

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO,
VIA ASPERSÃO, NO SOLO E EM *BRACHIARIA***

Gilmar Oliveira Santos
Engenheiro Ambiental

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO,
VIA ASPERSÃO, NO SOLO E EM *BRACHIARIA***

Gilmar Oliveira Santos

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Agronomia
(Ciência do Solo).**

2015

Santos, Gilmar Oliveira
S237a Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em *Brachiaria* / Gilmar Oliveira Santos. – – Jaboticabal, 2015
xix, 197 p. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

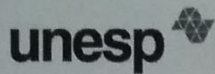
Orientador: Rogério Teixeira de Faria

Banca examinadora: Alexandre Barcellos Dalri, Luiz Fabiano Palaretti, Tamara Maria Gomes, Edson Eiji Matsura
Bibliografia

1. Água residuária. 2. Fertirrigação. 3. Forragem. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.67:633.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

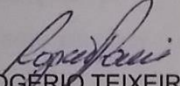
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

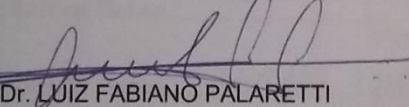
TÍTULO: APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO, VIA ASPERSÃO, NO SOLO E EM BRACHIÁRIA

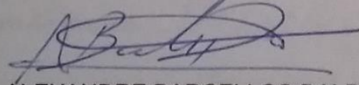
AUTOR: GILMAR OLIVEIRA SANTOS

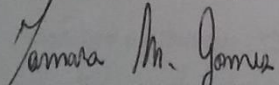
ORIENTADOR: Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

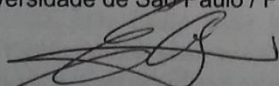
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. LUIZ FABIANO PALARETTI
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. TAMARA MARIA GOMES
Universidade de São Paulo / Pirassununga/SP


Prof. Dr. EDSON EIJI MATSURA
Universidade Estadual de Campinas / Campinas/SP

Data da realização: 03 de julho de 2015.

Dados curriculares do autor

Gilmar Oliveira Santos, nascido em Gurinhatã-MG em 31 de Janeiro de 1988, é Graduado em Engenharia Ambiental pela Fundação Educacional de Fernandópolis - FEF (2009), Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Câmpus Ilha Solteira (2012) e Doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Câmpus Jaboticabal. Atualmente é professor Adjunto da Universidade de Rio Verde. Suas principais atividades desenvolvidas até o momento incluem o planejamento hidro-agrícola e ambiental de bacias hidrográficas com ênfase no reaproveitamento de efluente de esgoto tratado para fins de fertirrigação. Possui vários trabalhos publicados no Brasil e exterior, destacando-se a editoração o livro: "Tópicos para manejo da agrícola e ambiental da água e do solo". Um de seus trabalhos de repercussão nacional foi o *software* Sistema para Manejo da Agricultura Irrigada - SMAI (Versão 1.0 e 2.0) o qual pode ser consultado em <http://clima.feis.unesp.br/smai>.

***E que passe a ser vida o que antes era sonho...
...por traz dos sonhos, há sacrifícios, que as pessoas não veem.***

“Hoje estou muito melhor do que ontem...”

Idebrair Baltazar dos Santos (Baiano)

Dedico

Ao meu pai Idesi Baltazar dos Santos, à minha mãe Lourdes Aparecida Oliveira Santos, ao meu irmão Duílio Júlio Oliveira Santos, à minha cunhada Mariane Santos Ferreira Santos, aos meus sobrinhos e afilhados Felipe Ferreira Santos e Fabiano Francisco Ferreira Santos e a minha futura esposa Adriana Guimarães Lacerda, que no período de desenvolvimento deste trabalho tiveram paciência e compreensão, além de muito carinho, amor e atenção, abrindo mão de diversas atividades para assegurar o meu bem estar e ao mesmo tempo me ensinando através de seus exemplos de vida, “*Lutar sempre, Desistir nunca*”.

Agradecimentos

À DEUS, pelo conhecimento, saúde, força e coragem, principalmente nos momentos mais difíceis.

A Universidade Estadual Paulista (FCAV-UNESP) pela oportunidade e disponibilidade de materiais para que o trabalho pudesse acontecer.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela confiança durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor, orientador e amigo Dr. Rogério Teixeira de Faria, por sua valiosa orientação, apoio, confiança e dedicação.

A todos da família Oliveira e Santos, e aos que de forma direta e indireta contribuíram para a realização deste.

Aos amigos, colegas e professores Gilberto A. Rodriguês, Geffson F. Dantas, Miquéias G. dos Santos, João C. Trentin, Alexandre B. Dalri, Luiz F. Palaretti, José R. Zanini, Davi L. Rosalen, Ronaldo J. de Barros, Davi A. Trevizolli, Anderson de Sousa, a todos os estagiários, e em especial, aqueles que tiveram paciência de compartilhar o conhecimento e me auxiliar nas atividades de campo, que confesso, que não foi fácil.

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro, credibilidade e confiança na proposta apresentada.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal (SAAEJ) na pessoa do Aparecido Hojaij, agradeço pela disponibilidade do efluente de esgoto tratado.

A Universidade de Rio Verde (UniRV) pelo reconhecimento e valorização do meu trabalho como profissional.

Aos meus colegas de trabalho da UniRV pela paciência e auxílio nas atividades no período de adaptação e “tensão” pré-defesa.

Ao Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira pelo auxílio na análise estatística.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para que este trabalho se tornasse uma realidade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	XI
ABSTRACT	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XV
LISTA DE TABELAS	XX
LISTA DE FIGURAS	XXV
1. INTRODUÇÃO	29
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1. Águas residuárias na agricultura.....	31
2.1.1. Aspectos legais para uso de efluente de tratamento de esgoto.....	33
2.1.2. Potencial de reuso de efluente de esgoto tratado	35
2.1.3. Aspecto ambiental.....	36
2.2. Produção de forragem	37
2.2.1. Qualidade de forragem	40
2.2.2. Altura de planta	42
2.2.3. Relação folha/colmo.....	43
2.3. Características do solo.....	44
2.3.1. Química do solo	44
2.3.2. Solução do solo.....	45
2.3.3. Física do solo	47
2.3.4. Água no solo	48
2.4. Índice de reflectância por diferença normatizada (NDVI).....	49
3. MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1. Localização da área de estudo	51
3.2. Solo e classificação climática.....	51
3.3. Sistema de aspersão	53
3.4. Efluente de tratamento de esgoto	55
3.5. Teste dos aspersores.....	56
3.6. Infiltração de água no solo	57

3.7. Avaliação do efluente.....	58
3.8. Avaliação química do solo	59
3.9. Avaliação física do solo.....	62
3.10. Resistência mecânica do solo à penetração	64
3.11. Estabelecimento da forrageira	64
3.12. Manejo nutricional	65
3.13. Manejo de irrigação.....	65
3.14. Potencial de área irrigada	66
3.15. Monitoramento da irrigação, condições hídricas do solo e solução do solo	67
3.16. Manejo e avaliação da forragem	70
3.17. Exportação de nutrientes	72
3.18. Taxa de lotação animal	73
3.19. Índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI).....	73
3.20. Análise dos dados.....	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
4.1. Teste de aspersores	76
4.2. Monitoramento climático	79
4.3. Análise do efluente.....	82
4.4. Manejo da Irrigação	87
4.5. Condições hídricas do solo	89
4.6. Manejo nutricional	93
4.7. Características físicas do solo.....	96
4.7.1. Curva característica, textura e densidade	96
4.7.2. Infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica de água no solo	98
4.8. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)	101
4.9. Elementos-traço e características químicas do solo	103
4.10. Solução do solo.....	122
4.11. Produtividade de forragem	134
4.11.1. Altura de plantas	144
4.11.2. Relação folha-colmo	149

4.11.3. Qualidade de forragem	153
4.11.4. Exportação de nutrientes	164
4.11.5. Lotação animal.....	172
4.12. Índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI).....	174
4.13. Potencial de área fertirrigada	177
5. CONCLUSÕES	181
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	183

APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO DE ESGOTO, VIA ASPERSÃO, NO SOLO E EM *BRACHIARIA*

RESUMO

O uso de efluente de esgoto tratado (EET) no meio agrônômico favorece no aumento da produtividade e qualidade da forrageira, além da expansão das áreas irrigadas de forma sustentável, mesmo em regiões que possuem o direito de uso da água já comprometido. Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito da aplicação de efluente de tratamento de esgoto via irrigação por aspersão convencional, no solo e no cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante os anos de 2013 e 2014 em Jaboticabal, SP, Brasil. Utilizou-se um sistema de aspersão convencional com três linhas laterais e lâmina uniforme de irrigação, mas gradual de EET, em seis tratamentos e quatro repetições, para aplicar as seguintes frações do EET em água: E5=1,0, E4=0,87, E3=0,6, E2=0,31, E1=0,11 e E0=0,0. No período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 foram avaliadas 26 colheitas de forragem, sendo analisadas a produtividade e qualidade de forragem (proteína bruta, fibra em detergente neutro, macro e micronutrientes), altura de plantas e a relação folha-colmo nos diferentes tratamentos. Foram realizadas também análises de solo, da solução do solo e do EET durante todo o período de condução do experimento. Além das análises programadas foi determinada a taxa de locação animal e analisada a correlação entre índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e rendimento de forragem. O EET da ETE de Jaboticabal continha baixas concentrações de nitrogênio ($53,7 \pm 7,6 \text{ mg L}^{-1}$), sódio ($54,8 \pm 9,5 \text{ mg L}^{-1}$), potássio ($16,6 \pm 2,1 \text{ mg L}^{-1}$), cálcio ($14,0 \pm 1,6 \text{ mg L}^{-1}$), magnésio ($5,0 \pm 1,0 \text{ mg L}^{-1}$), fósforo ($0,9 \pm 0,3 \text{ mg L}^{-1}$), razão de adsorção de sódio ($3,3 \pm 0,6$) e condutividade elétrica ($0,46 \pm 0,01 \text{ dS m}^{-1}$) com baixo potencial de salinização e sodificação classificado como C2S1. Após 24 meses de experimentação, a aplicação do efluente forneceu até $1.132 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio e até $464 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de potássio, além de outros macronutrientes e micronutrientes essenciais para a nutrição da forrageira. Concentrações equivalentes de nitrogênio, fósforo e potássio no tratamento com média concentração de efluente (E3), em relação ao tratamento com adubação mineral (E0), apresentaram qualidade química do solo igual ou superior, indicando possibilidade de redução dos custos com fertilizante pela aplicação de efluente. A *Brachiaria brizantha* respondeu positivamente à aplicação do EET, com aumento de produtividade anual de biomassa seca de 31,3 para $47,4 \text{ t ha}^{-1}$ em 2013, e de 25,7 para $56,9 \text{ t ha}^{-1}$ em 2014, nos tratamentos E1 a E5, correspondentes aos incrementos de 51 e 121%, respectivamente. Houve estacionalidade marcante no rendimento de forragem, com maiores produtividades no verão (35,9 a 44,7%) e primavera (35,7 a 38,4%), e menores produtividades (19,6 a 25,7%), porém com melhor qualidade de forragem no outono-inverno. Apesar das altas doses de nitrogênio aplicadas, não foi atingido o ponto de máximo da função de rendimento de forragem, indicando que aplicações adicionais de nitrogênio ainda incrementariam a produtividade. Após 24 meses de aplicação de EET não foram observadas alterações na resistência do solo à penetração, pH e matéria orgânica do solo, houve aumento da

concentração de cálcio, saturação de bases e capacidade de troca catiônica, e melhor disponibilidade de micronutrientes do solo, principalmente em Cu e Mn e $S-SO_4^-$, porém as concentrações de fósforo, potássio e magnésio diminuíram devido à alta extração pela cultura nos tratamentos com produtividades elevadas. A aplicação de EET não afetou o pH da solução do solo, manteve constantes as concentrações de cálcio, e magnésio e nitrogênio, porém aumentou a condutividade elétrica e a concentração de sódio. A aplicação de EET aumentou os níveis de sódio na solução do solo, principalmente nas camadas superficiais, embora o elemento tenha sido lixiviado para as camadas mais profundas do perfil. O potencial de impacto negativo nos atributos do solo deve ser investigado por período mais prolongado, a fim de verificar se o aumento da salinidade e concentração de sódio no solo, constatado neste experimento é persistente e se pode ser atenuado por meio de práticas de manejo de irrigação e fertilização do solo. O uso de EET em cultivos de *Brachiaria* passará é uma alternativa sustentável para o controle de poluição dos mananciais, redução do uso de fertilizantes minerais e viabilização da exploração agrícola.

Palavras-chave: Água residuária; Fertirrigação; Forragem.

APPLICATION OF SEWAGE TREATMENT EFFLUENT, BY SPRAYING, ON SOIL AND *BRACHIARIA*

ABSTRACT

The use of treated sewage effluent (TSE) in agronomic favors the increased productivity and forage quality, besides the expansion of irrigated areas in a sustainable way, even in regions that have the right to use the already restricted water. The objectives of this study were to evaluate the effect of applying sewage treatment effluent by conventional sprinkler irrigation, on soil and on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivation during the years 2013 and 2014 in Jaboticabal, SP, Brazil. Was used a sprinkler system with three lateral rows and uniform water depth, but gradual TSE, in six treatments with four replicates, to apply the following TSE fractions in water: E5 = 1.0, E4 = 0.87, E3 = 0.6, E2 = 0.31, E1 = 0.11, and E0 = 0.0. From February 2013 to January 2015 were evaluated 26 forage crops, and analyzed the productivity and forage quality (crude protein, neutral detergent fiber, macro and micronutrients), plant height and the relationship leaf-thatched in different treatments. Were also conducted soil analysis, soil solution and TSE throughout the experiment driving time. Beyond the scheduled analysis was determined the rate of animal lease and analyzed the correlation between normalized difference vegetation index (NDVI) and forage yield. The ETE of TSE from Jaboticabal contained low concentrations of nitrogen ($53.7 \pm 7.6 \text{ mg L}^{-1}$), sodium ($54.8 \pm 9.5 \text{ mg L}^{-1}$), potassium ($16.6 \pm 2.1 \text{ mg L}^{-1}$), calcium ($14.0 \pm 1.6 \text{ mg L}^{-1}$), magnesium ($5.0 \pm 1.0 \text{ mg L}^{-1}$), phosphorus ($0.9 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$), sodium adsorption ratio (3.3 ± 0.6) and electrical conductivity ($0.46 \pm 0.01 \text{ dS m}^{-1}$) with low potential for salinization and sodification classified as C2S1. After 24 months of trial, application of effluent provided to $1,132 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ of nitrogen and up to $464 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ potassium, and other macronutrients and micronutrients essential for nutrition of forage. Equivalent concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in the treatment with an average concentration of effluent (E3) in relation to treatment with mineral fertilizers (E0) showed equal or higher chemical quality of soil, indicating the possibility of reducing fertilizer application costs by effluent. The *Brachiaria brizantha* responded positively to the implementation of TSE with increased annual productivity of dry biomass from 31.3 to 47.4 t ha^{-1} in 2013, and from 25.7 to 56.9 t ha^{-1} in 2014, in treatments E1 to E5, corresponding to increments of 51 and 121%, respectively. There was a remarkable seasonality in forage yield with highest yields in the summer (35.9 to 44.7%) and spring (35.7 to 38.4%) and lower yields (19.6 to 25.7%), but with better quality of forage in the autumn-winter. Despite the high levels of nitrogen applied, it has not reached the point of maximum forage yield function, indicating that additional applications of nitrogen also would increase productivity. After 24 months of application of TSE were not observed changes in soil resistance to penetration, pH and soil organic matter, there was increasing in calcium concentration, base saturation and cation exchange capacity, and better availability of soil micronutrients, especially Cu and Mn and S-SO_4^- , but the concentrations of phosphorus, potassium and magnesium decreased due to high extraction by culture in the treatments with high productivity. Applying TSE did not affect

the pH of the soil solution, kept constant the concentrations of calcium, magnesium and nitrogen, but increased electrical conductivity and the concentration of sodium. The application of TSE increased sodium levels in the soil solution, mainly on the surface layers, although the element has been leached into the deeper layers of the profile. The Potential of negative impact on soil attributes should be investigated for a longer period, in order to verify that the increased of salinity and sodium concentration in soil, found in this experiment, is persistent and may be mitigated by irrigation practices and fertilization of soil. The use of TSE in *Brachiaria* crop will be a sustainable alternative to the pollution control of water sources, reduced use of mineral fertilizers and viability of farming exploration.

Keywords: Residual water; Fertigation; Forage.

LISTA DE ABREVIATURAS

Al = Alumínio

ARS = Água residuária de suinocultura

B = Boro

Ba = Bário

Bc = Biomassa em colmo

Bf = Biomassa em folha

Bs = Biomassa seca

C2S1 = Risco médio de salinização e baixo risco de sodificação

C = Coeficiente de correção ou grau de saturação do solo

Ca = Cálcio

Cd = Cádmio

Ce = Condutividade elétrica

CE = Condutividade elétrica medida

Ces = Condutividade elétrica saturada

CETESB = Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CF = Consumo de forragem por estação

Cn = Concentração de nitrogênio da amostra

COT = Carbono orgânico total

CO₂ = Dióxido de carbono

Cr = Cromio

CT = Coliformes totais

Cu = Cobre

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição

CV = Coeficiente de variação

cv = Cultivar

DBO = Demanda biológica de oxigênio

Dn = Dose de nitrogênio desejada

DQO = Demanda química de oxigênio

ds = Densidade do solo

dp = Densidade da partícula

EC = *Escherichia Coli*

EET = Efluente de esgoto tratado

ETc = Evapotranspiração da cultura média diária

ETo = Evapotranspiração de referência

ETE = Estação de tratamento de esgoto

ETPES = Efluente de tratamento primário de esgoto sanitário

F/C = Relação folha-colmo

FCAV = Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária

FDN = Fibra em detergente neutro

Fetotal = Ferro total

g = Grama

GL = Grau de liberdade

H + Al = Hidróxido de alumínio

ha = Hectares

Hg = Mercúrio

H₂O = Água

i = Taxa de infiltração observada

i_f = Taxa de infiltração final

IA = Infiltração acumulada

K = Potássio

k_c = Coeficiente de cultura

kg = quilograma

kPa = Kilopascal

L = Litro

m = Metros

Mg = Magnésio

mg = Miligrama

mmol = Milimol

Mn = Manganês

M.O. = Matéria orgânica

Mo = Molibdênio

m_p = Massa de sólidos

mPa = Megapascal

m_s = Massa do solo seco

N = Nitrogênio

Na = Sódio

NA = Nutriente aplicado

N_c = Nitrogênio aplicado na cultura

NDVI = Índice de reflectância por diferença normalizada

Ni = Níquel

Ne = Nutriente extraído

Nf = Nutriente foliar

NH_4^+ = Amônio

ns = Não significativo

Norgânico = Nitrogênio orgânico

NO_2^- = Nitrito

NO_3^- = Nitrato

Nt = Nitrogênio total

Ntotal-k = Nitrogênio total de Kjeldahl

OG = Óleos e graxas

P = Fósforo

Pt = Porosidade total do solo

PAF = Potencial de área fertirrigada

Pai = Potencial de área irrigável

Pb = Chumbo

PB = Proteína bruta

pH = Potencial hidrogeniônico

Pn = Produtividade de nitrogênio

ρ_{nir} = Reflectância no infravermelho próximo

ρ_r = Reflectância no vermelho

PST = Percentual de sódio trocável

Qano = Vazão da estação de tratamento de esgoto

Qdia = Vazão média diária

RAS = Razão de adsorção de sódio

RMSP = Resistência mecânica do solo a penetração

RS = Resíduos sedimentares

SO_4^- = Sulfato

SB = Soma por base

Se = Selênio

Sn = Saldo de nutrientes

SO_4^- = Sulfato

Su = Sulfato

t = Tonelada

t_e = Tempo de infiltração

T = Capacidade de troca catiônica

TIB = Taxa de infiltração de água no solo

TLA = Taxa de lotação animal por estação

UA = Unidade animal

UNESP = Universidade Estadual Paulista

θ_{atual} = Umidade obtida pela sonda de nêutrons

θ_{sat} = Umidade de saturação do solo

V% = Saturação por base

VIB = Velocidade de infiltração de água no solo

v_p = Volume de sólidos

v_s = Volume total do solo

Zn = Zinco

%V = Umidade do solo

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução do uso de água âmbito mundial ($\text{km}^3 \text{ ano}^{-1}$).	32
Tabela 2. Limites máximos de substâncias tóxicas de águas destinadas para gado.....	35
Tabela 3. Teores de macro e micro nutrientes foliares adequados para a cultura da <i>Brachiaria</i>	41
Tabela 4. Critérios para interpretação de análise do solo para o estado de São Paulo. 61	
Tabela 5. Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação.....	75
Tabela 6. Uniformidade de distribuição de água para o aspersor Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05 disposto em espaçamentos de 12 m x 12 m.	77
Tabela 7. Fração de distribuição de EET em cada tratamento.....	78
Tabela 8. Condições climáticas do município de Jaboticabal, SP, durante a condução do experimento, em 2013 e 2014.....	81
Tabela 9. Concentração de nitrogênio nas fontes disponíveis de captação da ETE de Jaboticabal, em março de 2013.	82
Tabela 10. Concentração de elementos-traço no efluente de esgoto tratado da ETE de Jaboticabal em março de 2013 e novembro de 2014.....	83
Tabela 11. Características químicas, físicas e microbiológicas do EET da ETE de Jaboticabal no verão, outono-inverno e primavera, em 2013.....	84
Tabela 12. Características químicas, físicas e microbiológicas do EET da ETE de Jaboticabal no verão, outono-inverno e primavera, em 2014.....	86
Tabela 13. Evapotranspiração da cultura (ETc), irrigação, precipitação e lâmina total durante ciclos de cortes de <i>Brachiaria brizantha</i> , em Jaboticabal, SP.....	89
Tabela 14. Fertilizantes minerais aplicados em cada tratamento por estação do ano. ..	93
Tabela 15. Quantidades de N aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013, e 2014.	94
Tabela 16. Quantidades de P aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.	94

Tabela 17. Quantidades de K aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.	95
Tabela 18. Quantidades de Na aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.	95
Tabela 19. Textura do solo em diferentes profundidades e tratamentos avaliados, em setembro de 2014.	96
Tabela 20. Densidade e porosidade do solo nas camadas 0-15, 15-45 e >45 cm de profundidade, determinadas no início do em experimento, em janeiro de 2013.	97
Tabela 21. Resistência mecânica do solo a penetração média (MPa) por tratamento.	101
Tabela 22. Concentrações médias de elementos-traço no solo na camada 0-10 cm da área experimental em dezembro de 2012.	104
Tabela 23. Características químicas médias em macronutrientes do solo na camada 0-10 cm, em função dos tratamentos, em julho 2012.	105
Tabela 24. Concentrações médias (%) de nitrogênio total do perfil do solo (0-100 cm) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.	106
Tabela 25. Concentrações médias (mmol dm^{-3}) de sódio do perfil do solo (0-100 cm) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.	107
Tabela 26. Percentual de sódio trocável (%) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.	108
Tabela 27. Concentrações médias de macronutrientes do perfil do solo (0-100 cm) na caracterização inicial do solo (novembro/2012) e após irrigação com EET (setembro/2013, março/2014 e setembro/2014).	110
Tabela 28. Concentrações médias de micronutrientes do perfil do solo (0-100 cm) iniciais (novembro/2012) e após irrigação com EET (setembro/2013, março/2014 e setembro/2014).	117
Tabela 29. pH da solução do solo em função dos tratamentos de EET, em 2013 e 2014.	123
Tabela 30. Condutividade elétrica (dS m^{-1}) da solução do solo em função dos tratamentos de EET, em 2013 e 2014.	125

Tabela 31. Nitrogênio na solução do solo (kg ha^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.....	128
Tabela 32. Cálcio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.....	130
Tabela 33. Magnésio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.....	131
Tabela 34. Sódio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.....	133
Tabela 35. Razão de adsorção de sódio na solução do solo em diferentes tratamentos, anos e profundidades de extração.	134
Tabela 36. Produtividade de biomassa seca por tratamento, durante os ciclos de corte.	135
Tabela 37. Produtividade média de biomassa seca por tratamento no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e em 2014.....	136
Tabela 38. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de <i>Brachiaria brizantha</i> fertirrigada com efluente de esgoto tratado no verão, em 2013 e 2014.....	138
Tabela 39. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de <i>Brachiaria brizantha</i> fertirrigada com efluente de esgoto tratado no outono-inverno, em 2013 e 2014.....	140
Tabela 40. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de <i>Brachiaria brizantha</i> fertirrigada com efluente de esgoto tratado na primavera, em 2013 e 2014.....	141
Tabela 41. Altura média de corte da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos em 2013 e 2014.	145
Tabela 42. Proteína bruta (%) de biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013 e 2014.	154
Tabela 43. Fibra em detergente neutro (%) em de biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013 e 2014.	155

Tabela 44. Proteína bruta (%) na folha e no colmo, separadamente, da biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013.	156
Tabela 45. Fibra em detergente neutro (%) na folha e no colmo, separadamente, da biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013.	157
Tabela 46. Teores médios de macronutrientes na biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos, em 2013.	159
Tabela 47. Teores médios de macronutrientes na biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos, em 2014.	160
Tabela 48. Teor médio de micronutrientes na biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos, em 2013.	163
Tabela 49. Teor médio de micronutrientes na biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos, em 2014.	164
Tabela 50. Taxa de exportação média de nitrogênio pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de biomassa seca) no verão, outono-inverno e primavera.	165
Tabela 51. Exportação média de fósforo pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de BS) em função da estação do ano.	167
Tabela 52. Exportação média de potássio pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de BS) em função da estação do ano.	168
Tabela 53. Exportação média de cálcio pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de BS) em função da estação do ano.	170
Tabela 54. Exportação média de magnésio pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de BS) em função da estação do ano.	170
Tabela 55. Exportação média de sódio pela <i>Brachiaria brizantha</i> (kg t^{-1} de BS) no verão, outono-inverno e primavera.	171
Tabela 56. Taxa de lotação animal média por ciclo da área com cultivo da <i>Brachiaria brizantha</i> fertirrigada com doses de EET por estação do ano, em 2013 e 2014.	173
Tabela 57. Doses de nitrogênio e potencial de área irrigada com EET na região de Jaboticabal-SP.	177

Tabela 58. Evapotranspiração média mensal da <i>Brachiaria brizantha</i> e potencial de área irrigada em Jaboticabal-SP.	179
---	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.	51
Figura 2. Médias mensais de precipitação (P), evapotranspiração de referência (ETP) e temperatura média do ar (Temp) para o município de Jaboticabal, SP, no período 1971 a 2000. Fonte: www.fcav.unesp.br	52
Figura 3. Estrato do balanço hídrico médio mensal para o município de Jaboticabal, SP no período de 1971 a 2000. Fonte: www.fcav.unesp.br	52
Figura 4. Delineamento de parcelas experimentais com as linhas de distribuição de efluente de esgoto tratado (EET) e água, sob os tratamentos (E0 a E5) e as taxas variáveis de distribuição de EET em água.	53
Figura 5. Distribuição dos aspersores na área experimental.	54
Figura 6. Localização da captação do efluente na ETE de Jaboticabal até a área experimental.....	56
Figura 7. Localização da determinação da velocidade de infiltração de água no solo no início do experimento (esquerda), em março de 2013 e no término do experimento (direita), setembro de 2014.	57
Figura 8. Local e profundidades de coleta de amostras de solo.	60
Figura 9. Coleta de solo para análise física pela abertura de trincheira.....	62
Figura 10. Coleta de amostras deformadas e indeformadas para caracterização física do solo através da abertura de trincheira (a) e com trado de caneca (b).	64
Figura 11. Localização de sensores nos tratamentos com monitoramento de precipitação e irrigação, solução do solo e água no solo em diferentes profundidades.	68
Figura 12. Materiais utilizados na colheita da <i>Brachiaria brizantha</i>	70
Figura 13. Perfil radial de distribuição de água do aspersor Senninger, Modelo 3023-2 e bocais ¾" M 08Qx05.	76
Figura 14. CUC e CUD simulados pelo <i>software</i> WinSSIP2 11 para aspersores Senninger Modelo 3023-2 e bocais ¾" M 08Qx05 disposto em espaçamentos de 12 m x 6 m.	77

Figura 15. Perfil radial de distribuição de água do aspersores Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05, em função da distância das linhas de irrigação espaçadas de 12 m, com aspersores espaçados de 6 m na linha.	79
Figura 16. Caracterização climática em temperatura, radiação solar global, umidade do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura no período experimental, em 2013 e 2014.	80
Figura 17. Evapotranspiração da cultura (ETc), irrigação, precipitação e saldo de água no solo durante vinte e seis ciclos de corte de 28 dias de <i>Brachiaria brizantha</i> , em Jaboticabal, SP.	88
Figura 18. Tensão de água no solo mínima, média e máxima, medida por tensiômetro, no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014, submetida a diferentes tratamentos com efluente de esgoto tratado e adubação mineral em Jaboticabal, SP. .	91
Figura 19. Umidade do solo mínima, média e máxima, medida por sonda, no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014, submetida a diferentes tratamentos com efluente de esgoto tratado e adubação mineral em Jaboticabal, SP.	92
Figura 20. Curva de retenção de água do solo da área experimental em diferentes profundidades.	97
Figura 21. Infiltração acumulada (IA) e velocidade de infiltração instantânea (TI) em três repetições da área experimental determinada em março de 2013.	99
Figura 22. Infiltração acumulada (IA) e velocidade de infiltração instantânea (TI) nos tratamentos de E5-E0 em setembro de 2014.	100
Figura 23. Resistência mecânica do solo a penetração por tratamento e por profundidade e tensão de água no solo em diferentes épocas.	102
Figura 24. Características químicas iniciais do solo na camada 0-10 cm nas parcelas em julho de 2012.	105
Figura 25. Teor de nitrogênio total do perfil de solo em função dos tratamentos, em março (esquerda) e dezembro (direita) de 2014.	106
Figura 26. Teor de sódio do perfil de solo em função dos tratamentos, em março (esquerda) e dezembro (direita) de 2014.	107

Figura 27. Teores de macronutrientes do perfil de solo em função dos tratamentos, inicial (outubro/2012) (a) e pós-irrigação com EET (setembro de 2013 e março e setembro de 2014).	114
Figura 28. Teores de micronutrientes do perfil de solo em função dos tratamentos, inicial (outubro/2012) (a) e pós-irrigação com EET (setembro de 2013 e março e setembro de 2014).	120
Figura 29. pH da solução do solo em perfil nos tratamentos E5-E0 em função da estação do ano em 2013 e 2014.	124
Figura 30. Condutividade elétrica da solução do solo em perfil nos tratamentos E5-E0 no verão, outono-inverno e primavera, em 2013, e verão, outono-inverno e primavera, em 2014.	126
Figura 31. Balanço de nitrogênio em setembro de 2013 e outubro de 2014.	128
Figura 32. Balanço de cálcio em setembro de 2013 e outubro de 2014.	131
Figura 33. Balanço de magnésio em setembro de 2013 e outubro de 2014.	132
Figura 34. Balanço de sódio em setembro de 2013 (a) e outubro de 2014 (b).	133
Figura 35. Análise de agrupamento hierárquico da produtividade de biomassa seca durante os 26 ciclos por tratamento.	137
Figura 36. Produtividade de biomassa seca da <i>Brachiaria brizantha</i> em função da aplicação de nitrogênio via EET e adubação mineral nas estações do ano e anual. ...	142
Figura 37. Produtividade de nitrogênio em função da aplicação via EET em 2013 e 2014.	144
Figura 38. Altura média dos tratamentos E5-E0 de <i>Brachiaria brizantha</i> durante 26 ciclos de corte de 28 dias, a partir de janeiro de 2013.	145
Figura 39. Alturas de corte máxima, média e mínima de <i>Brachiaria brizantha</i> em função dos tratamentos com aplicação de efluente doméstico tratado, em Jaboticabal em 2013 e 2014.	146
Figura 40. Correlação entre a produtividade de biomassa seca e a altura de corte da <i>Brachiaria brizantha</i> , em função da adubação via EET e durante as estações do ano e no ano de, 2013.	148

Figura 41. Correlação entre a produtividade de biomassa seca e a altura de corte da <i>Brachiaria brizantha</i> em função da adubação via EET durante as estações do ano e no ano de 2014.	149
Figura 42. Relação de folha, colmo e folha-colmo em função dos tratamentos nas estações do ano em 2013 (esquerda) e 2014 (direita).	150
Figura 43. Relação média de folha, colmo e folha-colmo em função dos tratamentos em 2013 e 2014.	151
Figura 44. Relação folha-colmo em função de doses de nitrogênio aplicadas via EET em 2013 e 2014.	152
Figura 45. Regressão entre suprimento de nitrogênio via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	165
Figura 46. Regressão entre suprimento de fósforo via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	167
Figura 47. Regressão entre suprimento de potássio via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	168
Figura 48. Regressão entre suprimento de cálcio via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	170
Figura 49. Regressão entre suprimento de magnésio via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	171
Figura 50. Regressão entre suprimento de sódio via EET e exportação do nutriente por <i>Brachiaria brizantha</i> no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.	172
Figura 51. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em função das doses de nitrogênio via EET aplicadas por períodos sazonal e anual.	174
Figura 52. Biomassa seca em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.	175
Figura 53. Nitrogênio foliar em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.	176
Figura 54. Proteína bruta em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.	177

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional concentrado nas áreas urbanas e a carência de estações de tratamento de esgoto representa elevado potencial de poluição dos mananciais devido ao excesso de cargas orgânicas. O uso das águas residuárias na agricultura vem se tornando uma prática crescente por representar economia de água, reduzir os custos com fertilizantes e aumento de produtividade e qualidade das culturas agrícolas, exceto de consumo *in natura*.

Devido à escassez dos recursos hídricos, os longos períodos de estiagem associados aos solos com baixas concentrações de nutrientes, o uso de sistemas de irrigação e adubação (fertirrigação), tornou-se uma ferramenta necessária para se manter a produtividade agrícola, atendendo ao aumento pela demanda de alimentos.

Assim, a irrigação com efluente de esgoto tratado (EET) possibilita aumento de produtividade e qualidade da forragem por escalonar a aplicação de água e nutrientes. O EET é rico em macro e micro nutrientes essenciais ao desenvolvimento da maioria das culturas.

A área necessária para aplicação de EET produzidos em cidades de grande porte pode ser de difícil solução, devido aos problemas relacionados à desapropriação de áreas de grande valorização imobiliária. Em cidades médias e pequenas essa questão pode ser facilmente resolvida prevendo-se a incorporação de áreas para aplicação do efluente junto ao projeto das futuras estações de tratamento de esgoto, uma vez que a área demandada é pequena. Como exemplo, a produção *per capita* de esgoto doméstico de 150 a 200 L dia⁻¹ (BEVILACQUA et al., 2003) usada para atender à demanda hídrica da cultura de cerca de 5 mm dia⁻¹, irrigaria 30 a 40 m². Assim, uma cidade de cerca de 80 mil habitantes como Jaboticabal, o volume de esgoto gerado possibilitaria irrigar 240 a 320 ha, enquanto que para a vizinha Ribeirão Preto, de cerca de 600 mil habitantes, a área irrigada seria de 1.800 a 2.400 ha.

A utilização de águas residuárias na agricultura irrigada pode ser uma forma efetiva de controle da poluição, aumento da disponibilidade hídrica, redução na demanda de fertilizantes para adubação convencional apresentando, assim, benefícios

econômicos, sociais e ambientais podendo contribuir para melhoria das condições de saúde pública.

Portanto, ao invés de contaminar os recursos hídricos, o uso deste produto na irrigação poderá suprir as necessidades hídricas e também as necessidades nutricionais dos cultivos. Embora já se tenha realizado estudos importantes sobre o tema, dentre eles o Programa de Saneamento Básico (PROSAB), gerenciado pela FINEP (SANTOS, 2006), há necessidade de estudos adicionais para estabelecer técnicas apropriadas para utilização desse efluente como insumo nas condições brasileiras, com o mínimo de impacto ambiental e sanitário. Para isso, há necessidade de quantificar os efeitos da aplicação de EET nas características físicas e químicas do perfil do solo, na produtividade do cultivo e quanto dos nutrientes adicionados ao solo pela aplicação de EET pode ser exportado pela cultura.

Os dados de experimentos conduzidos durante um período determinado pode ser usado para calibrar e testar modelos de simulação para então aplicá-los em simulações de longo período, visando estimar as médias e a variabilidade das variáveis de interesse. Essa ferramenta é de particular interesse em estudos que envolvem alta variabilidade das condições climáticas ao longo do tempo, como o tema aqui discutido. Dentre os vários modelos disponíveis na literatura, o modelo CROPGRO-*Brachiaria* (PEDREIRA et al., 2011) simula o crescimento de forragem, balanço hídrico e balanço de nitrogênio usando dados climáticos diários, características de solo, parâmetros de plantas e práticas de manejo.

Com manejo da irrigação nitrogenada via EET na *Brachiaria brizantha*, espera-se que haja aumento da produtividade e qualidade da forrageira e do solo, reduzindo os impactos ao meio ambiente, além da redução de uso de água nobre e custos com insumos agrícolas. Trabalhos desta magnitude propiciarão a formulação de diretrizes de uso de águas residuárias na agricultura, no Brasil.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o efeito da aplicação de efluente de tratamento de esgoto via irrigação por aspersão convencional, no solo e no cultivo de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante os anos de 2013 e 2014 em Jaboticabal, SP, Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Águas residuárias na agricultura

A aplicação de efluente de esgoto tratado (EET) em cultivos agrícolas é prática usual desde a era antes de Cristo, ressurgindo na Alemanha e na Inglaterra nos séculos XVI e XVII (VELOSO et al., 2004). Essas iniciativas tiveram como objetivo inicial a prevenção de poluição de cursos d'água do que o aumento da produtividade agrícola, conforme o popular *slogan* britânico: “*esgoto para a terra, chuva para os rios*” (ARAR, 1987).

Países como a China e o México são pioneiros no uso de água residuária na agricultura. No Brasil, apesar do grande potencial, a prática de reciclagem ainda é pouco aceita, no entanto, espera-se que a prática de aplicação controlada aumente nos próximos anos em função do desenvolvimento econômico e das pressões ambientais e de saúde pública.

Telles (2011) destaca que o interesse pelo uso das águas residuárias se deu devido ao avanço do conhecimento sobre o potencial e as limitações do reuso agrícola e suas vantagens, tais como controle da poluição; racionalização do uso da água, economia de fertilizantes, reciclagem de nutrientes, aumento da produção agrícola, e cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de esgotos. O fortalecimento do uso das águas residuárias é impulsionado pela facilidade de acesso quando disposto em área agrícola próximo da EET.

O uso da água no meio agrícola ocupa lugar de destaque atualmente, e com 66% deste recurso é destinado à agricultura (Tabela 1). O uso das águas residuárias no meio agrícola torna-se viável à medida que é pouco exigente com referência a sua qualidade, desde que não seja utilizada em alimentos de consumo *in natura*. Esta prática favorece qualquer região seja ela por enfrentar períodos de deficiência hídrica ou em uma bacia hidrográfica que esteja com toda a sua retirada de água comprometida.

Tabela 1. Evolução do uso de água âmbito mundial (km³ ano⁻¹).

Tipos de usos	Evolução ao longo do tempo						
	1900	1920	1940	1960	1980	2000*	2020**
Doméstico	-	-	-	30	250	500	850
Industrial	30	45	100	350	750	1.350	1.900
Agrícola	500	705	1.000	1.580	2.400	3.600	4.300
Total	530	750	1.100	1.960	3.400	5.450	7.050

Obs.: (-) sem dados; (*) estimativa; (**) previsão. Fonte: Padilha (1999) *apud* Telles (2011).

As regiões áridas e semiáridas do nordeste brasileiro possam vir a serem as mais propícias ao uso de EET devido à carência de água para o fornecimento às plantas, permitindo que a água de boa qualidade seja destinada a usos nobres (SILVA et al., 2012a).

O aumento pela competição do uso da água doce para usos diversos torna a água residuária uma alternativa cada vez mais desejável (LEAL, 2007). Os esgotos sanitários são ricos em nutrientes, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, elementos essenciais para o desenvolvimento de diferentes culturas, o que atesta seu potencial de uso como fertilizante (BEVILACQUA et al., 2006; BURBARELLI et al., 2010; SILVA et al., 2012a; PINTO et al., 2013). A quantidade de fósforo presente no efluente pode não ser suficiente para suprir a demanda nutricional das forrageiras, o que demandaria adubação química complementar (MOTA e al., 2006).

A principal limitação do uso de EET na agricultura refere-se à presença de elementos traço, muitas vezes presentes no efluente de origem clandestina. Os patógenos presentes no EET (estreptococos, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., larvas, ovos de helmintos, protozoários (cistos) e vírus (enterovírus e rotavírus)) não suportam o ambiente edáfico por mais de algumas horas, exceto os ovos de helmintos que permanecem viáveis por vários anos (FERREIRA; ANDREOLI, 1999). Para os mesmos autores a calagem do solo pode reduzir os riscos de contaminação por patógenos no solo (reação exotérmica). Entretanto, a prática tem restrição em função do tipo de solo, do clima, da estação do ano e da espécie forrageira.

Plantas forrageiras têm sido escolhidas para cultivo sob aplicação de EET por causa do longo ciclo de crescimento associado ao elevado consumo hídrico anual e à alta absorção de nutrientes (FONSECA et al., 2007). Para os mesmos autores, gramíneas como as do gênero *Brachiaria* atendem aos requisitos de tolerância às condições elevadas de umidade do solo, de salinidade, de matéria orgânica e de possíveis efeitos tóxicos do efluente.

O desenvolvimento de gramíneas nos trópicos é frequentemente limitado pela deficiência de nitrogênio no solo (SERAFIM; GALBIATTI, 2012). A baixa produtividade de forragem é resultado da carência de conhecimento técnico científico que se reflete nas características do rebanho, na oscilação do peso dos animais, ou seja, na cria, recria ou engorda, baixa produtividade de leite ou carne, conseqüentemente, no menor valor de mercado. O nitrogênio é o elemento mais limitante na produtividade de biomassa depois da água (NOGUEIRA et al., 2012). O excesso de nutrientes presentes no EET representa riscos ambientais devido à possibilidade de lixiviação e contaminação do lençol freático, sendo o nitrato a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água (PINTO et al., 2013)).

Avaliando o desenvolvimento urbano, a gestão dos recursos hídricos e a utilização de águas residuárias para a irrigação na Índia, Van Rooijen et al. (2010) concluíram que o uso das águas residuárias no meio agrônômico representa uma contribuição para a segurança do alimento, melhorias na qualidade dos recursos hídricos à jusante das cidades, contribuindo com a saúde pública e menor demanda de águas nobres destinados ao consumo humano.

Assim, reutilização das águas residuárias na agricultura é uma alternativa que contribui para a sustentabilidade da atividade agrícola por suprir os recursos hídricos que estão cada vez mais escassos.

2.1.1. Aspectos legais para uso de efluente de tratamento de esgoto

O aumento da concentração populacional e o surgimento de indústrias em locais pouco ou nunca habitados na Inglaterra, em 1865, resultou em altas demandas de água

e concentrações de esgoto em proporções preocupantes, o que fez surgir a primeira legislação que previa o tratamento de esgoto (ALMEIDA, 2011). A Organização Mundial da Saúde, em 1972, reconheceu a importância dos riscos à saúde relacionados à utilização de água residuária. Posteriormente foi publicada diretriz de uso de água residuária visando à proteção da saúde pública, em 1973, e à agricultura e à aquicultura, em 1989 (ALMEIDA, 2011).

No Brasil não existem normas e padrões específicos para regulamentar e direcionar o reuso de águas residuárias e isto se deve à falta de tradição quanto à aplicação desta prática. A legislação apenas estabelece limites máximos de impureza para cada destino específico da água (ALMEIDA, 2011). As legislações referentes ao uso de águas residuárias na agricultura são as Resoluções N° 54 (BRASIL, 2005), N° 375 (BRASIL, 2006), N° 430 (BRASIL, 2011) e Instrução Técnica 31 (CETESB, 2006) disponibilizada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo que tratam das condições padrões de lançamento de especificamente de EET e as orientações para projeto de água de reuso proveniente de estação de tratamentos de esgoto doméstico na agricultura. No entanto, não deixa evidente o volume e as concentrações máximas de nutrientes a ser aplicado, as culturas e a necessidade de licenciamento.

O uso de efluente de esgoto ainda é restrito no país devido à disseminação e à efetiva transferência de informações e conhecimento ao público, sendo parâmetros fundamentais para o sucesso da prática (LEAL, 2007). O que se tem praticado é a adoção dos padrões internacionais, orientações técnicas elaboradas por instituições privadas ou até mesmo instruções técnicas de órgãos públicos. No entanto, os padrões de uso da água podem variar de acordo com as diferenças de cada localidade, mesmo dentro de um mesmo país (ALMEIDA, 2011). A implantação de uma legislação no país deverá englobar parâmetros físicos, químicos e microbiológicos e superar as crenças e preconceitos da sociedade.

Na falta de uma legislação específica no Brasil, muitos usuários se utilizam dos padrões estabelecidos por Ayers e Westcot (1991) para níveis de substâncias tóxicas nas águas para o gado (Tabela 2). De acordo com os autores, estes padrões

apresentam ampla margem de segurança, sendo concentrações equivalentes às encontradas em águas subterrâneas e superficiais captadas para o consumo animal.

Tabela 2. Limites máximos de substâncias tóxicas de águas destinadas para gado.

Elementos	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Se	Zn
(mg L ⁻¹)	0,20	0,05	1,00	0,50	0,01	0,10	0,05	24,0

Obs.: As: Arsênio; Cd: Cádmio; Cr: Cromio; Cu: Cobre; Hg: Mercúrio; Pb: Chumbo; Se: Selênio; Zn: Zinco.

Além da irrigação ser uma das atividades de maior retirada e uso de água, já se torna necessário uma gestão dos recursos hídricos voltada para a utilização de efluente de esgoto tratado para fins de irrigação (BRESSAN et al., 2012). O solo e plantas atuam como “filtro vivo” absorvendo e retendo poluentes e organismos patogênicos presentes em resíduos e água residuária (SANTOS, 2004), assim como a retenção de elementos benéficos às culturas.

Portanto, há a necessidade de uma política de reuso que transforme a problemática em um recurso econômico e ambientalmente seguro.

2.1.2. Potencial de reuso de efluente de esgoto tratado

O volume de efluente gerado no mundo é de aproximadamente 0,6 milhões de m³ dia⁻¹ com concentração média de nitrogênio, fósforo e potássio de 35, 70 e 5 a 25 mg L⁻¹, respectivamente, o que do ponto de vista negativo corresponde ao agravamento dos problemas de desequilíbrio ambiental no planeta e do outro lado de aumento potencial de áreas fertirrigadas (VELOSO et al., 2004).

