS m <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	
169,5	10,0	580	97,30	90,49	12,30	62,43	0,385	7,0	11

Análises realizadas pelo Laboratório Celasa, Patos de Minas - MG. As metodologias empregadas foram baseadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). \*RAS =  $Na/\sqrt{(Ca+Mg)/2}$

### 2.3.5 Aplicação dos tratamentos

De acordo com WERNER et al. (1996), a exportação média por tonelada de matéria seca (MS) produzida pelas forrageiras do gênero *Cynodon*, é de 20-26 kg de N, 1,5 a 3 kg de P e 15-30 de K. Foi utilizada nos cálculos a demanda de 20 kg de N, 2 kg de P e 25 kg de K por tonelada de MS. Para atingir uma capacidade de suporte (CS) de 3 UA ha<sup>-1</sup>, seria necessário produzir 25 toneladas de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, considerando uma oferta diária de forragem de 5% do peso vivo.

Para os tratamentos com água residuária utilizou-se como critério o atendimento da demanda de P do capim Vaquero via efluente. A dose necessária de efluente para suprir o fósforo no tratamento 2 foi o equivalente a 5.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, considerando a concentração presente no efluente (10 mg L<sup>-1</sup> de P), que ajustando para a área das parcelas (1,76 m<sup>2</sup>) e para os dias do ciclo da forrageira (28 dias por ciclo) corresponde a 77 litros por parcela em cada ciclo. A aplicação do efluente foi parcelada em oito vezes por ciclo, cada uma com volume de 9,6 L, ou seja, duas aplicações semanais. Foi utilizado um balde com volume aferido por meio de proveta e um regador para aplicação do efluente nas unidades experimentais.

Para os tratamentos 1 e 3, nos quais foi utilizada adubação mineral, foram calculadas as doses de ureia (45% de N), superfosfato simples (SS com 17 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (KCl com 59,8% de K<sub>2</sub>O) para fornecer os teores de N, P e K correspondentes aos tratamentos. Assim, ao início de cada ciclo, as unidades experimentais desses tratamentos receberam em aplicação única 29 g de ureia, 10.5 g de SS e 90 g de KCl, o que equivale a 2.140 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de ureia, 765 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de SS e 3.970 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de KCl.

No tratamento 3, portanto, foram aplicados o equivalente a 5.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de efluente de bovinocultura e, em adubo químico a dose de 2.140 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de

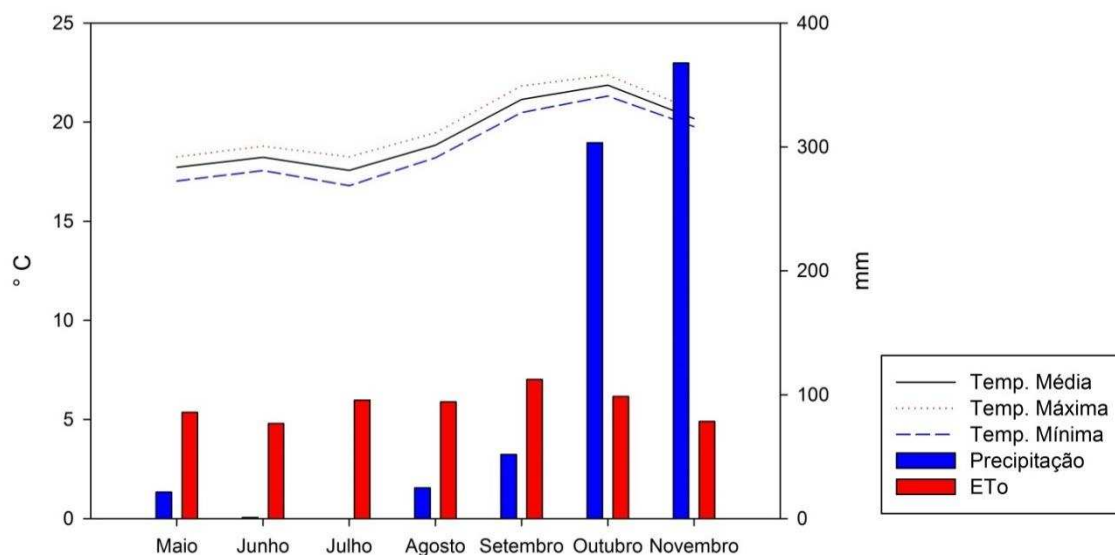
ureia, 765 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de SS e 3.970 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de KCl, visando uma CS de 6 UA ha<sup>-1</sup>.

### 2.3.6 Dados climatológicos e manejo da irrigação

Os dados meteorológicos (Figura 2), foram monitorados durante o período experimental (maio a novembro de 2018) por meio de estação meteorológica automatizada, modelo Davis Vantage Pro 2, instalada na área experimental, permitindo obter dados diários de precipitação, temperatura, radiação solar e a evapotranspiração (ET<sub>o</sub> - pelo método de Penman-Monteith). O período experimental compreendeu as estações outono, inverno e primavera.

Houve um aumento na temperatura a partir do mês de agosto, juntamente com maior volume de chuvas. A evapotranspiração acompanhou o comportamento da radiação solar, sendo maiores no mês de setembro.

A quantidade de ARB aplicada nos tratamentos 1 e 3, foi aplicada em água pura (água de torneira) no tratamento 2, e o déficit de água restante foi aplicado a todas as parcelas repondo 120 % da ET<sub>o</sub>. Foi repostado mais que 100% da ET<sub>o</sub> com a finalidade de garantir a coleta do lixiviado. As irrigações foram realizadas nos mesmos dias da aplicação do efluente, o que configurou um turno de rega de 3 dias.



**Figura 2.** Dados das variáveis climatológicas registradas através de estação meteorológica, de maio a novembro de 2018, na área experimental. Rio Paranaíba, MG.

### 2.3.7 Avaliações do solo

Ao final do período de aplicação dos tratamentos, mês de novembro de 2018, foi realizada a amostragem do solo nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 30 cm. As amostras foram secas e passadas por peneira de 2 mm para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Na do solo, e carbono orgânico do solo de acordo com as metodologias descritas em DONAGEMA et al. (2011) e SILVA (2009). Os elementos Ca e Mg foram extraídos por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, enquanto P, K e Na em solução Mehlich 1. Ca, Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, e K e Na por fotometria de emissão de chama.

Como parâmetro físico do solo foi determinado argila dispersa em água. Foi utilizada dispersão lenta em agitador rotativo tipo Wagner, por quatro horas, a 50 rpm, utilizando a proporção de 10 g de TFSE para 400 mL de água destilada, e decantação em proveta de 500 mL. A determinação foi realizada pelo método da pipeta (adaptado de DONAGEMA et al 2011).

Foram calculadas CTC, soma de bases (SB), percentagem de matéria orgânica (MOS), percentagem de sódio trocável (PST) e razão de adsorção de sódio (RAS).

A PST foi calculada pela equação 1, seguinte:

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad \text{Ou} \quad PST = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + (H^+ + Al^{3+}))} \times 100$$

**Eq. 1**

Onde:

Na = Teor de sódio trocável no solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)

CTC = Capacidade de troca de cátions do solo (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)

Os valores de referência são: não sódico: PST < 7; Ligeiramente sódico: 7 ≤ PST < 10; Mediamente sódico: 10 ≤ PST < 20; Fortemente sódico: 20 ≤ PST < 30; Excessivamente sódico: 30 ≤ PST conforme PIZARRO (1985).

Para o cálculo da RAS foi utilizada a equação 2, sendo os valores de referência, conforme CRUZ et al. (1974): Risco baixo:  $RAS < 10$ ; Risco médio:  $10 \leq RAS < 18$ ; Risco forte:  $18 \leq RAS < 26$ ; Risco muito forte:  $26 \leq RAS$

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Eq. 2

Onde:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio (adimensional)

Na, Ca, Mg = Teores de sódio, cálcio e magnésio trocáveis no solo ( $mmol_c dm^{-3}$ ), respectivamente.

### 2.3.8 Análises do lixiviado

A água excedente e possíveis íons lixiviados foram conduzidos de cada unidade experimental pelos tubos de drenagem até o recipiente coletor (garrafas pet 2 L) e armazenado em freezer para avaliação. O aspecto do lixiviado pode ser observado na Figura 3.



**Figura 3.** Detalhe dos coletores de lixiviado no fosso, do aspecto do material coletado e retirada da alíquota.

As coletas foram realizadas as segundas e quintas-feiras. A cada coleta o volume de lixiviado presente no coletor era anotado e uma alíquota de 10% era retirada e

armazenada. Assim, ao final do período experimental obteve-se uma amostra composta do lixiviado de cada parcela, bem como o volume total lixiviado.

O lixiviado das unidades experimentais foi utilizado para a determinação de Na, K,  $\text{NO}_3^-$  e P orgânico, objetivando elucidar a movimentação desses elementos em profundidade. O sódio e o potássio foram determinados por fotometria de emissão de chama (DONAGEMA et al., 2011), o  $\text{NO}_3^-$  determinado conforme CATALDO et al. (1975) com adaptações, por espectrofotometria a 410 nm. Foi feita a determinação do P em espectrofotômetro a 725 nm.

### **2.3.9 Análises estatísticas**

Devido ao reduzido tamanho experimental imposto pelos lisímetros instalados a campo, foi realizada a análise de variância (ANOVA on ranks) dos dados, e em caso de diferenças significativas encontradas pelo teste F, as médias do foram comparadas pelo teste Student Newman - Keuls (SNK) on ranks a 5% de probabilidade. Quando uma transformação 'rank' é utilizada para satisfazer aos pressupostos ou em casos de experimentos com poucas unidades experimentais, a ANOVA por postos e os testes posteriores podem ser considerados não paramétricos (CONOVER e IMAN, 1981). Para realização dos testes foi utilizado o software SPEED Stat (CARVALHO e MENDES, 2017).