Estudo realizado pela Universidade de São Paulo no município de Lins, SP, por Marques et al. (2003), reutilizando o efluente para avaliar os efeitos da irrigação por gotejamento na cultura do milho com unidade experimental contígua à estação de tratamento de esgoto recebia contribuição de cerca de 70.000 habitantes e apresenta vazão de 440 m³ h⁻¹, condições semelhantes à de Jaboticabal. Considerando a

evapotranspiração de 3 a 6 mm dia⁻¹, determinou a área irrigável de 308 a 154 ha, respectivamente. Os mesmos avaliando três diferentes manejo de irrigação sendo água, adubação mineral e efluente com e sem adubação nitrogenada, além da testemunha absoluta para a cultura do milho, demonstraram que quando utilizado o efluente sem adubação nitrogenada houve aumento de produtividade e economia de 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio (adubação de cobertura). Quando comparado à produtividade da cultura que recebeu tratamento com efluente com e sem adubação nitrogenada em relação à testemunha, notou-se um acréscimo de 11,1% e 7,8%, respectivamente, gerando receita líquida adicional de R\$ 452,60 ha⁻¹ e R\$ 317,36 ha⁻¹, respectivamente.

O manejo das áreas de pastagens favorece o bom desempenho dos ruminantes, refletindo no aumento da receita aos produtores rurais. O custo nutricional dos animais pode variar entre 50-60% do seu custo total, o que se torna justificável a conversão de carboidratos estruturais, não consumíveis pelos humanos em proteína de alto valor biológico a custo relativamente baixo (ZANINE et al., 2005). Aos agricultores, esta economia pode ser revertida em benefício próprio de forma direta e indireta, além de assegurar o bom desenvolvimento da cultura e pastagem de qualidade o ano todo. Veloso et al. (2004) concluíram que a redução de custos totais de produção em relação à utilização de fertilizantes químicos comparado com o efluente de esgoto tratado pode chegar a 50%, dependendo evidentemente das características locais.

Além do aumento de área irrigada em bacias hidrográficas com a disponibilidade de água já comprometida, a redução de custos com fertilizantes propiciará aos agricultores realizarem melhorias na área agrícola e nas condições de vida dos trabalhadores envolvidos.

2.1.3. Aspecto ambiental

A aplicação de resíduos urbanos em solos agrícola é crescente em nível mundial devido ao grande volume de esgoto gerado diariamente torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas que visem à sua reutilização, contribuindo desta forma para a preservação dos sistemas naturais (NICHELE, 2009; SOUZA et al., 2013).

A disposição de águas residuária no sistema solo-planta quando feito sem critérios agronômicos e ambientais pode causar toxidade às plantas, contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (ERTHAL et al., 2010).

O aproveitamento agrícola das águas residuárias, evita a disposição dos mesmos aos mananciais e aos respectivos riscos de eutrofização, além de assegurar a qualidade dos recursos hídricos, ao fornecimento de nutrientes aos cultivos agrícolas e a economia de água de boa qualidade, apresentado ser uma alternativa econômica e ambientalmente viável (LEAL, 2007). A irrigação via EET reduz ainda as perdas de nutrientes por lixiviação, além de permitir seu melhor aproveitamento em razão do parcelamento da adubação (SOUZA et al., 2012a).

Somente os benefícios ambientais já tornam as águas residuárias um recurso sustentável. Para Leal (2007) e Bressan et al. (2012) esses benefícios ambientais são: diminuição de descartes em corpos hídricos, economia de água de boa qualidade, fornecimento de nutrientes aos cultivos agrícolas e respectivamente redução de gastos com fertilizantes, melhoras na qualidade de vida e condições sociais, principalmente da população mais carente.

Os benefícios econômicos podem ser obtidos de forma rápida e compensadora aos irrigantes através da economia com fertilizantes. Segundo Bastos et al. (2005) a utilização das águas residuárias apresentam benefícios inegáveis, apresentando atrativos de natureza econômica, ambiental e social.

Assim, a prática do reuso é interessante, pois diminui o consumo de água, permite a conservação dos recursos hídricos, diminui a poluição e o impacto dos efluentes despejados e ainda incute na comunidade que se beneficia do projeto uma mentalidade de uso racional da água e, conseqüentemente, também influencia na preservação do meio ambiente (ALMEIDA, 2011).

2.2. Produção de forragem

A *Brachiaria* é originária da Região dos Grandes Lagos em Uganda (África). A espécie foi introduzida no Brasil em 1960, onde se adaptou muito bem. Para Karia et al.

(2006), a cultura da *Brachiaria* é a espécie forrageira mais cultivada no Brasil e no mundo desde 1960, devido seu potencial de adaptação edafoclimática. No Brasil, contribui com mais de 90% da produção de carne e com a maior parte do leite produzido no país, pois a alimentação do rebanho está baseada exclusivamente em pastagens.

No Brasil, a área de pastagem ocupa cerca de 180 milhões de hectares, 21,3% do território nacional, destes, 70 a 80% são constituídos por forragem do gênero *Brachiaria* (RODRIGUÊS, 2004), com o efetivo de bovinos de 212,798 milhões de cabeças (IBGE, 2011), tornando o país reconhecido mundialmente pela produção de carne e de leite de bovinos, que possui as pastagens como base da alimentação.

A cultura apresenta bom desenvolvimento durante todo o ano, porém, o crescimento da *Brachiaria* é interrompido quando ocorre a associação de baixas temperaturas e curto foto períodos, mesmo quando irrigada (SANTOS, 2006). A sazonalidade das condições ambientais promovem variações na produtividade e na composição da forragem. A temperatura ideal para o crescimento de gramíneas de clima tropical varia de 30°C a 35°C, enquanto que de 10°C a 15°C o crescimento é praticamente nulo, reduzindo as atividades metabólicas e formação de tecidos da parte aérea, o que provoca estabilidade na produtividade de forragem (RODRIGUÊS, 2004; COSTA et al., 2005). Nogueira et al. (2012), avaliando a produtividade do capim Tifton 85 na região de Lins, SP, observaram que temperaturas menores que 18°C comprometeram o desenvolvimento da cultura.

Avaliando o período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas na região central do estado de São Paulo, Rassini (2004) obteve aumento de produção de matéria seca sob irrigação, porém com período de 65 a 70 dias de estacionalidade de produção durante o ano, mesmo satisfazendo a necessidade hídrica.

Além das condições climáticas, a cultura necessita de suprimento nutricional adequado para atingir seu potencial produtivo. O uso de água residuária pode suprir parte desses nutrientes com a vantagem de economia de fertilizantes minerais. Segarra et al. (1996) apresentam os seguintes requisitos que as culturas necessitam para receberem efluente de esgoto, devendo satisfazer ou em parte dos seguintes

critérios: alta absorção de nitrogênio e água, potencial de uso no processamento quando necessário e de mercado nacional e internacional, e retorno econômico relativamente alto.

As plantas forrageiras apresentam alta produtividade quando aplicadas águas residuárias devido ao fato relacionado à sua longa estação de crescimento, acúmulo de nutrientes e pela sua capacidade de recobrimento do solo. O crescimento e a persistência de gramíneas nos trópicos são frequentemente limitados pela deficiência de nitrogênio no solo (SERAFIM; GALBIATTI, 2012). A baixa produtividade de forragem é resultado da carência de embasamento de conhecimento técnico científico, que reflete nas características do rebanho, na redução de peso, seja na cria, recria ou engorda, menor produção de leite e conseqüentemente menor valor de mercado. O nitrogênio é o fator mais limitativo na produção de biomassa depois da água (NOGUEIRA et al., 2012).

O estado nutricional das plantas tem efeito nas propriedades de crescimento de suas raízes. Quando a cultura é bem suprida por nitrogênio apresenta sistema radicular bem desenvolvido, atingindo até os 50 cm de profundidade, propicia a boa formação e sustentação da parte aérea (BATISTA; MONTEIRO, 2006).

O cultivo de pastagens sob aplicação de águas residuárias proporcionam alta qualidade e produtividade da forrageira (DRUMOND et al., 2006; SILVA et al., 2012a; SERAFIM, 2010) e, conseqüentemente, maior capacidade de suporte animal, em razão do parcelamento da adubação, porém a atividade é vulnerável em função do tipo de solo, clima, estação do ano e a espécie forrageira. Mesmo com elevadas concentrações de sódio, elemento comum no EET, as forrageiras irrigadas com essa fonte apresentam incremento de produção (SILVA et al., 2012a) e qualidade de forragem, além de maior aceitabilidade pelos animais.

No entanto, o pastejo intensivo (superpastejo) pode ser entendido pelo curto ciclo de corte da forragem, afeta o crescimento da parte aérea e do sistema radicular, reduzindo a capacidade de absorção de nutrientes, o que acarreta na queda do potencial produtivo e no surgimento de invasoras (SANTOS; VIEIRA, 2013).

Assim, o manejo do pastejo visa à otimização da produção e o uso eficiente da planta forrageira produzida visando o desempenho animal e produtividade de forragem, sendo que a frequência e a intensidade de pastejo influenciam a forma em que o pasto será oferecido ao animal, sua maturidade, taxa de lotação, pressão de pastejo e desempenho animal.

2.2.1. Qualidade de forragem

No sistema de pastejo, as folhas são as principais fontes de nutrientes para os ruminantes, sendo que o custo nutricional dos ruminantes pode chegar a 60% do seu custo total, o que torna justificável o manejo de pastagens visando à maximização de produtividade de forragem e melhor valor nutritivo (DUTRA; CARVALHO, 2009).

Todas as culturas de interesse econômico como as forrageiras, devem ser bem nutridas para obtenção de boa produtividade com adequado valor nutritiva, visando ao atendimento das exigências dos animais (SERAFIM; GALBIATTI, 2012). O valor nutritivo (macro e micronutrientes) do tecido vegetal das forrageiras presentes na biomassa seca é responsável pelo fornecimento de elementos nutritivos essenciais na alimentação dos bovinos, assim, diretamente relacionado com o desempenho animal.

O desempenho médio anual de engorda de bovinos no Brasil é relativamente baixo, devido ao manejo agrícola e planejamento agrônômico inadequados das gramíneas tropicais. No entanto, a produtividade das gramíneas não pode ser representada somente pela quantidade de matéria seca produzida, mas também pela sua qualidade nutricional (SILVA, 2006). Ainda Silva (2006), avaliando a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, concluiu que ambas são palatáveis e de qualidade nutricional similar, porém o capim Marandu não tolera solos com drenagem deficiente, com maior exigência na fertilidade do solo e resistência a cigarrinhas das pastagens.

A *Brachiaria brizantha* é uma das poucas culturas que possuem maior extração de K do que de N, sendo a ordem padrão para os macronutrientes $K > N > Ca > Mg > P = S$, e para os micronutrientes $Cl > Fe > Mn > Zn > B > Cu > Mo$. Os desequilíbrios minerais nas

forrageiras são responsáveis por baixas produções de carne, leite, problemas reprodutivos, crescimento retardado, abortos, fraturas e queda da resistência orgânica dos animais (PRADO, 2008).

Avaliando a extração de macro e micro nutrientes em função das doses de nitrogênio (sulfato de amônia e ureia) e quatro doses (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Costa et al. (2009) obtiveram maior extração de nutrientes nas doses máximas aplicadas. A ordem decrescente de extração de nutrientes em relação às doses máximas de nitrogênio foi: macronutrientes (K>N>Ca>Mg>P=S) e micronutrientes (Fe>Mn>Zn>Cu). Estudo realizado por Costa et al. (2010), avaliando o efeito de doses de N e K na produção e extração de macronutrientes pela fitomassa do capim-xaraés, mostraram acúmulo de nutrientes na seguinte ordem decrescente: N=K>Ca>Mg>P>S.

Os teores de macro e micro nutrientes considerados adequados para a cultura da *Brachiaria* em fase de crescimento ativo (novembro a fevereiro), ou seja, com brotação nova e folhas verdes, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Teores de macro e micro nutrientes foliares adequados para a cultura da *Brachiaria*.

Nutriente	g kg ⁻¹	Nutriente	mg kg ⁻¹
Nitrogênio	13-20	Boro	10-25
Fósforo	0,8-3,0	Cobre	4-12
Potássio	12-30	Ferro	50-250
Cálcio	3,0-6,0	Manganês	40-250
Magnésio	1,5-4,0	Zinco	20-50
Enxofre	0,8-2,5		

Fonte: Boaretto et al. (2009).

As sínteses de proteínas foliares estão associadas às constantes disponibilidades hídricas e nutricionais do solo, principalmente o nitrogênio, que reflete em maior teor de proteína bruta (PB) e menor em fibra em detergente neutro (FDN) da

forrageira (SILVA, 2006; FREITAS et al., 2007), permitindo ao animal consumir uma forragem de melhor qualidade. No cultivo de sequeiro, os teores de PB usualmente não atingem o valor mínimo de 7%, segundo Serafim e Galbiatti (2012). Segundo esses autores, esse nível é limitante à produção animal por implicar na redução da digestibilidade e menor consumo voluntário (COSTA et al., 2005), isso ocorre devido aos inadequados níveis de nitrogênio para os microrganismos do rúmen além dos elevados valores de FDN (70-80%).

O teor de PB ideal na forrageira é variável, dependendo da finalidade de uso. De acordo com Prado (2008), o mínimo de proteína exigida na matéria seca consumida por animais de pastejo é de 6,0 a 8,5%, sendo que para animais em engorda esse valor deve aproximar-se de 10% e se for destinado a vaca leiteira, aconselha-se 15% ou mais de proteína bruta na matéria seca.

Quanto maior a quantidade de folhas, menores serão os teores de FDN (SERAFIM; GALBIATTI, 2012). A FDN é composta basicamente por celulose, lignina e hemicelulose na matéria seca, sendo que elevados níveis representa menor espessamento da parede celular e menor teor de nutrientes digestíveis como proteína, lipídeos, vitaminas, dentre outros presentes no conteúdo celular. Portanto, a FDN, relaciona-se diretamente ao efeito de enchimento do rúmen e inversamente à concentração energética da dieta de bovinos (SERAFIM; GALBIATTI, 2012).

A disponibilidade de nitrogênio as forrageiras favorecem a qualidade nutricional da forrageira em consequência do aumento de compostos mais digestíveis (PB) e redução dos menos digestíveis (FDN).

2.2.2. Altura de planta

O desenvolvimento das forrageiras, ou seja, a altura de pastejo é uma das principais formas de planejar as atividades agropecuárias.

O manejo das áreas de pastejo é um fator limitante no desenvolvimento das plantas, seja no período chuvoso ou de estiagem. A má condução da forragem pode reduzir drasticamente o índice de área foliar (IA) e comprometer o crescimento.

Quando a forragem não possui condições de desenvolvimento pleno, resulta na menor massa de bocado, consequentemente reduzindo o desempenho animal devido à tentativa de compensação através do aumento de número de bocadas e tempo gasto com o pastejo (ZANINE et al., 2005). As forrageiras respondem à doses crescentes de adubação nitrogenada, apresentando maior altura de planta e, consequentemente, maior produtividade de matéria seca (CARARD et al., 2008).

Para o manejo de entrada e saída de animais em lotação rotacionada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Santos e Vieira (2013) recomendam altura de pré-pastejo de 25 e 12 e 18 cm para altura de pós-pastejo adubado e não adubado, respectivamente. Sob lotação contínua, o período de descanso do pasto deve ser de 28 a 42 dias (ZANINE et al., 2005).

2.2.3. Relação folha/colmo

A adubação nitrogenada propicia o aumento da densidade volumétrica de forragem, e, sobretudo, a produção de folhas no perfil da pastagem, devido ao aparecimento e alongamento de folhas, aumentando, assim, a produção de biomassa seca (COSTA et al., 2010). Para Serafim e Galbiatti (2012) o fornecimento de nitrogênio e potássio (elementos abundantes no efluente de esgoto tratado) a planta promove o crescimento das plantas e favorece o aumento da relação folha/caule. Também Prado (2008) concluiu que o nitrogênio disponível as plantas favorecem o aumento da relação folha/colmo, reduzindo o tempo de pastejo dos animais para satisfazer suas exigências.

No manejo de pastagem, além do aumento da massa seca da forragem, deve-se obter maior relação folha-colmo, pois as folhas consistem na principal fonte de nutrientes aos ruminantes. O propósito é que a maior proporção de volumoso na dieta animal seja provida por folhas em vez de colmo e material morto (DUTRA; CARVALHO, 2009).

O aumento da relação folha-colmo pode ser obtido pela menor altura da forragem, ocasionando menor fração colmo e maior alongamento das folhas (DUTRA; CARVALHO, 2009). Para Pinto et al. (1994) com o avanço do desenvolvimento da

planta forrageira, ocorre o alongamento do caule e a fração folha reduz progressivamente, havendo maior aporte de assimilados na parte reprodutiva do que vegetativa, resultado na redução da relação folha-colmo.

Valores elevados da relação folha-colmo resultam em maior valor proteico da forragem, melhor digestibilidade e consumo, além de favorecer a gramínea com melhor adaptação ao corte (RODRIGUES et al., 2008). De acordo com Pinto et al. (1994), considera-se como limite crítico a relação folha-colmo igual a 1,0, com vistas na quantidade e qualidade da forragem.

Rodrigues et al. (2008) explicam que culturas de hábito de crescimento ereto, assim como a *Brachiaria*, têm alongamento do colmo, resultando no aumento de produção de biomassa, porém com baixa relação F/C, comprometendo a qualidade da forragem e reduzindo o ganho de peso animal.

2.3. Características do solo

2.3.1. Química do solo

O solo consiste em um processo dinâmico e que sua variação na estrutura física e química pode levar anos caso seja feito o manejo adequado.

Mesmo com o uso da água residuária na agricultura, as alterações químicas do solo pode levar tempo em função da extração de nutrientes pelas culturas. No entanto, o acúmulo de um nutrientes de pouca absorção pelo cultura, como o sódio, pode comprometer o desenvolvimento da cultura e reduzir o potencial produtivo do solo.

Alguns dos elementos que constituem a química do solo, esta relacionado a outro nutriente. O pH do solo é um dos principais fatores que influenciam a solubilidade dos elementos. Mota et al. (2006) explicam que com a elevação do pH (>7,0) reduz a disponibilidade de Fe, Cu, Mn, Zn e Al às plantas; por outro lado os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mo e Cl têm sua disponibilidade aumentada com a redução do pH. Um valor adequado de pH para a maioria das espécies vegetais de interesse agrônômico é

de 6,5. A matéria orgânica do solo é um componente importante dos agroecossistemas por interferir tanto na qualidade do solo, e, por conseguinte, na produtividade das culturas, como na sustentabilidade ambiental (SANTOS et al., 2009).

As principais causas de deficiências de nutrientes no solo ocorrem pela pobreza de matéria orgânica no solo (N, S e B), lixiviação (N, K, S e B), seca prolongada (N, Ca, Mg e S), solo pobre (Mg, Cu e Zn), acidez (N, Mg, S, B e Mo), pH do solo baixo (P), calagem excessiva (K, Fe e Mn) e por excesso de acidez (Al) (MALAVOLTA et al., 1997).

Quando há o manejo da irrigação via EET, através do parcelamento da aplicação de EET, reduz as perdas de nutrientes por lixiviação, além de permitir seu melhor aproveitamento de nutrientes. No entanto, Erthal et al. (2010) concluíram que as alterações químicas e físicas do solo irrigado com água residuárias, como de bovinocultura, somente se manifestam após longo período de aplicação.

2.3.2. Solução do solo

A solução do solo é a parte líquida presente nos poros de menores tamanhos do solo contendo diversos solutos que afetam as plantas, composto por nutrientes e elementos tóxicos (RAIJ, 1981), que são absorvidos pelas raízes das plantas a partir da solução do solo (MOTA et al., 2006). Os autores explicam que os nutrientes presentes no solo deslocam-se em direção às raízes através da solução do solo por movimento convectivo na massa de água absorvida pelas plantas. Mota et al. (2006) explicam ainda que as radículas entram em contato com o meio líquido, promovendo a absorção dos minerais. Para Silva (2006), a parte aérea é reflexo dos nutrientes disponíveis na solução do solo.

As principais formas de macronutrientes e alguns elementos importantes que ocorrem na solução dos solos são: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, hidrogênio, cloro, alumínio e sódio (RAIJ, 1981).

Entre os sais presentes na solução do solo, o nitrogênio favorece no desenvolvimento das forrageiras e o cálcio contribui para a estabilidade dos agregados

e estrutura do solo. Já o sódio é responsável por provocar dispersão de minerais de argila, causando obstrução dos poros do solo, consequentemente, inibindo a infiltração de água no solo.

As águas residuárias com baixas concentrações de sais (principalmente cálcio e magnésio) e/ou altas concentrações de sódio, causam elevação da razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato de saturação do solo causando a degradação da estrutura do solo (MENEZES et al., 2014). Para Resende et al. (2014), água com alto teor de sais propicia a sodificação dos solos, tornando-os compactados, reduzindo a infiltração básica de água no solo.

A avaliação da solução do solo permite o monitoramento da disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo fundamental para o entendimento das alterações químicas dos nutrientes ao solo advindo do manejo adotado (SOUZA et al., 2013). Por isso o uso de EET no meio agrônômico requer práticas e técnicas adequadas de tratamento e disposição no ambiente, devido às elevadas concentrações de íons dissolvidos, tais como sódio, boro e cloretos, além de organismos patogênicos (ANDRADE FILHO et al., 2013).

O pH e a condutividade elétrica da solução do solo são indicativos rápidos do grau de acidez ou alcalinidade e da concentração de sais minerais no solo, respectivamente.

Além dos elementos minerais, Brandão e Lima (2002) descrevem que a quantificação da condutividade elétrica na solução do solo, indica presença de sais.

Altos valores de condutividade elétrica pode dificultar o desenvolvimento da planta devido à dispersão de energia que ocorre para absorver água (efeito osmótico) prejudicando os processos metabólicos essenciais (TOMÉ JÚNIOR, 1997). Para Mota et al. (2006) a quantificação de íons presente no solo determinado pela condutividade elétrica possibilita a possível identificação de salinização do solo, comprometendo o cultivo de culturas mais sensíveis.

2.3.3. Física do solo

A avaliação das propriedades físicas sob diferentes sistemas de preparo do solo é importante para caracterizar o ambiente físico para o crescimento radicular. No entanto, as características físicas do solo necessitam de um longo tempo de aplicação de EET para que ocorram alterações em suas características.

As elevadas concentrações de partículas orgânicas e inorgânicas nos EET obstruem os poros da superfície do solo, reduzindo a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica, de 20 a 30% (FEIGIN et al., 1991). Os mesmo autores explicam que este fato ocorre não somente pelo efeito do sódio no solo é responsável pela diminuição da condutividade hidráulica, mas também os sólidos suspensos de origem orgânica podem ser agentes para redução da condutividade hidráulica; contudo, esse efeito depende da sua concentração na água, da taxa de aplicação, do tipo de solo e das condições climáticas.

Além dos elementos constituintes do EET, a percolação de água no solo depende também da porosidade, densidade e da resistência mecânica do solo a penetração.

Os poros do solo são locais responsáveis pela aeração do solo, e consequentemente, o armazenamento de água e solução do solo. Para Ribeiro et al. (2007) a porosidade do solo exerce expressiva influência sobre a fertilidade do solo, afetando as relações entre drenagem, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento e produtividade das culturas.

Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes. No entanto, há uma relação inversa entre a densidade e a porosidade do solo. O aumento de massa por uma unidade de área propicia na redução da porosidade do solo e vice-versa.

A habilidade das raízes penetrarem no perfil diminui quando a densidade e a resistência do solo aumentam (REINERT et al., 2008). A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) é um dos atributos físicos que influenciam diretamente o

crescimento das raízes e, conseqüentemente, a parte aérea das plantas, sendo dependente das características pedológicas e das práticas de manejo a que o solo é submetida. Quando se aumenta a resistência à penetração do solo, o sistema radicular apresenta desenvolvimento reduzido, podendo comprometer a produtividade da área (SANTOS et al., 2005).

Assim, a avaliação e o monitoramento das camadas de impedimento mecânico do solo ao desenvolvimento radicular tornam-se ferramentas importantes para caracterizar a evolução de sistemas agrícolas e, também, para servir como subsídio indispensável a ser usado no planejamento e direcionamento das práticas de cultivo empregadas dentro de uma propriedade agrícola.

2.3.4. Água no solo

Conhecer o comportamento da água no solo é essencial para a tomada de decisões referentes ao manejo racional dos cultivos irrigados ou não (BRITO et al., 2009). A quantificação da taxa de infiltração básica (TIB) de água no solo, em projetos de irrigação por aspersão, tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores, para que não ocorram perdas por escoamento superficial (COELHO et al., 2000).

Medidas em pequenas áreas uniformes podem resultar em interpretações errôneas devido às variações espaço-temporais das características físicas-hídricas do solo (JOSÉ et al., 2013). O escoamento superficial é responsável por processos indesejáveis, como a erosão do solo e as inundações, logo, a infiltração determina o balanço de água na zona radicular e, por isso, o conhecimento desse processo e suas relações com as propriedades do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (DALRI et al., 2010).

O uso de água residuárias na agricultura exige conhecimento, pois além dos elementos-traço, o EET há elevado teor de sódio. As elevadas concentrações de sódio no EET podem trazer eventuais deteriorações na estrutura do solo, alterando o sistema

de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica (SILVA, 2013).

Em projetos de irrigação, além da quantificação do potencial de infiltração de água no solo, devem-se levar em consideração os fatores que irão influenciar no manejo da irrigação, como o potencial matricial de água no solo.

O tensiômetro tem sido utilizado de modo satisfatório na determinação da energia com que a água está retida pela matriz do solo (BRITO et al., 2009). Nogueira et al. (2012), avaliando a produtividade do capim Tifton 85 fertirrigado com EET, consideraram como crítico o potencial matricial de água no solo quando menor que -34 kPa.

2.4. Índice de reflectância por diferença normalizada (NDVI)

Uma das principais respostas de uso das geotecnologias é a previsão de produtividade agrícola e a estimativa do estado nutricional das culturas. O uso do *GreenSeeker* permite uma avaliação rápida e sem causar impactos nas culturas agrícolas.

O *GreenSeeker* vem sendo amplamente utilizado em culturas que são aplicados níveis graduais de nitrogênio, pois o NDVI pode indicar o estado nutricional da planta em relação ao nitrogênio (GROSH et al., 2009) através coloração foliar (clorofila).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que possibilita a obtenção de informações de forma rápida e precisa, podendo ser associado a produtividade e a qualidade foliar. A qualidade foliar (teor de nitrogênio) é um exemplo, podendo ser correlacionado com o NDVI, enquanto a maioria dos métodos (medidores de clorofila e análise foliar) exigiria quantidade de amostras de plantas para identificar a condição nutricional da cultura na lavoura (POVH et al., 2008).

Em plantas sujeitas ao estresse de nitrogênio ocorre aumento na concentração de carotenoides e redução na produção de clorofila, o que causa menor absorção de energia pelas folhas, reduzindo, assim, os valores de NDVI. A deficiência de nitrogênio causa mudanças previsíveis no desenvolvimento e composição das folhas das plantas

e, indiretamente, mudanças na distribuição espectral da radiação refletida (MOTOMIYA et al., 2009). Nogueira et al. (2012) relatam que a coloração verde de forrageiras podem aumentar em até 10% se for aplicado fertilizante nitrogenado.

As correlações entre os índices espectrais e o acúmulo de biomassa ocorrem devido aos teores elevados de clorofila na planta em função da aplicação de nitrogênio, resulta no incremento de área foliar e da atividade fotossintética (GROSH et al., 2009).

O uso de efluente de esgoto tratado (EET) propicia melhor qualidade foliar devido ao alto teor de nutrientes que o compõe. O nitrogênio, elemento comum no EET, é um dos insumos mais significativos que influencia no aumento da produtividade e qualidade agrícola (POVH et al., 2008), além de estimular o aumento da pigmentação verde das plantas, refletindo em maior clorofila foliar. Em condições de maior cobertura do solo com as plantas, associada às boas condições de desenvolvimento e fertilidade adequada, ocorre um pico de absorção na banda do vermelho. Quando isso ocorre, o NDVI torna-se insensível às alterações de biomassa, que posteriormente refletem em produtividade. Para Jensen (2009) o NDVI é um indicativo de atividades da vegetação, que favorece na estimativa do índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da UNESP, em Jaboticabal, SP (latitude 21°14' 44" S, longitude 48°17' 02" O e altitude 535 m), conforme Figura 1. A área de estudos sempre foi utilizada para fins experimentais, sendo a última com tomate, porém esteve em pousio nos últimos 6 anos.

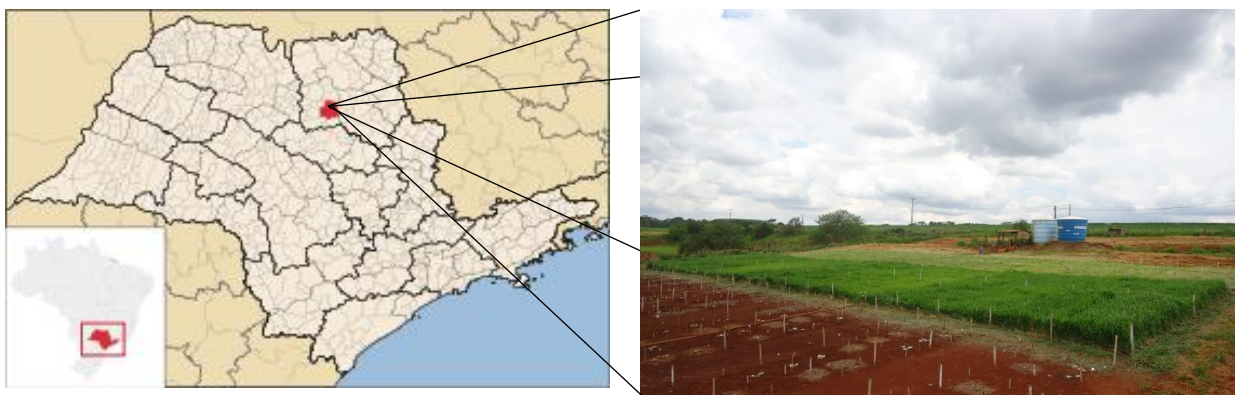


Figura 1. Localização da área de estudo.

3.2. Solo e classificação climática

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, caulínítico apoférico, com textura argilosa, alto teor de ferro e relevo suave a ondulado (EMBRAPA, 2013) com declividade de 5%.

O clima da região é subtropical úmido, Aw, segundo a classificação de Köppen, com inverno seco e ameno e verão quente e chuvoso, caracterizado por temperatura média anual de 22,2°C, média das temperaturas máximas de 24,3°C e média das temperaturas mínimas de 18,6°C. As médias anuais de precipitação e evapotranspiração de referência somam 1.425 mm e 1.081 mm, respectivamente, com

deficiência e excedente hídrico de 56 e 400 mm ano⁻¹, respectivamente (Figuras 2 e 3). A precipitação é concentrada nos meses mais quentes do ano, com ocorrência de cerca de 80% no período de outubro a março.

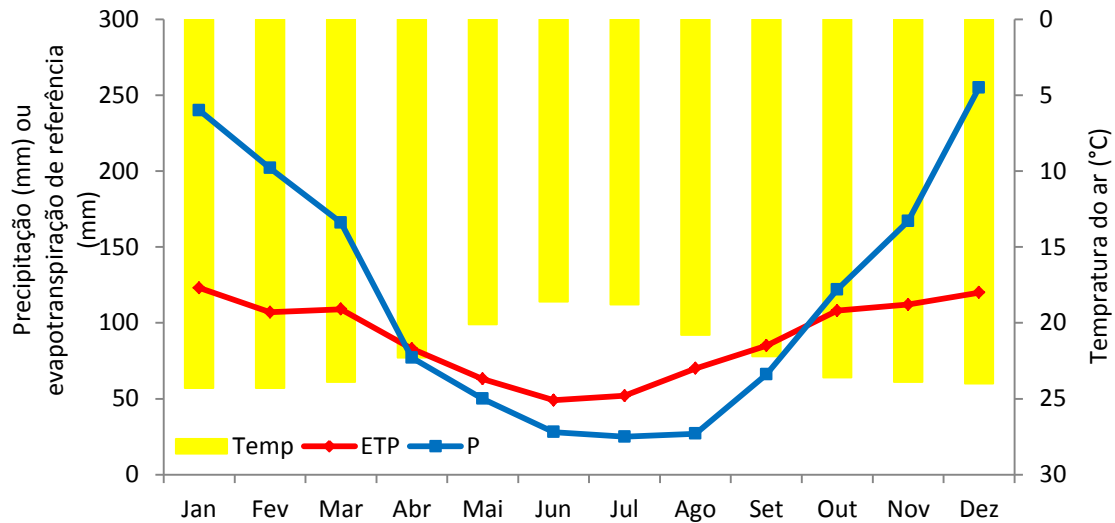


Figura 2. Médias mensais de precipitação (P), evapotranspiração de referência (ETP) e temperatura média do ar (Temp) para o município de Jaboticabal, SP, no período 1971 a 2000. Fonte: www.fcav.unesp.br.

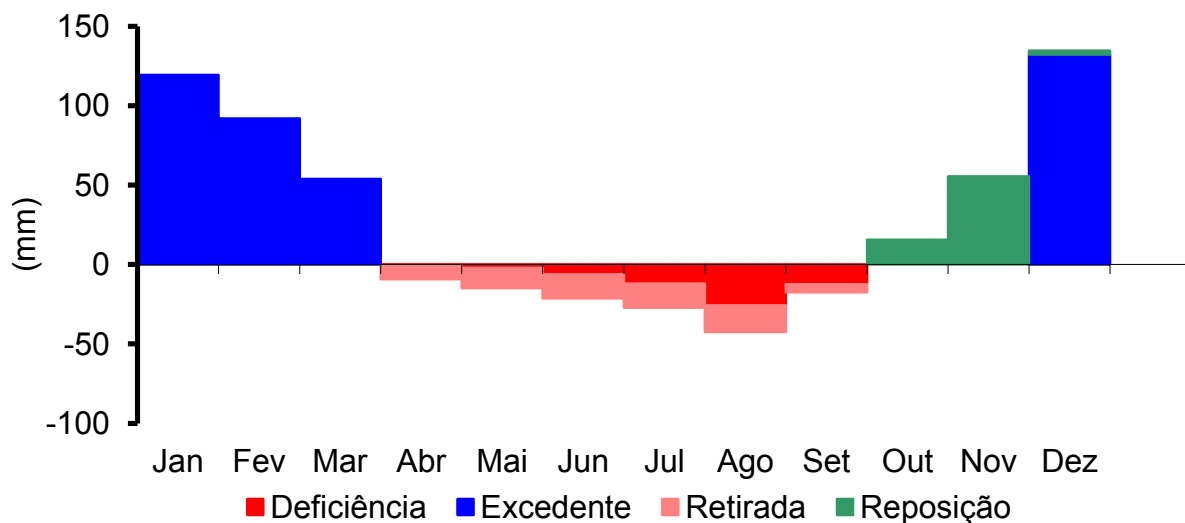


Figura 3. Estrato do balanço hídrico médio mensal para o município de Jaboticabal, SP no período de 1971 a 2000. Fonte: www.fcav.unesp.br.

3.3. Sistema de aspersão

Utilizou-se um sistema de aspersão convencional em parcelas sub-divididas em quatro blocos com três linhas laterais paralelas (LAUER, 1983) com lâmina uniforme de irrigação, mas gradual de EET, em seis tratamentos, quatro repetições, com as seguintes frações do efluente em água: E5=1,0; E4=0,87; E3=0,6; E2=0,31, E1=0,11 e E0=0,0. O tratamento E0 recebeu adubação mineral (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio) equivalente à aplicada no tratamento E3, considerado como referência para adubação via EET. A tubulação foi instalada no espaçamento de 12 m com os aspersores espaçados de 6 m (Figura 4 e 5).

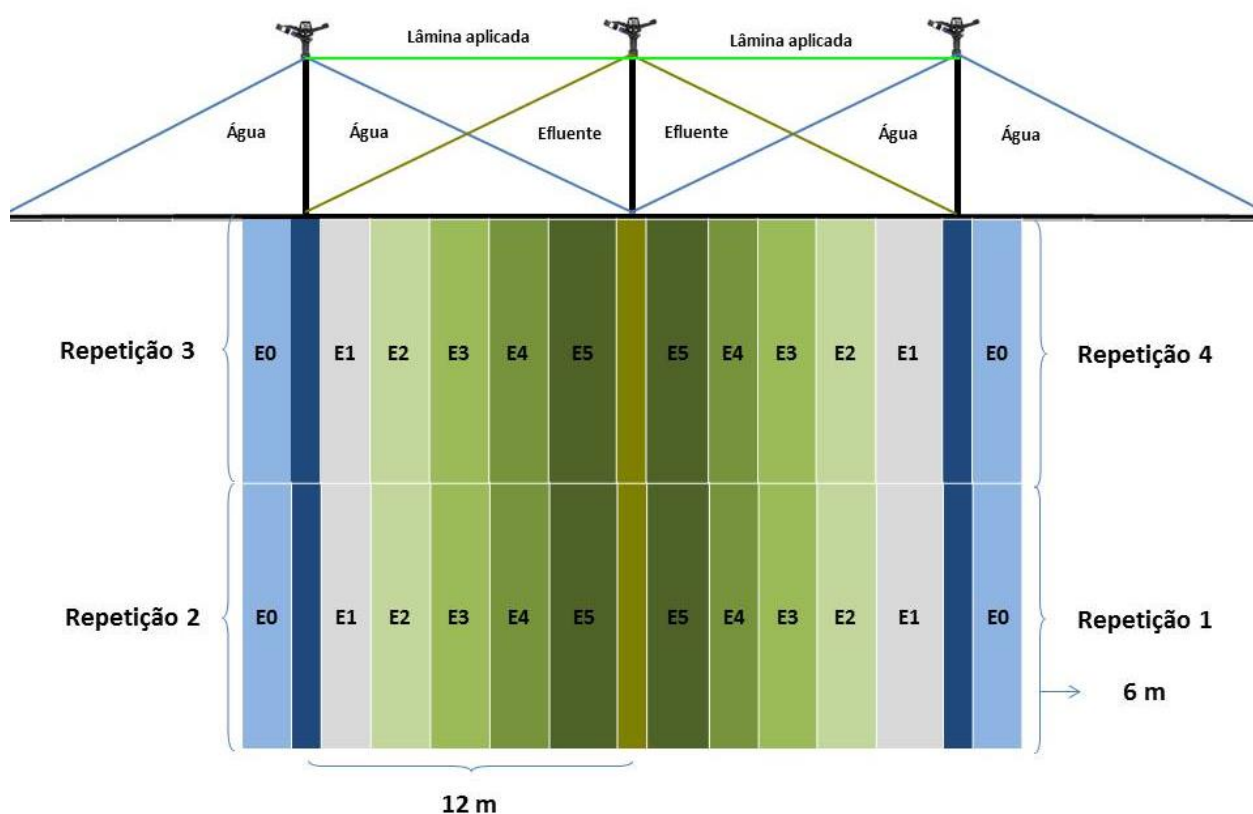


Figura 4. Delineamento de parcelas experimentais com as linhas de distribuição de efluente de esgoto tratado (EET) e água, sob os tratamentos (E0 a E5) e as taxas variáveis de distribuição de EET em água.

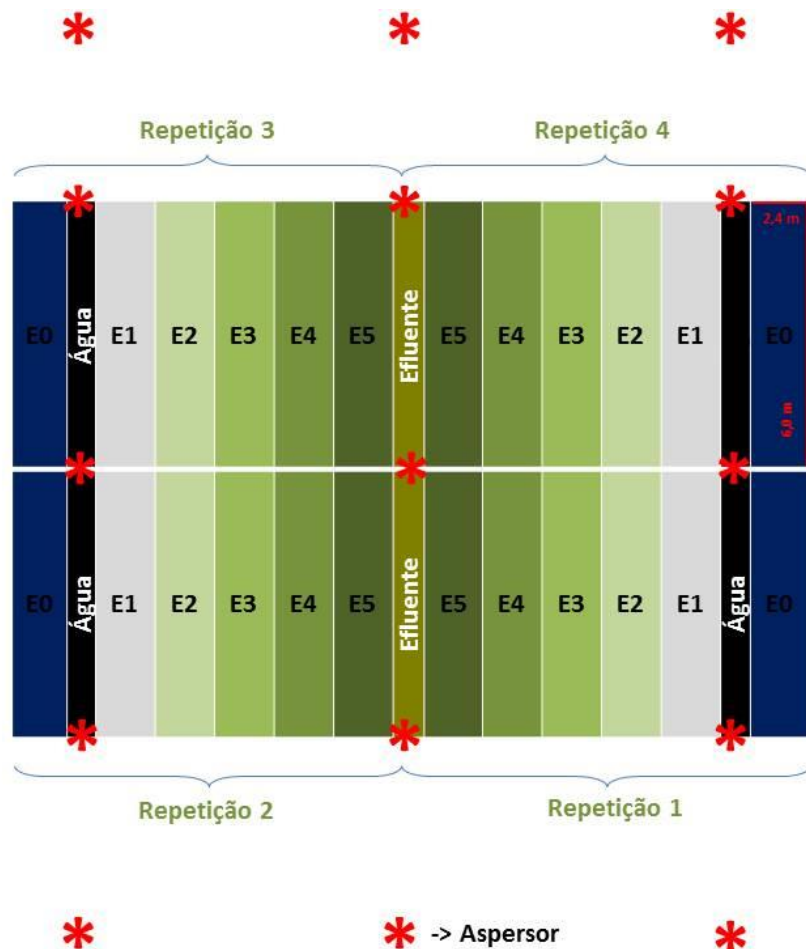


Figura 5. Distribuição dos aspersores na área experimental.

O experimento foi conduzido em área útil de 345,6 m², constituída de 24 parcelas de 14,4 m², com 2,4 m de largura e 6 m de comprimento. Esse desenho experimental possibilita distribuir a água de irrigação e EET de tal forma que a lâmina aplicada seja uniforme ao longo da área experimental, porém com taxas variáveis de aplicação do efluente. Desta forma, somente a taxa de aplicação do efluente variou na direção perpendicular à linha de aspersores, de alta concentração, próximo da linha de aspersores que aplica EET, até concentração muito baixa, próximo das linhas de aspersores que aplicam somente água.

Como exemplo, uma irrigação de 10 mm, aplicada uniformemente, corresponde à aplicação 10 mm de EET no tratamento E5, 8,7 mm no E4, 6 mm no E3, 3,1 mm no

E2, 1,1 mm no E1 e 0,0 mm no E0. Com as concentrações de nutrientes no EET calcularam-se as quantidades aplicadas em cada tratamento.

3.4. Efluente de tratamento de esgoto

Todo o efluente gerado na área urbana de Jaboticabal, SP é destinado à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) “Dr. Adelson Taroco”, com vazão média de 202 L hab⁻¹ (novembro de 2012), cujo sistema de tratamento é constituído por gradeamento mecânico (fase preliminar), posteriormente um sistema misto (Anaeróbio e Aeróbio) composto por um digestor anaeróbio de fluxo ascendente (DAFA) (fase primária) e completado com o pós-tratamento por três lagoas facultativas paralelas (fase secundária). A ETE é situada dentro da Fazenda Experimental da FCAV-UNESP, localizada aproximadamente 1.600 m de distância da área experimental, com diferença de nível de 7m (Figura 6). Essa ETE recebe esgoto da cidade de Jaboticabal, com 71.662 habitantes, área territorial de 707 km² e densidade demográfica de 101,4 hab km⁻² (IBGE, 2010).

O EET foi coletado da segunda lagoa de estabilização da ETE e bombeado para a área experimental por uma moto-bomba de 5 CV, através de uma mangueira de polietileno de 50 mm e depois armazenado em dois reservatórios de 15.000 litros. A água residuária foi então bombeada para a linha central de aspersores por uma moto-bomba de 7,5 CV. Simultaneamente à irrigação com EET, aplicou-se a irrigação com água de poço pelo bombeamento para as linhas externas da área experimental com outra moto-bomba de 7,5 CV. Nas linhas de aspersores foram utilizados tubos de 50 mm de aço zincado de engate rápido.



Figura 6. Localização da captação do efluente na ETE de Jaboticabal até a área experimental.

3.5. Teste dos aspersores

Aspersores da marca Senninger Irrigation Brasil, modelo 3023-2 $\frac{3}{4}$ ", foram submetidos a testes de aplicação de água antes da instalação do experimento, a fim de se determinar a pressão de serviço que proporcionava alcance de jato e distribuição de precipitação requeridos no experimento. Os testes foram realizados com diferentes pressões de serviço (20, 25, 30 e 35 m.c.a) em aspersores individuais, posicionando-se o aspersor no centro de uma malha quadrada com 196 coletores de precipitação espaçados de 2 m disposta em uma área plana e obteve-se vazão de 868, 930, 845 e 925 L h⁻¹, respectivamente. A uniformidade de aplicação de água foi avaliada pelo Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e pelo Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), conforme procedimento descrito por Bernardo, Soares e Mantovani (2006). Nesse método simulam-se diferentes espaçamentos de aspersores pela sobreposição da precipitação coletada nos diferentes quadrantes da malha de coletores.

Novos testes foram realizados após a instalação das linhas de aspersores no experimento, a fim de avaliar a distribuição triangular da precipitação (linhas de água e efluente funcionando separadamente) ou a uniformidade de distribuição de água na

área (linhas de água e efluente funcionando simultaneamente). Esses testes foram realizados com coletores de precipitação espaçados 1 m (78 coletores) e com pressão de serviço e espaçamento considerados adequados no teste anterior (30 m.c.a e 12 m x 6 m).

3.6. Infiltração de água no solo

A velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo foi determinada em março de 2013 para caracterização inicial e em setembro de 2014 para avaliação do efeito da aplicação de EET em cada tratamento. Foram utilizados anéis concêntricos, com quatro repetições (Figura 7), seguindo a metodologia proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2006). Calibraram-se os coeficientes da equação de Kostiakov-Lewis aos dados de infiltração para representar as curvas de infiltração instantânea e acumulada e determinar a infiltração básica.

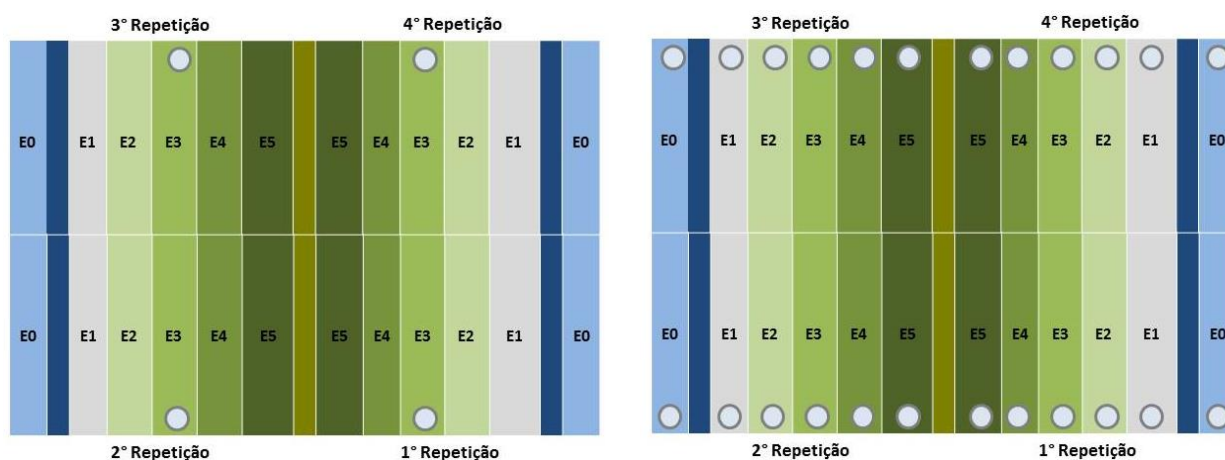


Figura 7. Localização da determinação da velocidade de infiltração de água no solo no início do experimento (esquerda), em março de 2013 e no término do experimento (direita), setembro de 2014.

Os valores de taxa de infiltração foram obtidos pela relação entre lâmina infiltrada e o tempo de infiltração considerado. Com os dados da taxa de infiltração média obtidos

no campo, verificou-se a adequação ao modelo de Kostiakov-Lewis (Equação 1), para a estimativa da taxa de infiltração de água nos diferentes tratamentos de aplicação de EET.

$$i = k \alpha t^{(\alpha-1)} + i_f \quad \text{Equação 1}$$

em que,

i = Taxa de infiltração observada (cm h^{-1});

i_f = Taxa de infiltração final (cm h^{-1});

α e k = coeficientes de regressão;

t_e = Tempo de infiltração (minutos).

3.7. Avaliação do efluente

Em março de 2013, foram determinadas as características químicas do EET a fim de se conhecer a concentração de nitrogênio nas formas (nitrato, nitrito, amônio, orgânico e total pelo método Kjeldahl) nas três lagoas de anaeróbias da ETE de Jaboticabal (Figura 5). Uma vez certificada a representatividade da lagoa 2 em relação às demais, decidiu-se coletar o efluente à jusante dessa lagoa. Posteriormente, mensalmente foi analisada a concentração de nitrogênio no EET para quantificar a lâmina de irrigação em função da demanda nutricional da cultura.

Além das determinações mensais de nitrogênio, uma vez em cada estação do ano (verão, outono-inverno e primavera), foram realizadas análises do EET, determinando-se pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, nitrogênio (nitrato, nitrito, amoniacal, total, orgânico e total pelo método Kjeldahl), ferro total, potássio, fósforo, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cálcio, magnésio, resíduos sedimentares, óleos e graxas, sulfato, manganês, zinco, sódio, razão de adsorção de sódio (Equação 2), coliformes totais e *Escherichia coli* do efluente armazenado e posteriormente utilizado na área experimental.

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Equação 2}$$

em que,

RAS = Razão de adsorção de sódio;

Na^{+2} = Concentração de sódio ($mmol\ L^{-1}$);

Ca^{2+} = Concentração de cálcio ($mmol\ L^{-1}$);

Mg^{2+} = Concentração de magnésio ($mmol\ L^{-1}$).

Os elementos-traço no EET foram determinados em março de 2013 e novembro de 2014. Foram avaliados os elementos cobre, níquel, zinco, arsênio, selênio, mercúrio, chumbo, cádmio, crômio, bário e molibdênio.

O efluente foi coletado em garrafa de polietileno higienizada de dois litros, lavada com água ionizada e identificadas. No ato da coleta foi realizada a tríplice lavagem. As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo, conforme Santos (2012), e encaminhadas ao Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP) para análise. As avaliações seguiram a metodologia proposta pela APHA (2005).

3.8. Avaliação química do solo

Em julho de 2012 foram coletadas amostras na camada de 0-10 cm para análise de rotina, com intuito de caracterizar as condições iniciais e orientar correção e adubação para implantação da forrageira.

Em outubro de 2012, setembro de 2013 e março e setembro de 2014 foram coletadas amostras de solo em todas as parcelas, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm, a fim de caracterizar se houve alterações na qualidade química do solo sob aplicação de EET (Figura 8).

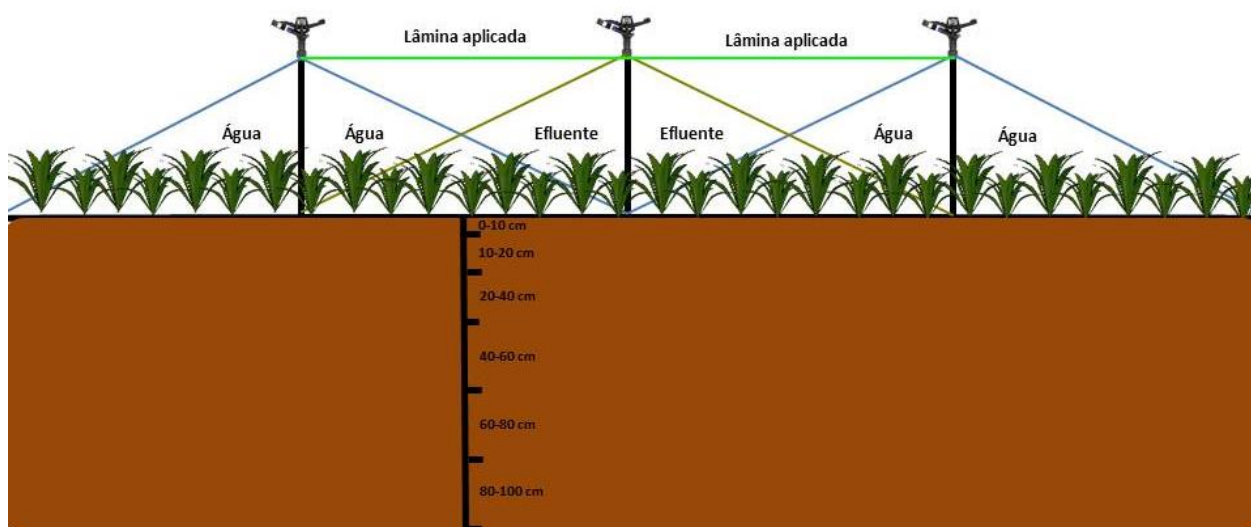


Figura 8. Local e profundidades de coleta de amostras de solo.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da FCAV-UNESP para análises de macronutrientes (pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, hidróxido de alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases), micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco), enxofre e alumínio sendo amostras compostas por tratamento e suas respectivas profundidades, totalizando 36 amostras por período. Na terceira coleta de solo, em março de 2014, realizaram-se análises de nitrogênio e sódio trocável.

Os critérios para interpretação da análise de solo são apresentados na Tabela 4. A determinação de elementos-traço no solo foi realizada em dezembro de 2012, sendo coletadas amostras na camada 0-10 cm em todos os tratamentos das repetições 2 e 4, a fim de intercalar os blocos, conforme esquema da Figura 4.

As análises de elementos-traço no solo foram realizadas através de amostras compostas nas parcelas das repetições 2 e 4. A análise foi realizada no Laboratório de Tecnologia da FCAV-UNESP.

A porcentagem de sódio trocável (PST) foi obtida pela Equação 3 (RICHARDS, 1954):

Tabela 4. Critérios para interpretação de análise do solo para o estado de São Paulo.

Atributo	Classificação da concentração de nutrientes no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
pH em CaCl ₂	<4,3	4,4-5,0	5,1-5,5	5,6-6,0	>6,0
V%	0-25	26-50	51-70	71-90	>90
mg dm ⁻³					
Fósforo (P) ¹	<5	5-12	13-30	31-60	>60
Boro (B)	-	<0,2	0,2-0,6	>0,6	-
Cobre (Cu)	-	<0,2	0,2-0,8	>0,8	-
Ferro (Fe)	-	<4	4-12	>12	-
Manganês (Mn)	-	<1,2	1,2-5,0	>5,0	-
Zinco (Zn)	-	<0,5	0,5-1,2	>1,2	-
Enxofre (S-SO ₄ ²⁻)	-	<2	2-5	>5	-
mmol _c dm ⁻³					
Potássio (K ⁺)	<0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	>6,0
Cálcio (Ca ²⁺)	-	<3	3-7	>7	-
Magnésio (Mg ²⁺)	-	<4	5-8	>8	-
Alumínio (Al ³⁺)	-	<5	5-15	>15	-
g dm ⁻³					
Matéria orgânica (M.O.)	-	<15	15-25	>25	-

¹Cultura perene. Notas: a) mmolc/dm³ = cmolc/dm³ x 10; mg/dm³ = ppm (massa/volume). B) Extratores: P, K, Ca, Mg = resina; S = fosfato de cálcio; B = água quente; Cu, Fe, Mn, Zn = DTPA. Fonte: Raij et al. (1996) e Tomé Júnior (1997).

$$PST = \frac{Na}{(Ca + Mg + K + Na + H + Al)} \cdot 100$$

Equação 3

em que,

PST = Percentual de sódio trocável (%);

Na = Sódio (mmol dm⁻³);

Ca = Cálcio (mmol dm⁻³);

Mg = Magnésio (mmol dm⁻³);

K = Potássio (mmol dm⁻³);

H + Al = Hidróxido de alumínio (mmol dm⁻³);

3.9. Avaliação física do solo

A coleta inicial das amostras para física do solo foi realizada em quatro trincheiras escavadas ao lado da parcela E3 (tratamento referência) em cada repetição. Nas diferentes trincheiras foram caracterizadas os horizontes do perfil como sendo Ap, A12 e B, correspondentes às camadas 0-15, 15-45 e >45 cm, das quais foram coletadas as amostras de solo deformadas e indeformadas (Figura 9).

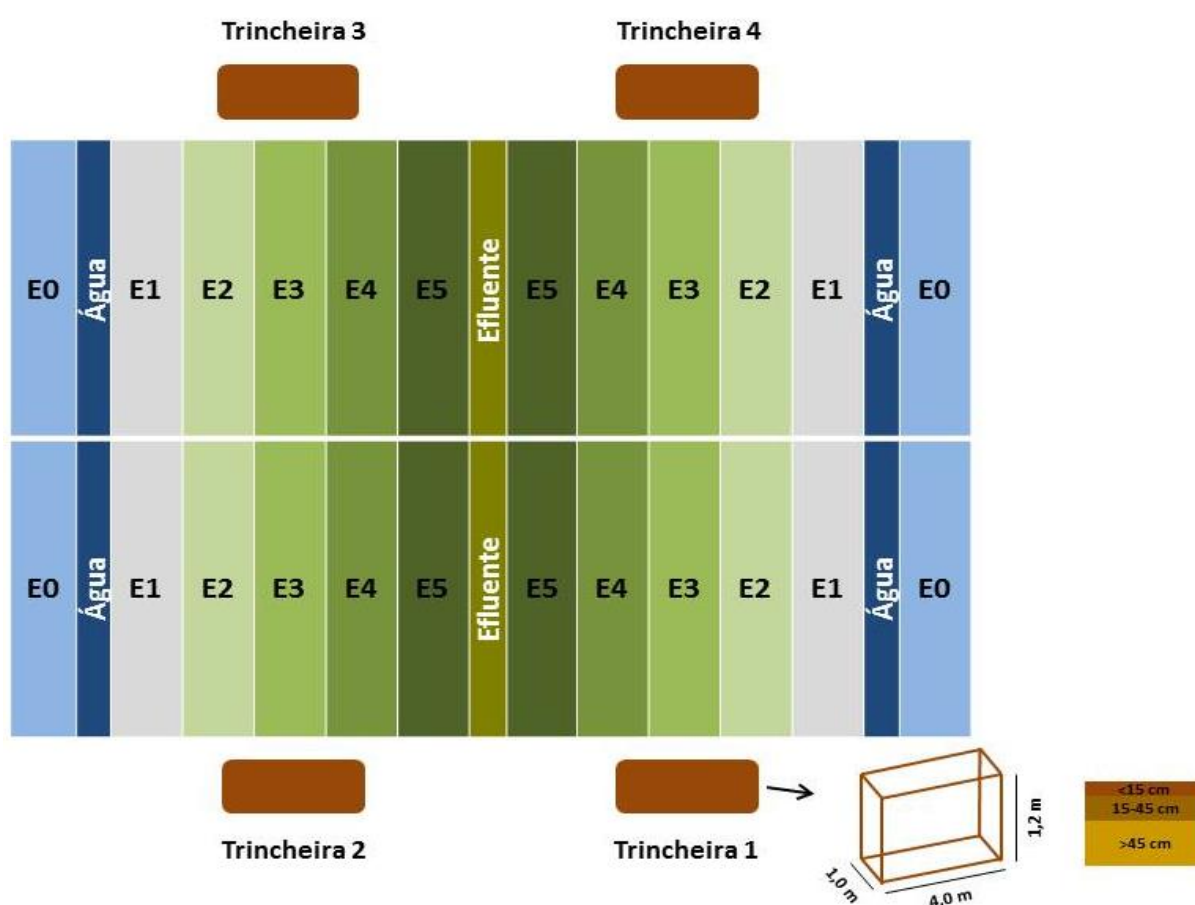


Figura 9. Coleta de solo para análise física pela abertura de trincheira.

As amostras de solo foram utilizadas para determinação de textura, densidade do solo e de partículas (picnômetro) e curva de retenção de água (Câmara de Richards). Com as amostras de densidade do solo e de partículas foi determinada a

porosidade total a partir das Equações 4 a 6. A densidade das partículas foi determinada a partir de amostras compostas de 0-20 cm de profundidade. As análises foram realizadas de acordo os procedimentos descritos por EMBRAPA (1997).

$$d_s = \frac{m_s}{v_s} \quad \text{Equação 4}$$

em que,

d_s = densidade do solo (g cm^{-3})

m_s = massa do solo seco (g);

v_s = volume total do solo (cm^3).

$$d_p = \frac{m_p}{v_p} \quad \text{Equação 5}$$

em que,

d_p = densidade da partícula (g cm^{-3})

m_p = massa de sólidos (g);

v_p = volume de sólidos (cm^3).

$$P_t = \left(1 - \frac{d_s}{d_p}\right) 100 \quad \text{Equação 6}$$

em que,

P_t = Porosidade total do solo (%);

d_s = densidade do solo (g cm^{-3});

d_p = densidade da partícula (g cm^{-3}).

A textura foi determinada em setembro de 2014 com amostras coletadas nos tratamentos E5, E3 e E0 (caracterização em diferentes concentrações de EET) nas mesmas camadas de solo que apresentado na Figura 10.



Figura 10. Coleta de amostras deformadas e indeformadas para caracterização física do solo através da abertura de trincheira (a) e com trado de caneca (b).

3.10. Resistência mecânica do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi obtida em três épocas, setembro de 2013 e março e setembro de 2014, em quatro repetições por tratamento, utilizando penetrômetro modelo PNT-2000/MOTOR, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm profundidade. Simultaneamente, avaliou-se o teor de água no solo a 20 cm de profundidade pelo método gravimétrico.

3.11. Estabelecimento da forrageira

No início de agosto de 2012 realizou-se a semeadura com 10 kg ha⁻¹ de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em linhas espaçadas de 20 cm. Nessa operação foram aplicados também 50 kg ha⁻¹ de superfosfato simples.

3.12. Manejo nutricional

Inicialmente foi realizada adubação de homogeneização da área (de acordo com a análise de novembro de 2012), aplicando-se 139 kg ha^{-1} de P_2O_5 e $45,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. As demais adubações seguiram a orientação de Vilela et al. (1998), aplicando-se 15, 3,5 e 18 kg ha^{-1} de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, para cada tonelada de biomassa seca colhida.

Devido à baixa concentração de P e K no EET, houve complementação com adubação mineral. Prática similar foram realizada por Erthal et al. (2010) utilizando água residuária de bovinocultura mais complementação mineral por P e por Fonseca et al. (2007) utilizando esgoto doméstico mais complementação com fertilizantes minerais.

Definiu-se o tratamento E3 como referência para receber a dose de nutrientes considerada ideal para que, com isso, pudessem ser estabelecidas doses maiores (E4 e E5) e menores (E1 e E2) que a ideal. O tratamento E0 recebeu adubação mineral de NPK de acordo com a demanda nutricional do tratamento E3.

3.13. Manejo de irrigação

O manejo da irrigação foi definido por critérios que visaram atender às demandas hídrica ou nutricional da cultura no tratamento referencia (E3), considerando a maior em cada ciclo de corte de 28 dias. Assumiu-se a demanda nutricional como especificado no item anterior e aplicaram-se irrigações com EET até se atingir a quantidade de nitrogênio requerida em função da produtividade de forragem colhida no tratamento E3 na colheita anterior.

Calculou-se ETo a partir de dados meteorológicos da Estação Agroclimatológica operada pelo Departamento de Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária (FCAV), Câmpus Jaboticabal, ($21^{\circ}14'05''\text{S}$ e $48^{\circ}17'09''\text{O}$), que é próxima do experimento, com auxílio do *software* Clima versão 1.0 (FARIA et al., 2002) pelo método de Penman-Monteith (Padrão FAO - 1998).

A demanda hídrica foi dada pela evapotranspiração da cultura (ETc), que foi calculada pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ETo) e coeficiente de cultivo (kc) através da Equação 7.

$$ETc = kc ETo$$

Equação 7

em que,

ETc = Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

kc = Coeficiente de cultivo;

ETo = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

Adotou-se kc unitário (kc=1,0), considerando que a *Brachiaria brizantha* mantém o solo com cobertura total com altura igual ou maior que 15 cm. Quintanilha et al. (2006) avaliando o uso da irrigação na produção de matéria seca dos capins *Panicum maximum* cv. Mombaça e capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu utilizaram kc semelhante.

3.14. Potencial de área irrigada

Para determinar o potencial de área irrigável, utilizou-se os dados de vazão da ETE referente ao mês de novembro sendo de $5,3 \cdot 10^9$ L ano⁻¹ e concentração de nitrogênio total referente ao mês de julho de 2011 de $4,1 \cdot 10^{-5}$ kg L⁻¹. Ambos os dados foram fornecidos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal - SAAEJ.

Simulou-se seis níveis de adubação nitrogenada sendo 100, 200, 300, 400, 500 e 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A área máxima irrigável de forma a suprir a necessidade nutricional foi a partir da Equação 8.

$$PAF = \frac{(Cn \ Qano)}{Dn}$$

Equação 8

em que,

PAF = Potencial de área fertirrigada (ha);

Cn = Concentração de nitrogênio da amostra (kg L⁻¹);

Qano = Vazão da estação de tratamento de esgoto (L ano⁻¹);

Dn = Dose de nitrogênio desejada (kg ha⁻¹ ano⁻¹).

A demanda hídrica da cultura foi baseada na evapotranspiração média diária da cultura para cada mês do ano. A área máxima irrigável atendendo a necessidade hídrica da cultura foi a partir da expressão pelo Equação 9 abaixo:

$$Pai = \frac{(Qdia / ETc)}{10.000}$$

Equação 9

em que,

Pai = Potencial de área irrigável (ha dia⁻¹);

Qdia = Vazão média diária (L dia⁻¹);

ETc = Evapotranspiração da cultura média diária (mm dia⁻¹).

3.15. Monitoramento da irrigação, condições hídricas do solo e solução do solo

Na Figura 11 apresenta-se o esquema com a localização das medidas do potencial matricial de água no solo, umidade do solo, precipitação e solução do solo.

O monitoramento da potencial matricial de água do solo foi realizado por leituras semanais utilizando tensiômetros com tensímetros previamente calibrados com manômetros de coluna de mercúrio, considerando três alturas de mercúrio e três

repetições. Os tensiômetros foram instalados no centro das parcelas experimentais à profundidade de 20 cm.

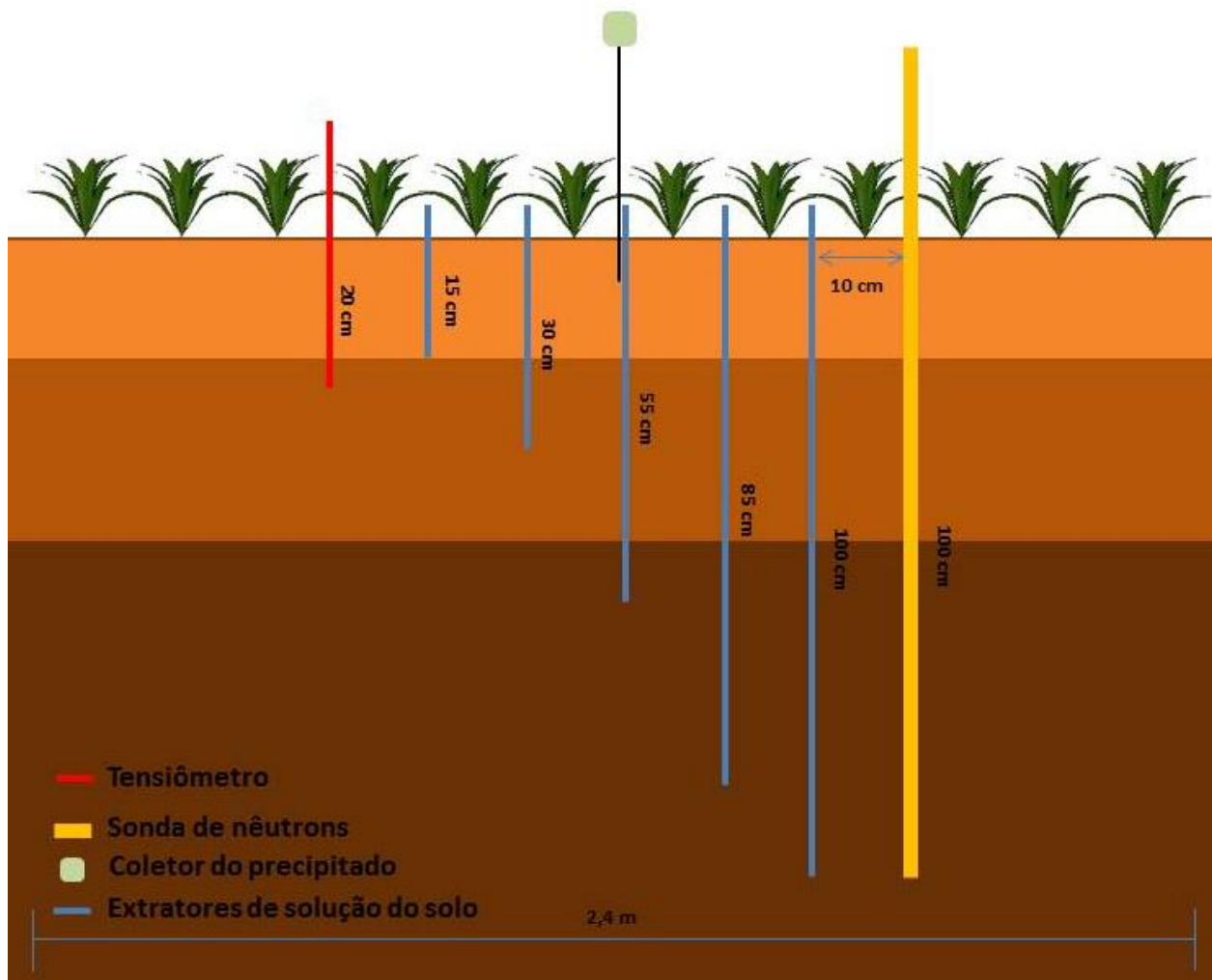


Figura 11. Localização de sensores nos tratamentos com monitoramento de precipitação e irrigação, solução do solo e água no solo em diferentes profundidades.

A umidade do solo foi também monitorada semanalmente por medidas com sonda de neutrons (CPN, modelo 503 DR Hydroprobe) em tubos de aço zincado de 1 m de profundidade. As medidas foram tomadas em quatro repetições dos tratamentos E5, E3 e E0 nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm.

A lâmina de irrigação em cada aplicação foi medida por coletores de precipitação colocados a 40 cm de altura no centro das parcelas.

As avaliações da solução do solo foram realizadas mensalmente, medindo-se a condutividade elétrica e o pH nos tratamentos E5, E3 e E0, do início do experimento até junho de 2014, e em todos os tratamentos a partir desta data. As profundidades de coletas de dados foram 15, 30, 55, 85 e 100 cm. A solução do solo foi obtida por uma bomba de vácuo acoplada a tubos de PVC com cápsulas de cerâmica porosa inseridos no solo. A condutividade elétrica (CE) e o pH dessa solução foram medidos por condutivímetro (CD-880) e peagâmetro (pH-222) portáteis, respectivamente.

A condutividade elétrica saturada foi determinada pela Equação 10, na qual a corrigiu-se a condutividade elétrica medida na solução extraída em diferentes profundidades por um coeficiente dependente do grau de saturação do solo, calculado pela Equação 11. O grau de saturação do solo foi calculado pela relação entre a umidade do solo medida por sonda de nêutrons para as respectivas profundidades e a umidade de saturação do solo, dado pela curva de retenção de água no solo.

$$CEs = C CE$$

Equação 10

em que,

Ces = Condutividade elétrica saturada (dS m⁻¹);

C = Coeficiente de correção ou grau de saturação do solo;

CE = Condutividade elétrica medida (dS m⁻¹).

$$C = \frac{\theta_{atual}}{\theta_{sat}}$$

Equação 11

em que,

C = Coeficiente de correção;

θ_{atual} = Umidade obtida pela sonda de nêutrons (cm³ cm⁻³);

θ_{sat} = Umidade de saturação do solo (cm³ cm⁻³).

A análise dos nutrientes contidos na solução do solo foi realizada nos tratamentos E5, E3 e E0 em setembro de 2013 e maio de 2014 e em outubro de 2014 em todos os tratamentos (E0-E5) para caracterizar a condição final do experimento. Todas as coletas foram realizadas nas profundidades de 15, 55 e 100 cm a partir de amostras compostas por tratamento. Os elementos analisados foram nitrogênio total, cálcio, magnésio e sódio no Laboratório de Tecnologia da FCAV-UNESP.

3.16. Manejo e avaliação da forragem

Por ocasião da diferenciação dos tratamentos realizou-se o corte de uniformização na área (08/01/2013) a 20 cm de altura. Nos ciclos seguintes os cortes foram realizados a 15 cm a cada 28 dias.

O corte da forragem foi realizado manualmente com auxílio de um gabarito de aço galvanizado de 0,5 x 0,5 m, com suportes que o mantêm a 15 cm de altura em relação à superfície do solo. Esse gabarito era lançado aleatoriamente na parcela, colhendo-se três repetições de 0,25 m² por parcela e quatro repetições por tratamento, deixando a forragem remanescente com 15 cm de altura (Figura 12). A forragem era cortada e homogeneizada e, posteriormente, era retirada uma amostra para ser pesada e levada à estufa com circulação de ar forçada, determinando-se a biomassa seca a 65°C até peso constante (LACERDA et al., 2009).



Figura 12. Materiais utilizados na colheita da *Brachiaria brizantha*.

As avaliações qualitativas da forrageira consistiram na determinação de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) analisadas no Laboratório de Nutrição Animal da FCAV-UNESP, a partir da metodologia proposta por Silva e Queiroz (2006), e macro e micronutrientes no Laboratório Ribersolo de Análises do Solo e Foliar, de Ribeirão Preto, pelo método proposto por Bataglia et al. (1983) (Boletim Técnico n° 78). As análises foram realizadas nas diferentes estações do ano. Os resultados foram avaliados de acordo com os critérios estabelecidos por Boaretto et al. (2009).

Foram avaliadas a PB e FDN na planta total e separadamente, sendo somente na folha e posteriormente no colmo para o ano de 2013.

A produtividade de biomassa verde de forragem foi obtida com os dados do peso da forragem da área cortada, transformando em kg ha^{-1} . A altura de planta foi determinada na pré-colheita pelo lançamento de folhas de acetato (transparências) ao acaso, com seis repetições por parcela, medindo a altura média da lâmina a partir do nível do solo.

Da biomassa seca de plantas inteiras, separaram-se em folha e caule e, posteriormente, determinou-se a relação entre as partes para cada parcela experimental através da Equação 12.

$$F/C = \frac{Bf}{Bc} \quad \text{Equação 12}$$

em que,

F/C = Relação folha-colmo (F:C);

Bf = Biomassa em folha (%);

Bc = Biomassa em colmo (%).

A produtividade de nitrogênio foi determinado pela razão entre a produtividade de biomassa seca produzida e a quantidade de nitrogênio aplicado através da Equação 13.

$$Pn = \frac{Bs}{Nc}$$

Equação 13

em que,

Pn = Produtividade de nitrogênio (kg de MS kg^{-1} de N);

Bs = Biomassa seca (kg);

Nc = Nitrogênio aplicado na cultura (kg).

3.17. Exportação de nutrientes

Calculou-se o saldo de nutrientes exportados pela *Brachiaria brizantha* por estação do ano. No cálculo realizado pela Equação 7, considerou-se a produtividade de biomassa seca, a quantidade de nutrientes aplicada via EET e a análise bromatológica da cultura. Os nutrientes avaliados foram: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e sódio (Na). As periodicidades das análises foram nas respectivas estações do ano.

A extração de nutrientes do solo foi calculada a partir da Equação 14 e o saldo de nutrientes no solo pela Equação 15. Foram ajustadas funções de resposta entre a extração de nutrientes em função da aplicação dos mesmos via EET.

$$Ne = Nf BS$$

Equação 14

em que:

Ne = Nutriente extraído (kg ha^{-1});

Nf = Nutriente foliar (g kg^{-1});

BS = Biomassa seca (t ha^{-1}).

$$S_n = NA - Ne$$

Equação 15

em que:

S_n = Saldo de nutrientes (kg ha^{-1});

NA = Nutriente aplicado (kg ha^{-1});

Ne = Nutriente extraído (kg ha^{-1}).

3.18. Taxa de lotação animal

A taxa de lotação animal (Equação 16) foi determinada a partir de altura indefinida de pré-pastejo, considerando ciclo de 28 dias e de pós pastejo fixada em 15 cm. Considerou-se a eficiência de pastejo de 75% e consumo médio por animal de 2% da unidade animal (450 kg) (CORRÊA et al., s/d).

$$TLA = \frac{BS}{CF}$$

Equação 16

em que,

TLA = Taxa de lotação animal por estação (unidade animal estação ha^{-1});

BS = 75% da biomassa seca por estação (kg ha^{-1});

CF = Consumo de forragem por estação ($\text{kg unidade animal}^{-1}$ estação $^{-1}$).

3.19. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Foi utilizado o sensor óptico ativo GreenSeeker Hand HeldTM, portátil para determinação do NDVI. O sensoriamento de avaliação com o GreenSeeker foi realizado manualmente, com passagem sobre a forrageira com altura de 0,5 m, avaliando sempre as linhas centrais de cada parcela. O monitoramento foi feito sempre um dia antes do início da colheita. A calibração do GreenSeeker foi realizada sempre em solo sem vegetação.

As leituras em todos os tratamentos foram obtidas a partir de uma altura média de 0,8 a 1,0 m entre o sensor e o solo (GROHS et al., 2009) realizada em 7,2 m² (12 m de deslocamento linear sobre a unidade experimental, multiplicado pela largura útil de 0,6 m captada pelo sensor). Foram gerados de 20 a 30 medições de NDVI por tratamento.

Segundo Rouse et al. (1973) *apud* Grohs et al. (2009) o NDVI foi determinado (Equação 17) para quantificar o crescimento da vegetação, variando com valores entre -1 e +1, caracterizando as áreas de solo nu ou sem vegetação e com vegetação, respectivamente, quanto maior o valor do NDVI, maior o vigor de crescimento da cultura.

$$NDVI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_r)}{(\rho_{nir} + \rho_r)} \quad \text{Equação 17}$$

em que,

$NDVI$ = Índice de vegetação por diferença normalizada;

ρ_{nir} = Reflectância no infravermelho próximo (770 nm);

ρ_r = Reflectância no vermelho (650 nm).

Os índices de mensuração da biomassa foram medidos antes das colheitas realizadas a cada 28 dias, no período de maio de 2013 a janeiro de 2015.

Após a medição de reflectância, foi realizada a medição da altura de planta e colheita da forragem para quantificação da produtividade de biomassa seca na mesma área medida pelo sensor.

Utilizou-se a interpretação de correlação entre variáveis proposta por Callegari-Jacques (2003) (Tabela 5).

Foram ajustada função de resposta entre a aplicação de nitrogênio via EET e posteriormente entre o NDVI e a biomassa seca, nitrogênio foliar, proteína bruta e fibra em detergente neutro.

Tabela 5. Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação.

Intervalo	Interpretação
0,0 - 0,3	Fraca correlação
0,3 - 0,6	Moderada correlação
0,6 - 0,9	Forte correlação
0,9 - 1,0	Correlação muito forte

3.20. Análise dos dados

Os 26 ciclos de cortes avaliados por estação do ano foram: verão (1° 05/02/13; 2° 05/03/13; 3° 03/04/13 e 13° 07/01/14), outono-inverno (4° 01/05/13; 5° 28/05/13; 6° 25/06/13; 7° 23/07/13 e 8° 20/08/13) e primavera (9° 17/09/13; 10° 15/10/13; 11° 12/11/13 e 12° 10/12/13) em 2013 e verão (14° 04/02/2014, 15° 04/03/2014, 16° 01/04/2014 e 26° 06/01/2015), outono-inverno (17° 29/04/2014, 18° 27/05/2014, 19° 24/06/2014, 20° 22/07/2014 e 21° 19/08/2014) e primavera (22° 16/09/2014, 23° 14/10/2014, 24° 11/11/2014 e 25° 09/12/2014) em 2014.

A análise estatística foi realizada para cada estação do ano de experimentação, com os dados acumulados no período. Os dados de rendimento de forragem foram analisados conforme Johnson et al. (1983) pelo procedimento GLM do SAS (SAS Institute, 1993), separados por estação do ano, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% e a 5% de probabilidade. Foram ajustadas funções de resposta entre o rendimento de biomassa seca e características bromatológicas, em função do nitrogênio aplicado via EET.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teste de aspersores

A distribuição da precipitação mostrou comportamento triangular para toda a faixa de pressões avaliadas (Figura 13). A pressão de serviço de 30 m.c.a (845 L h^{-1}) foi considerada adequada, tanto pela distribuição, quanto pelo alcance do jato, que foi cerca de 11 m.

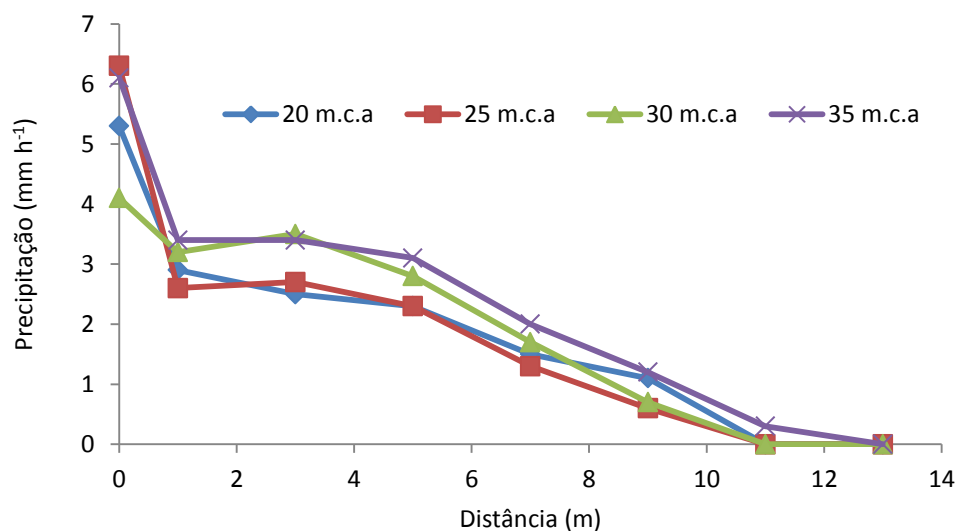


Figura 13. Perfil radial de distribuição de água do aspersor Senninger, Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05.

A uniformidade de distribuição de água proporcionada pelas diferentes pressões de serviço avaliadas, obtida pela sobreposição da precipitação dos coletores nos diferentes quadrantes (BERNARDO, SOARES e MANTOVANI, 2006), apresentou valores elevados de CUC e CUD, próximos de 89% e 83%, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Uniformidade de distribuição de água para o aspersor Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05 disposto em espaçamentos de 12 m x 12 m.

Pressão de serviço (m.c.a)	CUC (%)	CUD (%)
20	84,9	77,4
25	88,9	82,8
30	88,8	83,5
35	88,6	81,5

Embora tenha sido satisfatória a uniformidade de distribuição de irrigação na disposição de aspersores de 12 m x 12 m, a precipitação era baixa (5 mm h^{-1}). Para elevar a taxa de aplicação de água optou-se pelo espaçamento de 12 m entre linhas de irrigação e 6 m entre aspersores na linha. A simulação dessa disposição pelo *software* do fabricante do aspersor (WinSIPP2 11) mostrou valores de CUC e CUD ainda mais elevados. Assim, para a pressão de serviço de 30 m.c.a foram calculados CUC e CUD de 95,5% e 94,3%, respectivamente (Figura 14).

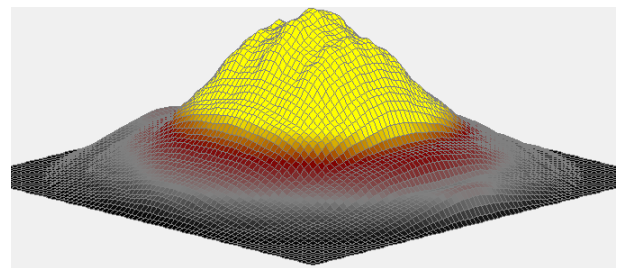
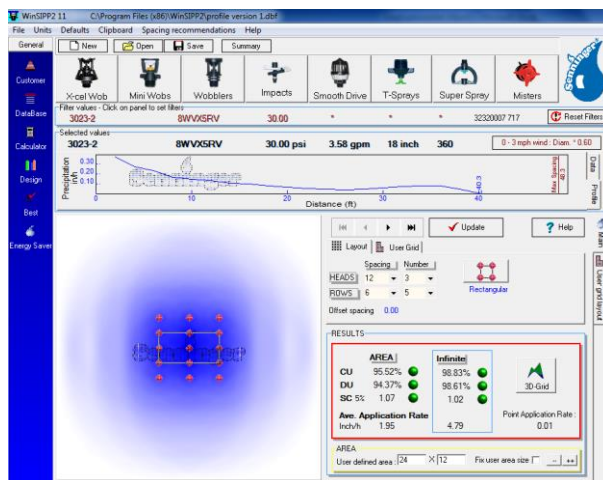


Figura 14. CUC e CUD simulados pelo *software* WinSSIP2 11 para aspersores Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05 disposto em espaçamentos de 12 m x 6 m.

Essa elevada uniformidade de distribuição de água foi comprovada em janeiro de 2013, nas irrigações realizadas após a instalação das linhas de aspersão na área experimental, adotando-se o espaçamento de 12 m x 6 m. Testes com o funcionamento de linhas de aspersores individuais possibilitaram comprovar que, além da precipitação mais elevada, com essa disposição obtém-se melhor efeito triangular da precipitação, conforme apresentado na Figura 14. Os testes foram realizados sempre pela manhã, período de menor intensidade do vento.

Atribuindo-se o valor unitário para a lâmina máxima coletada próxima à linha de irrigação, e calculando-se os valores relativos à lâmina máxima em função da distância, obtém a fração de distribuição da precipitação, conforme apresentado na Tabela 7 e Figura 15. Com essa curva determinou-se a proporção de efluente, em relação à lâmina máxima, que se aplicou por irrigação em cada tratamento.

Tabela 7. Fração de distribuição de EET em cada tratamento.

Tratamento	Distância (m)	Fator de distribuição do precipitado
E5	0,0 - 2,4	1,00
E4	2,4 - 4,8	0,87
E3	4,8 - 7,2	0,60
E2	7,2 - 9,6	0,31
E1	9,6 - 12,0	0,11
E0	12,0 - 14,4	0,00

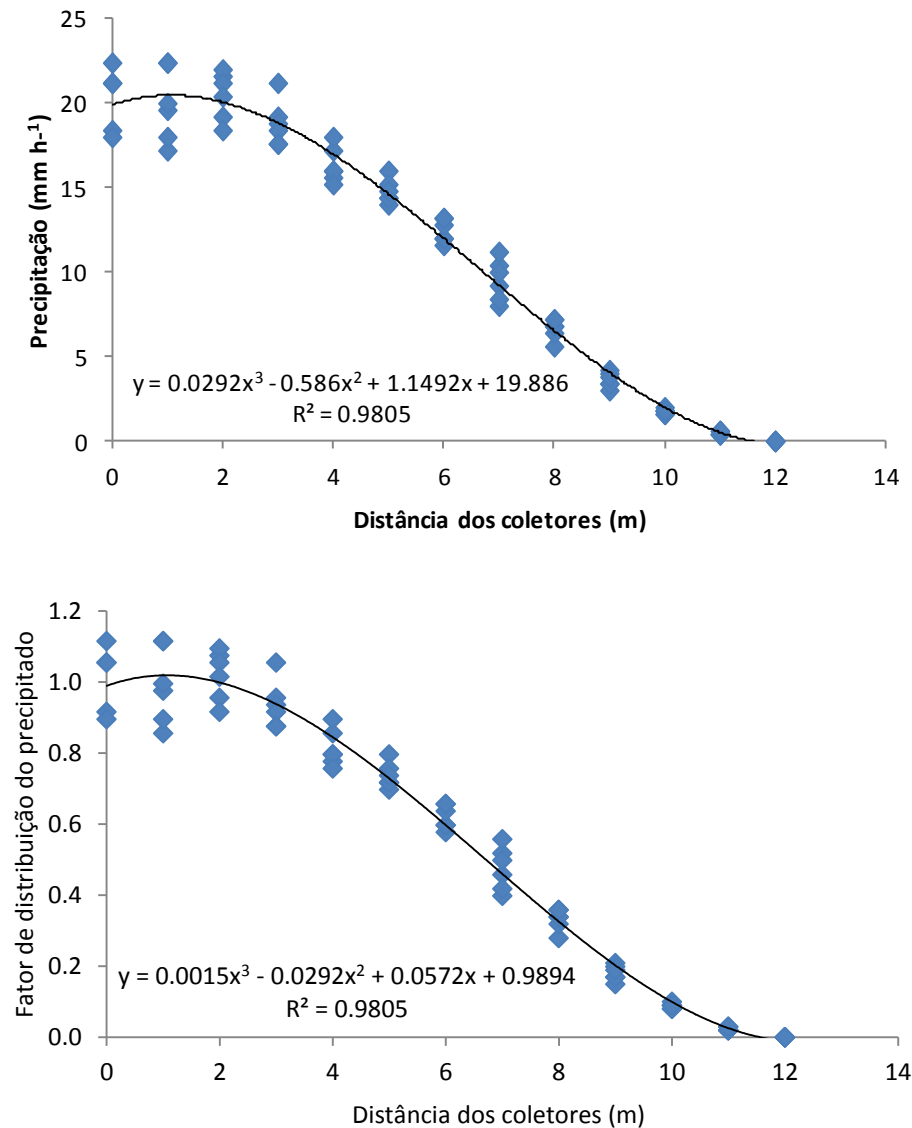


Figura 15. Perfil radial de distribuição de água do aspersores Senninger Modelo 3023-2 e bocais $\frac{3}{4}$ " M 08Qx05, em função da distância das linhas de irrigação espaçadas de 12 m, com aspersores espaçados de 6 m na linha.

4.2. Monitoramento climático

Durante a condução do experimento, no segundo ano, houve redução da precipitação e aumento da temperatura média (Figura 16 e Tabela 8).

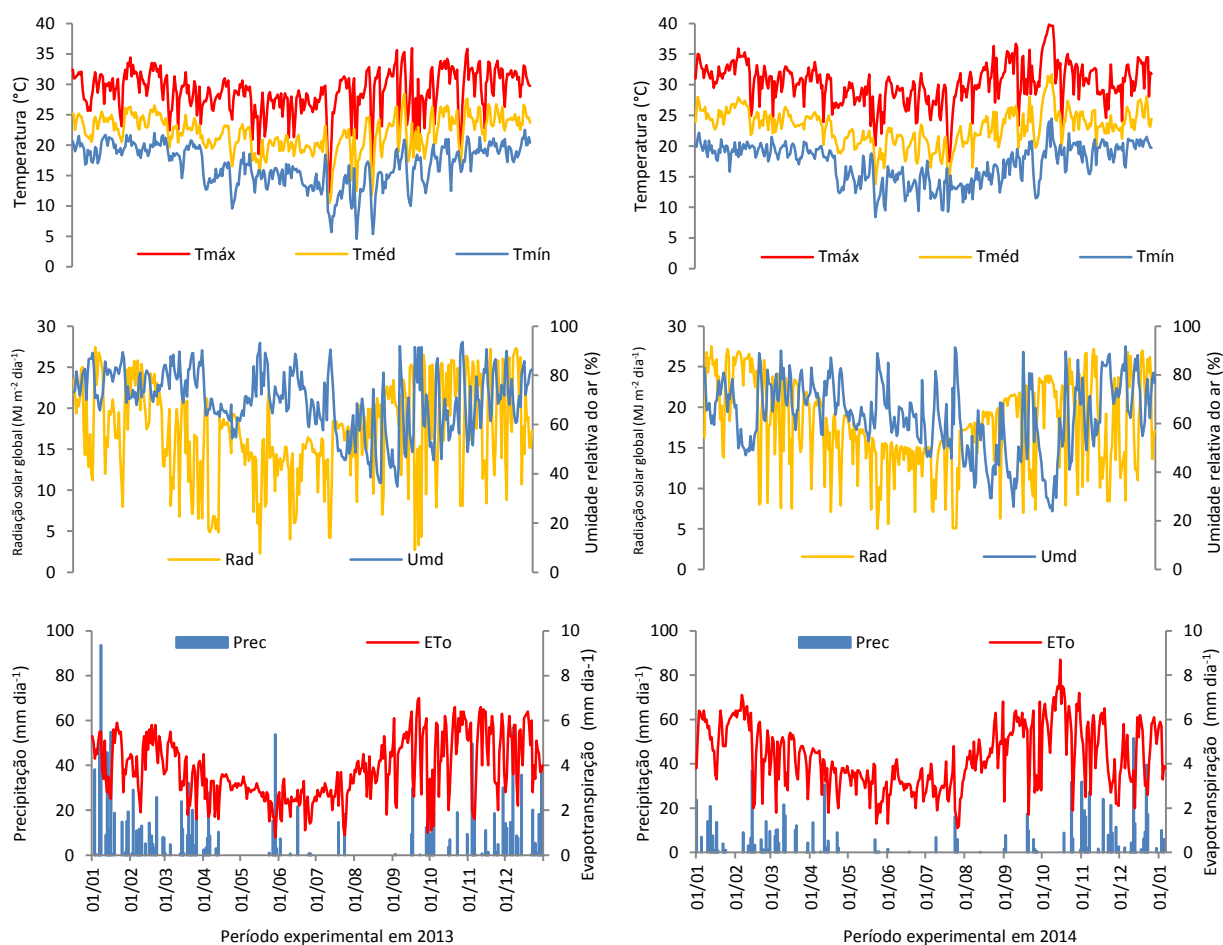


Figura 16. Caracterização climática em temperatura, radiação solar global, umidade do ar, precipitação e evapotranspiração da cultura no período experimental, em 2013 e 2014.