## 2.4 Resultados e discussão

### 2.4.1 Variáveis do solo

Para a maioria das variáveis do solo analisadas não foi verificada diferenças significativas, excetuando-se a ADA na profundidade de 0 a 10 cm e o teor de magnésio do solo de 10 a 30 cm de profundidade (Tabela 4).

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância (valores F) por postos (on-ranks), para os parâmetros: argila dispersa em água (ADA), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions total (T), soma de bases (SB), matéria orgânica (M.O) e saturação por bases (V%)

Profundidade (cm)	ADA	PST	RAS	K	Ca	Mg	Na	T	SB	P	S	M.O
	g dm <sup>-3</sup>									mg dm <sup>-3</sup>		g dm <sup>-3</sup>
						cmolc dm <sup>-3</sup>						
0 a 10	4,14 *	1,18	1,18	2,01	0,83	0,13	1,11	0,58	0,26	2,1	0,36	1,32
CV (%)	32	52	52	54	49	61	56	56	62	45	58	55
Médias	3,8	0,6	0,3	0,4	4,6	1,7	0,06	9,2	7,0	32	40	27
10 a 30	0,44	1,28	1,28	0,14	0,08	10 *	1,41	0,2	0,85	3,8	0,03	0,67
CV (%)	58	55	55	62	61	34	54	58	57	41	62	58
Médias	4,1	0,8	0,4	0,5	2,8	0,8	0,06	7,8	4,3	16	40	23

\* Valor F significativo a 5 % de probabilidade; CV - coeficiente de variação.

A ADA foi maior nos tratamentos com ARB (Tabela 5), chegando a 4,72 g kg<sup>-1</sup>, sendo esse efeito verificado apenas em superfície. Esse resultado corrobora com o de ERTHAL et al. (2010)<sup>a</sup>, que estudando o efeito de um efluente de bovinocultura na física de um ARGISSOLO, encontraram maior dispersão de argila na camada de 0 a 10 cm, justificada pelo efeito acumulativo de sódio e potássio observado nesta camada.

**Tabela 5.** Valores médios para argila dispersa em água (ADA) na profundidade de 0 a 10 cm e para teor de magnésio (Mg) do solo na profundidade de 10 a 30 cm, nos tratamentos utilizados

Tratamentos	ADA		Mg <sup>2+</sup>	
	g kg <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
T1-Adubo	2,77	b	0,67	b
T2-ARB	3,92	a	1,00	a
T3-Adubo + ARB	4,72	a	1,00	a
CV (%)	32		34	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (p<0,05), pelo teste SNK.

MONTES et al. (2004), trabalhando com aplicação de água residuária de origem doméstica em um ARGISSOLO, verificaram que a dispersão de argila aumentou com o tempo até 80 cm de profundidade e que este aumento foi mais pronunciado na camada de 0 a 10 cm. No entanto, em trabalho de ALMEIDA NETO et al. (2009), os autores aplicaram soluções de diferentes CE, sendo a menor 20 e a maior 800  $\text{mS m}^{-1}$ , e não observaram efeito dessas soluções na dispersão de argila em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO.

CONDÉ et al. (2012), ressaltam que a magnitude de algum efeito causado no solo pela aplicação de águas residuárias pode variar de acordo com o tempo de aplicação, composição e quantidade aplicada, e acrescentam que o tipo de solo e a capacidade de extração das plantas também são fatores que influenciam nas consequências da aplicação da água.

O teor de Mg na profundidade de 10 a 30 cm foi maior nos tratamentos com ARB (Tabela 5). CABRAL et al. (2011), obtiveram aumento nos teores de Mg no solo na camada de 0-20 cm, com a aplicação de ARS em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. ERTHAL et al., (2010)<sup>a</sup> relatam que nos primeiros 10 cm de profundidade do solo os tratamentos que receberam ARB apresentaram concentrações de Mg superiores à testemunha em todo o período experimental, notadamente a partir de 150 dias, com valores finais acima de  $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

O fato de não ter sido detectadas diferenças entre os tratamentos para as demais variáveis analisadas, pode estar relacionado ao curto tempo de avaliação do experimento. Em estudo de ERTHAL et al. (2010)<sup>a</sup>, o efeito do fator tratamento (taxas de aplicação) foi, em geral, menor que o fator tempo sobre o comportamento das características avaliadas. Na Figura 5, pode-se observar o comportamento das variáveis: teor de P, K, Ca, Mg, S, Na, SB, CTC (T) e M.O do solo.

Em geral, o fósforo é considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento atribuído à sua adsorção pela argila (SANTOS et al, 2008), no entanto, ressalta-se que neste estudo foi registrado aproximadamente  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de P na profundidade de 10 a 30 cm. ERTHAL et al. (2010)<sup>a</sup>, também utilizando ARB, verificaram que a concentração de P disponível no solo aumentou apenas na camada de 0 a 10 cm.

EGHBALL et al. (1996) também observaram maior movimentação do P no perfil do solo que recebeu dejetos em comparação com o adubo mineral, atribuindo esse fato à movimentação do P na forma orgânica. Resultados de CONDÉ et al. (2013), mostram uma maior disponibilização de P com o aumento das doses de água residuária de suinocultura em LATOSSOLO. De acordo com SCHERER e BALDISSERA (1994), o fósforo contido nas águas residuárias é lentamente disponibilizado, tornando-se menos sujeito às reações de adsorção e fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes no solo o que constitui uma vantagem da fonte orgânica frente às fontes de minerais de fósforo.

SANTOS et al. (2008), ressaltam que solos intemperizados, como os LATOSSOLOS, nos quais houve perdas de nutrientes por lixiviação em seu processo de formação, as forças de adsorção são maiores em função da maior superfície específica das partículas. Entretanto, neste trabalho, assim como em estudo de TEIXEIRA et al. (2017), a combinação do fósforo com compostos orgânicos na ARB, e sua mineralização gradual durante o ciclo da cultura, fizeram com que esse nutriente estivesse menos sujeito às reações de adsorção e fixação.

Não foi observado aumento no teor de Ca do solo em relação à condição inicial, pelo contrário, percebe-se uma diminuição do Ca na profundidade de 10 a 30 cm. Isso pode estar relacionado com uma maior absorção de cálcio pela forrageira em subsuperfície, ou ainda um carregamento do Ca pelos sulfatos, visto que o teor de S também diminuiu nas duas profundidades avaliadas. Diferentemente, ERTHAL et al. (2010)<sup>a</sup> encontraram um aumento dos teores de Ca e Mg ao longo do tempo com aplicação de ARB.

Neste estudo não houve incremento significativo na SB e na CTC, porém, QUEIROZ et al. (2004)<sup>a</sup> utilizando águas residuárias de suínos (ARS), obtiveram aumento na soma de bases (SB) e na CTC do solo, bem como ERTHAL et al (2010)<sup>a</sup>, que observaram um aumento na CTC, que passou de 2,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup> aos 53 dias, para 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> aos 235 dias.

Foi observado também um maior teor de matéria orgânica ao final do período experimental, tanto no tratamento com adubação mineral, quanto nos tratamentos com ARB. No T1 a M.O passou de 2,4 para 2,7%, indicando um aporte de matéria orgânica devido ao cultivo da forrageira. No T3, o teor aumentou de 2,3 para 3,2%, refletindo

também o efeito da ARB, como fonte orgânica de nutrientes. Quanto maiores os teores de matéria orgânica, maior a resistência dos agregados, melhorando a infiltração e retenção de água.

Resultado semelhante foi relatado por MATOS et al. (2010)<sup>a</sup>, que estudaram o armazenamento de água em um LATOSSOLO submetido à adubação mineral, suplementada com dejetos de suínos (70 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), e concluíram que a aplicação do efluente incrementou o teor de matéria orgânica, refletindo no aumento do armazenamento de água no solo. Assim também (SILVA et al. 2015), verificaram que doses crescentes de dejetos de suínos aplicadas em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO com adição de adubo químico tendem a aumentar a estabilidade de agregados do solo. A concentração de sódio aumentou para todos os tratamentos, até os 30 cm de profundidade (Tabela 6).

**Tabela 6.** Média da razão de adsorção de sódio (RAS), percentagem de sódio trocável (PST), nos 30 cm superficiais

Tratamento	RAS	PST (%)
T1-Adubo	0,08	0,43
T2-ARB	0,22	1,29
T3-Adubo + ARB	0,11	0,61

GARCIA et al. (2012), verificaram que, no solo cultivado com Tifton 85 e Capim Marandu os teores de potássio e sódio trocáveis, a PST e a RAS, nos tratamentos com aplicação de efluente doméstico, foram superiores àquele que recebeu adubação mineral. De acordo com ERTHAL et al. (2010)<sup>a</sup>, altas concentrações de sódio na solução do solo, em comparação com o cálcio e o magnésio podem causar deterioração da estrutura do solo, pela dispersão dos colóides e subsequente diminuição dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade, à água e aos gases.

Neste estudo, porém, a aplicação da ARB não causou problema de sodicidade, pois, de acordo com PIZARRO (1985), o solo pode ser caracterizado como não sódico, em virtude de apresentar PST < 7%. Quanto à salinidade, a RAS de 0,61 se enquadra como risco baixo (RAS < 10), conforme CRUZ et al. (1974).

## 2.4.2 Lixiviação de elementos

Foi verificada diferença significativa entre os tratamentos para as concentrações de nitrato, sódio e potássio no lixiviado. A concentração de fósforo não sofreu influência dos tratamentos (Tabela 7), e ressalta-se que a concentração encontrada de P foi 0,6 mg L<sup>-1</sup>, no tratamento 3. Essa concentração foi menor que a encontrada por MAGGI et al. (2011) que avaliaram a solução lixiviada de Latossolo sob aplicação de 0, 100, 200 e 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de efluente de suinocultura, e observaram que a concentração de fósforo aumentou nas maiores doses, chegando a 1,2 mg L<sup>-1</sup> de P.