Em 2013 e 2014 a temperatura média foi de 22,2°C e 23,3°C, com média das máximas de 34,1°C e 36,5°C e a média das mínimas de 8,2°C e 11,9°C, respectivamente. A precipitação se concentrou nos meses mais quentes do ano, com ocorrência de cerca de 80% no período de outubro a março. Houve maior intensidade de radiação no ano de 2014 em relação ao ano de 2013 (5%), concentrando no verão, seguido da primavera e outono-inverno, em ambos os anos avaliados. A precipitação anual foi de 1.393 mm e 721 mm e evapotranspiração da cultura de 1.398 mm e 1.616 mm, em 2013 e 2014, respectivamente.

Tabela 8. Condições climáticas do município de Jaboticabal, SP, durante a condução do experimento, em 2013 e 2014.

Estações do ano	Temperatura do ar (°C)			Umidade do ar (%)	Radiação global (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Precipitação (mm)	ETo (mm)
	mín	máx	méd				
2013							
Verão	14,6	35,0	23,8	76,9	19,6	748	487
Outono-	4,6	31,3	20,0	69,2	13,8	221	388
Inverno							
Primavera	5,4	35,9	22,8	63,6	19,0	424	523
2014							
Verão	15,8	35,9	24,8	68,8	21,5	348	584
Outono-	8,4	33,7	20,8	62,8	14,8	102	460
Inverno							
Primavera	11,5	39,8	24,2	55,9	18,7	271	572

Fonte: UNESP (2015).

Além da demanda hídrica e nutricional, a temperatura ideal (25-35°C) favorece no desenvolvimento da forrageira (RODRIGUES, 2004). No ano de 2014, o aumento da temperatura e radiação propiciou o melhor desenvolvimento da forrageira, sendo este um fator limitante na produtividade agrícola.

O aumento da radiação solar e da temperatura no ano de 2014 propiciaram em maior assimilação de CO₂, H₂O e nutrientes pela forrageira. Com baixas temperaturas e menor número de horas de brilho solar, ocorrem mudanças fisiológicas na forrageira, desencadeando o processo reprodutivo e afetando o crescimento, fato observado no outono-inverno. Costa et al. (2005) afirma que as baixas umidades do ar são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas por provocar o fechamento dos estômatos, o que reduz não somente a saída de água como também a entrada de dióxido de carbono, reduzindo as taxas fotossintéticas.

4.3. Análise do efluente

As três lagoas existentes na ETE de Jaboticabal mostraram valores ideais em teores de nitrogênio e baixa variação na concentração de uma lagoa para a outra, demonstrando ser a segunda lagoa representativa para suprir o experimento (Tabela 9).

O efluente coletado na ETE em março de 2013 também apresentou baixas a altas concentrações de elementos-traço (Tabela 10). No entanto, na caracterização final do EET (novembro de 2014) houve redução da carga de elementos-traço no EET com concentrações abaixo do estabelecido para lançamento em corpos hídricos. Assim, as baixas concentrações de elementos-traço no EET propiciam o uso na agricultura (BRASIL, 2005).

Tabela 9. Concentração de nitrogênio nas fontes disponíveis de captação da ETE de Jaboticabal, em março de 2013.

Fonte	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Norgânico	N-total	N-total Kjedahl
	(mg L ⁻¹)					
Lagoa 1	4,74	0,020	30,9	13,5	49,2	44,4
Lagoa 2	4,27	0,018	36,4	3,7	44,2	40,1
Lagoa 3	2,67	0,019	34,9	15,2	52,8	50,1
Média	3,89±1,10	0,019±0,00	34,1±2,8	10,8±6,2	48,7±4,3	44,9±5,0

Obs.: NO₃⁻: Nitrato; NO₂⁻: Nitrito; NH₄⁺: Amônio; N-total: Nitrogênio total; Norgânico: Nitrogênio orgânico; N-total Kjedahl: Nitrogênio total por Kjedahl; Lagoa 1, 2 e 3: Represas em paralelo disponíveis para captação de efluente.

Mesmo com o EET de Jaboticabal ser predominantemente doméstico, há contaminação por elementos-traço (Tabela 10). Para aplicação constante de EET no solo, seriam necessárias mais análises para melhor conhecimento da variação da concentração destes elementos no EET. Resultados semelhantes foram obtidos por Fonseca (2005) na região de Lins, SP. No entanto, para Silva (2013) a irrigação com

EET doméstico não proporciona, em curto e médio prazo, contaminação do solo por elementos-traço no sistema solo-pastagem.

Tabela 10. Concentração de elementos-traço no efluente de esgoto tratado da ETE de Jaboticabal em março de 2013 e novembro de 2014.

Período	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	(mg L ⁻¹)										
Março/2013	<0,01	<2,78	0,2	0,22	5,58	0,01	0,38	0,25	0,16	<0,02	6,5
Novembro/2014	<0,001	-	0,03	0,02	0,024	<0,001	-	<0,01	<0,01	-	0,2
Parâmetros*	0,03	1,0	0,01	0,05	0,01	0,002	0,01	0,02	0,03	0,05	5

*Brasil (2005). Obs.: As: Arsênio; Ba: Bário; Cd: Cádmio; Cr: Cromio; Cu: Cobre; Hg: Mercúrio; Mo: Molibdênio; Ni: Níquel; Pb: Chumbo; Se: Selênio; Zn: Zinco.

As análises de EET confirmaram altas concentrações anuais de nutrientes essenciais à *Brachiaria* em ambos os anos avaliados. Em 2013, as concentrações de nitrogênio total ($53,7 \pm 7,6$ mg L⁻¹) potássio ($16,6 \pm 2,1$ mg L⁻¹) e fósforo ($0,9 \pm 0,3$ mg L⁻¹) foram baixa, respectivamente, para fins de irrigação via EET em forrageiras (Tabela 8). Houve baixa salinidade do efluente determinada pela condutividade elétrica ($<0,46$ dS m⁻¹), sódio ($54,8 \pm 9,5$ mg L⁻¹) e razão de adsorção de sódio (RAS = $3,2 \pm 0,6$). Houve também elevada contagem de coliformes totais e *Escherichia coli* no efluente (Tabela 11).

O pH ligeiramente mais elevado no outono-inverno de 2013 está relacionado à composição química geral do EET, que nesse período apresentou maiores concentrações dos elementos devido a redução dos índices pluviométricos (Tabela 11).

Resultados semelhantes foram obtidos por Bonfim (2011) avaliando a qualidade de efluente no litoral norte da Bahia, que obteve aumento do pH nos períodos de estiagem. Comportamentos semelhantes foram obtidos para os demais elementos avaliados.

Houve elevadas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio, manganês, sulfato, óleos de graxas, coliformes e razão de adsorção de sódio.

Tabela 11. Características químicas, físicas e microbiológicas do EET da ETE de Jaboticabal no verão, outono-inverno e primavera, em 2013.

Parâmetros	Unidade de medida	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média	Limite/Fonte
pH	-	7,0	7,4	7,0	7,2±0,2	5-9 ^a
CE	dS m ⁻¹	0,45	0,46	0,43	0,45±0,01	<3 ^b
COT	mg L ⁻¹	26,1	37,5	45,2	36,3±9,6	-
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	4,5	3,6	5,0	4,4±0,9	<10 ^g
NO ₂ ⁻	mg L ⁻¹	0,026	0,036	0,041	0,04±0,0	<0,02 ^g
NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	36,1	49,4	32,7	38,8±12,2	1-40 ^g
Ntotal	mg L ⁻¹	44,3	60,4	52,3	53,7±7,6	-
Norgânico	mg L ⁻¹	16,2	10,0	7,7	11,3±11,0	-
N total-K	mg L ⁻¹	43,2	56,8	47,8	49,2±8,0	-
Fetotal	mg L ⁻¹	0,40	0,36	0,5	0,42±0,1	<5 ^c
K	mg L ⁻¹	14,6	18,8	16,4	16,6±2,1	10-40 ^g
P	mg L ⁻¹	1,2	1,0	0,6	0,9±0,3	<2 ^b
DQO	mg L ⁻¹	265,0	304,0	187,0	252,0±59,6	-
DBO	mg L ⁻¹	50,0	70,0	270,0	130,0±121,5	120 ^a
Ca	mg L ⁻¹	12,2	15,3	14,5	14,0±1,6	20-120 ^g
Mg	mg L ⁻¹	3,9	5,7	5,5	5,0±1,0	10-50 ^g
RS	mg L ⁻¹	<0,1	0,5	<0,1	0,2±0,2	-
OG	mg L ⁻¹	42,0	45,0	229,0	105,3±107,1	<100 ^a
SO ₄ ⁻	mg L ⁻¹	19,3	20,7	22,6	20,9±1,7	<20 ^b
Mn	mg L ⁻¹	<0,01	0,1	0,2	0,1±0,1	<0,1 ^f
Zn	mg L ⁻¹	0,1	1,0	0,1	0,4±0,5	<5 ^a
Na	mg L ⁻¹	52,0	47,0	65,4	54,8±9,5	50-250 ^g
RAS	-	3,3	2,6	3,7	3,2±0,6	4,5-7,5 ^g
CT	NMP100 ⁻¹ ml	7.900	49.000	2.700	19.867±25.364	<10.000 ^d
EC	NMP100 ⁻¹ ml	500	7.000	1.300	2.933±3.544	<1.000 ^d

Obs.: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; COT: Carbono orgânico total; NO₃⁻: Nitrato; NO₂⁻: Nitrito; NH₄⁺: amônio; Ntotal: nitrogênio total; Norgânico: Nitrogênio orgânico; Ntotal-K: Nitrogênio total de Kjeldahl; Fetotal: Ferro total; K: Potássio; P: Fósforo; DQO: Demanda química de oxigênio; DBO: Demanda biológica de oxigênio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; RS: Resíduos sedimentares; OG: Óleos e graxas; SO₄⁻: Sulfato; Mn: Manganês; Zn: Zinco; Na: Sódio; RAS: Razão de adsorção de sódio; CT: Coliformes totais; EC: Escherichia Coli. Fonte: ^aBrasil (2011); ^bAyers e Westcot (1976); ^cPratt (1972); ^dBrasil (2006); ^eCordeiro (2001); ^fBrasil (2005); ^gFeigin, Ravina e Shalhevet (1991).

Os elementos com concentrações inferiores aos limites estabelecidos para fins de irrigação foram: condutividade elétrica, ferro, fósforo, cálcio, magnésio e zinco (Tabela 11).

O nitrogênio amoniacal no EET representou, em média, 65% do nitrogênio total, sendo que este último variou de 67,3 mg L⁻¹ no outono-inverno a 44,3 mg L⁻¹ no verão. Com vazão média da ETE de Jaboticabal de 167,5 L s⁻¹ (novembro de 2012), descarta-se aproximadamente 781 kg dia⁻¹ de nitrogênio total através do lançamento de EET nos corpos d'água. A utilização desse na agricultura representa ganho na qualidade das águas dos mananciais pela redução de lançamento de nutrientes, além de menor custo com fertilizante mineral.

Entre os macronutrientes primários, o fósforo foi o elemento com menor concentração no EET, sendo decrescente ao longo do ano. Esperava-se maior concentração deste elemento devido a sua origem ser de elemento comum na higienização e lavagem de utensílios domésticos. Essa constatação esta de acordo com Malavolta (2006), que afirmou que a utilização de água residuária como fonte de fósforo é parcial, necessitando de complementação na forma mineral.

O efluente apresentou salinidade média (0,45±1,0 dS m⁻¹) e baixa razão de adsorção de sódio (RAS=3,2±0,6) classificado como C2S1 (RICHARDS, 1954), correspondente a risco médio de salinização e baixo risco de sodificação.

Na primavera de 2013, as concentrações de óleos e graxas ficaram acima do limite estabelecido para fins de irrigação, sendo de 229%, elevando a média anual. Os óleos e graxas presentes no EET favorecem o aumento da carga orgânica por inibir a transferência de oxigênio do ar para o EET.

Houve aumento da concentração de carbono orgânico total, nitrito, demanda bioquímica de oxigênio, óleos e graxas, sulfato e *Escherichia Coli*. Exceto no verão de 2013, as demais estações apresentaram elevada concentração de coliformes termotolerantes (>10³ NMP g⁻¹ de sólidos totais). Resultados semelhantes foram obtidos por Bonfim (2011) que observou tendência de crescimento na concentração dos elementos constituintes do EET no período de estiagem, sendo decrescentes nas estações com maiores índices pluviométricos, obtendo neste período os melhores índices de qualidade efluente.

As características físicas e químicas do EET mantiveram os padrões de qualidade similares em 2014 (Tabela 12), exceto para coliformes totais e *Escherichia Coli*, que foram superiores em 2014.

Tabela 12. Características químicas, físicas e microbiológicas do EET da ETE de Jaboticabal no verão, outono-inverno e primavera, em 2014.

Parâmetros	Unidade de medida	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média	Limite/Fonte
pH	-	6,6	7,2	7,2	7,0±0,4	5-9 ^a
CE	dS m ⁻¹	0,43	0,51	0,40	0,46±0,09	<3 ^b
COT	mg L ⁻¹	86,0	53,3	44,7	59,3±19,1	-
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0,9	6,9	3,8	4,6±3,2	<10 ^g
NO ₂ ⁻	mg L ⁻¹	1,54	0,05	0,03	0,41±1,1	<0,02 ^g
NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	29,1	28,9	30,0	29,2±17,7	1-40 ^g
Ntotal	mg L ⁻¹	45,9	56,4	50,8	52,4±7,1	-
Norgânico	mg L ⁻¹	14,5	24,0	17,0	19,9±15,9	-
Ntotal-K	mg L ⁻¹	43,5	52,9	47,0	49,1±8,1	-
Fetotal	mg L ⁻¹	0,20	0,75	0,8	0,62±0,4	<5 ^c
K	mg L ⁻¹	35,9	19,2	17,9	23,1±8,8	10-40 ^g
P	mg L ⁻¹	1,4	1,0	1,4	1,2±0,4	<2 ^b
DQO	mg L ⁻¹	240	213	125	198±61,5	-
DBO	mg L ⁻¹	60,0	37,5	22,0	39,3±18,7	120 ^a
Ca	mg L ⁻¹	6,4	16,3	27,8	16,7±8,8	20-120 ^g
Mg	mg L ⁻¹	11,0	4,5	8,5	7,1±3,2	10-50 ^g
RS	mg L ⁻¹	<0,1	0,3	<0,1	0,2±0,2	-
OG	mg L ⁻¹	78,0	83,0	75,0	79,8±18,4	<100 ^a
SO ₄ ⁻	mg L ⁻¹	24,0	20,0	41,0	26,3±11,1	<20 ^b
Mn	mg L ⁻¹	0,3	0,1	<0,01	0,11±0,1	<0,1 ^f
Zn	mg L ⁻¹	0,1	0,2	0,2	0,17±0,0	5 ^a
Na	mg L ⁻¹	68,6	57,7	63,2	61,8±8,0	50-250 ^g
RAS	-	4,0	3,3	2,7	3,3±0,6	4,5-7,5 ^g
CT	NMP100 ⁻¹ ml	11.000	129.5000	30.000	75.000±75.635	<10.000 ^d
EC	NMP100 ⁻¹ ml	490	6.055	22.000	8.650±10.472	<1.000 ^d

Obs.: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; COT: Carbono orgânico total; NO₃⁻: Nitrito; NO₂⁻: Nitrito; NH₄⁺: amônio; Ntotal: nitrogênio total; Norgânico: Nitrogênio orgânico; Ntotal-K: Nitrogênio total de Kjeldahl; Fetotal: Ferro total; K: Potássio; P: Fósforo; DQO: Demanda química de oxigênio; DBO: Demanda biológica de oxigênio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; RS: Resíduos sedimentares; OG: Óleos e graxas; SO₄⁻: Sulfato; Mn: Manganês; Zn: Zinco; Na: Sódio; RAS: Razão de adsorção de sódio; CT: Coliformes totais; EC: *Escherichia Coli*. Fonte: ^aBrasil (2011); ^bAyers e Westcot (1976); ^cPratt (1972); ^dBrasil (2006); ^eCordeiro (2001); ^fBrasil (2005); ^gFeigin, Ravina e Shalhevet (1991).

Houve também aumento moderado do nitrito, nitrogênio orgânico, ferro total, fósforo, magnésio e redução em carbono orgânico total, amônio, demanda bioquímica de oxigênio e óleos e graxas. Características semelhantes foram apresentadas por Fonseca et al. (2007) para esgotos dos municípios de Lins e Viçosa, exceto que em Lins havia elevada concentração de sódio ($145,8 \pm 31,3 \text{ mg L}^{-1}$), quase três vezes superior ao da ETE de Jaboticabal. No entanto, os resultados contradizem a pesquisa de Souza (2012), que não encontrou alterações significativas entre as estações seca e chuvosa em efluente tratado em Botucatu, São Paulo.

4.4. Manejo da Irrigação

Demanda hídrica da cultura, precipitação e manejo da irrigação durante os 26 intervalos entre colheitas da forragem (28 dias), realizados em 2013 e 2014 (Figura 17 e Tabela 13).

Em 2013, a evapotranspiração da cultura foi de 487, 388 e 523 mm, e as lâminas de irrigação foram de 678, 500 e 675 mm no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. Em 2014, houve maior evapotranspiração da cultura sendo de 584, 460 e 572 e as lâminas de irrigação foram de 750, 661 e 842 mm no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. Consequentemente, a lâmina total (irrigação mais precipitação) foi quase três vezes maior que a evapotranspiração em 2013 e duas vezes em 2014. No entanto, o excedente hídrico, principalmente no período chuvoso, possivelmente resultou em lixiviação de nutrientes.

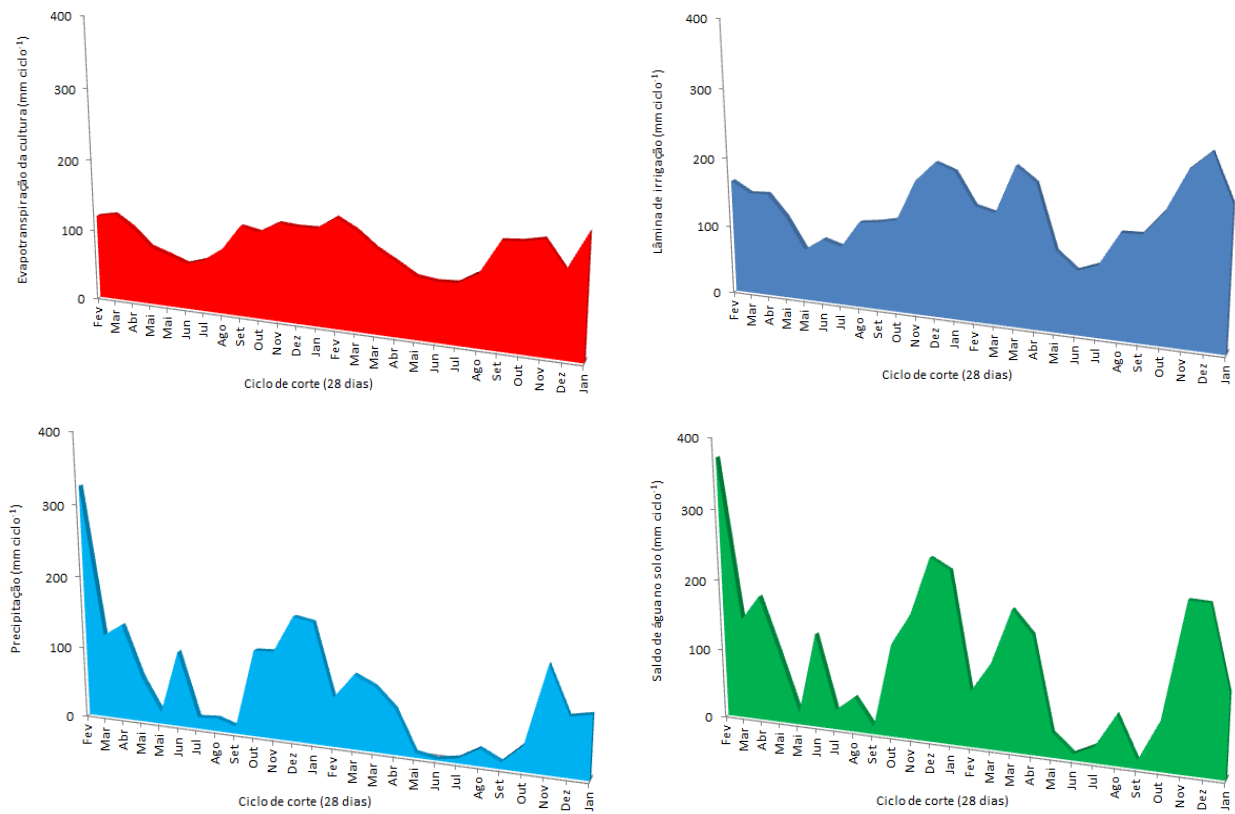


Figura 17. Evapotranspiração da cultura (ET_c), irrigação, precipitação e saldo de água no solo durante vinte e seis ciclos de corte de 28 dias de *Brachiaria brizantha*, em Jaboticabal, SP.

Tabela 13. Evapotranspiração da cultura (ETc), irrigação, precipitação e lâmina total durante ciclos de cortes de *Brachiaria brizantha*, em Jaboticabal, SP.

Ciclo de corte	Mês	ETc (mm)	Número de irrigações	Irrigação (mm)	Precipitação (mm)	Lâmina total (mm)
2013						
1°	Fevereiro	119	6	166	326	492
2°	Março	124	7	150	119	269
3°	Abril	107	6	152	136	288
4°	Maio	83	7	120	64	184
5°	Maio	74	5	75	16	91
6°	Junho	65	4	94	106	200
7°	Julho	74	4	86	16	102
8°	Agosto	92	7	124	18	142
9°	Setembro	127	6	128	10	128
10°	Outubro	122	6	134	120	254
11°	Novembro	138	7	193	122	315
12°	Dezembro	136	11	220	172	392
13°	Janeiro	136	10	210	168	378
Total		1.398	86	1.853	1.393	3.235
2014						
14°	Fevereiro	154	9	165	68	233
15°	Março	140	11	158	103	261
16°	Março	118	16	226	90	316
17°	Abril	103	12	205	63	268
18°	Maio	87	10	114	7	121
19°	Junho	83	8	91	2	93
20°	Julho	85	8	102	7	109
21°	Agosto	102	10	149	23	172
22°	Setembro	148	13	150	9	159
23°	Outubro	150	8	184	36	220
24°	Novembro	156	14	241	145	386
25°	Dezembro	119	15	267	81	348
26°	Janeiro	172	13	201	87	288
Total		1.617	147	2.253	721	2.974

4.5. Condições hídricas do solo

O monitoramento da tensão de água no solo em cada tratamento, realizado com tensiômetros a 20 cm de profundidade, em todos os ciclos de corte, é apresentado na Figura 18. Os resultados demonstram tensões similares entre os tratamentos durante

todo o período, uma vez que nesse experimento preconiza-se a aplicação variada de EET, porém com lâminas de irrigação uniformes em todos os tratamentos. Os valores médio em mínimo, médio e máximo de tensão água no solo foram de 2,7, 6,8 e 21,5 kPa, respectivamente, em 2013. A maior tensão de água no solo (41,9 kPa) foi registrada em 2013, em setembro (9º ciclo), época com reduzidas ocorrência de precipitação (10 mm) e alta demanda hídrica pela cultura.

Em 2014, houve maior produtividade de biomassa, conseqüentemente maior necessidade de reposição nutricional devido à extração de nutrientes, suprimindo a demanda hídrica em todas as épocas. A maior tensão de água no solo em 2014 (34,3 kPa) ocorreu em agosto (20º ciclo). Nogueira et al. (2012) considerou como crítico tensões de água no solo maiores que 34 kPa para Tifton 85 fertirrigado com EET. Portanto, pode-se considerar que a *Brachiaria* do presente experimento não sofreu estresse hídrico.

A umidade do solo determinada por sonda de nêutrons também foi similar entre os tratamentos durante os ciclos de colheita, na camada de solo até 80 cm (Figura 19), indicando boa uniformidade de irrigação no experimento.

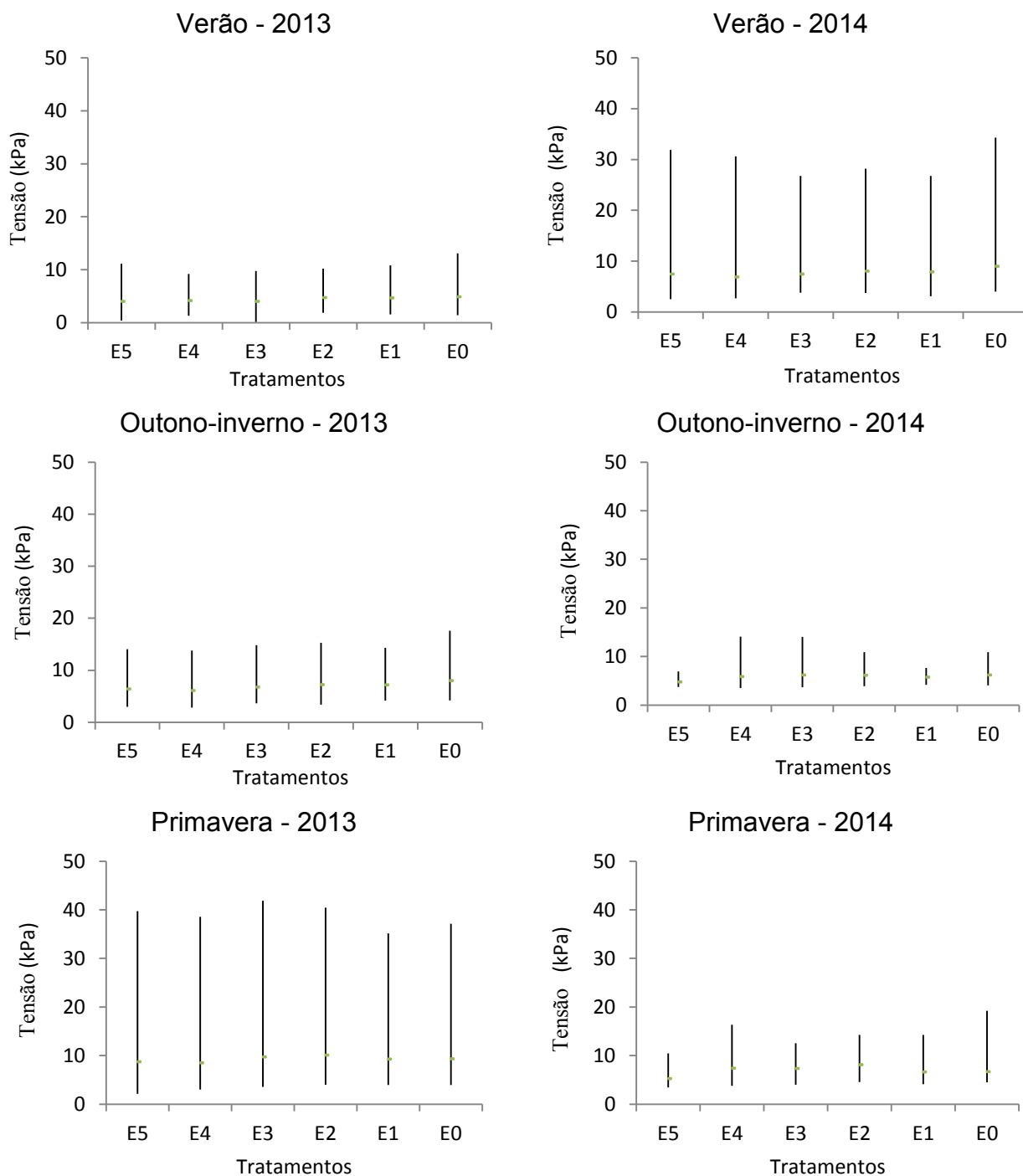


Figura 18. Tensão de água no solo mínima, média e máxima, medida por tensiômetro, no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014, submetida a diferentes tratamentos com efluente de esgoto tratado e adubação mineral em Jaboticabal, SP.

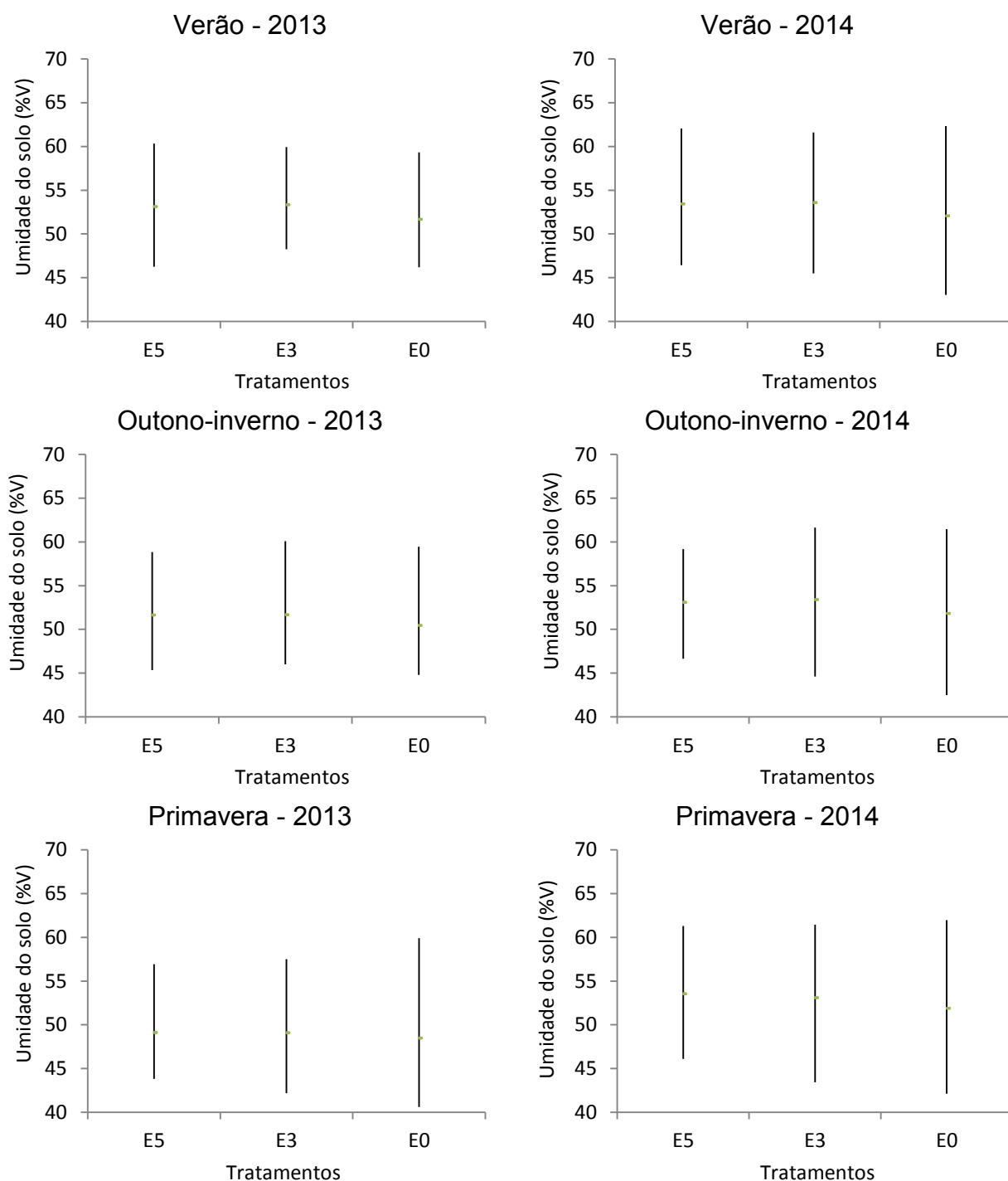


Figura 19. Umidade do solo mínima, média e máxima, medida por sonda, no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014, submetida a diferentes tratamentos com efluente de esgoto tratado e adubação mineral em Jaboticabal, SP.

4.6. Manejo nutricional

As quantidades de fertilizantes minerais aplicadas em função da biomassa seca colhida em cada ciclo são apresentadas na Tabela 14. Foram repostos apenas o P e K nos tratamentos E5, E4, E3, E2 e E1 devido à baixa concentração no EET e nitrogênio, fósforo e potássio no tratamento E0. Nos tratamentos E5-E1 o nitrogênio foi suprido via irrigação com EET.

As quantidades de N, P, K e Na aplicadas via EET em função da produtividade de biomassa seca são apresentadas nas Tabelas 15 a 18, respectivamente. Os teores de Na, N e K, corresponderam ao primeiro, segundo e terceiro elementos de maior concentração no EET entre os macronutrientes e P o menor. Devido à elevada concentração de sódio em relação ao potássio, as aplicações do primeiro foram até três vezes superiores as do segundo (Tabelas 15 e 16). Em 2014, foram aplicados 26,1% a mais de sódio do que nitrogênio (Tabela 17 e 18).

Tabela 14. Fertilizantes minerais aplicados em cada tratamento por estação do ano.

Ano	Estação	E0	E5, E4, E3, E2, E1, e E0	
		Ureia	Superfosfato triplo	Cloreto de potássio
		kg ha ⁻¹		
2013	Verão	189	34	226
	Outono-Inverno	85	20	110
	Primavera	182	43	218
	Total	455	96	554
2014	Verão	200	47	239
	Outono-Inverno	157	37	188
	Primavera	292	52	269
	Total	649	136	696

Tabela 15. Quantidades de N aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013, e 2014.

Ano	Estação	(kg ha ⁻¹)					
		E5	E4	E3	E2	E1	E0
2013	Verão	308	270	186	95	34	0
	Outono-Inverno	258	227	157	80	28	0
	Primavera	365	320	221	112	40	0
	Total	931	817	564	287	102	0
2014	Verão	346	304	210	107	38	0
	Outono-Inverno	366	321	221	113	40	0
	Primavera	420	369	255	130	46	0
	Total	1.132	994	686	350	124	0

Tabela 16. Quantidades de P aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.

Ano	Estação	(kg ha ⁻¹)					
		E5	E4	E3	E2	E1	E0
2013	Verão	15	13	9	5	2	0
	Outono-Inverno	6	5	3	2	1	0
	Primavera	7	6	4	2	1	0
	Total	28	24	16	9	4	0
2014	Verão	5	4	3	2	1	0
	Outono-Inverno	4	4	3	1	1	0
	Primavera	12	10	7	4	1	0
	Total	21	18	13	7	3	0

Tabela 17. Quantidades de K aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.

Ano	Estação	(kg ha ⁻¹)					
		E5	E4	E3	E2	E1	E0
2013	Verão	108	94	65	33	12	0
	Outono-Inverno	82	73	50	25	9	0
	Primavera	124	109	75	39	14	0
	Total	314	276	190	97	35	0
2014	Verão	151	132	91	46	17	0
	Outono-Inverno	134	117	81	41	15	0
	Primavera	179	157	108	55	20	0
	Total	464	406	280	142	52	0

Tabela 18. Quantidades de Na aplicadas por irrigação com EET por tratamento, durante as estações, em 2013 e 2014.

Ano	Estação	(kg ha ⁻¹)					
		E5	E4	E3	E2	E1	E0
2013	Verão	341	299	207	105	37	0
	Outono-Inverno	242	212	147	75	27	0
	Primavera	311	273	188	96	34	0
	Total	894	785	542	276	98	0
2014	Verão	495	434	300	152	54	0
	Outono-Inverno	390	343	236	120	43	0
	Primavera	543	477	329	167	60	0
	Total	1.428	1.254	865	439	157	0

Os demais nutrientes foram aplicados, via EET, nas seguintes quantidades (kg ha⁻¹), no tratamento E5: Ca=258 Mg=92, SO₄²⁻=369, Fe=7, Mn=1 e Zn=11, em 2013 e Ca=358 Mg=108, SO₄²⁻=421, Fe=17, Mn=2 e Zn=3, em 2014. Os demais tratamentos

receberam quantidades proporcionais às frações de aplicação definida em cada tratamento. As adubações foram escalonadas de acordo com as necessidades da cultura em cada ciclo de corte (28 dias).

4.7. Características físicas do solo

4.7.1. Curva característica, textura e densidade

A densidade de partículas foi realizada na profundidade de 0-20 cm a partir de amostras compostas resultando no valor médio de $2,68 \text{ g cm}^{-3}$. O solo da área experimental é argiloso a muito argiloso (Tabela 19). O alto teor de ferro propicia em alta densidade do solo e o alto teor de argila resulta em alta porosidade em todas as camadas na condição inicial (Tabela 20).

Tabela 19. Textura do solo em diferentes profundidades e tratamentos avaliados, em setembro de 2014.

Trat.	Prof. (cm)	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Classificação
E5	0-15	230	96	134	534	236	Argiloso
E5	15-45	215	82	134	611	173	Muito argiloso
E5	>45	210	73	137	592	198	Argiloso
E3	0-15	230	90	140	587	183	Argiloso
E3	15-45	208	80	128	597	195	Argiloso
E3	>45	206	72	134	612	182	Muito argiloso
E0	0-15	221	89	132	566	213	Argiloso
E0	15-45	208	78	130	592	200	Argiloso
E0	>45	209	74	135	598	193	Argiloso

Tabela 20. Densidade e porosidade do solo nas camadas 0-15, 15-45 e >45 cm de profundidade, determinadas no início do em experimento, em janeiro de 2013.

Profundidade (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	Porosidade total (%)
0-15	1,45	46
15-45	1,49	44
>45	1,34	50
Média	1,43	47

As curvas de retenção de água no solo apresentadas na Figura 20, obtidas para representar a condição inicial do solo, mostram as diferenças de retenção de água nas profundidades 15 e 25 cm e menor na de 60 cm, indicando maior retenção de água nas camadas menos profundas.

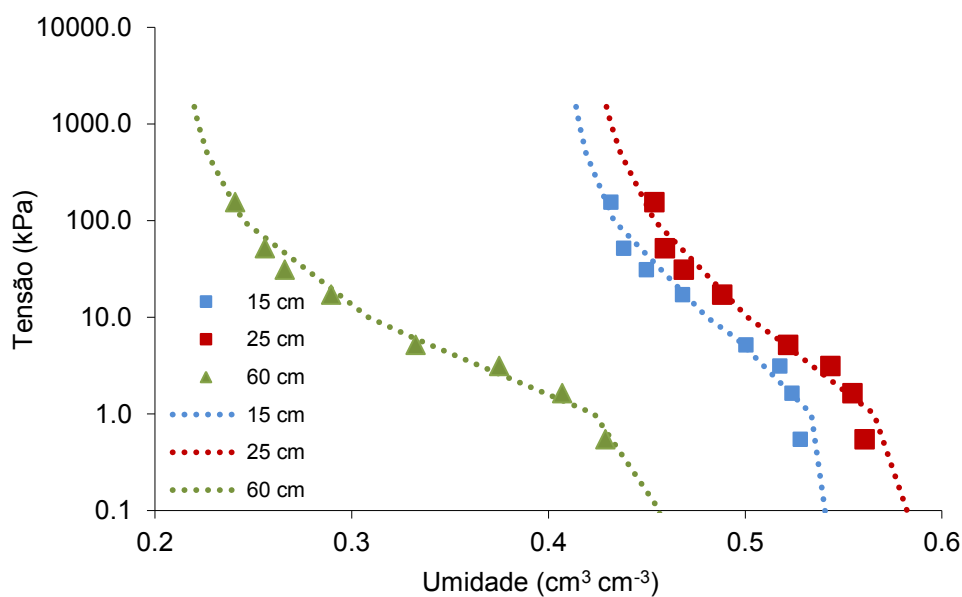


Figura 20. Curva de retenção de água do solo da área experimental em diferentes profundidades.

O manejo inicial em preparo do solo no plantio com grade leve pode ter favorecido na retenção de água neste solo. Para o cultivo de forrageira que possui maior densidade de raízes até os primeiros 40 cm de profundidade do solo, se torna benéfico devido ao maior acúmulo de água nestas camadas.

4.7.2. Infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica de água no solo

Para a condição inicial do experimento, as curvas de infiltração acumulada e instantânea determinadas em março de 2013 (Figura 21) mostram infiltração básica de 19, 21 e 48 mm h⁻¹, com valor médio de 29 mm h⁻¹ para a condição inicial da área experimental. Esses valores podem ser considerados representativos do tipo de solo da área experimental e a variabilidade pode ser considerada normal. Para Podzólico Vermelho-Amarelo, Oliveira et al. (2000) encontraram variação média de infiltração de água no solo de 21,8%, com valor médio de 49,6 mm h⁻¹.

Para a condição representativa do final do experimento, as curvas de infiltração de água no solo determinadas em setembro de 2014 (Figura 22) revelam que houve aumento da taxa de infiltração básica em função da aplicação de EET, sendo de 217, 97, 117, 31, 36, 40 mm h⁻¹, para os tratamentos E5, E4, E3, E2, E1 e E0, respectivamente, com valor médio de 90 mm h⁻¹.

A maior infiltração ao final de 18 meses de aplicação de EET demonstra que os tratamentos não causaram selamento superficial do solo, pelo contrário, favoreceram a infiltração de água no solo. Possivelmente houve aumento da atividade microbiana no solo nestes tratamentos. Cortes efetuados a 15 cm a cada 28 dias, propiciaram a morte e rebrota de parte do sistema radicular, favorecendo no aumento da infiltração continuada, provocada pelo aumento de macro e micro poros.

O aumento na taxa de infiltração em função da aplicação de água residuária foi também observado por Dalri et al. (2010), que associaram a alta taxa de infiltração com o elevado teor de matéria orgânica presente na vinhaça, que propiciou em uma ação cimentante, agregando partículas pequenas em partículas maiores, elevando a taxa de infiltração de água no solo.

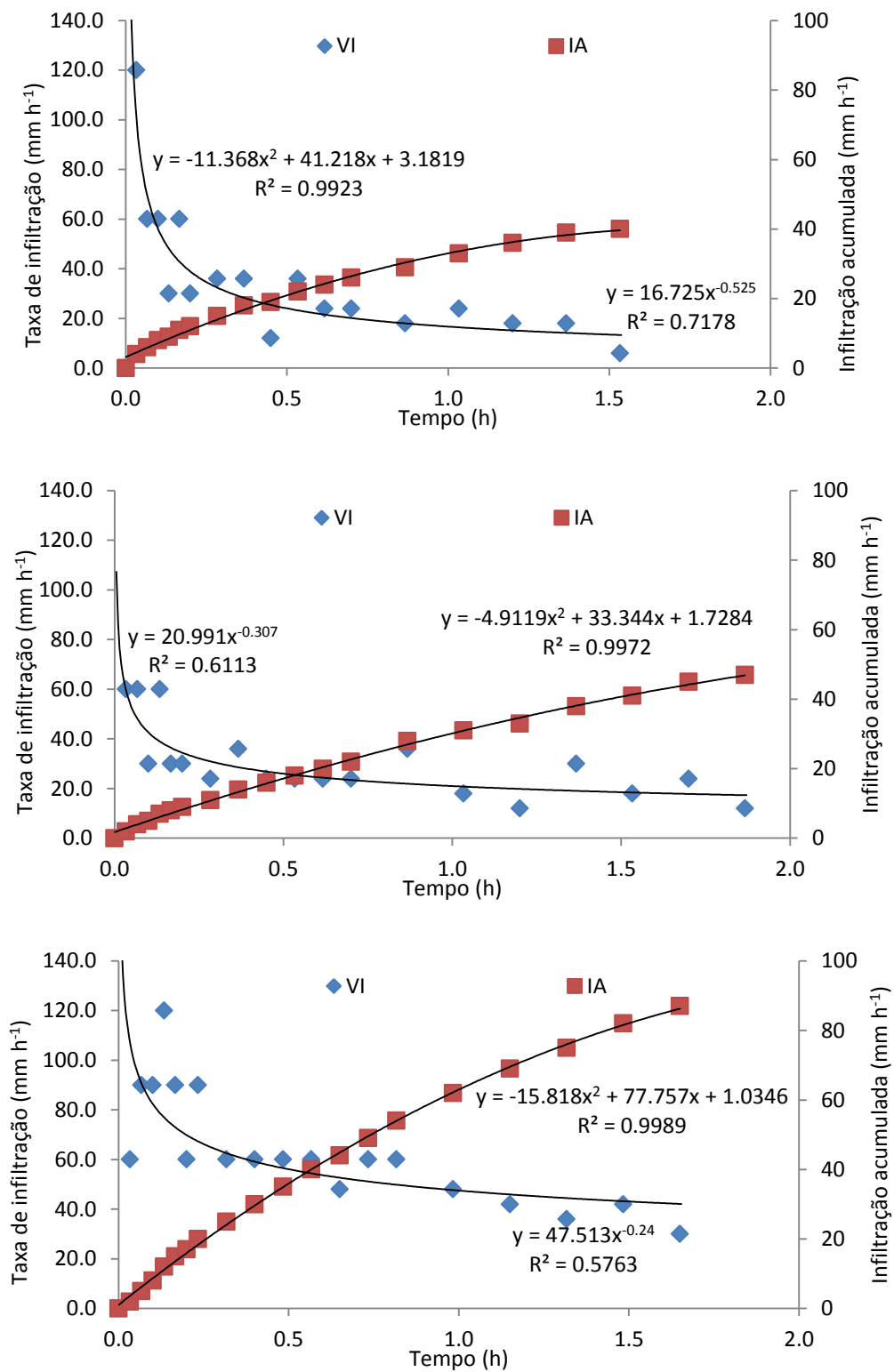


Figura 21. Infiltração acumulada (IA) e velocidade de infiltração instantânea (TI) em três repetições da área experimental determinada em março de 2013.

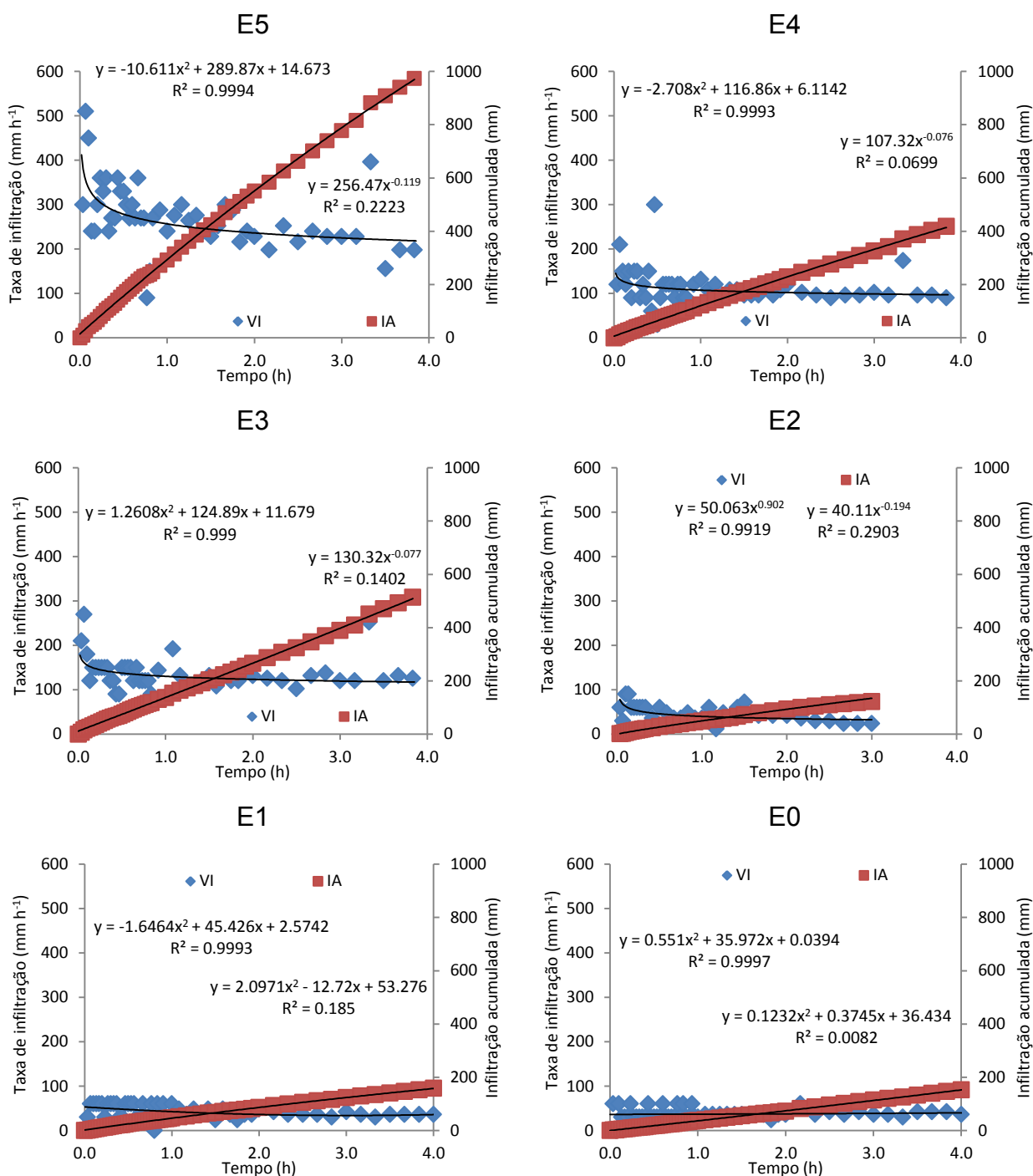


Figura 22. Infiltração acumulada (IA) e velocidade de infiltração instantânea (TI) nos tratamentos de E5-E0 em setembro de 2014.

Oliveira et al. (2000) avaliando o efeito de aplicações sucessivas de água residuária proveniente de higienização de granjas de suínos, com quatro diferentes concentrações de sólidos totais ($0-26,9 \text{ g L}^{-1}$), com teor de sódio entre $158-552 \text{ mg L}^{-1}$ e RAS entre 2,7-4,4, sobre a TIB do solo, concluíram que a concentração de sólidos totais desse efluente foi mais importante na redução da capacidade de infiltração do solo que os níveis de RAS e de salinidade.

Para Andrade Júnior et al. (2006) quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito floculante, o que causa aumento da infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e os riscos de erosão.

4.8. Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP)

Os tratamentos adotados não afetaram a resistência mecânica do solo a penetração, conforme constatado pelos valores similares entre os tratamentos (Tabela 21 e Figura 23).

As irrigações constantes e homogêneas entre os tratamentos propiciaram umidade elevada ao solo, reduzindo a RMSP. Os teores médios de água no solo na escarificação das campanhas realizadas foram de $5,2 \pm 0,7$, $4,8 \pm 0,8$ e $8,2 \pm 0,8\%$.

Tabela 21. Resistência mecânica do solo a penetração média (MPa) por tratamento.

Tratamento	Setembro de 2013	Março de 2014	Setembro de 2014
E5	$1,8 \pm 1,0$	$1,8 \pm 0,9$	$2,0 \pm 1,0$
E4	$2,1 \pm 1,0$	$2,1 \pm 1,2$	$1,9 \pm 1,0$
E3	$2,0 \pm 1,0$	$1,8 \pm 1,0$	$2,1 \pm 1,1$
E2	$2,7 \pm 2,5$	$1,9 \pm 1,1$	$2,1 \pm 1,1$
E1	$2,1 \pm 1,0$	$1,9 \pm 1,0$	$2,0 \pm 1,1$
E0	$2,1 \pm 1,0$	$1,8 \pm 0,8$	$2,0 \pm 1,0$

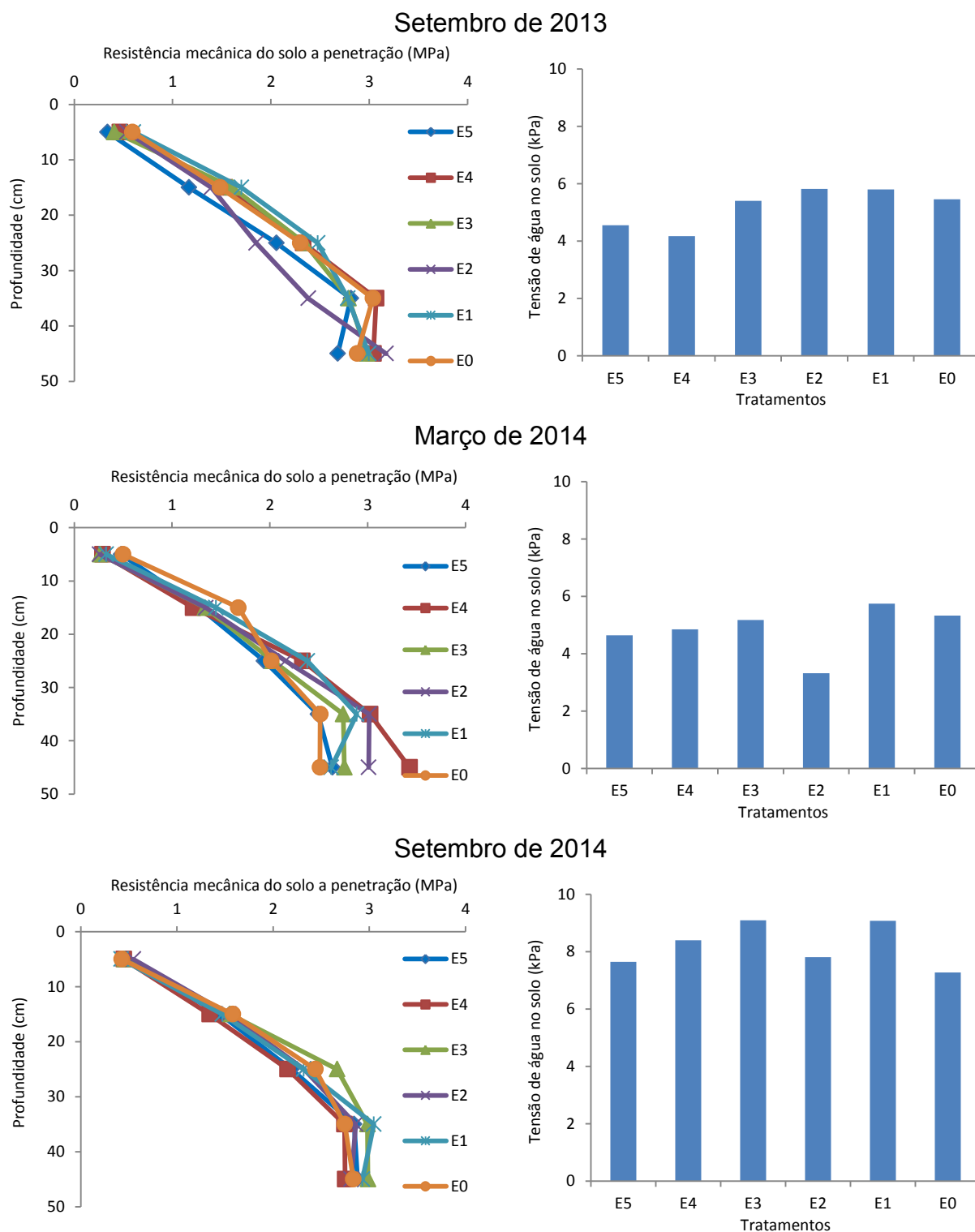


Figura 23. Resistência mecânica do solo a penetração por tratamento e por profundidade e tensão de água no solo em diferentes épocas.

O tratamento E2 apresentou alguns pontos de maior resistência na primeira coleta de dados. As demais coletas não apresentaram comportamento semelhante devido à variação nas localidades da coleta de dados.

Não houve diferença na RMSP entre tratamentos. Este fato está associado a espessura da haste de medição, que não sofreu influência pela macro e micro poros no solo conforme discutido anteriormente.

Souza e Alves (2003) obtiveram valores médios de RMSP em áreas de pastagem em sistemas de cultivo de sequeiro de 1,95, 2,96 e 2,25 MPa nas camadas de 0-10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, sendo estatisticamente similar às áreas de plantio direto.

Drescher et al. (2012) avaliando o efeito residual de intervenções mecânica para mitigação da compactação do solo cultivado sob 13 sistema de manejo, plantio direto, em três profundidades (0-7, 7-15 e 15-22 cm) sobre os parâmetros de resistência do solo à penetração, obtiveram valores médios de RMSP de 0,97, 1,58 e 1,46 MPa, respectivamente, não obtiveram significância em nenhum dos tratamentos e profundidade avaliada, atribuindo ao alto coeficiente de variação.

A mudança nas características físicas do solo fertirrigado em nível experimental necessita de um longo período de irrigação para que ocorram alterações significativas, pois estas ocorrem de forma muito lenta. Assim, o uso de EET em área experimental não alterou a RMSP no período avaliado.

4.9. Elementos-traço e características químicas do solo

Análise de elementos-traço no início do experimento (novembro de 2012) revelou níveis abaixo dos limiares críticos ao solo (Tabela 22), exceto para Cu, Cd e Hg (McBRIDE, 1994). Esses elementos podem ser de origem natural (rocha) ou de fertilizantes químicos (ANDRADE, 2011). Como o efluente apresentou teores desprezíveis dessas substâncias, entendeu-se não serem necessárias novas análises, pois a contaminação do solo pelo efluente seria improvável. Os elementos-traço

contidos no solo não representam risco de toxidade para as plantas, como de fato não foram identificados danos à cultura.

Tabela 22. Concentrações médias de elementos-traço no solo na camada 0-10 cm da área experimental em dezembro de 2012.

Elementos	Concentração	Parâmetros
	mg kg ⁻¹	
As	0,23	2,2-2,5
Ba	18,0	84-838
Cd	1,37	0,06-1,1
Cr	76,67	7-221
Cu	97,58	6-80
Hg	1,49	0,02-0,41
Mo	0,11	1-3
Ni	21,92	4-55
Pb	17,0	10-84
Se	<0,02	0,05-1,27
Zn	36,33	17-125

Obs.: As: Arsênio; Ba: Bário; Cd: Cádmio; Cr: Cromio; Cu: Cobre; Hg: Mercúrio; Mo: Molibdênio; Ni: Níquel; Pb: Chumbo; Se: Selênio; Zn: Zinco.

A análise das amostras de solo na camada 0-10 cm, realizada em julho de 2012, antes da implantação da cultura forrageira, revelou altos teores de macronutrientes, elevada saturação de bases e de matéria orgânica (Tabela 23). O pH encontrava-se em níveis compatíveis com o tipo de solo da área experimental. A variabilidade dos elementos químicos nas diferentes parcelas do experimento (Figura 24) demonstra haver boa uniformidade na área na época de instalação do experimento, exceto para o fósforo, que decresceu no tratamento E0.

Tabela 23. Características químicas médias em macronutrientes do solo na camada 0-10 cm, em função dos tratamentos, em julho 2012.

Tratamento	pH	M.O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmol dm ⁻³			%
E5	5,5	32,0	108,0	6,5	40,0	19,0	32,5	65,5	98,0	66,8
E4	5,5	33,0	114,0	6,5	42,5	20,3	33,3	69,3	102,5	67,5
E3	5,5	31,3	105,5	7,0	39,5	20,0	32,5	66,5	99,0	67,3
E2	5,4	31,5	104,5	6,7	39,0	19,8	33,5	65,4	98,9	66,0
E1	5,5	32,0	103,3	7,0	39,3	20,0	31,8	66,2	98,0	67,8
E0	5,4	30,0	69,5	6,7	36,0	18,8	31,8	61,5	94,0	65,8

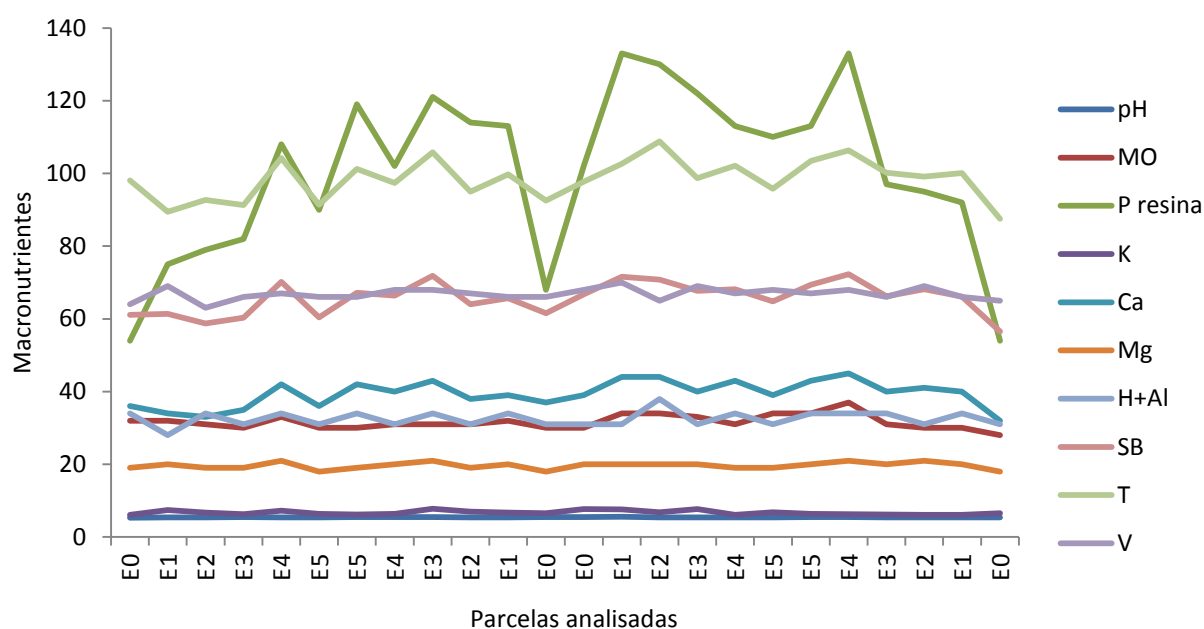


Figura 24. Características químicas iniciais do solo na camada 0-10 cm nas parcelas em julho de 2012.

Após 14 meses do o início do experimento, em março de 2014, e após 24 meses, em dezembro de 2014, foram coletadas amostras de solo para análises de nitrogênio e sódio. Houve moderado aumento da concentração de nitrogênio no solo nos tratamentos E3, E4 e E5 (Tabela 24).

Tabela 24. Concentrações médias (%) de nitrogênio total do perfil do solo (0-100 cm) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.

Tratamento	Março de 2014	Dezembro de 2014
E5	0,11	0,17
E4	0,10	0,11
E3	0,11	0,15
E2	0,11	0,11
E1	0,10	0,10
E0	0,10	0,11

No tratamento E5, houve uma elevação da concentração de nitrogênio na profundidade de 20-40 cm (Figura 25).

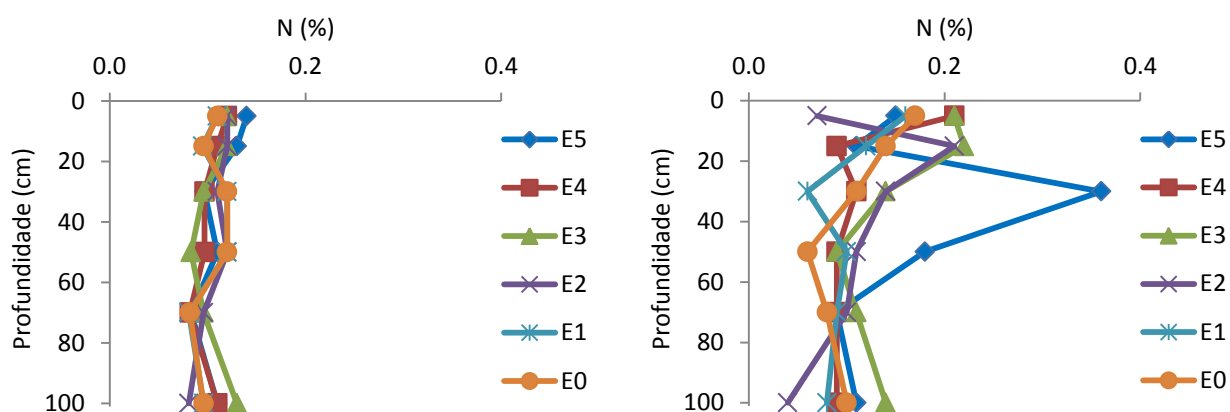


Figura 25. Teor de nitrogênio total do perfil de solo em função dos tratamentos, em março (esquerda) e dezembro (direita) de 2014.

A constante aplicação de nitrogênio no solo e a baixa concentração do mesmo ao longo do tempo representa a alta absorção (item 4.11.3.) deste elemento pela cultura, não havendo diferença entre os tratamentos E0-E5. Além da absorção, pode ter ocorrido a lixiviação de nutrientes, no entanto, não foi constatado (item 4.10).

Houve aumento gradual da concentração de sódio no solo em todos os tratamentos, profundidades e épocas avaliadas. Em ambas as épocas, não houve variação na concentração de sódio entre os tratamentos E0 e E1 (Tabela 25 e Figura 26).

Tabela 25. Concentrações médias (mmol dm^{-3}) de sódio do perfil do solo (0-100 cm) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.

Tratamento	Março de 2014	Dezembro de 2014
E5	0,22	0,49
E4	0,20	0,47
E3	0,14	0,43
E2	0,11	0,38
E1	0,06	0,32
E0	0,05	0,32

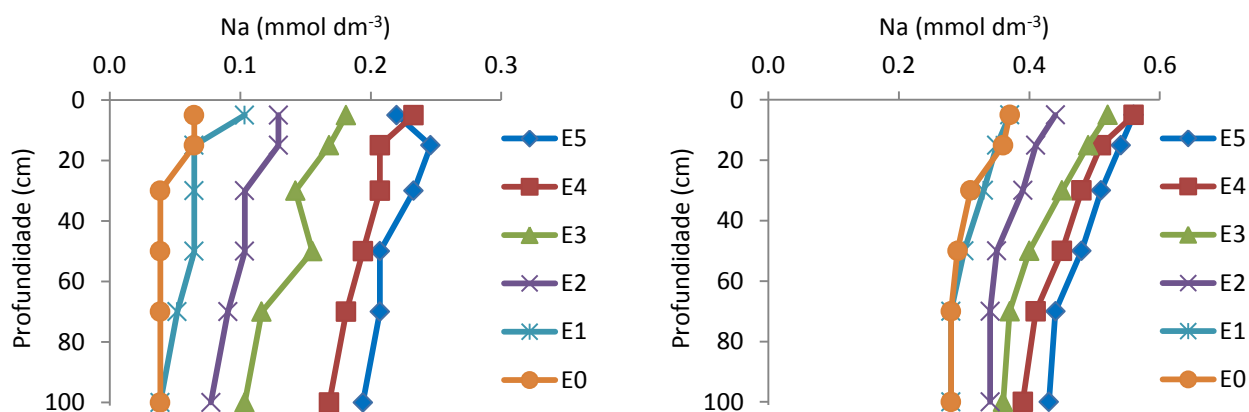


Figura 26. Teor de sódio do perfil de solo em função dos tratamentos, em março (esquerda) e dezembro (direita) de 2014.

Na primeira avaliação nenhum tratamento apresentou sodicidade do solo (Tabela 26). Na segunda avaliação houve de ligeira a média sodicidade do solo, sendo influenciado pelo aumento de sódio no solo. Seria necessário um maior período de

coleta de dados para avaliar a efetiva qualidade do solo em relação a seu potencial de sodificação.

Tabela 26. Percentual de sódio trocável (%) em função dos tratamentos, em março e dezembro de 2014.

Tratamento	Março de 2014	Dezembro de 2014
E5	5,0	11,8
E4	4,7	11,8
E3	3,8	10,4
E2	3,0	10,4
E1	1,6	9,7
E0	1,3	8,6

Andrade Filho et al. (2013) avaliando as alterações químicas de solo fertirrigado com doses crescentes de água residuária (25-100% da ETc) e com água subterrânea mais adubação mineral no cultivo com algodoeiro em região semiárida, não obtiveram significância no teor de N no solo em função da aplicação de EET. No entanto, houve aumento gradual no teor de Na nos tratamentos irrigados com EET. Silva (2013) aplicou 343 kg ha ano⁻¹ de N mais irrigação com EET e obteve teores de 0,27%, 0,35% e 0,42% nas camadas de 0,05-0,15 m, 0,25-0,35 m e 0,7-0,8 m, respectivamente, sendo concentrações inferiores aos tratamentos com cultivo de sequeiro, que foram de 0,37%, 0,92% e 0,39%, nas respectivas profundidades.

Em alguns casos, o sódio pode substituir parcialmente o potássio, sobretudo em plantas C4, além de propiciar em melhor aceitabilidade da forragem pelos animais, resultando em maior consumo (SANTOS, 2004).

Aumento no teor de sódio no solo foi observado por Pereira et al. (2010) avaliando a influência de diferentes lâminas de irrigação na laranjeira (100%, 125%, 150% e 200% da ETc) com efluente de esgoto tratado, no entanto, o índice pluviométrico da região (>1.200 mm ano⁻¹) foi suficiente para lixiviar o excesso de sódio. No entanto, Silva (2013) irrigando com água sódica, EET e cultivo de sequeiro, obteve

aumento no teor de sódio em profundidade. Nas camadas superficiais, o teor de sódio foi maior nos tratamentos fertirrigado com água sódica em relação ao tratamento com EET. Os tratamentos de cultivo em sequeiro apresentaram concentrações irrisórias de sódio no solo.

No entanto, Santos et al. (2006) aplicando esgoto sanitário tratado com concentração média de 20 mg L^{-1} de N e $30,7 \text{ mg L}^{-1}$ de Na cultura do cafeeiro com escalonamento na interrupção de aplicação e tratamento com água de represa, obteve aumento gradual de Na no perfil do solo (0-30 cm) em função da aplicação de EET, não afetando a concentração de N no solo, porém, significativo em relação ao tratamento sem a aplicação de EET.

Os resultados da análise de macronutrientes das amostras coletadas antes do início do experimento, em outubro de 2012, e após 9, 15 e 21 meses após o estabelecimento dos tratamentos, em setembro de 2013, março e setembro de 2014, respectivamente, são apresentados na Tabela 27 e Figura 27.

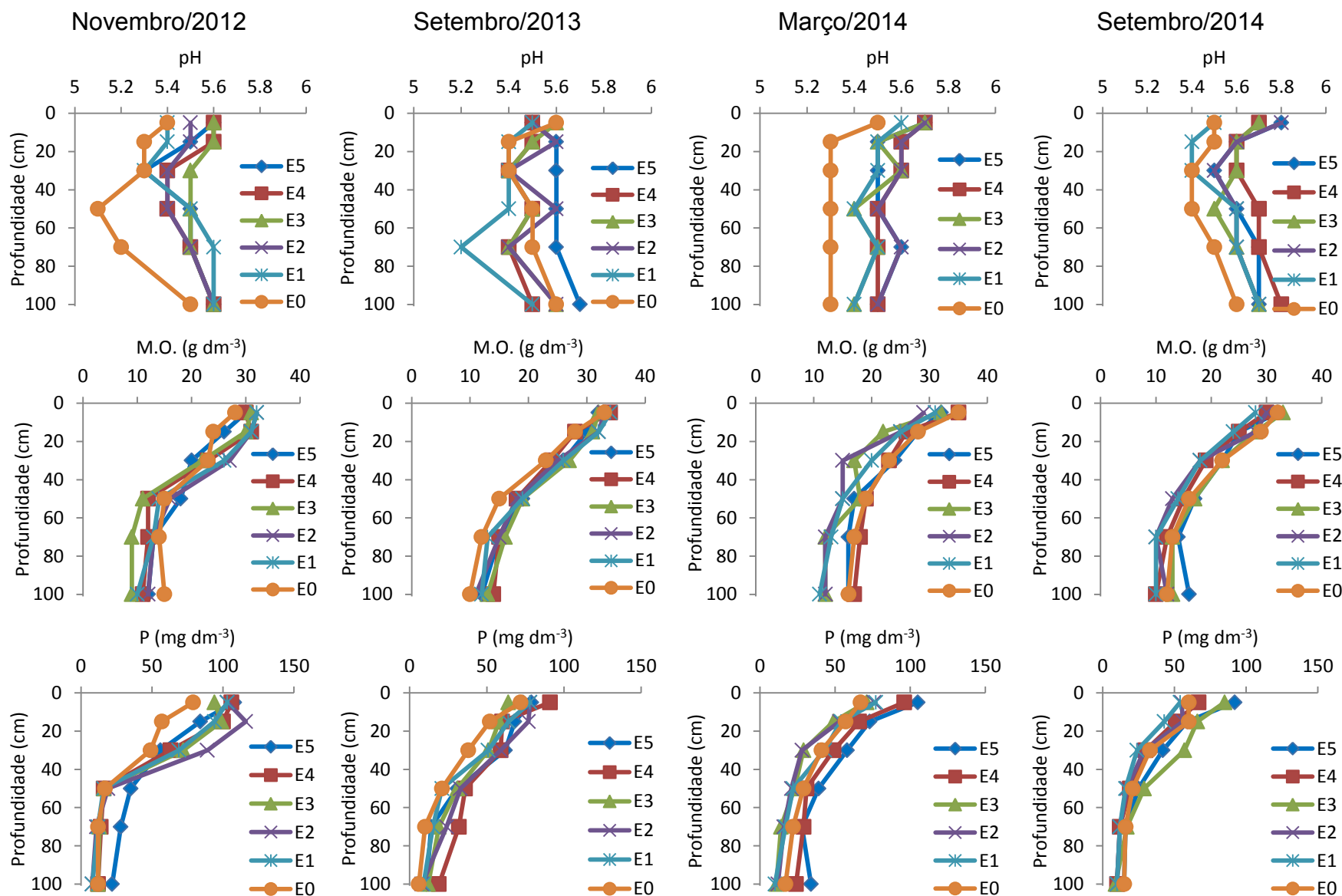
As análises das amostras coletadas em outubro de 2012 mostram concentrações similares de nutrientes nos tratamentos, com maiores concentrações na camada arável (0-50 cm). Nas demais épocas avaliadas após a irrigação via EET, o solo manteve-se com as mesmas características nos diferentes tratamentos em pH, matéria orgânica e hidróxido de alumínio. Porém, a aplicação do efluente causou aumento na concentração de cálcio, saturação de base e capacidade de troca catiônica. Houve também redução de fósforo, potássio e magnésio, sendo parte absorvido pelas plantas e parte lixiviado. Plantas forrageiras apresentam alta absorção de nutrientes, associados a longos períodos de crescimento (FONSECA et al., 2007).

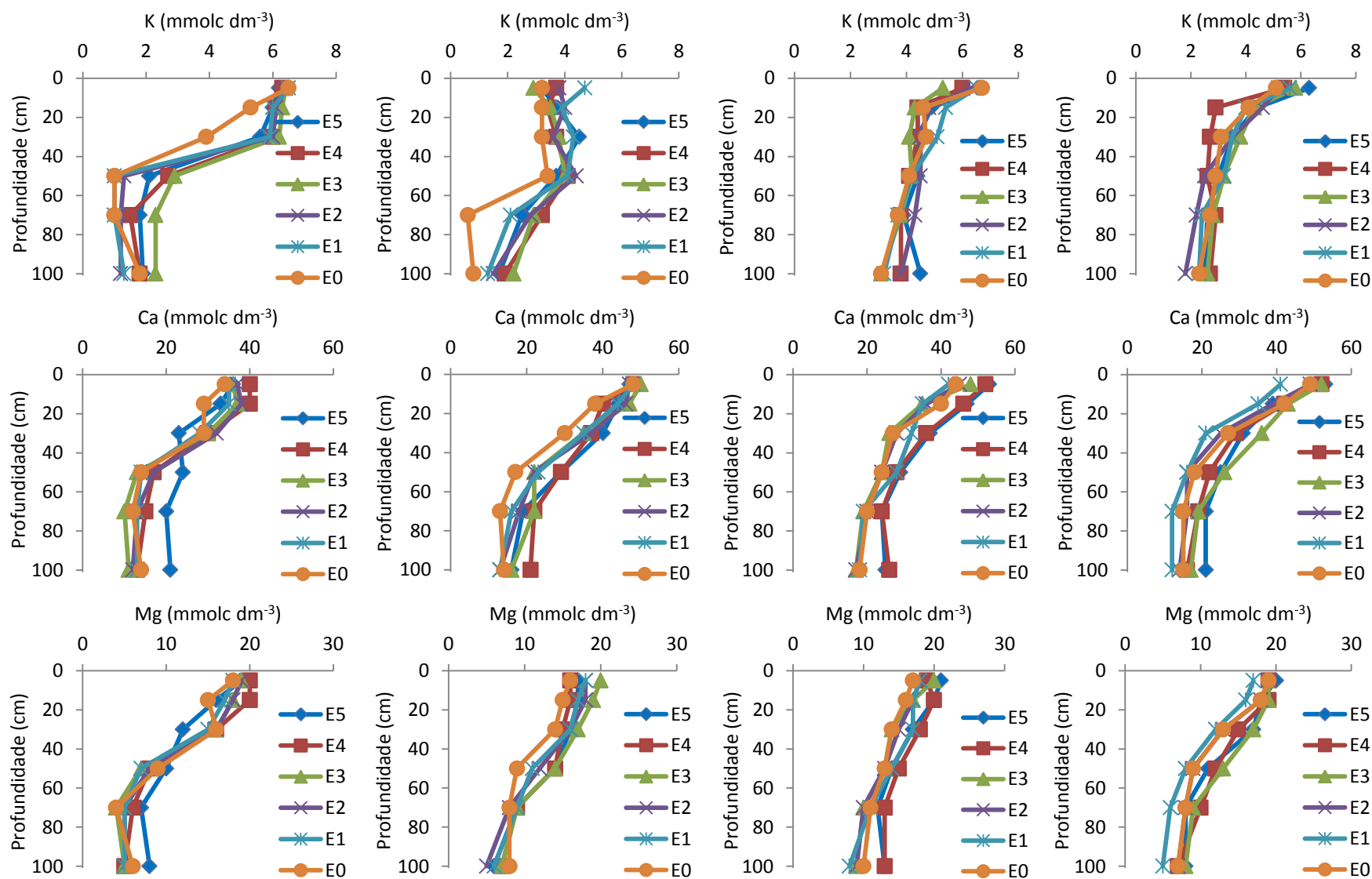
O tratamento E5 (100% EET) teve maiores valores de pH do solo em relação ao tratamento com fertilizante mineral (E0), concordando com os resultados obtidos por Silva (2013) em experimento semelhante em Lins, SP. Em todas as épocas, o tratamento E0 teve o pH do solo igual ou inferior aos demais tratamentos. Erthal et al. (2010) aplicando água residuária de bovinocultura que obteve aumento nos valores de pH do solo ao longo do período experimental, em relação ao tratamento testemunha.

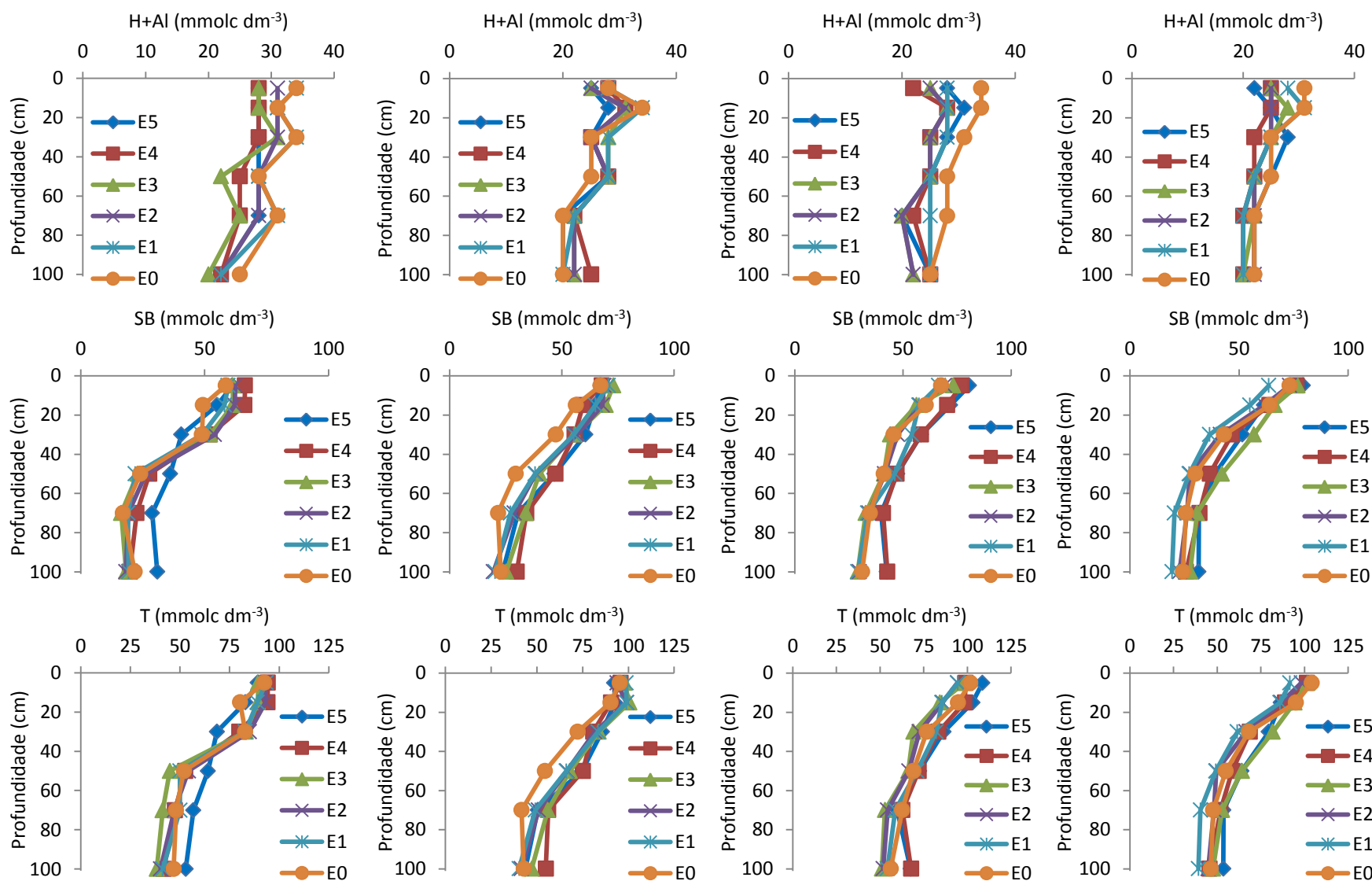
Não houve alteração da matéria orgânica no solo em função dos tratamentos. Esse efeito foi também observado por Erthal et al. (2010), que associaram a baixa concentração de matéria orgânica no solo com os baixos índices de carbono orgânico total no efluente.

Tabela 27. Concentrações médias de macronutrientes do perfil do solo (0-100 cm) na caracterização inicial do solo (novembro/2012) e após irrigação com EET (setembro/2013, março/2014 e setembro/2014).

Tratamento	pH	M.O.	Presina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³							%
Inicial (novembro/2012)										
E5	5,5	19,8	55,5	3,9	26,2	12,0	27,0	42,1	69,1	59,8
E4	5,5	19,8	51,8	4,1	25,8	12,5	26,0	42,4	68,4	58,7
E3	5,6	18,7	51,0	4,4	22,8	11,5	25,7	38,7	64,4	56,5
E2	5,5	21,8	57,7	3,7	24,8	11,8	28,5	40,4	68,9	55,3
E1	5,5	21,0	50,3	3,6	23,0	11,2	30,0	37,8	67,8	52,8
E0	5,3	19,8	37,7	3,3	22,0	11,3	30,5	36,6	67,1	51,8
Pós-irrigação com EET (setembro/2013)										
E5	5,6	22,3	44,2	3,2	32,5	13,2	24,3	48,9	73,2	65,2
E4	5,5	22,2	49,5	3,3	32,8	12,8	26,5	49,0	75,5	64,0
E3	5,5	23,0	39,2	3,2	32,0	14,3	26,0	49,6	75,6	63,8
E2	5,5	22,3	46,5	3,4	30,5	12,8	25,5	46,7	72,2	62,2
E1	5,4	22,7	39,7	3,4	29,8	12,8	26,7	46,0	72,7	61,2
E0	5,5	20,2	33,2	2,4	26,7	11,7	25,3	40,7	66,1	59,5
Pós-irrigação com EET (março/2014)										
E5	5,6	22,2	56,2	4,8	35,8	16,2	26,2	56,8	83,0	67,8
E4	5,6	23,0	49,2	4,4	35,3	16,3	24,5	56,1	80,6	68,8
E3	5,5	18,8	32,8	4,1	28,2	13,8	24,2	46,1	70,3	64,5
E2	5,6	18,0	34,3	4,7	28,3	13,6	24,2	46,7	70,9	64,8
E1	5,5	19,2	37,2	4,7	29,0	14,1	26,5	47,9	74,4	63,2
E0	5,3	23,0	38,8	4,5	28,8	13,5	30,0	46,8	76,8	60,0
Pós-irrigação com EET (setembro/2014)										
E5	5,7	21,0	41,5	3,7	31,7	13,7	24,0	49,1	73,1	65,5
E4	5,7	18,5	31,5	3,2	30,0	13,7	22,3	46,9	69,2	65,7
E3	5,6	21,0	43,8	3,8	32,2	14,2	23,7	50,1	73,8	66,0
E2	5,6	18,5	29,8	3,3	26,5	12,3	23,5	42,1	65,6	61,5
E1	5,5	17,3	26,5	3,5	22,8	10,7	24,3	37,0	61,3	57,7
E0	5,5	20,7	34,2	3,4	27,7	12,3	26,0	43,4	69,4	60,0







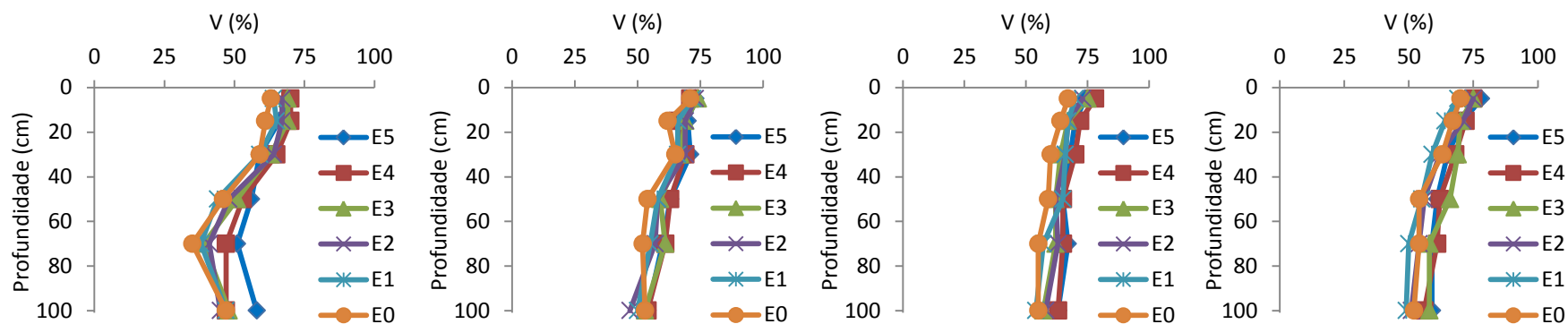


Figura 27. Teores de macronutrientes do perfil de solo em função dos tratamentos, inicial (outubro/2012) (a) e pós-irrigação com EET (setembro de 2013 e março e setembro de 2014).

Mesmo com a adubação complementar com P e K, houve redução na concentração desses nutrientes em relação à condição inicial. No entanto, os teores mantiveram-se em níveis classificados como alto para fósforo ($\text{Presina} > 30 \text{ mg dm}^{-3}$) e potássio ($\text{K} > 3 \text{ mmol dm}^{-3}$). Somente no tratamento E0, em 2014, houve teor médio de potássio. Nos períodos de retomada do desenvolvimento da forrageira (setembro), houve redução destes elementos nas camadas superficiais do solo. Este fato está associado à exportação de nutrientes pela cultura e a lenta disponibilidade do elemento em função da degradação do material orgânico, tornando-o menos sujeito às reações de adsorção e fixação (CONDÉ et al., 2013).

Houve maior disponibilidade de fósforo na camada superficial devido à baixa mobilidade do elemento no perfil do solo. Devido ao potássio ser um cátion relativamente móvel no solo (ERTHAL et al., 2010), houve aumento do elemento no perfil do solo em todo o período. Para Silva (2013) as culturas forrageiras possuem alto potencial de extração de K do solo. No entanto, Condé et al. (2013), avaliando o efeito da água residuária de suínos (ARS) nas alterações químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, obteve redução no teor de P e aumento no teor de K no solo com o aumento das doses de ARS. Os mesmos autores sugeriram haver adubação complementar com P devido às baixas concentrações de P na ARS.

Souza et al. (2013), avaliando a variação da CE, P e N no cultivo de tomate Fanny TY com ARS e adubação química em Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram aumento no teor de P e CE nos tratamentos com adubação química e o uso de ARS incrementou o teor de N no perfil do solo.

Incrementos graduais de EET aplicados na *Brachiaria* propiciaram ao aumento gradual de cálcio no solo. Houve aumento nas concentrações de Ca e Mg no EET, estes foram crescentes nas camadas do solo em setembro de 2013 e março de 2014, e decrescente em setembro de 2014. Silva (2013) não obteve diferenças significativas para o potássio e o cálcio, entre os tratamentos fertirrigado com EET e o cultivo de sequeiro em Lins, SP. No entanto, houve aumento significativo nas camadas superficiais em alumínio e magnésio nos tratamentos com cultivo de sequeiro.

Com a adubação mineral houve aumento de Ca e conseqüentemente da soma de bases do solo. Os demais nutrientes se mantiveram com valores similares as suas

características iniciais. Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade Filho et al. (2013). O aumento da soma de bases do solo foi proporcionado pelos cátions trocáveis, exceto o Na.

Houve aumento de V e T no solo e em função incremento da aplicação de EET. Desde a condição inicial, o solo pode ser considerado fértil por apresentar V (<50%), sendo crescente em função da aplicação de EET e fertilizante mineral. Em relação à capacidade de troca de cátions, o aumento representa maior número de retenção de cargas negativas, indicando baixa lixiviação de nutrientes. Esse comportamento foi observado para a adubação mineral.

Na condição inicial foram determinados altos teores de micronutrientes, exceto para B (Tabela 28). Não houve registro de Al no solo em nenhuma época analisada. A variabilidade dos elementos químicos nas diferentes parcelas do experimento demonstra haver boa uniformidade na área na época de instalação do experimento, exceto para Fe e S-SO₄, mas com elevada concentração (Tabela 28 e Figura 28).

Os tratamentos adotados não alteraram a concentração de B no solo, permanecendo com teor médio ao longo do tempo. Durante o período de avaliação o solo manteve baixos teores de Al, médio a alto teor de Zn e Fe e alto em Cu, Mn e S-SO₄.