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância por postos (on-ranks), para os parâmetros nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fósforo total (P), sódio (Na) e potássio (K) determinados na solução lixiviada do solo

Fonte de variação	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	Na	K
Tratamentos	10,1**	4,92 <sup>Ns</sup>	15,26**	6,31*
CV (%)	27,5	41	19,7	36

\* e \*\* Valor F significativo a 5 e 1 % de probabilidade; CV - coeficiente de variação.

A concentração de nitrato no lixiviado foi significativamente maior nos tratamentos 2 e 3, nos quais houve aplicação de 963 e 1926 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio, respectivamente (Tabela 8). Vale lembrar que no T2, o fornecimento de nutrientes foi exclusivamente com ARB.

**Tabela 8.** Concentração de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sódio (Na) e potássio (K) determinados na solução lixiviada do solo, em função dos tratamentos aplicados durante o período experimental

Tratamentos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na	K
	mg L <sup>-1</sup>		
T1-Adubo	0,07 b	0,00 c	6,97 b
T2-ARB	0,22 a	1,11 b	8,96 b
T3-Adubo + ARB	0,39 a	2,22 a	23,64 a

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si (p<0,05), pelo teste SNK.

Comparando o T1 e o T2, nota-se que a lixiviação de nitrato foi maior com a utilização do efluente, em relação à adubação convencional. Diferentemente, FERNANDES et al. (2017), avaliando a relação entre doses de N aplicadas em pastagem via dejetos animais ou adubos convencionais e o teor de nitrato na solução

lixiviada do solo, observaram que não houve influência da natureza (química ou orgânica) do fertilizante na lixiviação de nitrato. Os autores relatam que a quantidade de N aplicada foi o fator determinante para a perda do nutriente.

A concentração de nitrato encontrada, mesmo nos tratamentos com ARB, foi muito inferior ao valor crítico para a saúde humana, que é de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , de acordo com o Ministério da Saúde (2011). A maior lixiviação no T3 pode estar relacionada à baixa extração de N pela forrageira nesse tratamento, que foi de apenas 38%, pois a produção de massa foi limitada possivelmente pelo excesso de potássio.

CABRAL et al. (2011), estudando os efeitos da aplicação de efluente de suinocultura no solo e na produção de capim elefante, observaram que nas maiores taxas de aplicação do efluente, e conseqüentemente mais K, a forrageira apresentou menor produtividade de massa seca, resultando em menor quantidade extraída e, conseqüentemente, maior quantidade de K remanescente no solo.

PRIMAVESI et al. (2006), em estudo com capim coastcross, concluíram que as grandes variações de nitrato nas doses de fertilizantes nitrogenados normalmente praticadas em pastagens, ocorrem na camada de 0 a 40 cm e se estabilizam em torno de 100 cm profundidade, o que minimiza riscos de contaminação de lençol freático. Todavia, utilizando outras culturas, esse comportamento pode não se verificar. SILVA et al. (2017), avaliaram a lixiviação de nitrato em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, cultivado com figueira, e adubado com  $433 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrogênio via ARB, e encontraram em média  $59 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrato na solução do solo retirada a 60 cm de profundidade.

A perda de N pode ocorrer por outros processos, como a volatilização. De acordo com SCHERER e NESI (2004), perdas por desnitrificação são significantes em solos adubados com esterco animal. AGUIAR et al. (2006) verificaram baixos conteúdos de nitrogênio total no percolado após a aplicação de resíduos bovinos e palha de arroz, e descrevem que a redução desse nutriente no solo não teve como principal causa, a lixiviação, mas a perda de formas gasosas resultantes do processo de mineralização.

Ressalta-se que, o nitrato é bastante móvel no solo, por sua baixa carga residual, sendo rapidamente lixiviado com a água da chuva ou altas lâminas de irrigação (CAPOANE et al., 2017), por isso, deve-se preconizar a aplicação de N em taxas que

correspondam à absorção pelas culturas, independente da fonte utilizada. Em estudo de FERNANDES et al. (2017), foi observada alta correlação positiva entre a quantidade de N aplicado e o teor de nitrato na água lixiviada, demonstrando o potencial poluidor da aplicação de fertilizantes acima da demanda em pastagens perenes.

FEY et al. (2010), estudaram a movimentação de nitrato e amônio sob aplicação de efluente de suínos em LATOSSOLO VERMELHO, cultivado com milho, e observaram que doses de até 150 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do efluente tratado em biodigestor, não promovem a lixiviação de nitrato para as camadas mais profundas do solo. Diante dos resultados pode-se inferir que a ARB não causou lixiviação de quantidades apreciáveis de nitrato, nas doses e no período testado, e que não poderia, portanto, causar contaminação de águas subterrâneas.

A concentração de potássio foi significativamente maior no T3, no qual foi aplicado o equivalente a 6.590 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K, sendo metade via ARB. Entre T1 e T2 não houve diferença significativa. O excesso de K aplicado ao solo, bem como a menor produção da forrageira neste tratamento, inflacionou sua lixiviação. Porém, a concentração máxima encontrada no lixiviado foi de 24 mg L<sup>-1</sup>.

CAOVILLA et al. (2005) estudando a lixiviação de nutrientes em colunas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária de suinocultura, notaram que o nitrato apresentou maior mobilidade no processo de lixiviação, seguido da concentração de sais totais e, posteriormente, do potássio. MAGGI et al. (2011), relatam concentrações de 62 a 150 mg L<sup>-1</sup> K no percolado, coletado de um LATOSSOLO VERMELHO, cultivado com soja sob aplicação de 138,6 kg ha<sup>-1</sup> de K via água residuária de suinocultura. Nota-se que o potencial de lixiviação varia também com a capacidade de extração do nutriente pela espécie cultivada, visto que neste trabalho, mesmo aplicando doses muito superiores, sobre cultivo de capim vaquero, a lixiviação foi menor que a encontrada pelos autores acima citados, chegando a apenas 1,04 g durante os seis meses de condução do experimento (Tabela 14).

Em relação ao sódio, as maiores concentrações foram encontradas no lixiviado do T2 e T3, enquanto no T1 o elemento não foi detectado, indicando que esse sódio é oriundo da ARB. No entanto, do ponto de vista de contaminação de água o sódio não configura uma preocupação, visto que em baixas concentrações como as encontradas, ele se dilui facilmente sem causar danos. Além disso, conforme descreve RAIJ (1991), a

lixiviação de sódio minimiza o acúmulo de sais de sódio no solo, reduzindo problemas relacionados à salinidade do solo, como a dispersão de argila.

Ressalta-se que, neste estudo a lixiviação de nitrato e fósforo não alcançaram níveis ambientalmente preocupantes, porém, são necessários estudos por períodos mais longos para verificar os efeitos de uma aplicação continuada da ARB, na lixiviação dos elementos citados.

## **2.5 Conclusões**

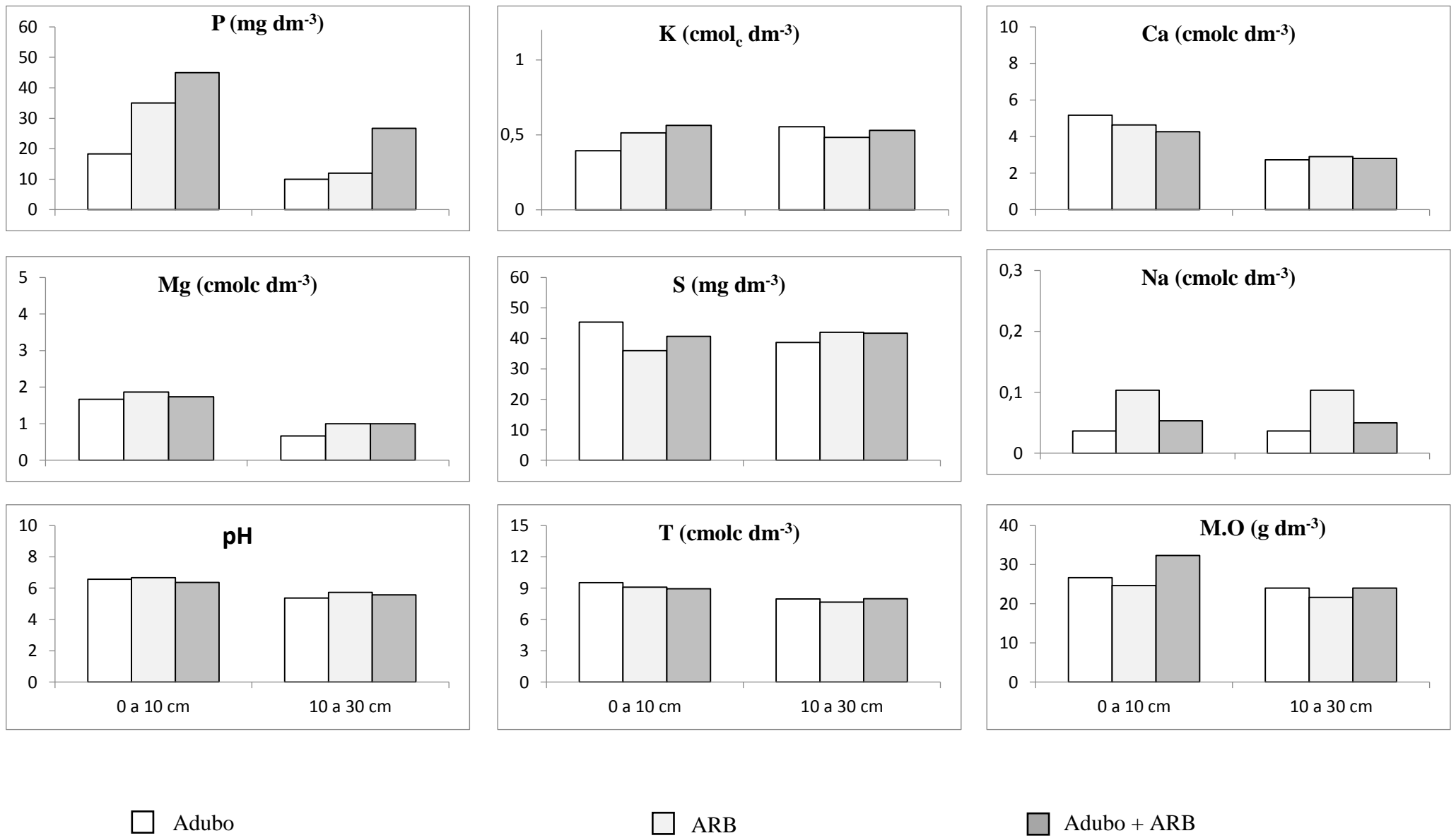
A ARB ocasiona aumento na dispersão de argila em superfície, indicando que a fertirrigação com efluentes deve ser realizada com monitoramento permanente, para que as técnicas agronômicas sejam aplicadas antes de qualquer comprometimento da física do solo.