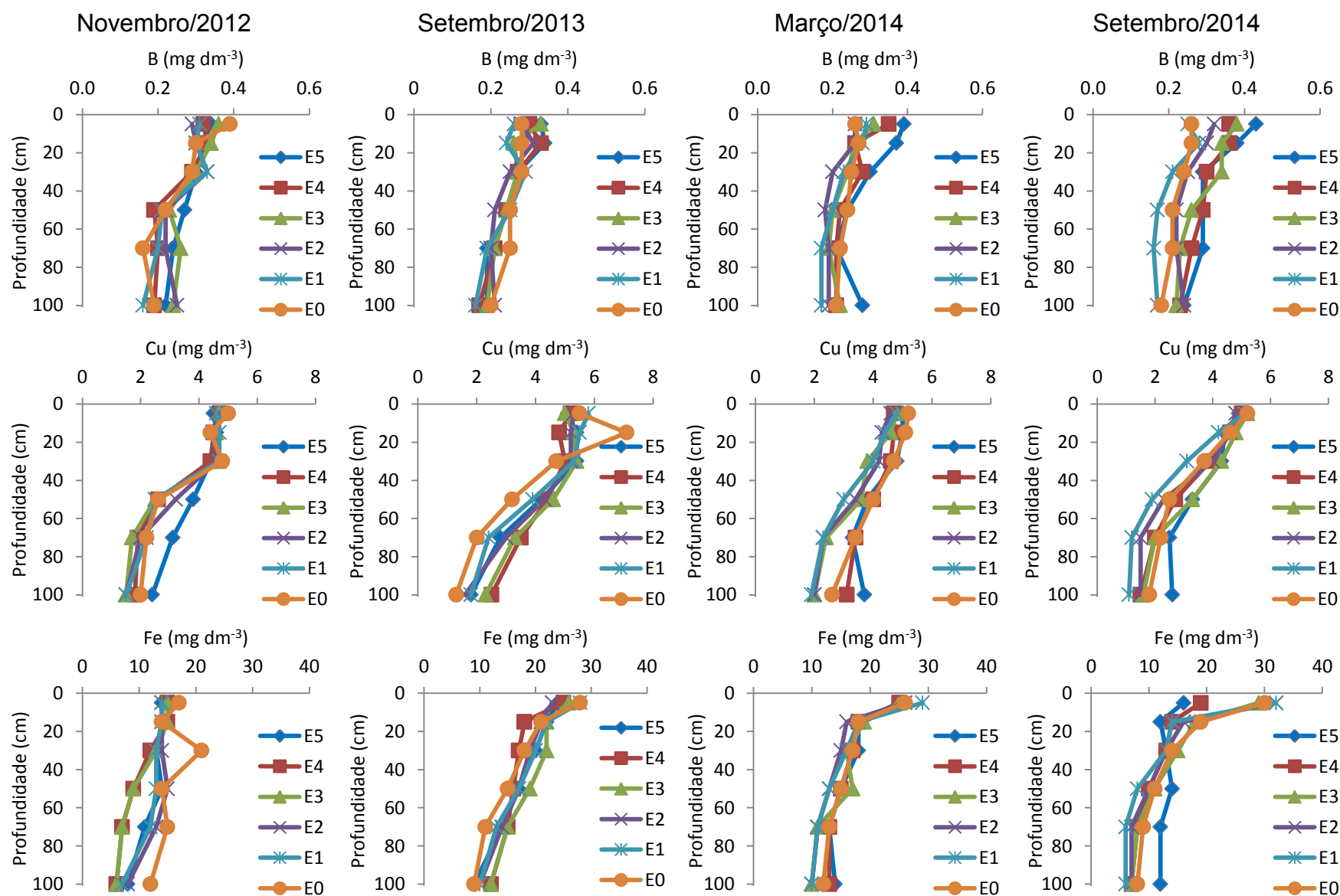
Houve aumento acentuado de S-SO₄ no solo nos tratamentos com aplicação de EET e redução no tratamento com adubação mineral. Não houve aumento de Zn no solo no tratamento com adubação mineral, porém, houve aumento gradual com o incremento da aplicação de EET. O Mn foi o elemento que apresentou comportamento mais heterogêneo entre as épocas avaliadas e o B o mais homogêneo. Houve aumento na concentração em Cu, Fe e Mn a partir da segunda época. No entanto, na última época as concentrações de Fe foram decrescentes.

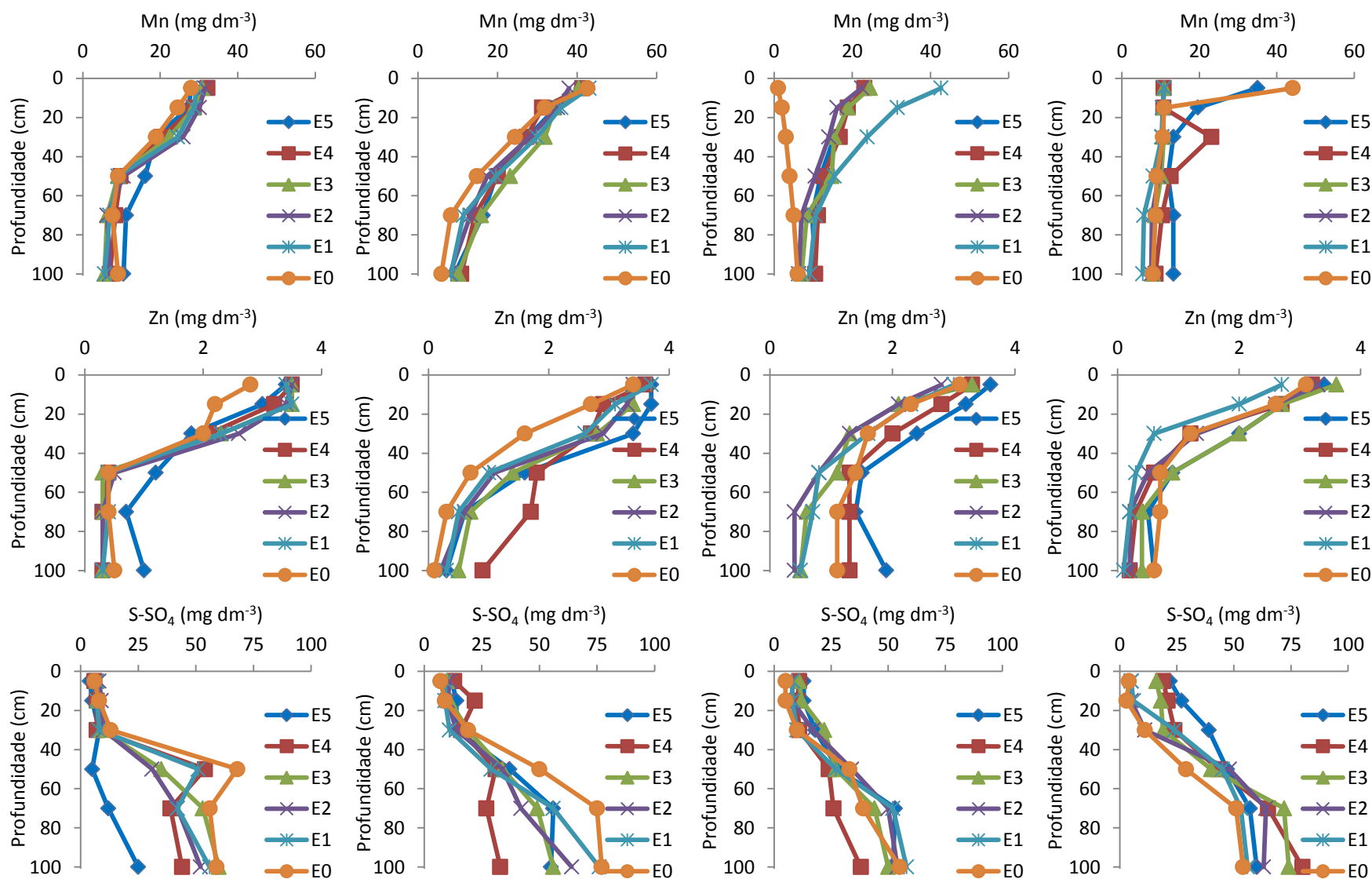
Assim como os macronutrientes, o uso gradual de EET e a adubação mineral propiciaram melhor disponibilidade de micronutrientes do solo na segunda e terceira épocas, retornando a condição semelhante ao início da aplicação de EET e fertilizante mineral. Segundo Prado (2008) a oscilação na concentração de nutrientes na cultura ao longo do tempo ocorre devido à extração de nutrientes no solo não ocorre de forma constante. Para as forrageiras, há uma fase de baixo crescimento e absorção de

nutrientes e, na fase seguinte, têm-se crescimento rápido e elevada taxa de adsorção de nutrientes, seguido de um período de estabilização no crescimento e desenvolvimento, até completar o ciclo.

Tabela 28. Concentrações médias de micronutrientes do perfil do solo (0-100 cm) iniciais (novembro/2012) e após irrigação com EET (setembro/2013, março/2014 e setembro/2014).

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO ₄	Al
	mg dm ⁻³				mmol dm ⁻³		
Inicial (novembro/2012)							
E5	0,3	3,8	12,3	18,7	1,9	9,8	0,0
E4	0,3	3,3	10,7	17,7	1,6	26,2	0,0
E3	0,3	3,3	10,8	17,2	1,7	28,5	0,0
E2	0,3	3,4	13,0	18,6	1,8	25,3	0,0
E1	0,3	3,4	12,2	17,4	1,7	28,5	0,0
E0	0,3	3,5	15,5	16,2	1,4	35,0	0,0
Pós-irrigação com EET (setembro/2013)							
E5	0,3	4,1	17,7	24,8	2,2	31,3	0,0
E4	0,3	4,2	17,1	24,2	2,3	23,7	0,0
E3	0,3	4,3	19,3	26,0	2,0	29,8	0,0
E2	0,2	4,1	17,3	23,3	1,9	29,2	0,0
E1	0,2	4,1	18,3	24,7	1,9	31,7	0,0
E0	0,3	4,0	17,0	21,3	1,5	39,5	0,0
Pós-irrigação com EET (março/2014)							
E5	0,3	4,3	17,2	14,9	2,3	29,5	0,0
E4	0,3	4,1	16,8	15,5	2,0	20,0	0,0
E3	0,2	3,5	16,3	14,8	1,5	27,7	0,0
E2	0,2	3,5	15,2	12,7	1,3	28,5	0,0
E1	0,2	3,4	16,2	22,2	1,5	27,2	0,0
E0	0,2	4,2	16,8	23,0	1,8	24,5	0,0
Pós-irrigação com EET (setembro/2014)							
E5	0,3	3,7	13,2	17,7	1,7	42,0	0,0
E4	0,3	3,3	11,8	12,7	1,4	42,0	0,0
E3	0,3	3,5	14,7	9,9	1,7	39,8	0,0
E2	0,3	3,1	14,2	9,5	1,4	32,7	0,0
E1	0,2	2,8	13,2	8,5	1,0	31,5	0,0
E0	0,2	3,3	15,2	15,2	1,5	25,3	0,0





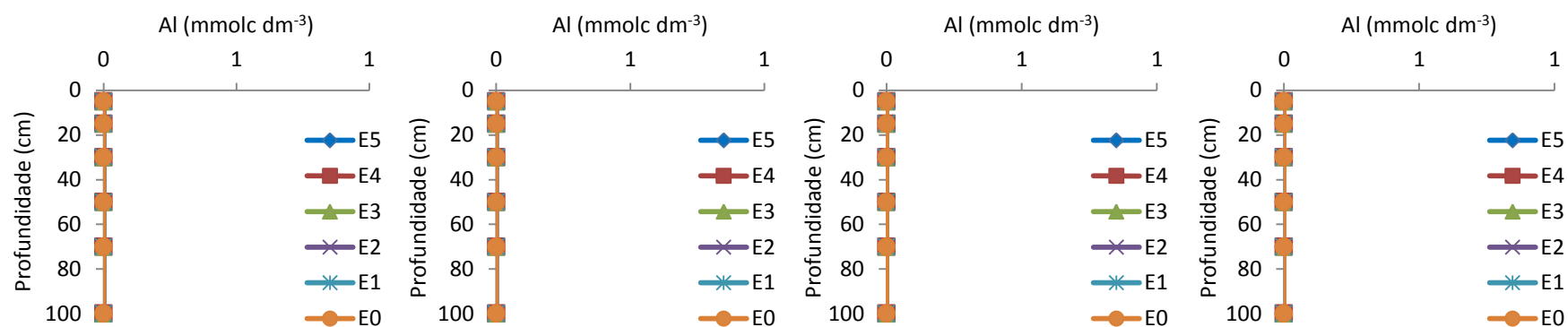


Figura 28. Teores de micronutrientes do perfil de solo em função dos tratamentos, inicial (outubro/2012) (a) e pós-irrigação com EET (setembro de 2013 e março e setembro de 2014).

Dentre os elementos avaliados, houve melhor qualidade do solo em macro e micronutrientes na segunda e terceira épocas (setembro de 2013 e março de 2014), uma vez que ambas as épocas receberam 72,5% de todos os nutrientes aplicados. No entanto, em setembro de 2014, a retomada do desenvolvimento da forrageira provocou maior extração de nutrientes do solo.

Entre os macros e microelementos avaliados, houve concentração de nutrientes descrentes no perfil do solo até 0-50 cm e de forma homogênea dos 50-100 cm, exceto para enxofre. Para o cultivo de *Brachiaria brizantha*, os tratamentos adotados favoreceram a disponibilidade de nutrientes onde se concentra a maior parte do sistema radicular da cultura (<50cm).

Após 26 ciclos de corte de forragem de brachiaria fertirrigada com EET, constatou-se que houve acúmulo de nutrientes em maior proporção na camada superficial do solo (0-40 cm), exceto para enxofre, sendo esta a camada com maior impacto das práticas de cultivo. Resultados semelhantes foram obtidos por Resende et al. (2014) com redução dos valores de CEes de 0,67 ds m⁻¹ na camada de 0-0,20 m, enquanto na subsuperfície foi de 0,41 dS m⁻¹. Fertirrigação de Tifton 85 por mais de oito anos com efluente rico em sódio, em área com Argissolo Vermelho Distrófico, causou pequenas alterações nas propriedades químicas e físico-hídricas do solo, conforme observado por Silva (2013).

Erthal et al. (2010) concluíram que as alterações no solo pela fertirrigado com água residuárias, como de bovinocultura, somente se manifestam após longo período de aplicação. Afirmaram ainda que a disposição de águas residuária no sistema solo-planta, quando feito sem critérios agrônômicos e ambientais, pode causar toxidade às plantas, contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Nogueira et al. (2012) relataram que após dois a três anos de aplicação de EET em Latossolo Eutroférico, os tratamentos não diferiram dos tratamentos irrigados com água potável.

A redução na concentração de alguns nutrientes no solo devido à absorção pela cultura indica que há pouco risco da contaminação das águas subterrâneas com a aplicação de EET (NICHELE, 2009). A redução destes elementos pode ocorrer também em função do manejo adotado, uma vez que a irrigação com EET propicia o

parcelamento da aplicação de nutrientes, sendo eles prontamente disponíveis na solução do solo e, portanto, facilmente absorvido pelas plantas.

4.10. Solução do solo

Em 2013, o pH da solução do solo durante a primavera e verão prevaleceu ácido e decrescente com a profundidade. No outono-inverno prevaleceu a condição alcalina, desde a camada superficial até 55 cm, e ácida no restante do perfil. Comportamento semelhante foi obtido quando analisado o EET (item 4.3.). A alcalinidade observada no outono-inverno pode ser atribuída também à menor precipitação, comparada com a primavera e verão, e, conseqüentemente, menor lixiviação. Silva et al. (2012a) também encontraram diferenças significativas de pH em amostras de solução de solo extraídas em períodos com maior ou menor precipitação, com doses variadas de aplicação de água residuária de bovinocultura.

Em 2014, não se repetiu a alcalinidade observada no outono-inverno do ano anterior, apesar da baixa precipitação ainda mais baixa. Prevaleceu pH ácido no perfil em todas as estações do ano, independentemente do tratamento (Tabela 29 e Figura 29).

Resultados semelhantes foram obtidos por Maggi et al. (2011) avaliando os impactos do percolado de lisímetro de drenagem com a aplicação de diferentes taxas (0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹) de água residuária de suinocultura no cultivo da soja, não obteve variação do pH em função dos tratamentos.

Tabela 29. pH da solução do solo em função dos tratamentos de EET, em 2013 e 2014.

Estação	Tratamento	Profundidade (cm)					Média
		15	30	55	85	100	
2013							
Verão	E5	7,4	7,2	7,0	7,1	6,9	7,1
	E3	7,5	7,1	6,9	6,8	6,9	7,0
	E0	7,5	7,4	7,1	6,9	7,0	7,2
Outono-Inverno	E5	6,7	6,6	6,6	6,4	6,2	6,5
	E3	6,8	6,7	6,6	6,4	6,2	6,5
	E0	6,7	6,7	6,2	6,4	6,3	6,4
Primavera	E5	6,4	6,4	6,2	6,1	6,2	6,3
	E3	6,6	6,4	6,3	6,0	6,0	6,3
	E0	6,4	6,2	6,0	6,0	6,0	6,1
2014							
Verão	E5	6,8	6,6	6,3	6,3	6,1	6,4
	E4	6,5	6,3	5,9	5,9	5,9	6,1
	E3	6,7	6,8	6,4	6,2	6,2	6,5
	E2	6,7	6,2	6,0	5,8	5,8	6,1
	E1	6,6	6,1	5,8	5,6	5,6	6,0
	E0	6,7	6,5	6,0	6,2	6,3	6,3
Outono-Inverno	E5	7,2	6,9	6,6	6,4	6,5	6,7
	E4	6,8	6,7	6,4	6,3	6,4	6,5
	E3	7,0	6,9	6,6	6,4	6,4	6,7
	E2	6,6	6,7	6,5	6,2	6,3	6,5
	E1	6,8	6,7	6,4	6,3	6,4	6,5
	E0	7,0	6,9	6,3	6,5	6,5	6,7
Primavera	E5	6,9	6,7	6,2	6,2	6,1	6,4
	E4	6,7	6,5	6,1	6,0	6,1	6,3
	E3	6,5	6,6	6,4	6,1	5,9	6,3
	E2	6,9	6,4	6,2	6,0	6,0	6,3
	E1	6,8	6,5	6,0	6,1	6,1	6,3
	E0	6,8	6,5	6,0	6,1	6,1	6,3

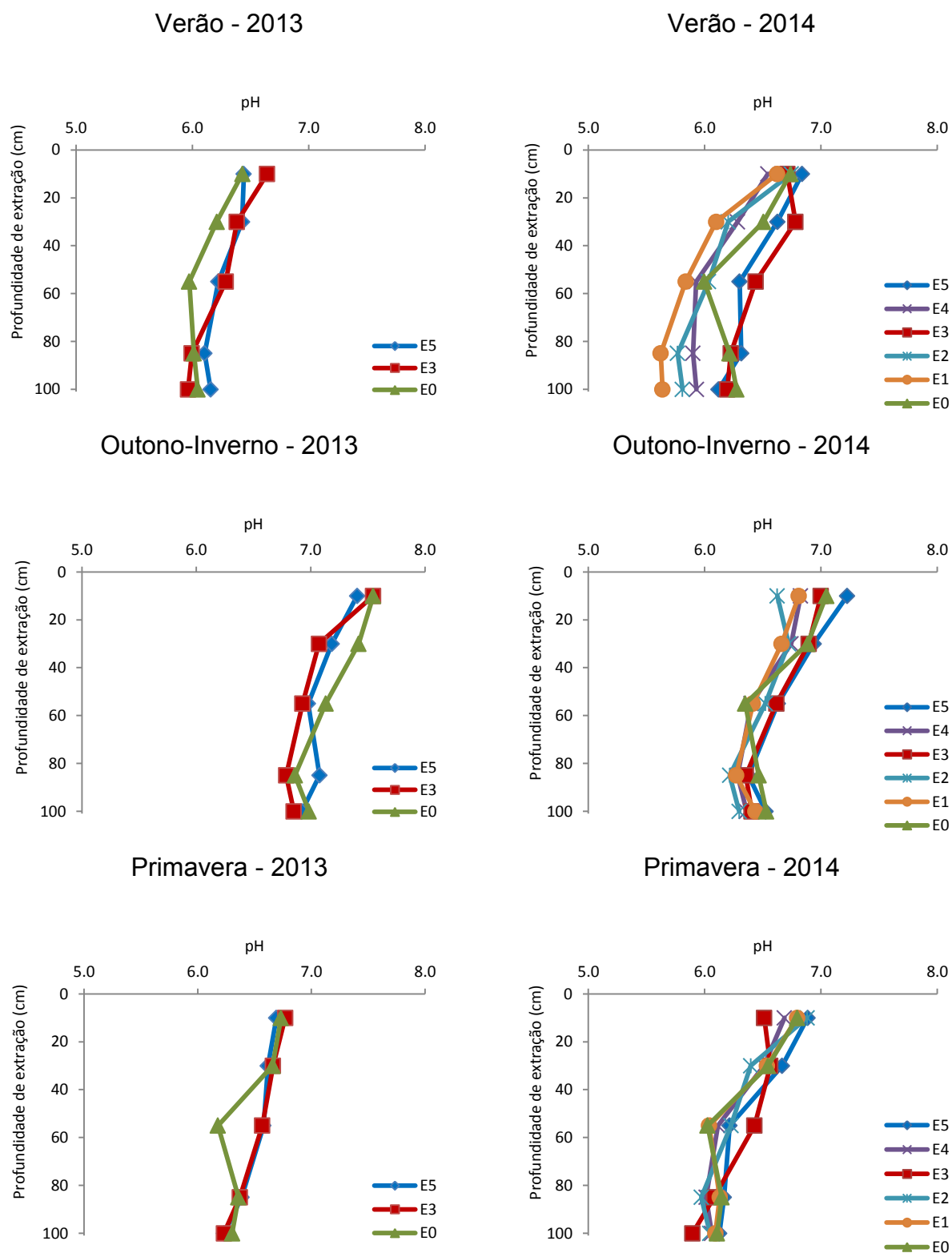


Figura 29. pH da solução do solo em perfil nos tratamentos E5-E0 em função da estação do ano em 2013 e 2014.

Em 2013, a condutividade elétrica foi mais elevada nos dois tratamentos com EET (E5 e E3), em relação ao tratamento com adubação mineral (E0) em todas as estações avaliadas (Tabela 30 e Figura 30).

Tabela 30. Condutividade elétrica (dS m^{-1}) da solução do solo em função dos tratamentos de EET, em 2013 e 2014.

Estação	Tratamento	Profundidade (cm)					Média
		15	30	55	85	100	
2013							
Verão	E5	0,47	0,46	0,44	0,40	0,37	0,43
	E3	0,39	0,38	0,43	0,34	0,39	0,39
	E0	0,21	0,16	0,19	0,21	0,19	0,19
Outono-Inverno	E5	0,38	0,35	0,40	0,39	0,35	0,37
	E3	0,28	0,30	0,31	0,28	0,27	0,29
	E0	0,15	0,14	0,18	0,18	0,17	0,16
Primavera	E5	0,45	0,45	0,43	0,42	0,40	0,43
	E3	0,34	0,34	0,34	0,30	0,29	0,32
	E0	0,13	0,14	0,15	0,17	0,15	0,15
2014							
Verão	E5	0,57	0,56	0,58	0,53	0,56	0,56
	E4	0,67	0,66	0,65	0,57	0,58	0,63
	E3	0,50	0,44	0,52	0,44	0,40	0,46
	E2	0,47	0,41	0,52	0,46	0,42	0,46
	E1	0,28	0,29	0,35	0,38	0,37	0,34
	E0	0,28	0,25	0,25	0,25	0,21	0,25
Outono-Inverno	E5	0,56	0,48	0,59	0,55	0,56	0,55
	E4	0,66	0,59	0,62	0,57	0,59	0,61
	E3	0,45	0,41	0,53	0,45	0,44	0,46
	E2	0,53	0,41	0,49	0,52	0,47	0,48
	E1	0,35	0,34	0,39	0,43	0,50	0,40
	E0	0,21	0,21	0,25	0,25	0,25	0,23
Primavera	E5	0,65	0,63	0,66	0,64	0,61	0,64
	E4	0,62	0,64	0,71	0,63	0,65	0,65
	E3	0,58	0,54	0,61	0,53	0,53	0,56
	E2	0,46	0,40	0,49	0,49	0,48	0,47
	E1	0,28	0,29	0,34	0,40	0,41	0,34
	E0	0,21	0,21	0,25	0,27	0,27	0,24

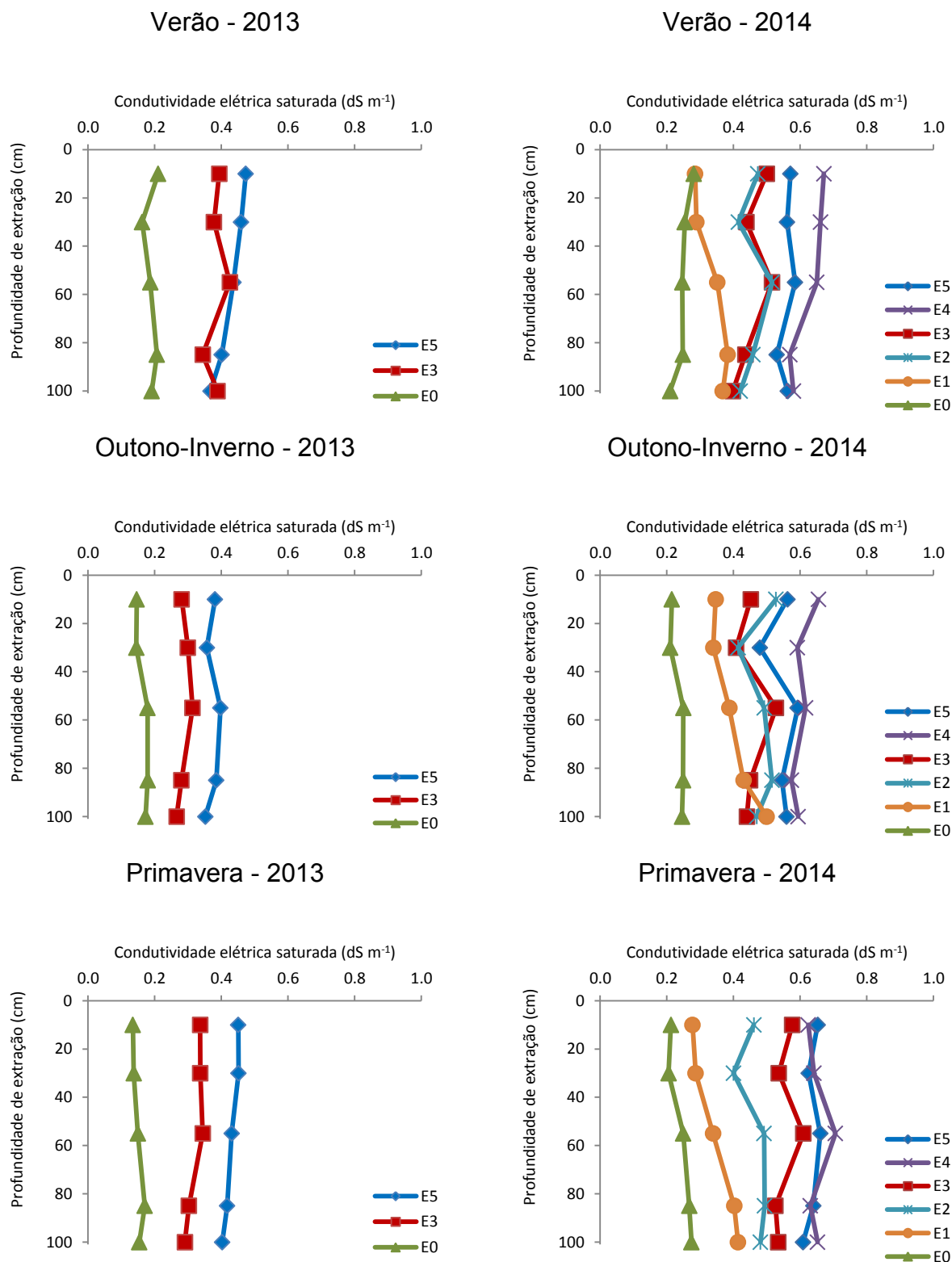


Figura 30. Condutividade elétrica da solução do solo em perfil nos tratamentos E5-E0 no verão, outono-inverno e primavera, em 2013, e verão, outono-inverno e primavera, em 2014.

O tratamento E5 teve valores mais altos que E3. Em 2014 ocorreu a mesma tendência, ou seja, doses crescentes de EET causaram incrementos graduais na condutividade elétrica da solução do solo também em todas as estações do ano (Tabela 30 e Figura 30).

Resultados semelhantes foram observados por Silva (2013) avaliando a condutividade elétrica do solo fertirrigado com EET e água sódica por 8 anos, até 0,8 m, sob cultivo do capim Tifton 85, obteve maior concentração de sais no período de estiagem, período de maior concentração de sais no EET e a menor lixiviação dos mesmos pelas águas das chuvas. Naquele estudo, os valores máximos de salinidade foram de até $0,26 \text{ dS m}^{-1}$, considerados baixo, não afetando a produtividade da forrageira.

Segundo Silva et al. (2012b), o aumento da CE no solo devido à aplicação de EET está associado às frequentes irrigações, que favorecem a lixiviação às camadas inferiores do solo, propiciando uma distribuição mais uniforme dos sais ao longo do perfil do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Miranda et al. (2006) que explicam que a variação nas concentrações de elementos presentes na solução do solo em profundidade está relacionado à lixiviação de nutrientes.

Menores concentrações de nitrogênio na solução do solo nas camadas superficiais e maiores nas subsuperficiais indicam que houve extração do nutriente pela cultura e parte foi lixiviado (Tabela 31). Menores concentrações de nitrogênio no solo no ano de 2014 vão ao encontro com a maior qualidade da forrageira em nitrogênio que foi superior em relação ao ano de 2013, demonstrando maior absorção pela cultura (item 4.11.3.).

Em 2013 houve maior concentração de nitrogênio no tratamento E5, em relação ao E3 e E0, o que pode ser atribuído à maior dose de EET aplicada naquele tratamento. Em 2014 a concentração de nitrogênio na solução do solo foi semelhante nos tratamentos, talvez devido à maior absorção nos tratamentos com maior aplicação de EET em decorrência das maiores produtividades naquele ano. De acordo com Alexandrino et al. (2010) culturas como a *Brachiaria* absorvem muito nitrogênio respondendo positivamente no incremento na produção de forragens por atuar diretamente no processo de fotossíntese. Resultados semelhantes foram obtidos por

Maggi et al. (2011) aplicando água residuária de suinocultura com concentração de nitrogênio de 887 mg L⁻¹.

Tabela 31. Nitrogênio na solução do solo (kg ha⁻¹) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.

Ano	Prof. (cm)	Tratamento						Média
		E5	E4	E3	E2	E1	E0	
2013	10	32,5	-	22,8	-	-	22,3	25,9
	55	35,9	-	22,7	-	-	25,6	28,1
	100	40,9	-	28,6	-	-	30,6	33,4
	Média	36,4	-	24,7	-	-	26,2	-
2014	10	14,2	21,2	19,1	18,6	15,7	18,6	17,9
	55	17,1	20,1	20,3	16,0	16,5	21,1	18,5
	100	16,0	15,8	20,9	17,7	20,4	23,8	19,1
	Média	15,8	19,0	20,1	17,4	17,5	21,2	-

Devido ao manejo da irrigação ser baseado na demanda de nitrogênio, houve baixas concentrações deste elemento na solução do solo. Do total de nitrogênio aplicado no tratamento E5 25,6% e 69,2% foram exportados na forma de absorção e/ou lixiviação em 2013 e 2014, respectivamente, sendo que o restante se faz presente na solução do solo (Figura 31).

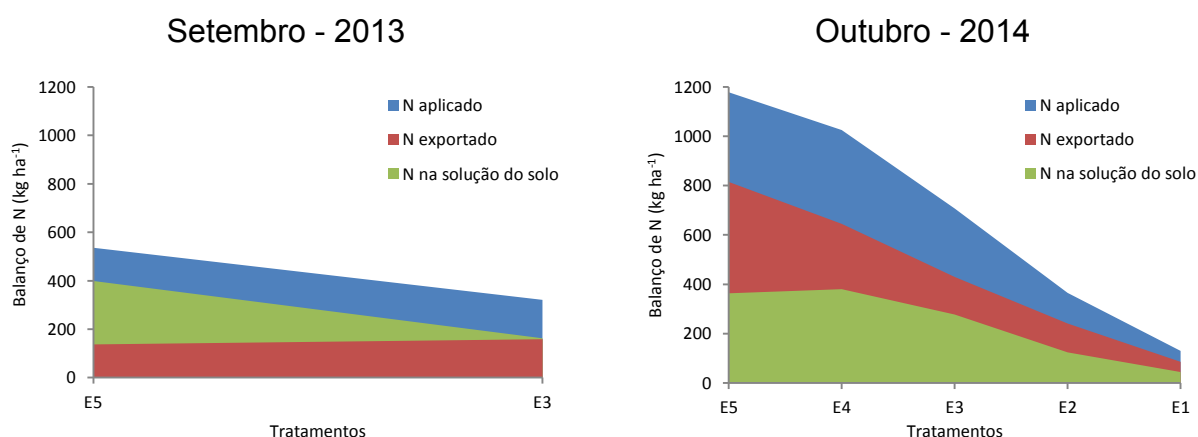


Figura 31. Balanço de nitrogênio em setembro de 2013 e outubro de 2014.

Avaliando a solução de solo em ecossistemas, Miranda et al. (2006) verificou-se que o solo sob pastagem é o que mantém menor concentração de elementos nitrogenados e associou essa baixa concentração à competição por nitrogênio entre a atividade microbiana da rizosfera, rápido crescimento das raízes e perda por lixiviação.

Caovilla et al. (2005) avaliando quatro concentrações (0, 25, 50 e 75%) de água residuária de suinocultura no cultivo de soja, em Latossolo Vermelho Distroférico, tiveram aumento na lixiviação nos tratamento com maior concentração de água residuárias, sendo o nitrato, sais totais e o potássio, os elementos mais carregados. A lixiviação destes elementos pode estar estritamente relacionado à alta concentração dos mesmos na água residuária, sendo de 70,0 mg L⁻¹ de nitrato, 5,1 g L⁻¹ de sólidos totais e 220 mg L⁻¹ de potássio no tratamento de maior concentração, sendo que neste trabalho as concentrações são muito inferiores.

Porém, Pinto et al. (2013), avaliando concentrações de nitrato, nitrito e amônio presentes na solução do solo fertirrigado com EET nas profundidades de 0,25 e 0,50 cm, obtiveram concentração máxima em ambas as profundidades 67,1 mg L⁻¹ de nitrato, 0,03 mg L⁻¹ de nitrito e 0,814 mg L⁻¹ de amônio, concluindo o percolado não apresentou riscos às águas subterrâneas, o que demonstra que os dados contidos neste trabalho não apresentam riscos aos recursos hídricos subterrâneos.

Gomes et al. (2013) monitorando o lençol freático sob influência da irrigação com águas residuárias, não tiveram alterações nas concentrações dos parâmetros avaliados para águas subterrâneas. No entanto, Anami et al. (2008), avaliando o deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo com concentração de 8 e 21 mg L⁻¹, respectivamente, em Latossolo Vermelho Distroférico Típico, concluíram que o íon nitrato da água residuária apresentou elevado potencial de contaminação de solo e água subterrâneas, visto seu rápido deslocamento no perfil do solo. Para o íon fosfato, a possibilidade de poluição é menor se comparada com o nitrato.

Não houve incremento da aplicação de EET na concentração de cálcio na solução do solo (Tabela 32). Em 2013, não houve variação na concentração de cálcio entre os tratamentos que receberam EET. No entanto, o tratamento E0 apresentou concentrações inferiores. Em 2014, houve aumento da concentração de cálcio no perfil

do solo em todos os tratamentos. Os resultados do presente trabalho discordam com de Maggi et al. (2011), no qual a concentração de Ca aumentou com as taxas de águas residuárias aplicadas.

Em todas as épocas e tratamentos, houve maior exportação de cálcio em relação à aplicação. Do total aplicado no tratamento E5 em 2013, foi exportado e/ou lixiviado 37% a mais de cálcio em relação ao aplicado e 10,5% em 2014 (Figura 32). Para Maggi et al. (2011), o cálcio é fortemente adsorvido e sua lixiviação não é intensa, sendo que suas perdas são reduzidas. No entanto, a aplicação de resíduos orgânicos ao solo (EET) aumenta a lixiviação de cálcio.

Tabela 32. Cálcio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.

Ano	Prof. (cm)	Tratamento						Média
		E5	E4	E3	E2	E1	E0	
2013	10	18,7	-	16,9	-	-	7,3	14,3
	55	15,6	-	19,4	-	-	8,1	14,4
	100	19,3	-	14,8	-	-	13,0	15,7
	Média	17,9	-	17,0	-	-	9,5	-
2014	10	14,9	20,3	20,2	17,8	13,5	10,5	16,2
	55	18,3	26,8	29,0	25,1	16,8	13,5	21,6
	100	18,4	32,9	21,3	28,2	25,2	16,6	23,8
	Média	17,2	26,7	23,5	23,7	18,5	13,5	-

O magnésio apresentou comportamento semelhante ao cálcio, com heterogeneidade entre os dados. Em ambas as épocas, o tratamento E3 apresentou maior concentração de magnésio em sua solução (Tabela 33). As camadas intermediárias (55 cm) apresentaram maiores concentração de magnésio. Este fato indica que o magnésio foi deslocado dos sítios de troca e movimentou-se ao longo do perfil do solo. No entanto, esse retardamento na movimentação de Mg para as camadas mais profundas representa absorção pelas culturas.

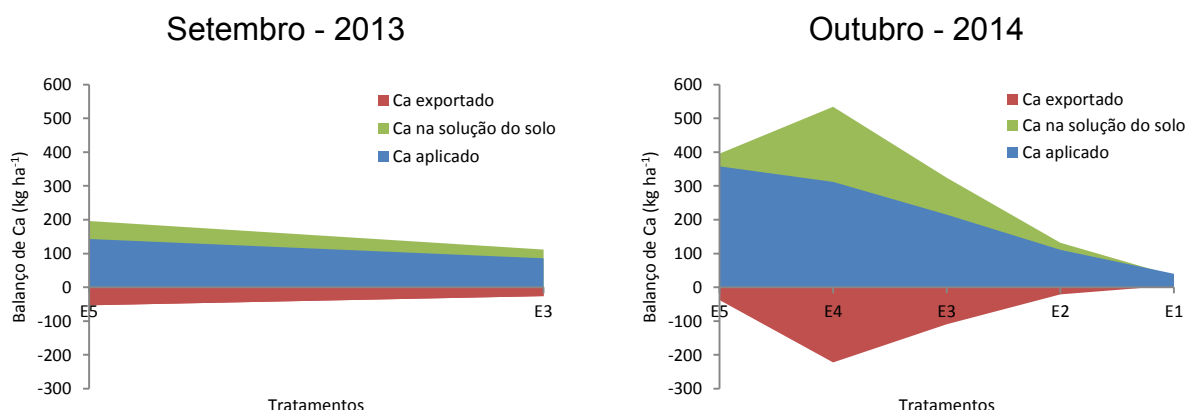


Figura 32. Balanço de cálcio em setembro de 2013 e outubro de 2014.

Tabela 33. Magnésio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.

Ano	Prof. (cm)	Tratamento						Média
		E5	E4	E3	E2	E1	E0	
2013	10	5,9	-	5,8	-	-	2,3	4,7
	55	4,1	-	6,2	-	-	2,1	4,1
	100	4,1	-	3,5	-	-	2,6	3,4
	Média	4,7	-	5,2	-	-	2,3	-
2014	10	3,4	4,7	5,6	4,7	3,3	2,5	4,0
	55	3,9	6,5	7,8	6,8	4,7	3,3	5,5
	100	3,4	6,3	4,3	5,7	4,8	3,0	4,6
	Média	3,6	5,8	5,9	5,7	4,3	2,9	-

Maggi et al. (2011) não obtiveram significância na concentração de magnésio no percolado em função da aplicação de água residuária e nem pelas datas de coletas.

Em 2013, ambos os tratamentos avaliados houve maior exportação de magnésio em relação à aplicação. Em 2014, os tratamentos extremos (E5 e E1) exportaram menos magnésio em relação à aplicação, tornando-o disponíveis na solução do solo. Do total aplicado no tratamento E5 em 2013, houve aumento na concentração de magnésio, sendo 1% a mais em relação à aplicação e em 2014 a aplicação foi superior à exportação em 38,8% (Figura 33).

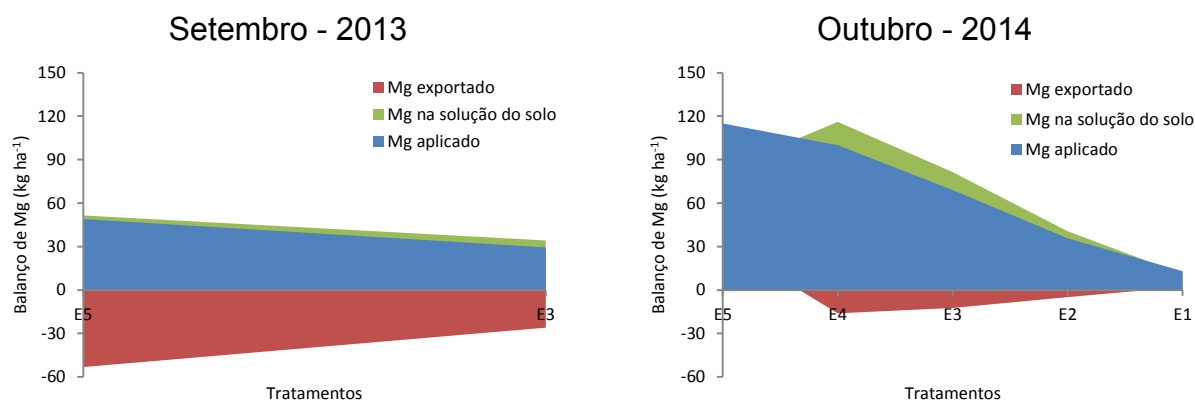


Figura 33. Balanço de magnésio em setembro de 2013 e outubro de 2014.

Azevedo e Oliveira (2005) avaliando a produtividade média do pepino, fertilidade do solo e disposição de nutrientes na água do solo irrigados com esgoto tratado e água tratada, concluiu que a irrigação com efluente contribui significativamente para o aumento de teor de cálcio e magnésio na solução do solo.

A aplicação de EET aumentou os níveis de sódio na solução do solo, principalmente nas camadas superficiais, embora o elemento tenha sido lixiviado para as camadas mais profundas do perfil (Tabela 34). Comparado com o tratamento com adubação mineral (E0), os tratamentos com aplicação constante e crescente de EET apresentaram maiores concentrações de sódio em todo o perfil do solo.

O maior acúmulo de sódio na solução do solo em 2014 ocorreu devido à sua alta concentração no efluente, à redução da precipitação de abril a novembro de 2014 e à baixa absorção pela cultura, resultando no acúmulo no perfil (Figura 34). Do total aplicado no tratamento E5 nos dois anos, a concentração de sódio na solução do solo foi superior à aplicação em 1% e 53,3% em 2013 e 2014, respectivamente.

Tabela 34. Sódio na solução do solo (mg L^{-1}) em diferentes tratamentos, épocas e profundidades de extração.

Ano	Prof. (cm)	Tratamento						Média
		E5	E4	E3	E2	E1	E0	
2013	10	65,0	-	43,9	-	-	7,9	38,9
	55	50,6	-	33,4	-	-	7,7	30,6
	100	40,6	-	37,0	-	-	7,5	28,4
	Média	52,1	-	38,1	-	-	7,7	-
2014	10	112,0	117,0	87,5	46,0	35,5	28,5	71,1
	55	79,0	82,5	73,0	40,0	29,5	20,5	54,1
	100	74,0	67,5	53,0	37,5	28,5	19,0	46,6
	Média	88,3	89,0	71,2	41,2	31,2	22,7	-

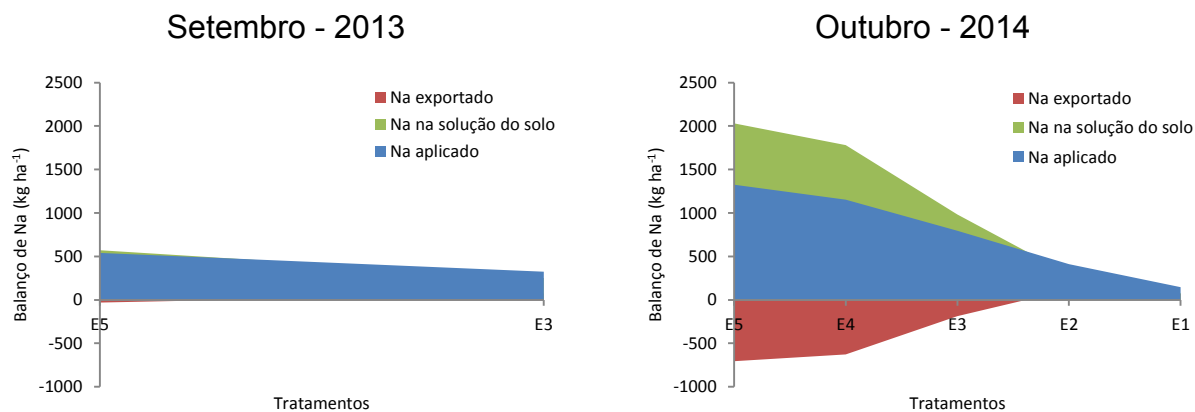


Figura 34. Balanço de sódio em setembro de 2013 (a) e outubro de 2014 (b).

Houve maior concentração de sais nas camadas superficiais nos dois anos do experimento, conforme revelado pelos níveis de razão de adsorção de sódio na Tabela 35, sendo menor em 2013. Em ambos os anos analisados os tratamentos com maiores aportes de EET apresentaram potenciais de salinização considerada baixo (Tabela 35).

Tabela 35. Razão de adsorção de sódio na solução do solo em diferentes tratamentos, anos e profundidades de extração.

Ano	Prof. (cm)	Tratamento						Média
		E5	E4	E3	E2	E1	E0	
2013	10	3,4	-	2,3	-	-	0,7	2,1
	55	2,9	-	1,7	-	-	0,6	1,7
	100	2,2	-	2,2	-	-	0,5	1,6
	Média	2,8	-	2,1	-	-	0,6	-
2014	10	6,5	5,8	4,3	2,4	2,2	2,0	3,9
	55	4,2	3,6	3,0	1,8	1,6	1,2	2,6
	100	4,0	2,7	2,6	1,6	1,3	1,1	2,2
	Média	4,9	4,0	3,3	1,9	1,7	1,4	-

4.11. Produtividade de forragem

Houve estacionalidade marcante no rendimento de forragem, com maiores produtividades em dezembro a fevereiro e menores em junho a agosto (Tabela 36). Os resultados acumulados por estação do ano mostram que, em 2013, os maiores rendimentos médios de forragem ocorreram no verão ($17,7 \text{ t ha}^{-1}$), seguida da primavera ($14,1 \text{ t ha}^{-1}$) e do outono-inverno ($7,8 \text{ t ha}^{-1}$) (Tabela 37). A *Brachiaria brizantha* respondeu positivamente à aplicação de EET, com produtividade anual de biomassa seca aumentando de $31,3$ para $47,4 \text{ t ha}^{-1}$ nos tratamentos E1 a E5, correspondente ao incremento de 51%, em 2013. A redução da precipitação (672 mm) e o aumento da temperatura ($1,1^{\circ}\text{C}$) e radiação solar ($312,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) ocorrido principalmente no período de março a novembro de 2014 resultaram em maior produtividade de biomassa seca, com gradiente de produção mais acentuado que em 2013 (Tabela 36). E em 2014 houve aumento na produção de biomassa de $25,7 \text{ t ha}^{-1}$ no tratamento E1 para $56,9 \text{ t ha}^{-1}$ no tratamento E5, correspondendo ao incremento de 121%.