O maior teor de Mg nos tratamentos com ARB, aponta o potencial do efluente como fonte de nutrientes, promovendo maior disponibilidade do elemento ao longo do tempo.

Não foi observado aumento na sodicidade/salinidade do solo.

Não houve lixiviação significativa de fósforo orgânico.

A concentração de nitrato no lixiviado durante o período experimental manteve-se abaixo do limite estabelecido por lei, mesmo sob aplicação de  $1.926 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de nitrogênio.



**Figura 4.** Concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Na, SB, T e M.O do solo antes da aplicação dos tratamentos e após 180 dias, nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 30 cm de profundidade.

## 2.6 REFERÊNCIAS

AGENDA 21. The earth summit strategy to save our planet. Ed. Daniel Sitarz, Arthpress, 321p.

AGUIAR, M. I.; LOURENÇO, I. P.; OLIVEIRA, T. S.; LACERDA, N. B. Perda de nutrientes por lixiviação em um Argissolo Acinzentado cultivado com meloeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.811-819, 2006.

ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, A. T.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, v. 33, p. 1571-1581, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 22th ed., Washington, DC, 2012.

BATISTA R. O.; BATISTA R. O; FIA R.; DOMINGUES R. R. Manejo de águas residuárias da bovinocultura de leite para uso em cultivo de plantas. *Boletim Técnico n.º 100*, Universidade Federal de Lavras, p. 1-29, 2014.

BERWANGER, A. L.; CERETTA C. A.; SANTOS D. R. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 6, p. 2525-2532, 2008.

BONINI M.A.; SATO L.M.; BASTOS R.G.; SOUZA C.F. Alterações nos atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. *Revista Biociências*, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014.

BUREK P.; SATOH Y.; FISCHER G.; KAHIL T.; NAVA JIMENEZ L.; SCHERZER A.; TRAMBEREND S.; WADA Y.; EISNER S.; FLÖRKE M.; HANASAKI N.; MAGNUSZIEWSKI P.; COSGROVE W.; WIBERG D. Water futures and solution fast track initiative. International Institute for Applied Systems Analysis – IIASA, Copyright, Laxenburg, Austria, 2016. 115p.

CABRAL, J.R.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; MUNIZ A.S.; BERTONHA A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.8, p.823–831, 2011.

CAMERON K. C.; DI H. J.; MCLAREN R. G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes. *Australian Journal Soil Research*, v. 35, n. 5, p. 995-1036, 1997.

CAMPOS, A. T.; FERREIRA, W. A.; PACCOLA, A. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ULBANERE, CANTARELA, H. Nitrogênio, In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H., BARROS, N. F., CANTARUTTI R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 1 ed., 1017 p., Viçosa, MG, 2007.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, J. O.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES. B. M.; FIGUEIREDO, A. C. Lixiviação de nutrientes proveniente de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.283-287, 2005

CAPOANE, V.; TALES T.; ZAFAR M; SANTOS D.R. Impacto da atividade de suinocultura intensiva na qualidade da água de uma bacia hidrográfica do Médio Alto Uruguai. In: Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: Impacto das atividades agropecuárias na contaminação do solo e da água. Editora URI, Cap. 9, p. 162-182, 2017.

- CARVALHO, A.M.X.; MENDES, F.Q. SPEED Stat: a minimalista and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. Anais da 62ª Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 2017.
- CATALDO, A. D.; MAROON, M.; SCHRADER L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.
- CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. Journal of environmental quality, v. 27, p. 261-266, 1998.
- CONDÉ M.S.; HOMEM B.G.C.; ALMEIDA NETO O.B.; SANTIAGO A.M.F. Influência da aplicação de águas residuárias de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 2, n.1, p.99-106, 2012.
- CONDÉ M.S.; ALMEIDA NETO O.F.; HOMEM B.G.C.; FERREIRA I.G.; SILVA M.D. Impacto da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um Latossolo vermelho-amarelo. Revista Vértices, v.15, n. 2, p. 161-178, 2013.
- CONOVER WJ, IMAN RL. Rank Transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. The American Statistician, v. 35, n. 3, p. 124-134, 1981.
- CRUZ W.B.; MELO, F.A.C.F. Estudos geoquímicos preliminares das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. Brasil, SUDENE, 1974. 128 p.
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. Manual de Métodos de Análise de Solos. 3 ed. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 230 p., 2011.
- DUARTE A.S.; ROLIM M.M.; SILVA E.F.F.; PEDROSA E.M.R.; ALBUQUERQUE F.S.; MAGALHÃES A.G. Alterações dos atributos físicos e químicos de um Neossolo após aplicação de doses de manureira. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.9, p.938-946, 2013.
- EGHBALL, B.; BINFORD, G.D; BALTENSPERGER, D.D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application. Journal of Environmental Quality, v.25, p.1339-1343, 1996.
- ERTHAL, V. J.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. 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<sup>a</sup>.
- FEY R.; LANA M.C.; ZOZ T.; RICHART A.; LUCHESE E.B. Relações entre lixiviação de nitrato e produção de biomassa do milho com dejetos suínos provenientes de diferentes tratamentos. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.5, n. 2, p. 212-218, 2010.
- FERNANDES G.; TIECHER T.; PITON R.; PELLEGRINI A.; SANTOS D.R. Impacto da fertilização nitrogenada em pastagens perenes na contaminação dos recursos naturais. Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária, v. 1, n. 1, p. 3-14, 2017.
- FREIRE et al 2003
- GARCIA O.; GIOVANNI, R.; MICHELLE M.; CECÍLIO, R.A., REIS, E.F.; BAUER, M.O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, 2012.
- HESPANHOL I. Potencial de Reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, 75-95 p., 2002.

- KEENEY, D. R. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: SETEVENSON, F. J.; BREMNER, J. M.; HAUCK, R. D.; KEENEY, D. R. Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy, p. 605-649, Madison, 1982.
- MAPA-MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Pecuária de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de bovinos de corte e leite em sistemas confinados. Brasília: MAPA, 2018. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/projeto-pecuaria-abc/arquivos-publicacoes/cartilha-carbono-web.pdf>> Acesso em: 18 abril, 2018
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/PortariaMS291412122011.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS291412122011.pdf)> Acesso em: 29 abril, 2019.
- MAGGI C.F.; FREITAS P.S.L.; SAMPAIO S.C.; DIETER J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.2, p. 170-177, 2011.
- MATOS, A.T.; MATOS, M.P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. 371p.
- MATOS, F. M.; SILVA, D.F.; ANDRADE, C.L.T.; ALVES, M. E. B.; CONCEIÇÃO, O.P. Uso de dejetos líquidos de suínos na melhoria das condições físico-hídricas do solo. Anais. Congresso Brasileiro de Ciência Do Solo, Uberlândia-MG, 2010<sup>a</sup>
- MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M.; FREIRE M.B.G.S.; FREIRE F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. Revista Caatinga, v. 21, n. 5, p. 18-25, 2008.
- MONTES, C. R.; FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; SANTOS, A. P. R.; GLOAGUEN, T.; FORTI, M. C.; PIVELLI, R. Agricultural use of stabilization pond effluent: a case study in the city of Lins (SP, Brazil). Anais. In: International Meeting of International Humic Substances Society, 12, 2004. São Pedro: EMBRAPA, 2004, v.1. p.732-734.
- OTENIO, M. H. Reaproveitamento de água residuária em sistemas de produção de leite. In: MARTINS, P. C.; PICCINI, G. A.; KRUG, E. E. B.; MARTINS, C. E.; LOPES, F. C. F. Sustentabilidade ambiental, social e econômico da cadeia produtiva do leite: desafios e perspectivas. Embrapa Gado de Leite, p. 139-159, 2015.
- PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. 2.ed. Madrid: Agrícola Espanola, 1985. 521p.
- PRIMAVESI O.; PRIMAVESI A.N.; CORRÊA L.A.; SILVA A.G.; CANTARELLA H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35, n. 3, p. 683-690, 2006.
- QUEIROZ, F.M; MATOS, A.T.; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R.A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. Ciência Rural, v.34, n.05, p.1487-1492, 2004<sup>a</sup>.
- RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991.
- SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

- SCALOPPI, E. J.; BAPTISTELLA, J. R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Anais... Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ABID), v.3, p.1049– 1066,1986.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizantes. In: Dia de campo sobre manejo e utilização de dejetos de suínos. EMBRAPA-CNPSA, p.47. Documentos 32, 1994.
- SCHERER, E. E.; NESI, C. N. Alterações nas propriedades químicas dos solos em áreas intensivamente adubadas com dejetos suínos. Anais. Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas. Lages, SC. SBCS, 2004.
- SILVA, A.; LANA, A.; LANA, R.; COSTA, A. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da *Brachiaria decumbens* e alterações no solo. Revista Engenharia Agrícola, v. 35, n. 2, p. 254-265, 2015.
- SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; MATOS, A. T.; PIRES, C. S.; TERRAÇÃO, G. Mobilidade dos íons nitrato e amônio em área agrícola sob adubação com água residuária de bovinocultura de leite e torta de mamona. Revista Engenharia na Agricultura, v. 25, n.3, p.200-211, 2017.
- SILVA, F.C. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627p., 2009.
- STRECK, A.C.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, 2008.
- TEIXEIRA F.O.P.; BOTELHO S.A.; MELO L.A.; FIA R.; PRADO G.A. Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal. Revista Engenharia na Agricultura, v. 25, n. 04, p. 326-335, 2017.
- TILLMAN R.W; SURAPANENI A. Some soil-related issues in the disposal of effluent on land. Australian Journal of Experimental Agriculture, v. 42, n. 3, 225-235 p., 2002.
- UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas em la naturaleza para la gestión del agua. Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos) / ONU-Agua París, 2018. Disponível: <<http://unesdoc.unesco.org/im ages/0026/002615/261579e.pdf>> Acesso: 05 abril 2018
- WADA, Y.; FLÖRKE, M.; HANASAKI, N.; EISNER, S.; FISCHER, G.; TRAMBEREND, S.; SATOH, Y.; VAN VLIET, M. T. H.; YILLIA, P.; RINGLER, C.; BUREK, P.; WIBERG, D. Modelling global water use for the 21st century: The Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. Geoscientific Model Development, vol. 9, ed. 1, 175-222 p., 2016.
- WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: IAC, Boletim técnico 100,1996. 285 p.