Tabela 36. Produtividade de biomassa seca por tratamento, durante os ciclos de corte.

Ciclo	Ano/Mês	Data	(t ha ⁻¹)					
			E5	E4	E3	E2	E1	E0
2013								
1°	Fevereiro	05/02/13	6,826	6,224	6,543	6,272	5,996	6,028
2°	Março	05/03/13	2,774	2,998	2,650	2,397	2,841	3,242
3°	Abril	03/04/13	5,131	4,166	3,783	3,485	2,700	4,874
4°	Maio	01/05/13	1,397	1,639	1,495	1,390	1,405	1,957
5°	Maio	28/05/13	2,036	1,959	1,376	968	880	1,657
6°	Junho	25/06/13	2,444	2,530	1,834	1,184	1,058	1,941
7°	Julho	23/07/13	2,211	1,899	1,688	1,430	1,104	2,071
8°	Agosto	20/08/13	1,526	1,440	1,120	896	920	1,201
9°	Setembro	17/09/13	1,529	1,287	914	716	761	1,130
10°	Outubro	15/10/13	5,376	4,356	2,823	2,080	1,936	3,167
11°	Novembro	12/11/13	6,358	5,665	3,898	3,778	3,303	5,270
12°	Dezembro	10/12/13	5,512	6,001	4,470	4,939	4,032	5,417
13°	Janeiro	07/01/14	4,265	5,025	4,266	4,305	4,323	4,963
Total			47,385	45,189	36,862	33,840	31,260	42,918
2014								
14°	Fevereiro	04/02/14	4,332	3,285	3,169	3,369	3,026	4,610
15°	Março	04/03/14	5,074	4,761	2,973	3,707	3,125	3,837
16°	Março	01/04/14	3,611	4,077	3,247	2,732	2,850	4,293
17°	Abril	29/04/14	4,985	4,541	4,232	4,054	3,842	3,908
18°	Maio	27/05/14	2,816	2,768	2,037	1,717	1,686	2,590
19°	Junho	24/06/14	1,958	1,803	1,649	1,241	852,0	1,896
20°	Julho	22/07/14	2,397	1,955	1,251	797,0	626,0	1,915
21°	Agosto	19/08/14	2,278	1,512	1,287	993	682	1,536
22°	Setembro	16/09/14	3,183	2,806	1,431	1,004	717	2,203
23°	Outubro	14/10/14	6,834	5,687	3,563	2,363	1,455	3,833
24°	Novembro	11/11/14	7,127	6,462	4,789	3,055	2,106	7,030
25°	Dezembro	09/12/14	6,813	7,152	5,132	3,657	2,793	6,910
26°	Janeiro	06/01/15	5,497	4,444	3,902	3,503	1,974	6,237
Total			56,907	51,253	38,662	32,191	25,736	50,797

A concentração da produtividade média de forragem no verão (44,7%) e primavera (35,7%) em 2013 se deu por influência dos fatores climáticos, que aceleraram as atividades metabólicas das forrageiras e, conseqüentemente, promoveram maior crescimento das plantas. Ao contrário, a menor produtividade no outono-inverno (19,6%) ocorreu devido às condições sub-ótimas para o crescimento da cultura (Tabela 37). Em 2014, houve maior produtividade média na primavera (38,4%), seguido do verão (35,9%) e outono-inverno (25,7%).

Tabela 37. Produtividade média de biomassa seca por tratamento no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e em 2014.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Total
	(t ha ⁻¹)			
2013				
E5	18,997	9,613	18,775	47,385
E4	18,413	9,467	17,309	45,189
E3	17,243	7,513	12,106	36,862
E2	16,460	5,868	11,512	33,840
E1	15,861	5,367	10,032	31,260
E0	19,107	8,827	14,984	42,918
Média	17,680	7,776	14,120	-
2014				
E5	18,515	14,435	23,957	56,907
E4	16,567	12,579	22,107	51,253
E3	13,291	10,546	14,915	38,662
E2	13,312	8,801	10,079	32,191
E1	10,976	7,688	7,072	25,736
E0	18,976	11,845	19,976	50,797
Média	15,273	10,967	16,351	-

Da mesma forma que os resultados obtidos nesta pesquisa, Silva (2013) também obteve redução da produção de biomassa seca no período de estiagem, com 28% da

produtividade anual, após oito anos de cultivo com capim Tifton 85 irrigado com água sódica e EET acrescido de adubação mineral.

Fonseca et al. (2007) utilizaram EET em capim Tifton 85, EET com $31,9 \pm 5,8 \text{ mg L}^{-1}$ de N mais adubação complementar por nitrogênio de 0, 172, 343 e $520 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e somente fertilizante mineral (520 kg ha^{-1}), e obtiveram produtividades médias de biomassa seca de 24,4, 32,2, 34,7, 38,6 e $32,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Matos et al. (2013) avaliaram produtividade do capim Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolato de resíduos sólidos urbano, com concentração média de nutrientes superior à do EET utilizado neste experimento, e obtiveram redução na produtividade da forrageira no outono, associando aos efeitos climáticos (frio e seco).

Na análise de agrupamento da produtividade de forragem foi admitido um corte na distância euclidiana de 7 que permitiu a divisão clara de dois grupos. A produtividade total dos tratamentos E1 e E2 foram equivalentes, assim como para os tratamentos E0 e E4. Os tratamentos E3 e E5 foram diferentes, porém, por distância de similaridade se unirão a E1 e E2 e E0 e E4, respectivamente, formado dois grupos distintos de produtividade de biomassa compostos por E1, E2 e E3 e E0, E4 e E5 (Figura 35).

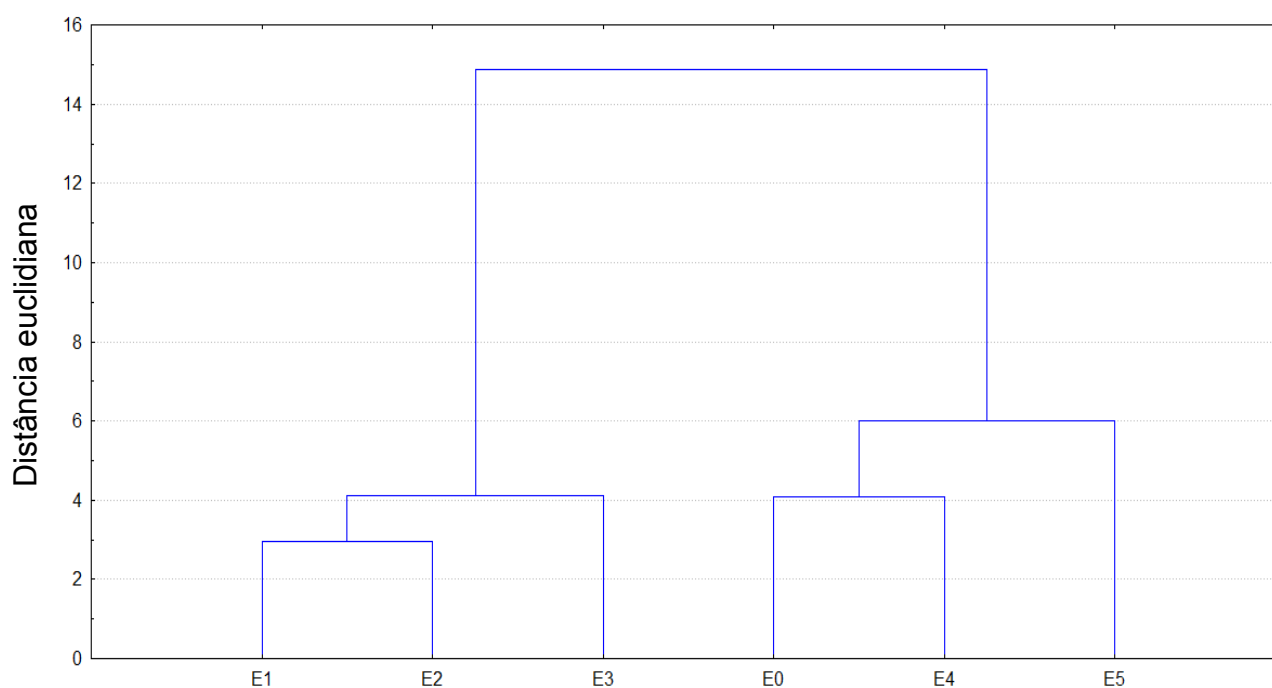


Figura 35. Análise de agrupamento hierárquico da produtividade de biomassa seca durante os 26 ciclos por tratamento.

Este fato retrata que doses equivalentes entre adubação mineral (NPK) e adubação orgânica (EET) há vantagem no primeiro manejo. No entanto, um leve aumento na concentração de EET ($E4=0,87$) já se torna produtividades equivalentes à adubação mineral. A menor produtividade de forragem no tratamento E3, em relação ao E0, pode ser explicada pela existência no EET de elementos químicos que influenciam negativamente o crescimento da *Brachiaria*, como o sódio.

A análise de variância dos dados de rendimento de forragem no verão revelou significância do ano de cultivo, doses de EET e interação ano x EET (Tabela 38).

Tabela 38. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de *Brachiaria brizantha* fertirrigada com efluente de esgoto tratado no verão, em 2013 e 2014.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	Pr>F
Bloco (B)	3	2.132.262,5 ^{ns}	0,4801
Ano (A)	1	69.547.860,1 [*]	<0,0001
Interação BxA	3	5.984.640,0 ^{ns}	0,0901
EET (E)	5	41.835.894,5 ^{**}	<0,0001
Interação ExA	5	7.312.756,4 [*]	0,0299
CV (%)			9,6
Ano	Produtividade média em biomassa seca (t ha ⁻¹)		
2013		17,7 a	
2014		15,3 b	
Tratamento	2013 (t ha ⁻¹)	2014 (t ha ⁻¹)	Média (t ha ⁻¹)
E5	19,0 a	18,5 a	18,9
E4	18,4 a	16,6 ab	17,5
E3	17,2 a	13,3 bc	15,3
E2	16,5 a	13,3 bc	14,9
E1	15,8 a	10,9 c	13,4
E0	19,1 a	19,0 a	19,0
Média	17,7	15,3	-

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (°) e a 0,01 (**) de probabilidade; (^{ns}) não significativo; CV - coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

O coeficiente de variação foi de 9,6%, revelando a alta precisão do experimento. A comparação de médias no verão mostrou produtividade de forragem de 2013 superiores à de 2014. O desdobramento da interação EET x ano revelou médias de produtividade semelhantes no verão de 2013. No verão de 2014 as maiores médias de produtividades ocorreram nos tratamentos E5, E4 e E0 e as menores médias foram as dos tratamentos E3, E2 e E1, porém as médias de E4 e E3 não diferiram entre si. A adubação inicial propiciou uniformização da forrageira no início do experimento.

No verão de 2014 as maiores médias de produtividades ocorreram nos tratamentos E5, E4 e E0 e as menores médias foram as dos tratamentos E3, E2 e E1, porém as médias de E4 e E3 não diferiram entre si.

No outono-inverno houve significância para ano e EET, não havendo interação entre ambos (Tabela 39). O coeficiente de variação foi de 13,5%. A produtividade de biomassa em 2014 foi superior a 2013. A comparação de médias para doses de EET mostrou maiores rendimentos para os tratamentos E5, E4 e E0 e não houve diferença significativa entre E3 e E0. Doses relativamente baixas de nitrogênio (E1), reduziram a produtividade em até 84,2% em relação às doses máximas (E5).

No outono-inverno não houve a produtividade de biomassa seca mínima aceitável em intervalos de 28 dias para o consumo de bovinos de pastagens, que é de 1.200 kg ha^{-1} (SILVA et al., 2012). A queda de produtividade no outono-inverno está associada às baixas temperaturas, umidade e luminosidade durante o período, sendo limitantes ao desenvolvimento da *Brachiaria brizantha*, ao contrário do verão e a primavera. Plantas forrageiras C4, apresentam maior exigência em temperatura e luminosidade para que se promova seu crescimento (MATOS et al., 2013). Esse fato foi comprovado por Maranhão et al. (2010) em pesquisa com doses de nitrogênio em *Brachiaria*, obtendo redução na produtividade de biomassa seca de 78,9% no inverno em relação ao verão.

Na primavera houve efeito de ano, EET, interação entre ambos os fatores e o coeficiente de variação foi 10,3% (Tabela 40). Em 2014, a produtividade de biomassa foi superior a 2013 (41%). No entanto, em 2014, houve a maior e menor produtividade, sendo nos tratamentos E5 (24 t ha^{-1}) e E1 (7 t ha^{-1}), respectivamente. Períodos mais

secos, quentes e com alta radiação solar, como em 2014, propiciaram o aumento de produtividade.

Tabela 39. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de *Brachiaria brizantha* fertirrigada com efluente de esgoto tratado no outono-inverno, em 2013 e 2014.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	Pr>F
Bloco (B)	3	6.222.510,2 ^{ns}	0,018
Ano (A)	1	122.212.110,0 ^{**}	<0,0001
Interação BxA	3	1.631.663,1 ^{ns}	0,3949
EET (E)	5	36.929.215,3 ^{**}	<0,0001
Interação ExA	5	1.432.577,0 ^{ns}	0,4932
CV (%)			13,5
Ano		Produtividade média em biomassa seca (t ha ⁻¹)	
2013		7,8	b
2014		11,0	a
Tratamento	2013 (t ha ⁻¹)	2014 (t ha ⁻¹)	Média (t ha ⁻¹)
E5	9,6	14,5	12,0 a
E4	9,5	12,6	11,0 a
E3	7,5	10,5	9,0 bc
E2	5,9	8,8	7,4 cd
E1	5,4	7,7	6,6 d
E0	8,8	11,8	10,3 ab
Média	7,8	11,0	-

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (°) e a 0,01 (°°) de probabilidade; (^{ns}) não significativo; CV - coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si (p < 0,05) pelo teste Tukey.

Matos et al. (2013) avaliaram produtividade do capim Tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolado de resíduos sólidos urbano com concentrações média de nutrientes superior ao do EET utilizado neste experimento,

obtendo redução na produtividade da forrageira no outono, associando-a aos efeitos climáticos (frio e seco).

Tabela 40. Resumo das análises de variância (ANOVA) e comparação de médias de produtividade de biomassa seca de *Brachiaria brizantha* fertirrigada com efluente de esgoto tratado na primavera, em 2013 e 2014.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	Pr>F
Bloco (B)	3	11.248.379**	0,0091
Ano (A)	1	59.748.413**	<0,0001
Interação BxA	3	10.628.428*	0,0116
EET (E)	5	207.980.458**	<0,0001
Interação ExA	5	25.456.396**	<0,0001
CV (%)			10,3
Ano		Produtividade média em biomassa seca (t ha ⁻¹)	
2013		16,3 a	
2014		14,1 a	
Tratamento	2013 (t ha ⁻¹)		2014 (t ha ⁻¹) Média (t ha ⁻¹)
E5	18,8	abc	24,0 a 21,4
E4	17,3	bc	22,1 ab 19,7
E3	12,1	de	14,9 de 13,5
E2	11,5	de	10,0 fg 10,8
E1	10,0	ef	7,0 g 8,5
E0	15,0	cd	20,0 bc 17,5
Média	14,1		16,3 -

GL - grau de liberdade; Significativo a 0,05 (*) e a 0,01 (**) de probabilidade; (ns) não significativo; CV - coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ($p < 0,05$) pelo teste Tukey.

As taxas médias de crescimento de biomassa seca em 2013 foram de 158, 56 e 126 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. As maiores taxas ocorreram nos tratamentos E0 (171 kg ha⁻¹ dia⁻¹) e E5 (170 kg ha⁻¹ dia⁻¹) durante o verão, e a menor taxa foi observada no tratamento E1 (38 kg ha⁻¹ dia⁻¹) no inverno.

Em 2014, as menores taxas médias de crescimento de biomassa ocorreram nos tratamento com menor aplicação de EET (E1 e E2), correspondentes a 136, 78 e 146 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. As maiores taxas de crescimento de biomassa ocorreram no tratamento E5 e E4, de 214 e 197 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, durante a primavera, e a menor taxa no tratamento E1 (55 kg ha⁻¹ dia⁻¹) no inverno. Andrade et al. (2012) obtiveram menor taxa de acúmulo de forragem Tifton 85 e Vaquero fertirrigada com adubo mineral no verão e outono de 140 e 113 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de biomassa seca no verão e 122 e 95 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de biomassa seca no outono, respectivamente.

A produtividade de biomassa seca foi crescente em função da aplicação de nitrogênio no solo via EET em todas as estações avaliadas em 2013 e 2014 (Figura 36).

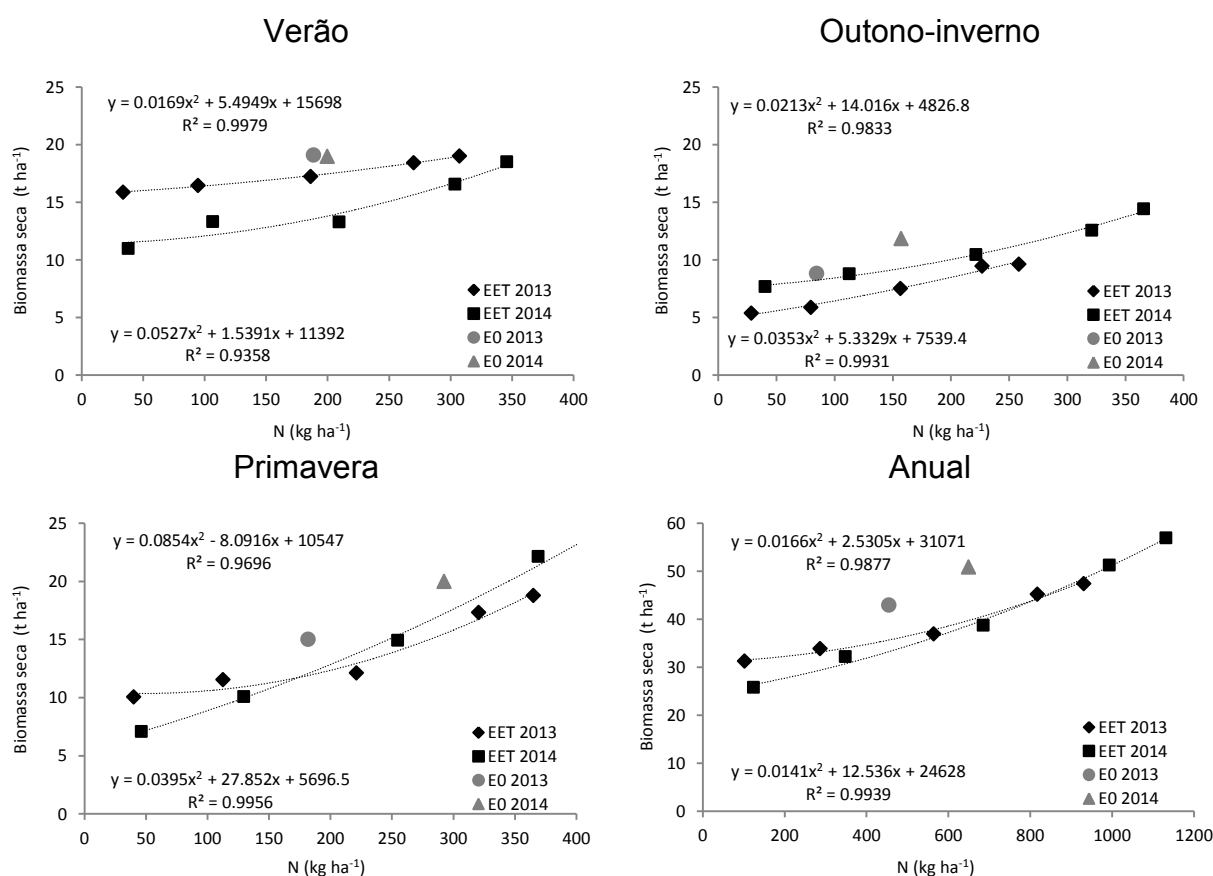


Figura 36. Produtividade de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função da aplicação de nitrogênio via EET e adubação mineral nas estações do ano e anual.

Apesar das altas doses de nitrogênio via EET aplicadas, em 2013 (931 kg ha^{-1}) e em 2014 (1.132 kg ha^{-1}) as doses aplicadas foram insuficientes para atingir o pico de rendimento de forragem. Doses equivalentes em nitrogênio orgânico e mineral resultaram em produtividade de biomassa seca igual ou superior no tratamento E0 em relação ao E3.

Resultados semelhantes foram obtidos por Nogueira et al. (2012) que obtiveram aumento de produtividade em função de maior aplicação de EET. Drumond et al. (2006) aplicando doses de dejetos líquido de suínos (0 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no Tifton 85 no outono-inverno, obtendo produtividades médias de biomassa seca de $2,8$ a $5,9 \text{ t ha}^{-1}$, em ciclos de 28 dias.

Silva et al. (2012c) obtiveram produtividade crescente de biomassa seca crescente ($R^2 > 0,55$) cultivando o capim-mombaça submetido a doses de sódio (0 , 75 , 150 , 225 e 300 kg ha^{-1}) como elemento referência na irrigação, com concentração de 7 mg L^{-1} via efluente de tratamento primário de esgoto sanitário (ETPES) com alta concentração de nitrogênio ($81,2 \text{ mg L}^{-1}$).

A produtividade de nitrogênio em 2013 para os tratamentos que recebem EET foram $173,8$, $77,9$ e $102,5 \text{ kg}$ de biomassa por kg^{-1} de N no verão, outono-inverno e primavera e de 117 , 79 e $81,3 \text{ kg}$ de biomassa por kg^{-1} de N, em 2014, respectivamente (Figura 37). Apesar da maior produtividade anual em 2014, a menor produtividade de nitrogênio está relacionada ao aumento das doses de EET aplicadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Serafim (2010) que teve melhor aproveitamento do nitrogênio nas menores doses disponibilizadas. Vilela et al. (2002) obtiveram produtividade média de nitrogênio de $13,3$ e $24,9 \text{ kg BS kg}^{-1}$ de N no inverno e na primavera.

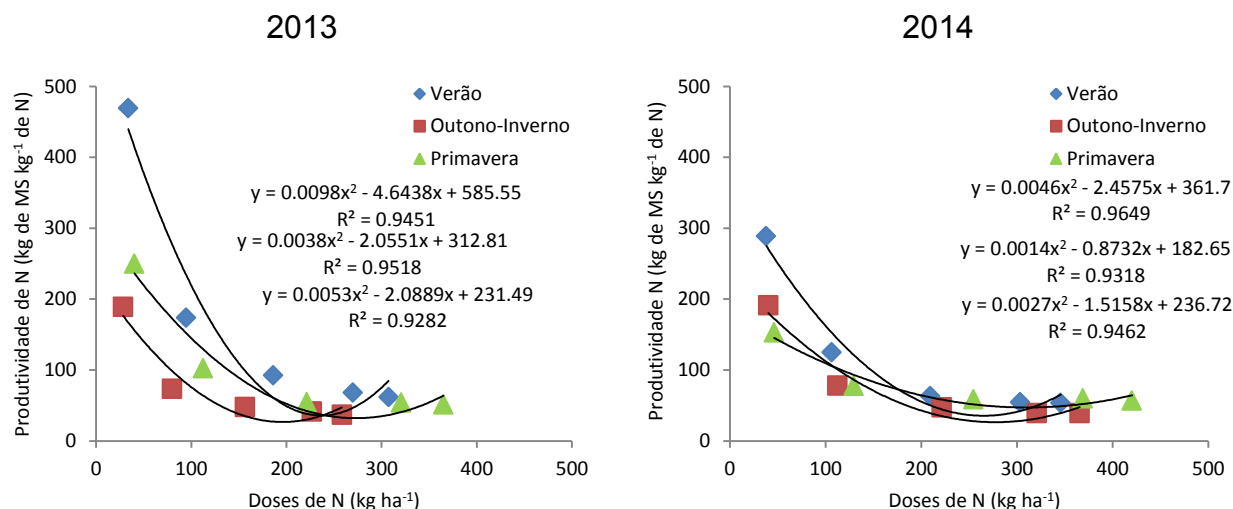


Figura 37. Produtividade de nitrogênio em função da aplicação via EET em 2013 e 2014.

4.11.1. Altura de plantas

Os níveis de adubação nitrogenada via EET, associados às condições climáticas, favoreceram o crescimento heterogêneo da forrageira durante os intervalos de corte de as estações do ano (Tabela 41 e Figuras 38 e 39). Doses crescentes de EET proporcionaram incrementos na altura da *Brachiaria brizantha* durante 28 dias em todos os períodos avaliados, sendo maiores no verão, seguido da primavera e outono-inverno. Plantas forrageiras C4, apresentam maior exigência em temperatura e luminosidade para que se promova seu crescimento (MATOS et al., 2013).

O crescimento médio da *Brachiaria brizantha* em 2013 foi de 0,9, 0,4 e 0,7 cm dia⁻¹ no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. O tratamento com maior disponibilidade de nitrogênio (E5) apresentou maiores taxas, atingindo 1,0 cm dia⁻¹ no verão.

Em 2014, houve menor altura média de corte por tratamento, no entanto, os tratamentos com maior aplicação de EET (E3-E5) e adubação mineral registraram maior altura em relação a 2013. Este fato ocorreu devido a maior influência do efeito gradual da aplicação de EET na altura de corte da forrageira.

Tabela 41. Altura média de corte da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos em 2013 e 2014.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média
	Altura (cm)			
2013				
E5	43,6	28,2	40,1	37,3
E4	41,1	27,2	36,8	35,0
E3	38,6	25,2	32,5	32,1
E2	37,6	23,0	30,1	30,2
E1	37,1	22,4	30,7	30,1
E0	43,6	26,8	38,4	36,3
Média	40,3	25,5	34,8	-
2014				
E5	46,3	35,9	45,0	42,4
E4	40,9	33,0	38,8	37,6
E3	36,0	29,2	31,6	32,2
E2	32,9	25,4	26,1	28,1
E1	31,2	24,1	22,3	25,9
E0	44,7	31,5	39,2	38,5
Média	38,7	29,9	33,8	-

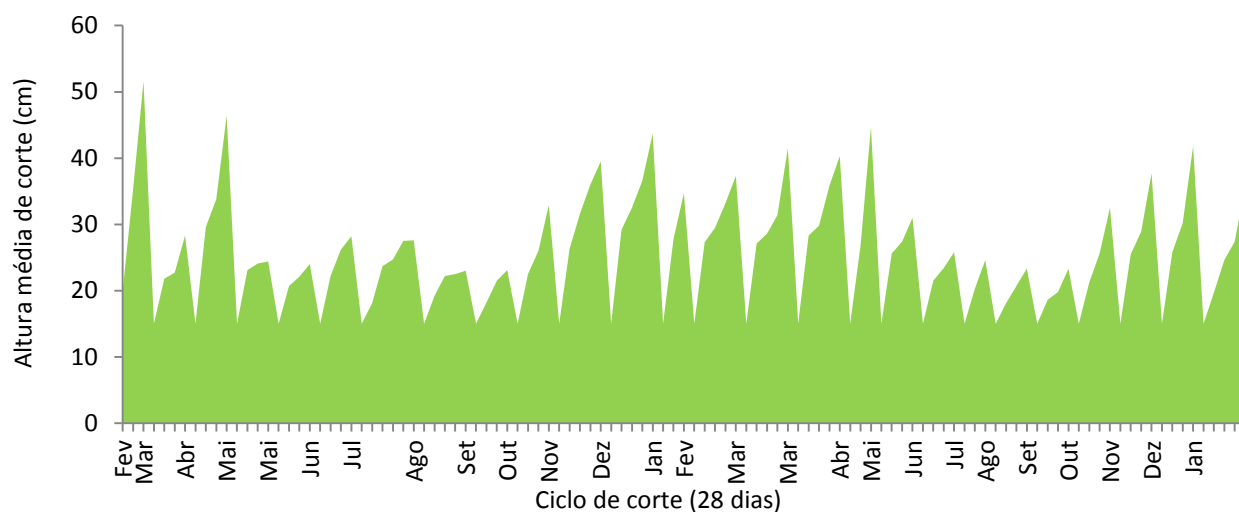


Figura 38. Altura média dos tratamentos E5-E0 de *Brachiaria brizantha* durante 26 ciclos de corte de 28 dias, a partir de janeiro de 2013.

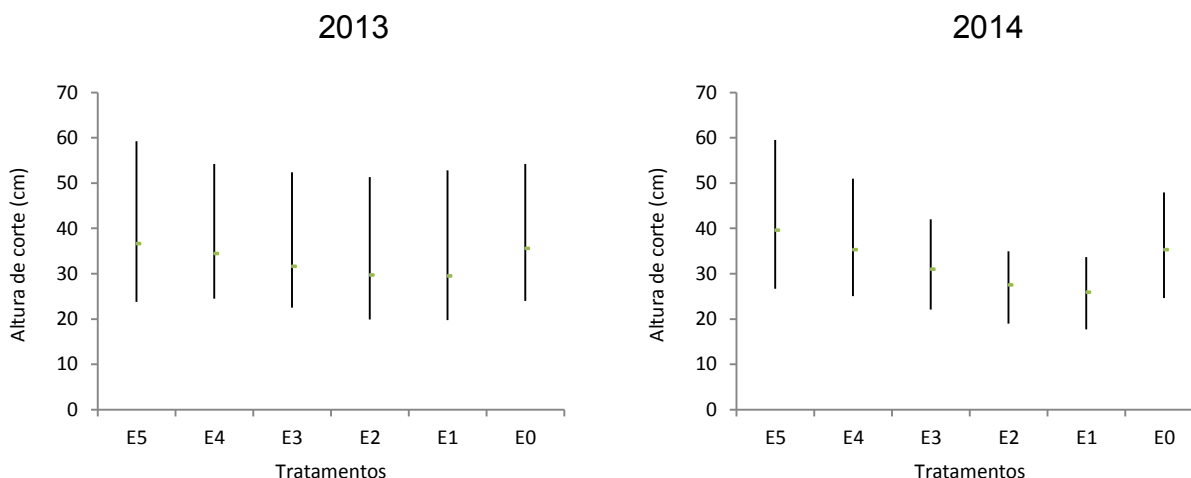


Figura 39. Alturas de corte máxima, média e mínima de *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos com aplicação de efluente doméstico tratado, em Jaboticabal em 2013 e 2014.

O crescimento médio da *Brachiaria brizantha* em 2014 foi de 0,8, 0,5 e 0,7 cm dia⁻¹ no verão, outono-inverno e primavera, respectivamente. O tratamento com maior disponibilidade de nitrogênio (E5) apresentou maiores taxas, atingindo 1,1 cm dia⁻¹ tanto no verão, quanto na primavera. Melhor desenvolvimento da forrageira em 2014 resultou em maior produtividade de biomassa.

No outono-inverno, o menor crescimento das plantas foi associado às baixas temperaturas (<15°C), valor este que cessa o crescimento das forrageiras (SANTOS, 2006). Para Costa et al. (2005) as baixas temperaturas e o menor número de horas de brilho solar, determinam mudanças fisiológicas na forrageira, desencadeando o processo reprodutivo e afetando o crescimento, exemplificando o fato ocorrido no outono-inverno.

Resultados semelhantes foram obtidos por Maranhão et al. (2010) avaliando doses de nitrogênio mineral (0 e 200 kg ha⁻¹) em capim-braquiária com diferentes intervalos de corte no sudoeste da Bahia, obtendo altura de corte de 29,1 e 46,6 cm no verão e de 32,3 e 34,2 cm no outono, respectivamente, para ciclo de 28 dias, afirmando que o crescimento da forrageira foi limitado devido a redução da precipitação e temperatura.

Silva et al. (2012a) avaliando a resposta do capim Marandu a aplicação de adubação mineral e orgânica na região de Araguaína, Tocantins, determinaram que a altura da planta 28 dias após a germinação foi significativamente superior quando utilizado esterco de frango, seguido de compostagem, esterco bovino e adubação mineral (NPK), sendo a última, estatisticamente semelhante a testemunha. Dentre os dias após a germinação observados (14, 21, 28, 35 e 42 dias) e os manejos de adubação utilizados, a hierarquia de desenvolvimento da planta foi mantida.

Giemenes et al. (2011) avaliando capim Marandu submetido a manejo rotativo e doses de nitrogênio, determinaram que pastos manejados com altura de pré-pastejo de 25 cm apresentaram maiores valores de ganho de peso animal por dia e por hectare, bem como de taxa de lotação.

Houve correlação entre a produtividade de biomassa seca e a altura de corte da *Brachiaria brizantha* com $R^2 > 0,63$ e $R^2 > 0,39$ por estação e de $R^2 > 0,49$ e $R^2 > 0,68$ com dados médios para o ano de 2013 e 2014, respectivamente, considerando somente os tratamentos que recebem EET (Figura 40 e 41). Na gestão agrícola, a estimativa da produtividade de biomassa seca em função da altura de planta, auxilia o manejo para fins de pastejo ou na produção de alimentos (feno), sendo de grande utilidade às equações obtidas na Figura 40 e 41.

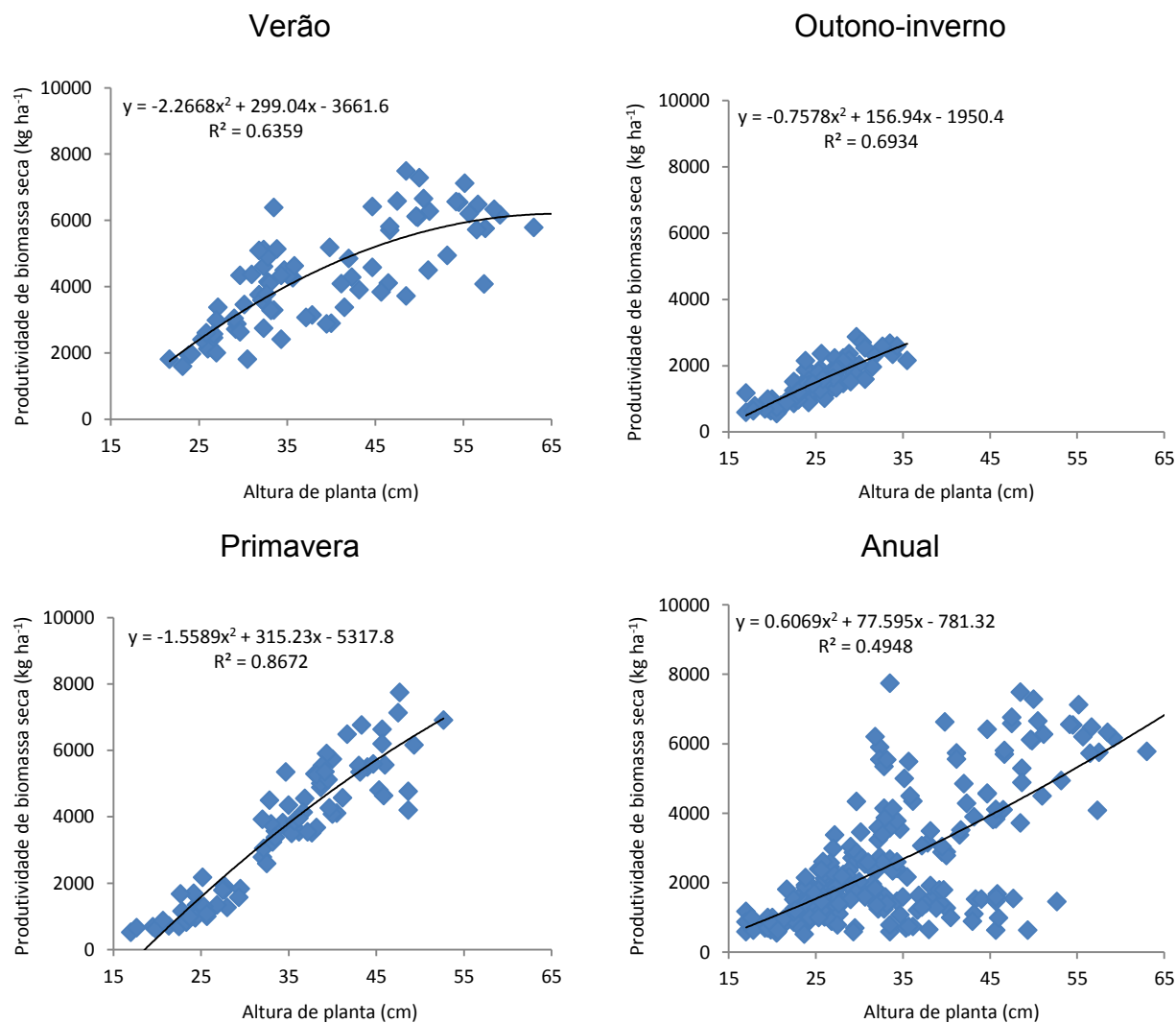


Figura 40. Correlação entre a produtividade de biomassa seca e a altura de corte da *Brachiaria brizantha*, em função da adubação via EET e durante as estações do ano e no ano de, 2013.

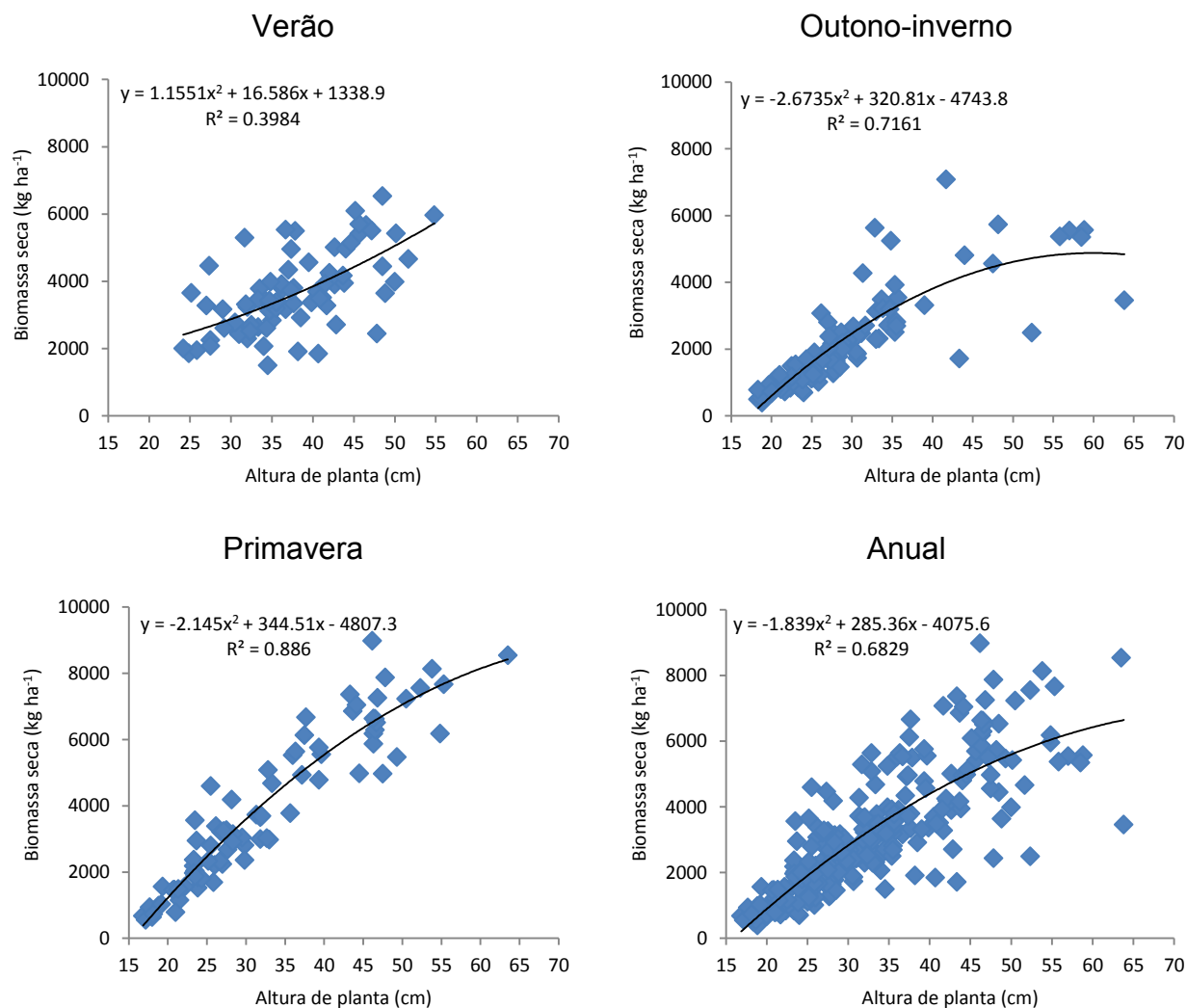


Figura 41. Correlação entre a produtividade de biomassa seca e a altura de corte da *Brachiaria brizantha* em função da adubação via EET durante as estações do ano e no ano de 2014.

4.11.2. Relação folha-colmo

As altas temperaturas promoverão maior crescimento da planta e, conseqüentemente, maior alongamento do colmo em função da competição por radiação solar, resultando em aumento médio de produtividade de biomassa seca de até 84% em relação ao outono-inverno. Apesar de menor produtividade de biomassa seca no outono-inverno em relação à primavera este fato foi compensado pela maior

relação folha-colmo, favorecendo na maior concentração de nutrientes destinados a alimentação em sistema de pastejo (Figuras 42 e 43).

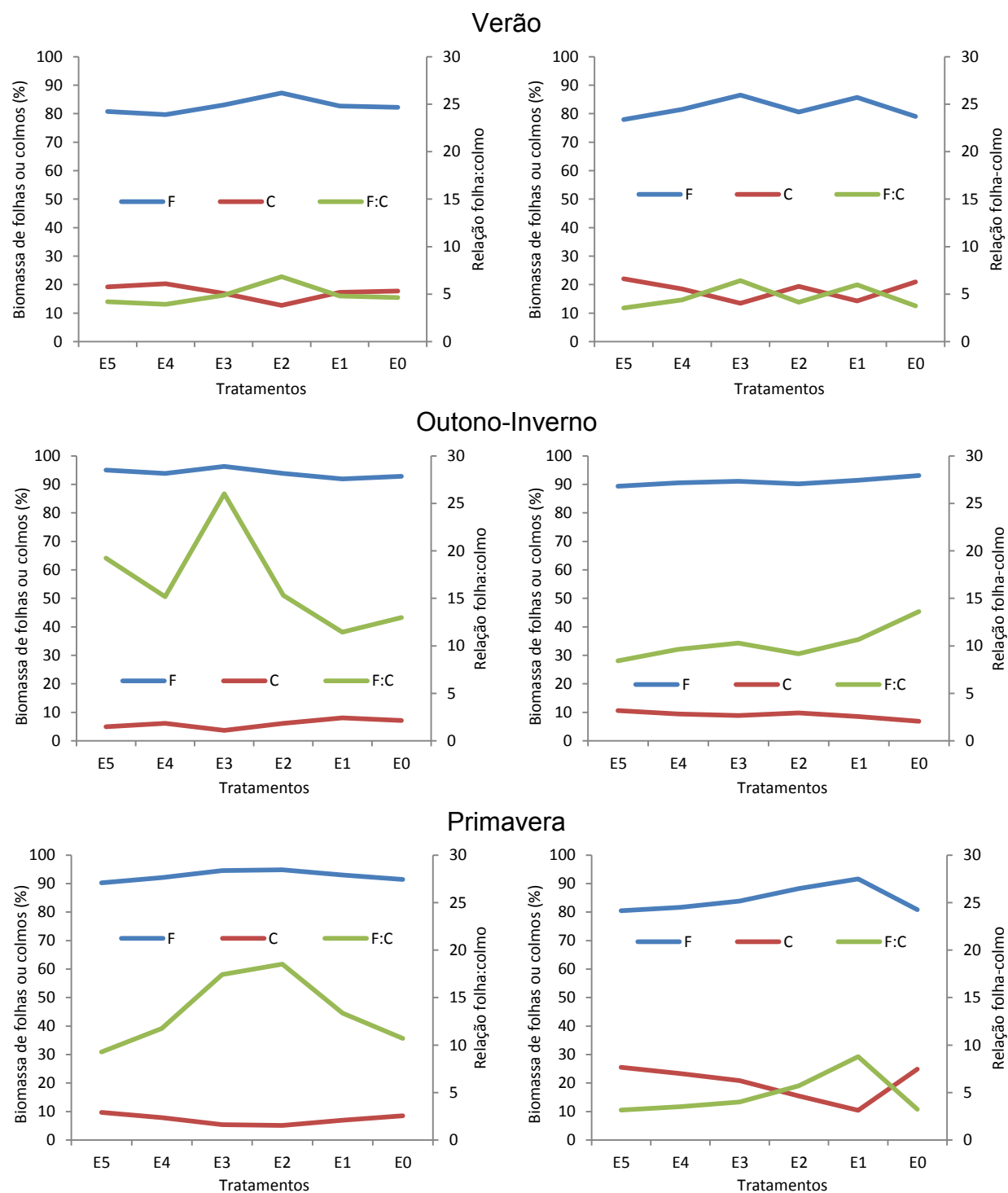


Figura 42. Relação de folha, colmo e folha-colmo em função dos tratamentos nas estações do ano em 2013 (esquerda) e 2014 (direita).

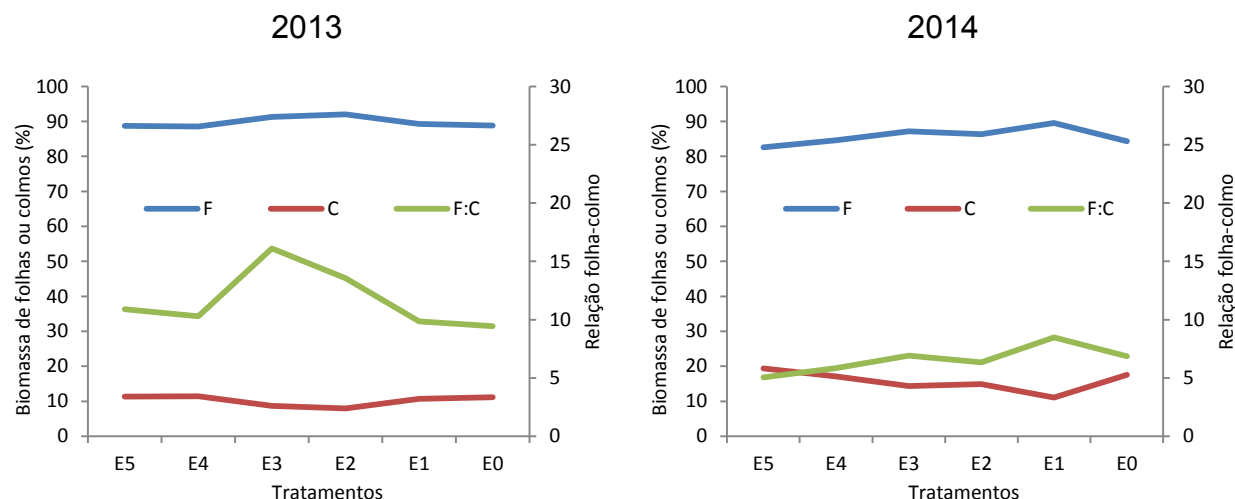


Figura 43. Relação média de folha, colmo e folha-colmo em função dos tratamentos em 2013 e 2014.