### 3. CAPÍTULO II - FERTIRRIGAÇÃO DE PASTAGEM COM EFLUENTES

#### 3.1 Introdução

Conforme a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) a produção agropecuária com irrigação é responsável por 46% das retiradas nos corpos hídricos. Uma alternativa para reduzir o volume captado é o reúso de águas utilizadas nos processos de produção das propriedades. O uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muito anos. Existem relatos de sua prática na Grécia antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Deve-se, considerar o reúso de água como parte de um objetivo mais amplo, que é uso eficiente da água (ALMEIDA, 2010).

A disposição de efluentes agroindustriais no solo é uma técnica interessante, principalmente em condições de clima tropical e com disponibilidade de áreas, como é o caso do Brasil. O reaproveitamento de águas residuárias é realidade em alguns países, como Israel, no qual 65% do efluente sanitário tratado são utilizados na irrigação agrícola (CAPRA e SCICLONE, 2004).

A técnica do reúso agrícola de efluentes se baseia na capacidade depuradora do sistema solo-planta, que utiliza mecanismos físicos, químicos e biológicos de remoção dos poluentes contidos nas águas residuárias, porém, se feita sem critérios agrônômicos e ambientais, pode causar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e toxicidade às plantas (ERTHAL et al, 2010).

A água residuária de bovinocultura (ARB) possui características que possibilitam sua disposição no solo como fertilizante, bem como fonte de água. Essa é uma alternativa, para o não acúmulo desse material na propriedade, além de proporcionar redução de custos com fertilizantes químicos (TEIXEIRA et al, 2017). A fertirrigação com efluentes objetiva o reúso da água para a produção agrícola, aproveitando nutrientes que são fundamentais no cultivo de solos pobres como nitrogênio, potássio e fósforo. Trata-se do sistema natural com maior eficiência na remoção de poluentes, proporciona a fertilização e irrigação de diversas culturas, reduzindo a poluição ambiental e melhorando as características do solo (MATOS, 2005).

Por ser uma fonte multinutriente, as águas residuárias podem aumentar a produtividade de culturas agrícolas, sendo crescente seu uso no cultivo de forrageiras. O cultivo de uma espécie persistente, perene e produtiva, durante todo o ano e que sirva como fonte de alimento aos animais criados na propriedade, torna-se altamente desejável. As forrageiras atendem a esses requisitos, apresentando altas produções de matéria seca e exportação de nutrientes (DRUMOND e AGUIAR, 2005; MATOS, 2007; VIELMO, 2008).

Todavia, conforme MATOS (2005), a taxa de aplicação de águas residuárias deve ser estudada, para aplicar-se a dose necessária de nutrientes da cultura, pois se a demanda for excedida, o desenvolvimento da cultura pode ser comprometido, além do risco de ocasionar a poluição dos solos e das águas subterrâneas.

O Brasil apresenta características climáticas que favorecem a exploração de forrageiras tropicais com elevado potencial de produção de biomassa. As forrageiras, por se tratarem de plantas C4, são mais eficientes na realização de fotossíntese quando comparadas a plantas C3, apesar da fixação do CO<sub>2</sub> em plantas C4 possuir um maior custo energético (RAVEN et al., 2001).

As plantas forrageiras, devido a sua alta produção de massa, acima de 60 t MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, chegam a extrair mais de 900 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N em sistemas de pastejo, e mais de 1800 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N em sistemas de produção de forragem para corte, constituindo dessa forma, um excelente dreno desse nutriente. Assim, a prioridade de uso sob fertirrigação com efluentes, para a máxima produção e extração de nutrientes no solo, é de plantas C4 que sejam mantidas em crescimento vegetativo permanentemente, obtendo-se maiores taxas de extração, sem interrupção da produção (DRUMOND e AGUIAR, 2005).

Estudos relacionados ao crescimento, produção e valor nutritivo de plantas forrageiras com utilização de efluentes são, portanto, essenciais para se definir estratégias de manejo, sobretudo em relação a materiais introduzidos mais recentemente, como o capim Vaquero.

### **3.2 Objetivos**

#### **Geral**

Estudar a influência da fertirrigação com ARB sobre a produção de forragem.

#### **Específicos**

Estudar o potencial de fornecimento de nutrientes pela ARB;

Avaliar a produção de forragem do capim *Cynodon dactylon* cv. Vaquero;

Analisar o valor nutricional da forragem produzida.

### 3.3 Material e métodos

A descrição geral do experimento encontra-se no Capítulo 1. Aos 28 dias de crescimento da forrageira, foi realizado o corte da forragem a 10 cm de altura tendo como referência o nível do solo, para estimar a matéria seca de forragem produzida por hectare (Figura 5). A amostragem foi realizada utilizando um quadro de 0,25 m<sup>2</sup> de área. As amostras cortadas foram condicionadas em sacos de papel, pesadas imediatamente, e desidratadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72h (GARDNER, 1986). A relação do teor de matéria seca na matéria original permitiu determinar a Massa de Forragem (MF, em kg ha<sup>-1</sup> de MS).



**Figura 5.** Aspecto da forrageira no dia da coleta e processo de amostragem para obtenção quantidade de matéria seca produzida.

Foram calculadas as seguintes variáveis: Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF, kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de MS), Densidade da Massa de Forragem (DMF, kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> de MS) e Capacidade de Suporte (CS, UA ha<sup>-1</sup>), todas com base na matéria seca. Para o cálculo da CS, considerou-se uma oferta de forragem de 2,5% do peso vivo de uma unidade animal, e uma eficiência de 50%. As variáveis foram calculadas pelas equações a seguir, conforme DRUMOND e AGUIAR (2005).

$$TAF = \frac{MF}{n} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

TAF = Taxa de acúmulo de forragem, em kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de MS

MF = Massa de forragem, em kg ha<sup>-1</sup> de MS

n = duração do ciclo, em dias (28)

$$DMF = \frac{MF}{h} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

DMF = Densidade da massa de forragem, em kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> de MS

MF = Massa de forragem em kg ha<sup>-1</sup> de MS

h = altura do relvado, em cm.

$$CS = \frac{TAF}{OF \cdot Ef} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde

CS = Capacidade de suporte, em UA ha<sup>-1</sup>

TAF = Taxa de acúmulo de forragem, em kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de MS

OF = Oferta de forragem

Ef = Eficiência de pastejo

Após determinação da MS todas as amostras foram passadas em moinho tipo Willey, equipado com peneira de 1,0 mm de abertura. As amostras dos cinco ciclos foram mescladas, formando uma amostra composta para cada unidade experimental. O material moído foi utilizado para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e Na presentes na parte aérea da planta, seguindo as metodologias recomendadas por SILVA (2009) e ELLIOT e SNYDER, 1991.

Os teores de nutrientes determinados na matéria seca de parte aérea foram utilizados para calcular a exportação total dos elementos pela parte aérea das forrageiras (em kg ha<sup>-1</sup>) durante o período experimental, e para obter a relação entre exportação e produtividade.

Para análise do valor nutritivo da forragem, foi realizada amostragem aos 28 dias de crescimento, retirando com a mão punhados de forragem acima de 10 cm do solo, simulando o pastejo. Retirou-se aproximadamente 500g de massa fresca por amostra. Essa amostragem

foi realizada nos três primeiros ciclos de avaliação. A amostra fresca foi mantida em freezer até realizar as análises. Foram determinados os teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT), hemicelulose (HEM), extrato não nitrogenado (ENN) e extrato etéreo (EE), seguindo recomendações propostas por SILVA e QUEIROZ (2002). Todas as variáveis foram determinadas com base na matéria seca.

### 3.4 Resultados e discussão

#### 3.4.1 Produção de forragem

A maior produção de forragem permite o emprego de maior taxa de lotação na pastagem fertilizada, o que normalmente resulta em maior produção animal por unidade de área (MOREIRA et al., 2011). Foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para todas as variáveis relacionadas à produção do capim Vaquero. A comparação das médias dos tratamentos encontra-se na Tabela 8.

**Tabela 8.** Valores médios para Massa de forragem (MF), Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF), Densidade da Massa de Forragem (DMF), com valores expresso em matéria seca, e Capacidade de Suporte (CS), nos tratamentos utilizados

Tratamentos	MF	TAF	DMF	CS
	t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>	UA ha <sup>-1</sup>
T1-Adubo	16,7 b	44,85 b	51,21 b	1,99 b
T2-ARB	24,6 a	66,12 a	63,33 a	2,94 a
T3-Adubo + ARB	24,3 a	65,25 a	61,21 a	2,90 a
CV (%)	34,6	34,6	27,5	34,6

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si (p<0,05), pelo teste SNK.

Observa-se que a MF foi menor no T1, no qual houve apenas adubação mineral, e estatisticamente igual para T2 e T3. Ao contrário, ERTHAL et al. (2010), observaram uma produção de MS de Tifton 85 estatisticamente igual entre o tratamento com adubação mineral e a maior dose de ARB.

Em experimento realizado com a aplicação de dejetos líquidos de suíno no capim Tifton 85, DRUMOND et al. (2006) encontraram aumento na produção de matéria seca a medida que aumentou as doses de dejetos líquidos de suínos (DLS). Na dose de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a produção de matéria seca foi duas vezes maior, se comparada ao tratamento que recebeu somente água. Resultado semelhante foi obtido por SOARES (2016), que relatam linearidade da produção do Tifton 85 de acordo com o aumento nas doses de efluente de suinocultura.

Da mesma forma, SILVA et al. (2018), encontraram maior produção de MS do capim Vaquero sob aplicação de  $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de água residuária de graxaria em relação ao tratamento sem adubação, registrando uma produção de  $23 \text{ t ha}^{-1}$  de MS. Esses resultados indicam que efluentes como a ARB podem substituir a adubação mineral em relação à produção de MS.

O T2 foi o único que alcançou produção próxima da esperada, que era de  $25 \text{ t ha}^{-1}$  ano de MS, permitindo uma CS de  $2,9 \text{ UA ha}^{-1}$ , indicando que a disponibilização dos nutrientes houve pela ARB, favoreceu o aproveitamento dos mesmos pela planta para produção de massa. Além disso, a presença de outros nutrientes na ARB pode ter favorecido um melhor crescimento da planta neste tratamento. O mesmo não ocorreu no T1, possivelmente, devido às maiores perdas dos nutrientes presentes na fonte mineral, como por exemplo, adsorção específica do fósforo às partículas de argila. De acordo com SCHERER e BALDISSERA (1994), o fósforo contido nas águas residuárias é lentamente disponibilizado, tornando-se menos sujeito às reações de adsorção e fixação pelos óxidos de ferro e alumínio presentes.

No T3 o capim Vaquero produziu apenas metade do esperado, que era  $50 \text{ t ha}^{-1}$  ano de MS, possivelmente devido ao excesso de potássio aplicado neste tratamento, cerca de  $7,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de KCl, que pode ter gerado antagonismo com outros nutrientes. Conforme FAGERIA (2001), a interação entre nutrientes em plantas cultivadas ocorre quando a oferta de um nutriente afeta a absorção e utilização de outros. Esse tipo de interação é mais comum quando um nutriente está em excesso de concentração no meio.

As plantas tendem a absorver potássio em excesso se o mesmo estiver disponível no solo e se os locais de troca no solo apresentarem uma saturação de potássio acima do normal, podendo haver uma redução na disponibilidade de outros elementos como o cálcio, magnésio, sódio e boro (BOOM, 2002).

BERGMANN (1992) e FAGERIA (2001) descrevem que, plantas podem tolerar altas concentrações de potássio sem apresentar distúrbios. Porém, seu excesso pode causar efeitos indiretos pela deficiência induzida de outros elementos, como o cálcio e o magnésio, portanto, com ação antagonista sobre sua absorção. As mudanças são iniciadas no nível subcelular, o que pode manifestar-se através de alterações nas taxas de respiração, fotossíntese, divisão e expansão celular, que se refletem no rendimento final de uma cultura.

O mesmo comportamento da MF foi verificado para as variáveis TAF, DMF e CS, sendo maiores nos tratamentos com ARB, chegando a  $66 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de MS no T2. Esse valor de TAF foi menor que o encontrado por PAULA et al. (2010), que trabalhando com capim Vaquero adubado e irrigado, observaram uma TAF média de  $103 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de MS,

porém, os autores relatam que houve ciclos com mais de 30 dias de descanso, o que pode ter inflacionado a estimativa.

SILVA et al. (2012), relatam uma TAF média anual para o capim de Vaquero de  $117 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de MS, quando utilizaram um período de descanso de 28 dias e adubação com  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N e  $\text{K}_2\text{O}$ , no município de Piracicaba, SP. Em trabalho de OLIVEIRA (2014), foi observada uma TAF de  $56,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de MS, em pastagem de capim Vaquero fertirrigada com efluente de graxaria, fornecendo  $938 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de N, valor próximo do encontrado no presente trabalho.

Entre os principais fatores estruturais está a densidade de forragem. A DMF foi menor no tratamento com adubação mineral, apresentando  $51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  de MS, enquanto os tratamentos com ARB chegaram, em média a  $62 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  de MS. No entanto, esses valores são menores que o encontrado por ANDRADE et al. (2012), que relatam uma DMF de  $206 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  de MS para o capim Vaquero, adubado para produzir  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de MS. Essa diferença evidencia a influência da intensificação da produção, com maiores níveis de adubação, e ainda, o potencial do capim Vaquero para sistemas intensivos.

Nota-se que o capim Vaquero apresenta boa resposta à fertirrigação com efluentes, especialmente ARB, em relação aos parâmetros produtivos. O efluente de bovinocultura mostrou-se uma boa fonte de nutrientes para a pastagem, permitindo atingir a produção esperada. Logo, a ARB pode ser utilizada para substituir ou, em casos de metas mais altas de produção, complementar a adubação mineral, reduzindo o custo de adubação e aproveitando essa fonte de água e nutrientes.

### **3.4.2 Teores (extração) e conteúdos (exportação) de nutrientes na forragem**

De acordo com GOMIDE (1986), a composição mineral de plantas forrageiras varia segundo uma série de fatores, destacando-se a idade da planta, o tipo de solo e as adubações realizadas, as diferenças genéticas entre espécies e variedades, as estações do ano e a sucessão de cortes. Em sequência são apresentados os resultados da concentração de macronutrientes e sódio na parte aérea do capim Vaquero. Os tratamentos diferiram em relação aos teores de N e Na, na forragem. Para P, K, Ca, Mg e S, não houve diferença significativa (Tabela 9).

**Tabela 9.** Valores de F por postos (on-ranks), para os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Na determinados na matéria seca do capim Vaquero

Fonte de variação	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Tratamentos	5,42*	3,15 <sup>Ns</sup>	5,6 <sup>Ns</sup>	0,69 <sup>Ns</sup>	3,65 <sup>Ns</sup>	0,47 <sup>Ns</sup>	33,6**
CV (%)	34,9	46,4	41,1	56,7	40,7	57,6	28,8

\* e \*\* Valor F significativo a 5 e 1% de probabilidade; CV - coeficiente de variação.

As médias da extração (teores) de nitrogênio e sódio encontram-se na Tabela 10, na qual é possível observar que a extração desses elementos foram maiores nos tratamentos 2 e 3, fertirrigados com ARB, chegando em média a 30 kg de N e 31 kg de Na por tonelada de matéria seca produzida.

**Tabela 10.** Médias da concentração N, P, K, Ca, Mg, S e Na, determinados na matéria seca de parte aérea do capim Vaquero de acordo com os tratamentos utilizados

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
kg t <sup>-1</sup> de MS							
T1-Adubo	25,2 b	2,2	21,7	6,8	2,3	3,9	14,0 b
T2-ARB	29,4 a	2,6	23,5	7,2	3,0	4,1	33,6 a
T3-Adubo + ARB	30,3 a	2,7	27,1	7,5	2,9	3,7	28,3 a

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si (p<0,05), pelo teste SNK.

Os teores de N encontrados podem ser considerados também na estimativa da exportação, quando se trata de sistemas de produção de forragem para fenação ou ensilagem, bem como em sistema intensivo com pastejo rotacionado, no qual se alcança eficiência de pastejo superior a 80%. Assim, a exportação do capim Vaquero sob fertirrigação com ARB, foi superior à descrita por DRUMOND e AGUIAR (2005) e, CORSI e MARTHA JÚNIOR (1997), que relatam teores de N de 25 g kg<sup>-1</sup> de MS para forrageiras do gênero *Cynodon*. MATOS et al. (2010)<sup>b</sup>, obtiveram uma extração de N ainda maior pelo capim Tifton 85, em sistema alagado construído para tratamento de efluente de laticínio, chegando a 34,6 kg t<sup>-1</sup> de MS, evidenciando o potencial das gramíneas do gênero *Cynodon* para utilização sob aplicação de efluentes.

Os maiores teores de N dos tratamentos com ARB deve estar relacionada à fonte de nitrogênio, visto que, no tratamento com adubação mineral a extração foi somente 25 kg t<sup>-1</sup> de MS. Ou seja, o efluente deve ter sido mais eficiente no fornecimento de N para a forrageira, o que corrobora com o fato de que a proteína bruta, também foi maior nos tratamentos fertirrigados com ARB. Além disso, a aplicação parcelada do efluente durante o período de crescimento da planta pode ter otimizado a absorção dos nutrientes, ao longo do ciclo. Os

menores teores de N em T1 sugerem que as perdas de N por volatilização de amônia na adubação com ureia tendem a ser maiores que na adubação com ARB, mesmo sob irrigação.

Considerando que a concentração na parte aérea e as produtividades do capim Vaquero se mantenham durante o ano, as estimativas de exportação seriam de 735 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N e 425 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de Na, na condição de fertirrigação com ARB e com adubação mineral, respectivamente. Esse ponto de vista é conservador, visto que o cultivo ocorreu no período de outono-primavera, épocas que o crescimento pode ser limitado pelo clima.

Embora a exportação de N tenha sido menor no T1, trata-se de um valor superior ao descrito por MATOS et al. (2005), para o milheto, que sob aplicação de água residuária do processamento de café, exportou 207 kg ha<sup>-1</sup>. Isso indica que além do efeito da fonte de N, há também a capacidade intrínseca da espécie forrageira em extrair esse nutriente do solo, que se relaciona com sua produção de massa.

A taxa de aplicação de N no T1 e no T2 foi de 963 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, dessa forma a forrageira extraiu no T1 44%, e no T2, 76% do N aplicado. Em estudo de OLIVEIRA et al. (2019), a maior exportação de N pelo capim Tifton 85 foi de 249 kg ha<sup>-1</sup> de N com dosagem aplicada de 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, através de água residuária de laticínio, o que significa que a forrageira removeu 83% do N aplicado, superior ao encontrado neste trabalho, para o capim Vaquero.

PRIMAVESI et al. (2004), avaliaram a extração de macronutrientes pelo capim coastcross utilizando doses crescente de N aplicadas via ureia, e obtiveram uma extração de 27,3 kg t<sup>-1</sup> de N na MS, quando aplicaram 1000 kg ha<sup>-1</sup> de N. Nessa dose a forrageira produziu 41 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de MS, o que configura uma exportação de 1120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, sendo superior ao encontrado neste estudo, que foi 735 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N. Essa diferença deve-se possivelmente à menor produção do capim Vaquero em relação ao coastcross.

A maior extração de N no T2 não se refletiu em aumento na produção de massa, possivelmente devido ao excesso de potássio aplicado em virtude do suprimento de P através do efluente. No T3, o efeito do excesso de potássio deve ter sido ainda mais pronunciado, visto que foi aplicado o dobro de K em relação ao T1 e T2, não permitindo que a extração de N se convertesse em matéria vegetal.

Segundo GOMIDE (1986), adubações com altas doses de potássio devem ser evitadas visando menor interferência na absorção de cálcio e magnésio, impedindo uma resposta de produtividade pela planta. Considerando que a ARB apresenta o K em maior concentração, em relação aos demais elementos, deve-se, em condições reais de manejo, utilizá-lo como critério, evitando assim tais problemas nutricionais. Reforça-se esse critério ainda pelo seguinte fato: de acordo com SCHERER (2001), o potássio no adubo orgânico se

encontra na forma iônica, por ele não fazer parte de nenhum composto orgânico estável, sendo prontamente disponível para absorção pelas plantas, ou seja, o K aplicado via ARB, estará disponível na solução do solo tão logo seja aplicado, podendo causar os efeitos adversos descritos.

No T1, a média da concentração de K foi de 21.7, no T2 23.5, e no T3 foi de 27 g kg<sup>-1</sup> de MS (Tabela 10). Essa diferença não foi significativa, no entanto, essas concentrações podem ser consideradas altas, pois, conforme GOMIDE (1986), as concentrações normais de potássio variam de 15 a 20 g kg<sup>-1</sup> em plantas forrageiras com bom suprimento desse nutriente. O autor ressalta que, adubações com altas doses de potássio devem ser evitadas para prevenir a absorção de luxo, que resulta em acúmulo do nutriente na planta, sem o correspondente aumento na produção de forragem.

A extração de sódio pela forrageira foi significativamente maior nos tratamentos fertirrigados com ARB, chegando a 33 e 28 g kg<sup>-1</sup> de MS, para T2 e T3, respectivamente. No T1, essa extração foi de 14 g kg<sup>-1</sup> de MS. Em estudo de OLIVEIRA et al. (2019), também foi observada maior remoção de sódio pelo capim Tifton 85 quando cultivado sob aplicação de água residuária de laticínio, em relação ao cultivado com adubação mineral, extraindo em média nos três ciclos de produção, 3,0 e 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de Na, respectivamente.

O valor encontrado para extração de sódio pelo capim Vaquero foi superior à relatada por ERTHAL et al. (2010). Estudando a concentração de sódio na parte aérea do capim Tifton 85 sob aplicação de ARB, os autores encontraram uma extração de apenas 1,5 g kg<sup>-1</sup> para a maior dose de efluente utilizada, que foi o equivalente a 1779 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

KORNDORFER (2007) descreve que a maioria das espécies que utilizam as rotas C4 de fixação de carbono, requer íons sódio, por estar envolvido na transferência de metabólitos entre os cloroplastos das células do mesófilo e da bainha vascular das plantas. SOUSA et al. (2010), avaliando os efeitos da salinidade da água de irrigação sobre o acúmulo de macronutrientes e sódio na cultura do milho, observaram que em maior salinidade, os teores de Na da folha aumentaram. No entanto, em trabalho de GARCIA et al. (2012), aplicando efluente de esgoto doméstico tratado em capim Marandu e Tifton 85, o sódio e o potássio foram, respectivamente, o elemento extraído em menor e maior quantidade por ambas as forrageiras.

Diante dessa análise, pode-se concluir que o capim Vaquero apresentou alta taxa de extração de nitrogênio e sódio quando fertirrigado com efluente de bovinocultura. Conforme QUEIROZ et al., (2004<sup>b</sup>), a alta capacidade de extração de nutrientes, bem como de sódio é uma característica desejável para uma gramínea forrageira a ser utilizada em sistema de

fertirrigação com efluente, pois, minimiza possíveis problemas de salinização e sodificação do solo, contribuindo, assim, para a sustentabilidade do sistema.

Com as informações atualizadas sobre as quantidades extraídas pela forrageira e, de posse dos teores contidos no solo é possível fazer o balanço nutricional do sistema de forma segura, aplicando somente o necessário, a fim de atingir a produção de forragem esperada e reduzir a perda de nutrientes por lixiviação.

### 3.4.3 Valor nutritivo da forragem

Os cultivares e híbridos do gênero *Cynodon* apresentam, em geral, alta produtividade e elevado valor nutritivo. Neste estudo foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para as características bromatológicas: proteína bruta, fibra em detergente neutro, hemicelulose e extrato não nitrogenado, conforme exposto na Tabela 10.

**Tabela 11.** Valores de F por postos (on-ranks), para as variáveis proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT), hemicelulose (HEM), extrato não nitrogenado (ENN) e extrato etéreo (EE)

Fonte de variação	PB	FDN	FDA	NDT	HEM	ENN	EE
Tratamentos	10,3*	6,94*	2,81 <sup>Ns</sup>	0,38 <sup>Ns</sup>	5,63*	3*	0,33 <sup>Ns</sup>
CV (%)	34,6	34,6	47,6	60	35,9	38,3	62

\* Valor F significativo a 5 % de probabilidade; CV - coeficiente de variação.

De acordo com a comparação das médias (Tabela 11), a PB no capim Vaquero foi maior nos tratamentos 2 e 3, fertirrigados com ARB, chegando a 26% de PB, enquanto no T1, com adubação mineral, esse valor caiu para 22%. Esse resultado indica que a ARB foi uma boa fonte de nitrogênio, pois, conforme TAIZ e ZEIGER (2013), o N é fundamental para que ocorra a síntese proteica e a ativação de enzimas para a produção vegetal, formação de novos tecidos e, conseqüentemente, um acréscimo na qualidade nutricional das plantas.

**Tabela 12.** Valores médios para as variáveis: proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), nutrientes digestíveis totais (NDT), hemicelulose (HEM), e extrato não nitrogenado (ENN), em percentagem, na base da matéria seca

<b>Tratamentos</b>	<b>PB</b>	<b>FDN</b>	<b>HEM</b>	<b>ENN</b>
T1-Adubo	22,3	b 69,3	a 35,7	a 52,5
T2-ARB	26,0	a 65,5	b 33,1	b 48,8
T3-Adubo + ARB	25,4	a 65,0	b 33,2	b 50,4
CV (%)	34,6	34,6	35,9	62

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si ( $p < 0,05$ ), pelo teste SNK.

VAN SOEST (1994), relatou que teores de PB acima de 7% viabilizam o consumo da forrageira, e que valores abaixo deste percentual podem limitar a digestibilidade dos nutrientes e diminuir a ingestão de alimentos volumosos.

Os valores de PB encontrados nesse estudo são pouco superiores aos de ANDRADE et al. (2012), que encontraram teores médios de 22% de PB no capim Vaquero, e aos de MACHADO (2013), que obteve PB de 18%, no capim vaqueiro adubado com biofertilizante suíno. Teores de proteína bruta elevados como esses, são desejáveis para suprir as exigências proteicas dos ruminantes, visto que a pastagem é a forma mais econômica de atender a demanda de proteína dos animais (SILVA et al., 2008).

CARVALHO (2018), avaliou parâmetros bromatológicos do capim Vaquero, sob aplicação de efluente de suinocultura, e encontrou PB de 13,7% na dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N fornecidos via efluente, valor inferior observado neste trabalho. Esse menor teor de proteína, deve-se, possivelmente à menor adubação nitrogenada da pastagem.

Ressalta-se que, são escassos os estudos da composição bromatológica de forrageiras com adubação acima de 700 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, e que neste trabalho, o tratamento que apresentou melhores valores de PB e FDN, a forrageira foi cultivada sob aplicação de 963 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, fornecidos através de efluente de bovinocultura. ALVIM et al. (1998), avaliaram o capim coastcross (*Cynodon dactylon*) sob diferentes doses de nitrogênio, e encontraram média de 23% de PB com fertilização de 750 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Esses resultados confirmam a alta resposta das forrageiras do gênero *Cynodon*, à adubação nitrogenada, não somente pela produção de massa, mas pela maior qualidade da forragem.

Em relação à FDN, houve redução da mesma com a aplicação do efluente, sendo registrada a média de 65% para T2 e T3, e 69% para o T1. A fibra é um termo usado para estabelecer um conceito puramente nutricional, sendo definida como a fração indigestível ou de lenta digestão do alimento que ocupa espaço no trato gastrointestinal (BERCHIELLI,

2006). Espera-se, portanto, que a forragem produzida com adubação mineral seja menos digestível, já que uma maior FDN, indica normalmente maior lignificação da fibra.

Contudo, os valores de FDN encontrados, são menores que o observado por TAFFAREL et al. (2014). Os autores avaliaram o capim Tifton 85 com idade de rebrota de 28 dias, e observaram teor de FDN de 75%. Esse conteúdo elevado de parede celular presente em gramíneas tropicais está associado a aspectos anatômicos, como a alta proporção de tecido vascular característicos de plantas C4 (VAN SOEST, 1994).

SANTOS et al. (2017), estudando o valor nutritivo da pastagem de capim Marandu, fertirrigada com efluente de esgoto tratado, relatam que o uso constante do efluente, combinado com níveis crescentes, resultou em produção de forragem com melhor qualidade nutricional em relação à proteína bruta, próximo de 16% e FDN, em média 60%. ANDRADE et al. (2012), relatam uma média de 76,7% de FDN, para o capim Vaquero adubado com 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio, valor maior que o encontrado neste trabalho.

Assim como a FDN, a percentagem de hemicelulose também foi maior no T1, chegando a 35%, semelhante ao que relatam MARCHESAN et al. (2013), que observaram uma média de 38% de HEM no capim Tifton 85. Esse resultado evidencia que o aumento da parede celular ocorreu principalmente devido ao aumento nos teores de hemicelulose e não lignina ou celulose, visto que os valores encontrados para FDA não diferiram, o que é desejável nutricionalmente.

O extrato não nitrogenado foi maior no T1, com 52%, em relação ao T2 com 48%. O ENN representa os carboidratos de mais fácil digestão, como os açúcares, o amido e a pectina. Dessa forma, o maior teor de ENN no T1, deve estar relacionado ao conteúdo de pectina na parede celular, visto que neste tratamento a FDN também foi maior. Conforme VAN SOEST (1994), a pectina é um polissacarídeo amorfo contido na parede celular, mas que é totalmente e rapidamente degradável pelos microrganismos ruminais.

De acordo com os resultados, nota-se que a forragem de capim Vaquero apresentou ótimo valor nutricional, marcado pelos altos teores de PB, principalmente quando cultivado sob aplicação de ARB. Portanto, a ARB influenciou positivamente o valor nutritivo do capim Vaquero, propiciando maior teor de PB e menor FDN da forragem.

### **3.5 Conclusões**

O efluente de bovinocultura mostrou-se uma boa fonte de nutrientes para a pastagem, permitindo atingir a produção esperada para o capim Vaquero.

Em relação à produção de forragem, a ARB pode ser utilizada para substituir ou complementar a adubação mineral.

O uso do efluente influenciou positivamente o valor nutritivo do capim Vaquero, propiciando maior teor de PB e menor FDN da forragem.

### 3.6 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, 2017. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Atlas\\_Irigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Atlas_Irigacao-UsodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf)> Acesso: 05 abril 2018
- ALMEIDA, O.A. Qualidade da água de irrigação. Livro científico (ALICE). Embrapa Mandioca e Fruticultura, 234 p., 2010.
- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; BOTREL; M. A.; MARTINS, C. E. Resposta do coastcross (*Cynodon dactylon* L. Pers.) a diferentes doses de nitrogênio e intervalos de cortes. Revista Brasileira de Zootecnia, v.27, p.833-840, 1998.
- ANDRADE, A.S.; DRUMOND, L.C.D.; APPELT, M.F.; MOREIRA, D.D.; ARAÚJO, F. C.; GOD, P.I.V.G. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagens fertirrigadas. Global Science and Technology, v. 5, n. 2, p. 56-68, 2012.
- BERCHIELLI, T. T.; RODRIGUEZ, N. M.; OSÓRIO NETO, E. Nutrição de ruminantes. 1 ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 583p.
- BERGMANN, W. Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis. Gustav Fischer Publishing House Jena, New York, ed. 2, p. 741, 1992.
- BOOM R. Solo saudável, pasto saudável, rebanho saudável: uma abordagem equilibrada. I Conferência virtual sobre produção orgânica de bovinos de corte. Embrapa, 2002.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management, v.68, p.135-149, 2004.
- CARVALHO J.P.F. Avaliação da composição química do solo, da produtividade e da composição bromatológica da forragem de *Cynodon dactylon* cv. Vaquero submetida a doses crescentes de nitrogênio, aplicadas na forma de dejetos de suínos. Dissertação Mestrado, Unioste, 2018, 80p.
- CORSI, M.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. Anais... In.: Simpósio sobre manejo da pastagem, v.14. Piracicaba: FEALQ, p. 161-193. 1997.
- DRUMOND, L.C.D.; AGUIAR, A.P.A. Irrigação de Pastagem. 1 ed. Uberaba, 2005. 210 p.
- DRUMOND L.C.D. Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico do sistema e produção de capim tifton 85. Tese doutorado. UNESP, 2003. 120p.
- ERTHAL, V. J.; FERREIRA, P. A.; PEREIRA, O. G.; MATOS, A. T. de. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertirrigadas com água residuária de bovinocultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.14, n. 5, p. 458–466, 2010<sup>b</sup>.
- ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.39, 1118-1119 p., 1991.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition, New York, v.24, p.1269-1290, 2001.
- GARCIA O.; GIOVANNI, R.; MICHELLE M.; CECÍLIO, R.A., REIS, E.F.; BAUER, M.O.; RANGEL, O. J. P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras

fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, 2012.

GARDNER A. L. Técnicas de pesquisa em pastagens e aplicabilidade de resultados de produção. Embrapa – CNPGL, 197 p., 1986.

GOMIDE, J.A. Adubação fosfatada e potássica de plantas forrageiras. In: PEIXOTO, A.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed.). *Pastagens: fundamentos da exploração racional*. Piracicaba: Fealq, p. 155-164, 1986.

KORNDORFER, G. H. Elementos benéficos. In: Fernandes, M. S. *Nutrição mineral de plantas*, cap.14, p.355-370. Viçosa: SBCS, 2007.

MARCHESAN, R.; PARIS, W.; ZIECH, M. F.; PROHMANN, P. E.F.; ZANOTTI, J.; HARTMANN, D.V. Produção e composição química-bromatológica de Tifton 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers) sob pastejo contínuo no período hibernar. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n.4, p. 1933-1942, 2013.

MATOS, A.T. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental / UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.

MATOS, A.T. de. Disposição de águas residuárias no solo. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. (Caderno Didático, 38), 140 p., 2007.

MATOS, A.T.; PINTO, A.B.; PEREIRA O.G.; BARROSO F.M. Extração de nutrientes por forrageiras cultivadas com água residuária do beneficiamento do cafeeiro. *Revista Ceres*, v.52, n. 303, p.675-688, 2005.

MOREIRA, L.M.; SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A.; MORAES, R.V.; MISTURA, C. Produção animal em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.63, n.4, p.914-921, 2011.

OLIVEIRA J.F.; FIA R.; FIA F.R.L.; RODRIGUES F.N.; OLIVEIRA L.F.C.; FILHO L.C.A.L. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon* sp.). *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 155-154, 2019.

PAULA C.G.; PAULA L.G.; DRUMOND L.C.D.; GOOD P.I.G.; APPELT M.F. Produção de capim vaquero (*Cynodon dactylon* cv. Vaquero) irrigado e submetido ao manejo intensivo do pastejo. *Anais. 39º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA)*, Vitória, ES, 2010.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. D. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G.; FREITAS, A. R. Adubação nitrogenada em capim-Coastcross: Efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. Artigo em periódico indexado (ALICE). Embrapa Pecuária Sudeste, 2004.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A.; LEMOS, A. L. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Engenharia na Agricultura*, v.12, n.2, p.77-90, 2004.

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., EICHHORN, S.E. *Biologia Vegetal*. Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro, 2001, 906p.

SANTOS, G.O.; FARIA, R.T.D.; RODRIGUÊS, G.A.; DANTAS, G.D.F.; DALRI, A.B.; PALARETTI, L.F. Forage yield and quality of marandugrass fertigated with treated sewage wastewater and mineral fertilizer. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.39, n. 4, p.515-523, 2017.

- SILVA, F.C. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627p., 2009.
- SILVA, P. L.; OLIVEIRA, D. G.; MELO, M. C.; CAMARGO, D. D.; DRUMOND, L.C.D. Avaliação de parâmetros produtivos do capim vaquero fertirrigado com água residuária de agroindústria. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v.4, n. 3, p. 353-0358, 2018.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235 p.
- SILVA, S. C.; JÚNIOR, D.N.; EUCLIDES, V.P.B. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. 1. ed. Viçosa: Suprema, 2008. 115 p.
- SOARES A.P. Produção e extração de nutrientes pelo capim Tifton 85 submetido à aplicação de dejetos líquidos de suíno. Tese (doutorado). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2016. 79 p.
- TAFFAREL, L. E.; MESQUITA, E. E.; CASTAGNARA, D. D.; RABELLO DE OLIVEIRA, P. S.; OLIVEIRA, N.T.E D.; GALBEIRO, S.; COSTA, P. B. Produção de matéria seca e valor nutritivo do feno do tifton 85 adubado com nitrogênio e colhido com 35 dias. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 15, n.3, p. 544-560, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5.ed. Porto Alegre, Artmed. 2013. 918 p.
- TEIXEIRA F.O.P.; BOTELHO S.A.; MELO L.A.; FIA R.; PRADO G.A. Efeito da disposição de efluentes da bovinocultura no solo e na biomassa vegetal. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 04, p. 326-335, 2017.
- VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. New York: Cornell University Press. 1994. 476pp

#### **4. CONCLUSÃO GERAL**

A água residuária de bovinocultura pode ser utilizada na fertirrigação de pastagem, pois, propicia aumento na produtividade e valor nutritivo da forragem, permitindo uma maior capacidade de suporte da pastagem com um custo menor se comparado ao uso de adubos convencionais. Além disso, com o emprego de critérios agronômicos e monitoramento do solo e da solução do solo, os riscos de contaminação de águas subsuperficiais são mínimos.