O rápido alongamento do colmo ocasionado pelas altas temperaturas reduz a digestibilidade da biomassa seca pelos bovinos.

Apesar da menor produtividade de biomassa seca no outono-inverno, em relação à primavera e verão, em 2013, esse foi o período de maior relação folha-colmo (F/C), o que pode aumentar a concentração de nutrientes destinados à alimentação em sistema de pastejo. Em 2014, a cultura apresentou melhor desenvolvimento e consequentemente maior alongamento do colmo, reduzindo a relação folha-colmo em relação a ano de 2013. Não houve efeito entre os tratamentos na relação folha-colmo.

Em 2013, maiores relações F/C foram obtidas quando aplicados 130 kg ha^{-1} de N ($R^2=0,54$) no verão, 170 kg ha^{-1} ($R^2=0,60$) no outono-inverno e 140 kg ha^{-1} ($R^2=0,95$) na primavera (Figura 44). A relação folha-colmo média foi de 4,9:1, 17,4:1 e 14,1:1 no verão, outono-inverno e na primavera, respectivamente, com produtividade média de folha de 82,7%, 94,2% e 93% da biomassa seca total, respectivamente.

Em 2014, maiores doses de EET propiciou no melhor desenvolvimento da forrageira reduzindo a relações F/C. As maiores relações F/C foram obtidas no tratamento E1 em função da maior produção de folha em relação ao colmo, ou seja, menor competição por radiação. As melhores relações F/C foram obtidas quando aplicados 140 kg ha^{-1} de N ($R^2=0,40$) no verão, 70 kg ha^{-1} ($R^2=0,44$) no outono-inverno e quando não aplicado EET na primavera há menor produção de colmo e maior em

folha ($R^2=0,98$) devido a redução no desenvolvimento da cultura (Figura 44). A relação folha-colmo média foi de 4,7:1, 10:3:1 e 4,7:1 no verão, outono-inverno e na primavera, respectivamente, com produtividade média de folha de 81,9%, 91% e 84,5% da biomassa seca total, respectivamente.

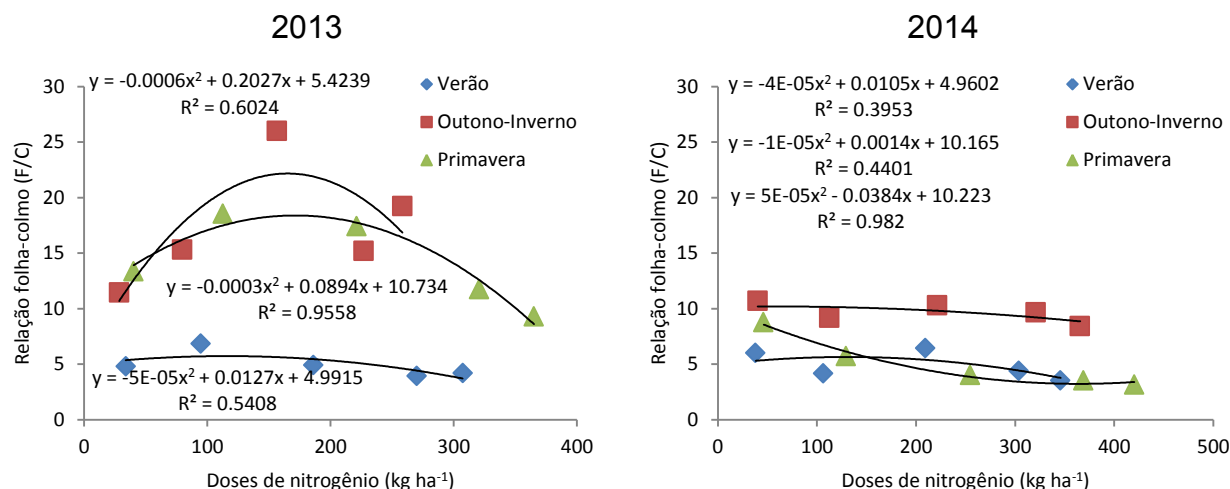


Figura 44. Relação folha-colmo em função de doses de nitrogênio aplicadas via EET em 2013 e 2014.

A maior proporção F/C no outono-inverno em relação ao verão e a primavera poder ser devida aos ciclos de cortes intensivos e a baixa competição por radiação. Para Lopes (2003) o alongamento do colmo, o meristema apical é “empurrado” para cima, expondo a destruição por corte, provocando redução brusca na relação F/C. Na primavera, altas temperaturas promoveram maior crescimento e desenvolvimento da planta e consequentemente maior alongamento do colmo em função da competição por radiação solar.

O verão caracterizou-se como a estação com maior proporção de biomassa em colmo. No entanto, em 2013, a adubação de homogeneização para iniciar o experimento, propiciou em pleno desenvolvimento da forrageira, não havendo variação na relação F/C neste ano.

As condições climáticas favoráveis para o crescimento vegetativo propiciou maior altura de planta no verão, consequentemente maior alongamento do caule e menor relação F/C. Rodrigues et al. (2008) avaliando a relação F/C em função de doses

crescentes de nitrogênio (0 a 225 mg dm⁻³) e potássio (50 e 100 mg dm⁻³) da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés em vaso, com altura de corte as 10 cm com intervalo médio de 28 dias, obteve equação quadrática positiva em ambos os manejos adotados, com valores decrescentes até a dose de 150 mg dm⁻³ de nitrogênio aplicado, independentemente da dose de potássio aplicada. Os autores explicam que maiores doses de nitrogênio favoreceram ao maior crescimento da planta e alongamento dos colmos, reduzindo a relação F/C de 20:1 para 5:1.

4.11.3. Qualidade de forragem

No outono-inverno, a baixa produtividade associada a menor área foliar e maior relação folha-colmo propiciou maior teor de proteína bruta e menor teor de fibra em detergente neutro em ambos os anos do experimento (Tabelas 42 e 43).

Em 2014, houve aumento gradativo da qualidade da forragem, tanto em proteína bruta, quanto em fibra em detergente neutro, em função do aumento da dose de EET aplicada (Tabelas 42 e 43).

O tratamento referência (E3), apresentou teor ideal de PB, porém inferior à média para cada estação, exceto no outono-inverno para análise foliar. O alto teor de proteína bruta na forragem produzida no outono-inverno de 2013 pode ser atribuído a maior produção de folhas em relação a colmos, sendo na folha onde se concentra a maior parte dos nutrientes, conforme demonstrado em alguns estudos da literatura.

Resultados semelhantes foram apresentados por Matos et al. (2013) que obtiveram maiores teores protéicos na forragem (Tifton 85) no outono, devido à redução lâmina foliar e conseqüentemente, diminuição de seu metabolismo, restringindo a absorção de água e nutrientes. Silva (2006) aplicou doses crescentes de adubação mineral nitrogenada e Serafim (2010) de água residuária de suinocultura em forrageiras, obtiveram maior produtividade de biomassa seca e PB e menor FDN. Castro et al. (2007) analisaram a composição bromatológica de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu aos 28, 56, 84 e 112 dias de idade, obtiveram maior PB e o segundo menor teor de FDN aos 28 dias, sendo de 11,6, 8,5, 5,0 e 4,8% e 51,7, 46,9, 61,2 e 60,6%, respectivamente.

Tabela 42. Proteína bruta (%) de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013 e 2014.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média
2013				
E5	10,6	16,4	12,3	13,1
E4	11,1	15,0	11,0	12,4
E3	10,3	14,0	11,8	12,0
E2	10,5	13,4	10,7	11,5
E1	10,5	12,6	13,2	12,1
E0	11,1	13,9	13,6	12,9
Média	10,7	14,2	12,1	-
2014				
E5	15,0	17,7	15,5	16,1
E4	14,9	17,8	12,0	14,9
E3	13,0	15,7	10,6	13,1
E2	10,9	14,4	10,2	11,8
E1	12,2	12,7	8,1	11,0
E0	12,8	17,5	11,8	14,0
Média	13,1	16,0	11,3	-

Tabela 43. Fibra em detergente neutro (%) em de biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013 e 2014.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média
2013				
E5	65,8	57,1	62,6	61,8
E4	61,0	56,8	60,5	59,4
E3	66,7	60,4	62,9	63,3
E2	65,2	61,5	67,8	61,5
E1	58,1	61,2	64,9	61,4
E0	66,4	55,5	62,4	61,4
Média	63,9	58,7	63,5	-
2014				
E5	55,1	52,8	58,4	55,4
E4	55,8	52,7	62,0	56,8
E3	57,0	56,0	62,4	58,4
E2	60,6	57,6	67,3	61,8
E1	61,1	59,5	61,4	60,7
E0	55,1	56,4	63,5	58,3
Média	57,4	55,8	62,5	-

Houve melhor qualidade foliar em PB e FDN quando analisado separadamente a folha do colmo, em 2013 (Tabela 44 e 45). Assim como na planta inteira, há relação entre o tratamento E4 e E0. O tratamento referência (E3), apresentou teor ideal de PB, porém inferior à média para cada estação, exceto no outono-inverno para análise foliar.

Tabela 44. Proteína bruta (%) na folha e no colmo, separadamente, da biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013.

Tratamento	Verão	Outono- Inverno	Primavera	Média
Folha				
E5	16,6	18,0	15,5	16,7
E4	15,2	16,7	13,5	15,1
E3	13,2	15,4	13,7	14,1
E2	13,4	14,7	11,8	13,3
E1	14,5	12,6	12,9	13,3
E0	15,5	14,7	15,2	15,1
Média	14,7	15,3	13,8	-
Colmo				
E5	9,8	10,9	9,5	10,1
E4	9,2	9,5	8,1	8,9
E3	8,9	8,9	8,4	8,7
E2	10,1	9,8	8,5	9,4
E1	9,1	7,9	8,1	8,4
E0	8,7	10,5	9,2	9,5
Média	9,3	9,6	8,6	-

Maiores valores de FDN foram obtidos nas estações de maior desenvolvimento da forrageira (Tabela 45). Devido as melhores condições climáticas associadas à hídrica e nutricional, a planta aumenta seu potencial de competição, desenvolvendo mais o colmo na obtenção de luminosidade, propiciando a elevação no teor em fibra. A melhoria na qualidade nutricional das forrageiras ao longo do ano pode ser atribuída à aplicação constante de EET no solo. O aumento da concentração de PB e redução da FDN em função do aumento das doses de água residuária, indica que a forrageira extraiu a quantidade de nitrogênio necessária ao seu crescimento (SERAFIM; GALBIATTI, 2012).

Tabela 45. Fibra em detergente neutro (%) na folha e no colmo, separadamente, da biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos com EET e adubação mineral, em 2013.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média
Folha				
E5	56.3	52.5	60.1	56,3
E4	58.6	52.6	61.1	57,4
E3	61.1	55.2	61.5	59,3
E2	61.8	56.3	64.5	60,9
E1	60.5	57.8	62.8	60,4
E0	58.8	55.2	60.2	58,1
Média	59,5	54,9	61,7	-
Colmo				
E5	68.0	62.7	72.0	67,6
E4	68.6	68.9	69.4	69,0
E3	69.9	68.7	71.9	70,2
E2	67.4	68.6	72.9	69,7
E1	68.2	67.3	70.0	68,5
E0	69.5	65.1	71.2	68,6
Média	68,6	66,9	71,2	-

Resultados semelhantes foram apresentados por EMBRAPA (1984), avaliando o teor de proteína bruta da planta inteira e separadamente de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, nas estações seca e chuvosa, na região de Campo Grande, MS. Nesse estudo menor e maior lotações-animal (1,4 e 1,8 UA ha⁻¹) resultaram em concentração de proteína nas folhas de 10,86% e 10,21% e com maior unidade animal de 11,80% a 11,16%, respectivamente. Nos talos os teores de proteína foram de 4,97% a 5,26%, para a estação seca e 4,76% a 5,68%, para a estação chuvosa. Matos et al. (2013) obtiveram maiores teores protéicos na forragem (Tifton 85) no outono, devido a redução

lâmina foliar e consequentemente, diminuição de seu metabolismo, restringindo a absorção de água e nutrientes.

A melhoria na qualidade nutricional das forrageiras ao longo do ano está relacionada com a aplicação constante de EET no solo. O aumento da concentração de PB e redução da FDN em função do aumento das doses de água residuária, indica que a forrageira extraiu a quantidade de nitrogênio necessária ao seu crescimento (SERAFIG; GALBIATTI, 2012). A disponibilidade de nitrogênio às forrageiras favorece a melhor qualidade nutricional da forrageira em consequência do aumento de compostos mais digestíveis (PB) e redução dos menos digestíveis (FDN). Os dados vão ao encontro com o proposto por Serafim e Galbiatti (2012) que descrevem que quanto maior a quantidade de folhas, menores serão os teores de FDN.

A qualidade da forragem em função da composição química do tecido vegetal é apresentada nas Tabelas 47 a 50. As análises de tecidos apresentaram aumento nos teores de nitrogênio, potássio, sódio e enxofre na forragem em resposta às aplicações de doses crescentes de EET e ao tempo de aplicação (Tabelas 46 e 47). Para as mesmas condições, foram observadas reduções nos teores foliares de fósforo e magnésio e estabilidade do cálcio, exceto no outono-inverno. Esses teores de nutrientes são iguais ou superiores aos estabelecidos por Boaretto et al. (2009), exceto para o sódio, o qual não foi referenciado.

Tabela 46. Teores médios de macronutrientes na biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos, em 2013.

Elementos	Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média	Parâmetros
(g kg ⁻¹)						
Nitrogênio (N)	E5	17,5	24,1	22,5	22,1±3,2	13-20
	E4	17,5	23,1	16,0	19,9±3,9	
	E3	14,0	19,7	16,9	17,6±2,7	
	E2	14,0	20,8	15,1	17,7±3,9	
	E1	14,0	17,3	15,5	16,0±1,6	
	E0	16,5	20,3	19,0	19,0±1,9	
Fósforo (P)	E5	5,5	4,7	5,4	5,1±0,5	0,8-3
	E4	5,6	5,0	5,1	5,2±0,3	
	E3	4,6	4,9	4,4	4,7±0,4	
	E2	4,9	5,1	3,9	4,8±0,6	
	E1	5,1	4,8	3,8	4,6±0,6	
	E0	4,0	4,0	4,7	4,2±0,4	
Potássio (K)	E5	34,0	34,5	40,0	35,8±3,1	12-30
	E4	33,0	33,0	44,5	35,9±5,8	
	E3	30,0	31,5	37,0	32,5±4,8	
	E2	29,5	31,0	37,0	32,1±3,4	
	E1	29,0	27,0	42,5	31,4±7,9	
	E0	35,0	31,5	46,0	36,0±7,4	
Cálcio (Ca)	E5	3,4	5,2	3,7	4,3±1,0	3-6
	E4	3,5	4,9	3,3	4,1±0,9	
	E3	3,2	5,3	3,6	4,3±1,2	
	E2	3,4	4,9	2,5	3,9±1,2	
	E1	3,7	5,5	2,9	4,4±1,5	
	E0	3,5	4,9	3,5	4,2±0,9	
Magnésio (Mg)	E5	3,1	3,9	3,2	3,5±0,5	1,5-4
	E4	3,2	4,1	3,0	3,6±0,7	
	E3	3,1	3,9	3,0	3,5±0,5	
	E2	3,2	4,1	2,3	3,4±0,9	
	E1	3,3	4,1	2,7	3,5±0,7	
	E0	3,1	3,7	3,0	3,3±0,5	
Enxofre (S)	E5	1,9	2,0	2,3	2,0±0,2	0,8-2,5
	E4	1,9	2,0	2,1	2,0±0,1	
	E3	1,6	1,9	1,7	1,8±0,1	
	E2	1,7	2,0	1,5	1,8±0,2	
	E1	1,9	2,1	1,8	2,0±0,2	
	E0	1,7	1,9	1,6	1,7±0,2	
Sódio (Na)	E5	1,5	1,5	2,1	1,7±0,3	-
	E4	1,6	1,5	2,2	1,7±0,3	
	E3	1,4	1,4	1,9	1,5±0,2	
	E2	1,4	1,4	1,9	1,5±0,3	
	E1	1,3	1,3	2,0	1,5±0,4	
	E0	1,6	1,4	2,1	1,6±0,3	

Tabela 47. Teores médios de macronutrientes na biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos, em 2014.

Elementos	Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média	Parâmetros
(g kg ⁻¹)						
Nitrogênio (N)	E5	24,1	28,5	24,5	26,4±2,5	13-20
	E4	20,3	25,6	21,4	23,2±2,8	
	E3	18,2	20,9	18,9	19,7±1,5	
	E2	18,1	18,7	16,5	18,0±1,3	
	E1	17,1	16,0	14,2	15,8±1,2	
	E0	19,0	23,9	19,6	21,6±2,7	
Fósforo (P)	E5	4,4	3,6	3,5	3,8±0,5	0,8-3
	E4	4,6	4,1	3,7	4,1±0,4	
	E3	5,0	4,4	3,1	4,2±0,9	
	E2	4,7	4,8	3,2	4,4±0,8	
	E1	3,8	4,3	3,1	3,9±0,6	
	E0	3,8	4,1	3,2	3,8±0,5	
Potássio (K)	E5	38,5	37,5	41,5	38,8±6,0	12-30
	E4	32,0	36,8	40,5	36,5±5,2	
	E3	32,5	33,5	37,0	34,1±2,0	
	E2	32,5	28,3	34,5	30,9±3,6	
	E1	26,0	25,3	26,0	25,6±0,5	
	E0	30,5	34,8	39,0	34,8±6,2	
Cálcio (Ca)	E5	4,4	4,8	3,3	4,3±0,7	3-6
	E4	4,2	4,8	3,4	4,3±0,7	
	E3	4,0	4,5	4,2	4,3±0,6	
	E2	4,2	4,4	3,7	4,2±0,5	
	E1	4,0	5,5	4,1	4,8±0,9	
	E0	4,6	4,6	3,5	4,3±0,6	
Magnésio (Mg)	E5	3,1	3,9	2,4	3,3±1,3	1,5-4
	E4	2,8	3,3	2,8	3,1±0,6	
	E3	3,0	3,2	2,9	3,1±0,7	
	E2	3,0	3,4	2,8	3,1±0,4	
	E1	2,7	3,1	2,7	2,9±0,4	
	E0	2,7	3,6	2,6	3,1±0,8	
Enxofre (S)	E5	2,1	2,2	2,3	2,2±0,2	0,8-2,5
	E4	1,9	2,2	1,7	2,0±0,2	
	E3	2,2	2,0	1,9	2,0±0,2	
	E2	1,8	1,9	1,7	1,8±0,1	
	E1	1,8	1,9	1,5	1,7±0,3	
	E0	1,6	1,8	1,6	1,7±0,1	
Sódio (Na)	E5	2,0	1,9	2,3	2,0±0,2	-
	E4	1,7	1,7	1,6	1,7±0,1	
	E3	1,6	1,6	2,0	1,7±0,2	
	E2	1,6	1,4	1,7	1,5±0,1	
	E1	1,4	1,3	1,4	1,3±0,0	
	E0	1,5	1,7	2,0	1,7±0,2	

Teores de N maiores que 20 g kg^{-1} ocorreram com maior frequência nos tratamentos com maiores aplicações de efluente, tais como E4 e E5 em 2013 e 2014. Mesmo nos tratamentos com aplicação de doses relativamente baixas de nitrogênio, como nos tratamentos E2 e E1 ($<150 \text{ kg ha}^{-1}$ por estação), os teores de N foram adequados, segundo Boaretto et al. (2009), variando de 3 a 20 g kg^{-1} , nos dois anos do experimento.

O excesso de N na forragem ($>20 \text{ g kg}^{-1}$), conforme observado nos tratamentos com maior concentração de efluente, é benéfico do ponto de vista da maior produtividade de biomassa seca e perfilhamento, porém, reduz a capacidade de resistência das plantas a períodos secos por proporcionar sistema radicular pouco desenvolvido (BOARETTO et al., 2009). Baixas concentrações de N no tecido vegetal indicam restrição de perfilhamento, capacidade fotossintética e limitação no crescimento, o que resultam em menor produtividade de biomassa (BOARETTO et al., 2009). O decréscimo no teor de nitrogênio foliar na primavera e verão é ocasionado pela maior velocidade de expansão foliar no período, proporcionando diluição dos nutrientes foliares (SILVA et al., 2012).

Em todas as estações e tratamentos, a forragem apresentou excesso de fósforo, e em 73,3% (2013) dos tratamentos com excesso de potássio ($>30 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabelas 46 e 47). O excesso desses nutrientes na forragem é um fato raro, devido à deficiência dos mesmos em solos brasileiros.

O aumento na concentração de potássio na primavera (Tabelas 46 e 47) está associado aos fatores climáticos (temperatura e índice pluviométrico moderado) e solubilização do nutriente, o qual vem ocorrendo de forma lenta.

Os teores de cálcio e magnésio foram similares entre os tratamentos e mais elevados nas colheitas do outono-inverno (Tabelas 46 e 47). Os valores apresentados situaram-se dentro da faixa de níveis médios.

A biomassa seca apresentou teores médios de enxofre dentro da faixa de variação considerada como média.

Doses de EET propiciaram em moderado aumento concentração de sódio (elemento de maior concentração no EET) nas forrageiras. Houve aumento da concentração de sódio na primavera em 2013 em relação ao verão e outono-inverno.

Blum et al. (2012) aplicando 150% da necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar não obteve variação no teor de sódio do tecido vegetal. Para Fonseca et al. (2007) o aumento na concentração de sódio em plantas forrageiras é benéfico devido ao aumento da qualidade da forragem associada a maior aceitabilidade pelos animais.

O boro foi o único elemento que apresentou deficiência nas duas primeiras estações e tratamentos avaliados em 2013 (Tabela 48). Responsável pela estrutura da parede celular, os teores decrescentes de boro, principalmente nos tratamentos com menor aplicação de efluente, pode ter prejudicado o crescimento da parte aérea e das raízes e até causado a morte das gemas terminais, estimulando brotações laterais. Na primavera de 2013, houve aumento médio de 378% no teor de boro no tecido vegetal. Em 2014, somente os tratamentos E1 e E2 apresentaram deficiência de boro foliar (Tabela 49).

Os teores de cobre nos tecidos vegetais analisados foram crescentes com o aumento das doses de aplicação de EET em todas as estações avaliadas, exceto na primavera em 2013.

Os teores de ferro no tecido vegetal decresceram com o aumento das doses de EET aplicadas, foram mais elevados nas duas primeiras estações avaliadas em 2013 e menores na primavera no mesmo ano (Tabela 48). No verão e primavera de 2013 foram observados teores considerados ideais ($50\text{-}250\text{ mg kg}^{-1}$) e, no outono-inverno, foram determinados valores até 280% acima do ideal. Além do EET, outra fonte de ferro facilmente disponível as forrageiras são de origens do solo (Latosolo eutroférico) associado a irrigação, que favorece na redução do Fe^{3+} para Fe^{2+} .

O manganês, elemento responsável pelo processo enzimáticos das plantas, seja como constituinte, seja como ativador, apresentou teor ideal para o desenvolvimento da forrageira em todos os tratamentos e concentrações crescentes ao longo das estações.

O zinco, elemento responsável por ativar diversas enzimas, apresentou teores foliares considerados ideais, sem grandes variações nas estações avaliadas em 2013.

Silva (2013) cultivando o capim Tifton 85 com EET acrescido de adubação mineral, água sódica e cultivo de sequeiro, obteve qualidade foliar igual ou superior à condição inicial.

Tabela 48. Teor médio de micronutrientes na biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos, em 2013.

Elementos	Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média	Parâmetros
(mg kg ⁻¹)						
Boro (B)	E5	7,2	5,1	21,4	9,7±7,9	10-25
	E4	7,7	5,3	23,1	10,3±8,7	
	E3	6,3	4,2	17,3	8,0±6,3	
	E2	6,5	5,4	19,7	9,2±7,1	
	E1	6,0	5,4	24,6	10,3±9,5	
	E0	6,8	5,0	20,3	9,3±7,4	
Cobre (Cu)	E5	7,0	11,0	10,0	9,8±2,5	4-12
	E4	8,0	11,0	9,0	9,8±1,7	
	E3	6,0	10,5	8,0	8,8±2,5	
	E2	6,0	10,0	8,0	8,5±2,5	
	E1	6,0	9,50	8,0	8,3±1,7	
	E0	7,0	10,5	10,0	9,5±1,7	
Ferro (Fe)	E5	165	241	207	213±73	50-250
	E4	198	254	215	230±81	
	E3	166	259	241	231±74	
	E2	175	249	204	219±39	
	E1	144	403	197	287±177	
	E0	183	327	250	271±165	
Manganês (Mn)	E5	60,0	69,5	88,0	71,8±11,7	40-250
	E4	62,0	88,0	81,0	79,8±13,9	
	E3	63,0	78,0	91,0	77,5±11,4	
	E2	68,0	88,0	76,0	80,0±10,3	
	E1	70,0	94,0	88,0	86,5±11,6	
	E0	69,0	92,5	90,0	86,0±13,3	
Zinco (Zn)	E5	35,0	33,5	40,0	35,5±3,1	20-50
	E4	35,0	32,5	35,0	33,8±1,9	
	E3	30,5	31,5	29,0	30,6±1,3	
	E2	26,0	31,0	33,0	30,3±3,4	
	E1	27,0	35,5	28,0	31,5±5,9	
	E0	31,0	31,8	37,0	32,9±3,1	

Tabela 49. Teor médio de micronutrientes na biomassa seca da *Brachiaria brizantha* em função dos tratamentos, em 2014.

Elementos	Tratament o	Verão	Outono- Inverno	Primavera	Média	Parâmetros
		(mg kg ⁻¹)				
Boro (B)	E5	21,8	10,0	11,4	13,3±7,0	10-25
	E4	12,1	10,8	13,3	11,8±3,3	
	E3	14,9	10,0	15,2	12,5±3,0	
	E2	17,1	6,5	8,9	9,8±6,2	
	E1	8,7	5,7	8,1	7,0±1,8	
	E0	12,5	10,8	15,0	12,2±2,3	
Cobre (Cu)	E5	9,0	9,1	7,0	8,5±1,1	4-12
	E4	8,0	8,7	6,5	8,0±0,5	
	E3	7,0	6,7	6,9	6,8±0,7	
	E2	7,0	5,9	6,2	6,3±1,1	
	E1	6,0	5,9	5,8	5,9±0,9	
	E0	6,0	8,0	7,2	7,3±1,5	
Ferro (Fe)	E5	196	341	194	268±167	50-250
	E4	190	298	217	251±109	
	E3	180	383	262	302±224	
	E2	219	343	139	261±179	
	E1	302	403	135	311±179	
	E0	200	369	150	272±123	
Manganês (Mn)	E5	55,0	65,0	61,0	61,5±21,8	40-250
	E4	65,0	64,5	83,0	69,3±7,5	
	E3	62,5	67,0	81,0	69,4±16,2	
	E2	69,0	72,0	93,0	76,5±6,2	
	E1	73,0	71,5	80,0	74,0±7,5	
	E0	64,0	73,5	77,0	72,0±10,1	
Zinco (Zn)	E5	48,0	29,3	30,0	34,1±10,8	20-50
	E4	40,0	32,6	31,0	34,0±6,9	
	E3	32,0	29,8	29,0	30,2±2,2	
	E2	31,0	30,0	25,0	29,0±4,0	
	E1	30,0	27,9	22,0	27,0±1,2	
	E0	32,0	28,0	33,0	30,3±2,4	

4.11.4. Exportação de nutrientes

Maiores doses de EET resultaram em maiores taxas de exportação de nitrogênio do solo pela *Brachiaria*, ou seja, cresceu do tratamento E1 ao E5 (Tabela 50 e Figura 45). Maior exportação de nutrientes por unidade de biomassa seca ocorreu no outono-inverno. Este fato foi devido à redução no desenvolvimento da cultura e,

consequentemente, menor competição pelo nutriente no solo. Estes resultados corroboram com Primavesi et al. (2006), que avaliaram extração de nutrientes por *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses de N (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ corte⁻¹) em experimento conduzido em Latossolo Vermelho Distrófico típico, no período chuvoso, e obtiveram médias de 22,9 kg de N t⁻¹ BS. Também Coelho e Martins (2004) obtiveram extração de 15,3 kg de N t⁻¹ BS para o capim-braquiara e 19,7 kg de N t⁻¹ BS para o capim-mombaça.

Tabela 50. Taxa de exportação média de nitrogênio pela *Brachiaria brizantha* (kg t⁻¹ de biomassa seca) no verão, outono-inverno e primavera.

Estação	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	20,8	18,9	16,1	16,0	15,5	17,5±3,1
Outono-Inverno	26,3	24,4	20,3	19,7	16,7	21,5±3,7
Primavera	23,5	18,7	17,9	15,8	14,9	18,2±3,5
Média	23,5	20,7	18,1	17,2	15,7	-

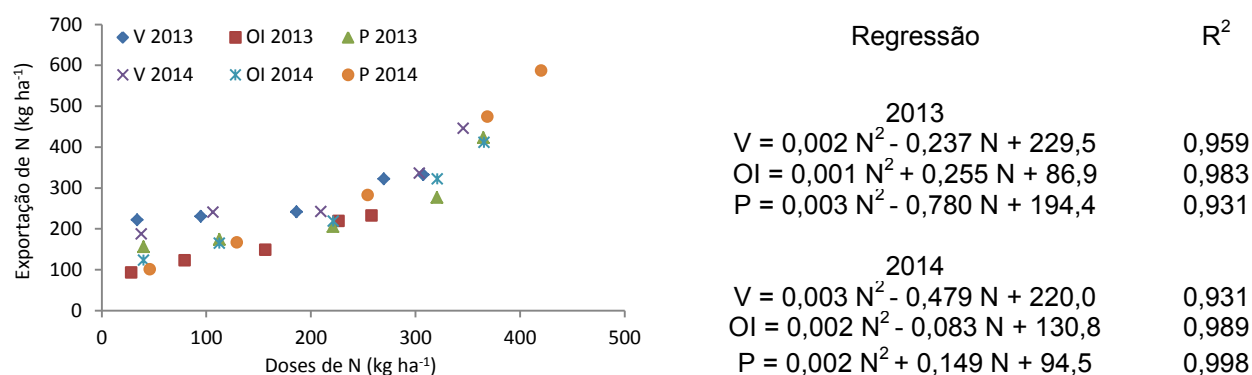


Figura 45. Regressão entre suprimento de nitrogênio via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

Em outro estudo, Monteiro et al. (1995) avaliaram *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes observaram que quando cultivado com a omissão de N, a cultura alocou maior parte da produção de biomassa para o sistema radicular. A análise de regressão entre suprimento de

nitrogênio aplicado via EET e a quantidade do nutriente exportado do solo pela planta mostrou que a maior exportação de nitrogênio pela cultura (587 kg ha^{-1}) ocorreu no tratamento E5, em 2014, sendo 39,7% superior à quantidade aplicada (420 kg ha^{-1}) (Figura 45).

Esse balanço negativo (exportação > suprimento) ocorreu nos dois anos do experimento nos tratamentos com doses aplicadas maiores que 300 kg ha^{-1} , correspondentes aos tratamentos E4 e E5, e se deve ao aumento da produção de biomassa seca ocorrido nesses tratamentos, em que a forrageira exigiu maiores quantidade de nitrogênio para desenvolver seus componentes estruturais em proteínas, enzimas e aumentar a produtividade. Por outro lado, os tratamentos E1 e E2, E3 e E0, com aplicações menores que 300 kg ha^{-1} apresentaram balanço positivo (exportação < suprimento).

O excedente de exportação de nitrogênio do solo pela cultura pode ter sido proveniente da mineralização da matéria orgânica na superfície do solo, convertendo em amônio e, posteriormente, pela nitrificação em nitrito e finalmente o nitrato (COLEHO; MARTINS, 2004). Outra possibilidade seria a fixação biológica de nitrogênio por bactérias fixadoras de nitrogênio no solo. Costa et al. (2009), avaliando duas fontes de nitrogênio (sulfato de amônia e uréia) e quatro doses ($0, 100, 200$ e $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) em *Brachiaria brizantha*, também obtiveram incremento da exportação de nitrogênio devido ao aumento da produção de biomassa seca, com saldo positivo de nitrogênio no solo quando aplicado doses inferiores a 200 kg ha^{-1} de N.

Na média dos dois anos de experimentação, houve aumento da exportação de fósforo do solo, à medida que se aumentou a taxa de aplicação de EET, com maior exportação no verão, seguido do outono-inverno e depois da primavera (Tabela 51). Primavesi et al. (2006), avaliando a mesma cultura em Latossolo Vermelho, obteve extração de fósforo de apenas $2,9 \text{ kg de P por t}^{-1}$ de BS, muito inferior aos resultados obtidos no presente estudo.

Na análise por ano de cultivo, as maiores taxas de extração de fósforo pela cultura ocorreram no verão de 2013, estação com maior concentração de fósforo e alta produtividade de biomassa seca, sendo o saldo negativo para todos os tratamentos, ou

seja, a quantidade extraída pela cultura foi maior que o suprimento aplicado via EET (Figura 46).

Tabela 51. Exportação média de fósforo pela *Brachiaria brizantha* (kg t⁻¹ de BS) em função da estação do ano.

Estação	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	4,9	5,1	4,8	4,8	4,5	4,8±0,5
Outono-Inverno	4,2	4,5	4,7	4,9	4,6	4,6±0,5
Primavera	4,5	4,4	3,8	3,6	3,5	3,9±0,8
Média	4,5	4,7	4,4	4,4	4,2	-

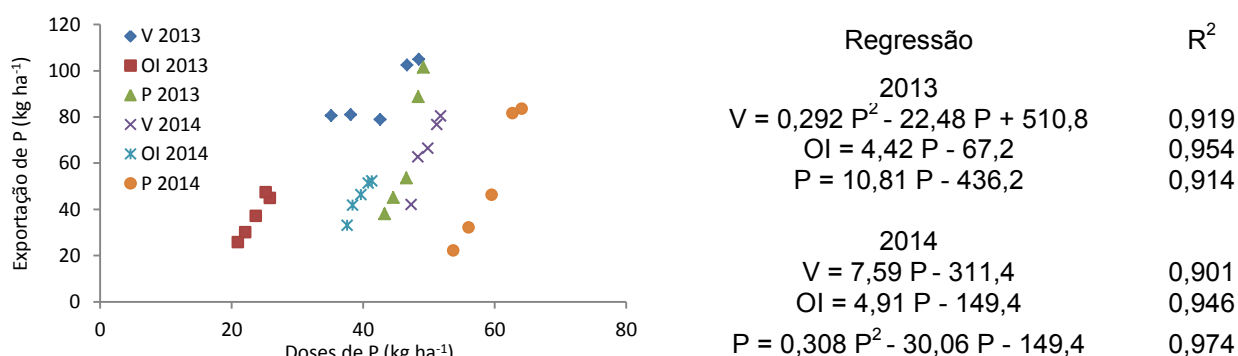


Figura 46. Regressão entre suprimento de fósforo via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

As menores taxas de exportação de fósforo nos tratamentos E5 e E4 ocorreram no outono-inverno dos dois anos de experimentação, devido ao menor rendimento de forragem, ocorrendo exportação superior à quantidade aplicada, exceto para o tratamento E1 em 2014.

Na primavera de 2013, os tratamentos com maior aplicação de EET apresentaram comportamento semelhante ao do verão do mesmo ano, ou seja, altas extrações de fósforo com saldo negativo do nutriente no solo. Ainda na primavera, os tratamentos E3, E2 e E1 apresentaram baixa produtividade, resultando em menor

exportação de nutrientes. Em 2014 a exportação de fósforo foi mais baixa, mesmo com a maior aplicação devido à maior produtividade.

O excedente de exportação de fósforo do solo pela cultura foi proveniente do nutriente do solo, que decresceu ao longo do período experimental (Tabela 11 e 12). Blum et al. (2012), quantificando o aporte e remoção de nutrientes em sistemas de cultivo de cana-de-açúcar irrigado com EET em até 150% da necessidade hídrica da cultura, concluíram que, mesmo com o excesso de fósforo aplicado, não houve acúmulo de nutrientes devido à alta quantidade exportada pela cultura, reduzindo assim os riscos ambientais por lixiviação de nutrientes para o lençol freático.

Houve efeito crescente na concentração de potássio foliar em função do aumento da aplicação de EET (Tabela 52 e Figura 47).

Tabela 52. Exportação média de potássio pela *Brachiaria brizantha* (kg t⁻¹ de BS) em função da estação do ano.

Estação	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	36,3	32,5	31,3	31,0	27,5	31,7±3,4
Outono-Inverno	36,0	34,9	32,5	29,6	26,1	31,8±5,3
Primavera	40,8	42,5	37,0	35,8	34,3	38,1±5,2
Média	37,7	36,6	33,6	32,1	29,3	-

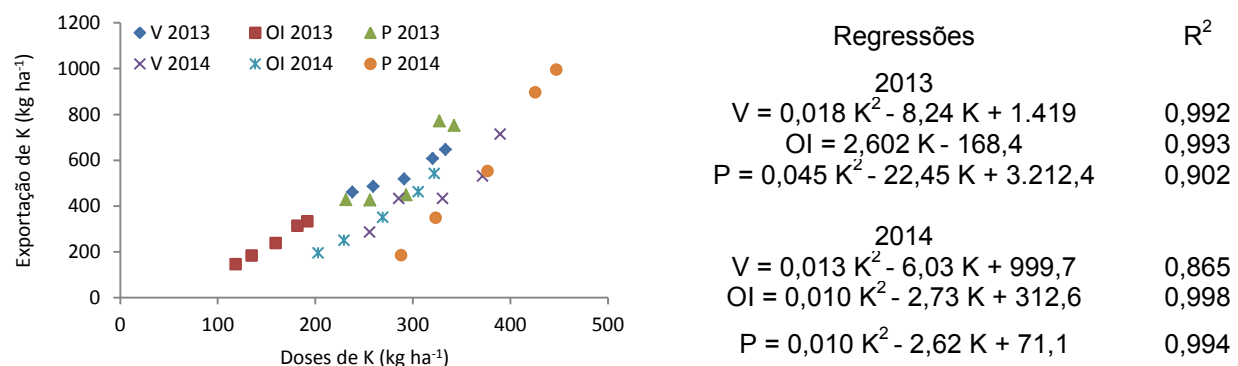


Figura 47. Regressão entre suprimento de potássio via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

A maior produtividade nos tratamentos com mais aplicação de EET demandou maior absorção de nutrientes. A maior exportação de potássio pela *Brachiaria* ocorreu na primavera no segundo ano, sendo 122% superior ao aplicado. No segundo ano, a maior produtividade de biomassa seca aumentou a necessidade nutricional resultando em maior extração de nutrientes. O potássio foi o elemento de maior extração do solo pela cultura, correspondendo a 1.694 e 2.205 kg ha no tratamento E5 em 2013 e 2014, respectivamente, sendo superior ao nitrogênio em 53,1%. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2010).

Em plantas C4, o sódio pode substituir parcialmente o potássio (INOCÊNCIO et al., 2014) o que justifica a alta absorção e extração de potássio pela *Brachiaria*. Resultados semelhantes foram obtidos por Primavesi et al. (2006), que também classificou o potássio como o macronutriente mais extraído pela cultura, na taxa de 34,8 kg por t de BS. Entre os macronutrientes avaliados por Coelho e Martins (2004) o potássio também foi o nutriente mais extraído pelo capim-braquiarião sendo de 23,2 kg de K t⁻¹ BS.

Não houve diferenças nas concentrações de cálcio no tecido da *Brachiaria* entre os tratamentos, indicado que a aplicação de EET não afetou a absorção desse nutriente (Tabela 53). Dentre as estações do ano, houve maior concentração de cálcio no outono-inverno. Este fato ocorreu devido ao menor crescimento da cultura nesse período e, portanto, menor competição por nutrientes. O saldo entre suprimento e exportação de cálcio foi positivo somente para os tratamentos com menor aplicação de EET (E2 e E1) (Figura 48). A maior exportação de cálcio pela *Brachiaria* ocorreu no verão no segundo ano, correspondente a 42% do total aplicado. A maior deficiência por cálcio ocorreu no tratamento E1 no verão em 2013. Primavesi et al. (2006) encontrou valores semelhantes de extração de cálcio (3,9 kg t⁻¹ de BS).

A exportação de magnésio pela cultura apresentou comportamento semelhante ao do cálcio, seguindo a ordem decrescente de exportação: outono-inverno, verão e primavera (Tabela 54 e Figura 49). Não houve diferença entre os tratamentos, o que representa que a cultura atingiu seu potencial de exportação de nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Primavesi et al. (2006) com extração de 3,6 kg t⁻¹ de BS.

Tabela 53. Exportação média de cálcio pela *Brachiaria brizantha* (kg t⁻¹ de BS) em função da estação do ano.

Estação	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	3,9	3,8	3,6	3,8	3,8	3,8±0,4
Outono-Inverno	5,0	4,8	4,9	4,6	5,5	5,0±0,6
Primavera	3,5	3,3	3,9	3,1	3,5	3,4±0,5
Média	4,1	4,0	4,1	3,8	4,3	-

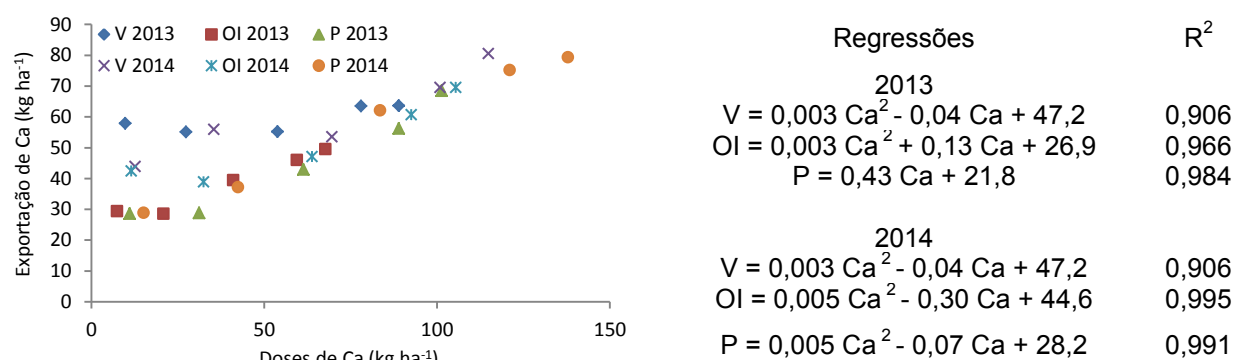


Figura 48. Regressão entre suprimento de cálcio via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

Tabela 54. Exportação média de magnésio pela *Brachiaria brizantha* (kg t⁻¹ de BS) em função da estação do ano.

Estação	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	3,1	3,0	3,0	3,1	3,0	3,0±0,2
Outono-Inverno	3,9	3,7	3,6	3,7	3,6	3,7±0,7
Primavera	2,8	2,9	2,9	2,6	2,7	2,8±0,3
Média	3,3	3,2	3,2	3,1	3,1	-

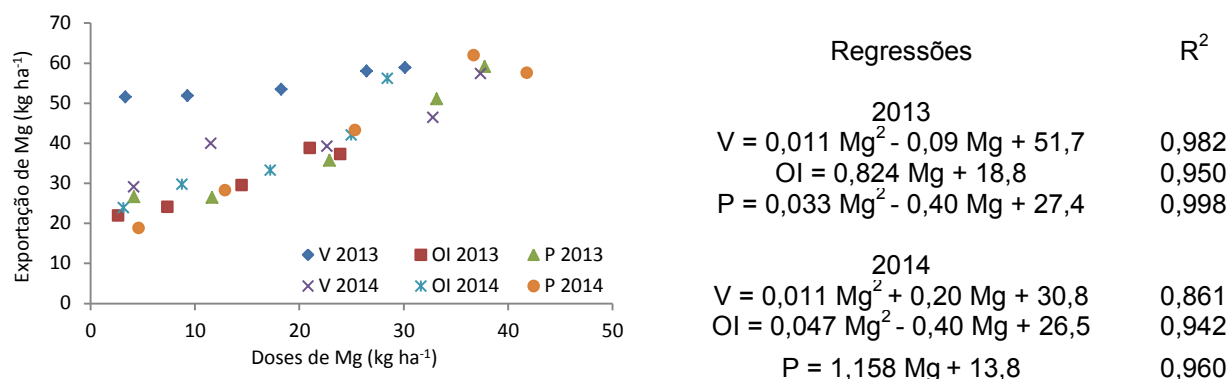


Figura 49. Regressão entre suprimento de magnésio via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

O sódio foi o elemento de maior aplicação na cultura e o de menor concentração no tecido vegetal ($1,7 \pm 0,2 \text{ g kg}^{-1}$), sendo constante ao longo do período experimental. Sua concentração no tecido vegetal não sofreu efeito das doses de EET aplicadas (Tabela 55), indicando não haver absorção diferenciada do nutriente entre os tratamentos.

Tabela 55. Exportação média de sódio pela *Brachiaria brizantha* (kg t^{-1} de BS) no verão, outono-inverno e primavera.

Estação Na	Tratamentos					Média
	E5	E4	E3	E2	E1	
Verão	1,7	1,6	1,5	1,5	1,3	$1,5 \pm 0,2$
Outono-Inverno	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	$1,5 \pm 0,2$
Primavera	2,2	1,9	1,9	1,8	1,7	$1,9 \pm 0,3$
Média	1,9	1,7	1,6	1,6	1,4	-

Resultados discrepantes foram apresentados por Coelho e Martins (2004), que encontraram exportação de sódio $52,5 \text{ kg t}^{-1}$ BS pelo capim-braquiarião. Silva et al. (2012a), capim mombaça submetido a doses de EET estabelecidas com base nas cargas de sódio ($0, 75, 150, 225$ e 300 kg ha^{-1} de Na), obtiveram aumento de produtividade e teor de sódio foliar de até 21 g kg^{-1} . Na análise individual dos anos de

cultivo, a maior exportação de sódio pela *Brachiaria* ocorreu na primavera de 2014 (Figura 50). Devido à mobilidade do sódio e a alta precipitação e irrigação aplicada (cerca de 3.000 mm ano⁻¹), a propiciaram para a lixiviação do sódio. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2013).

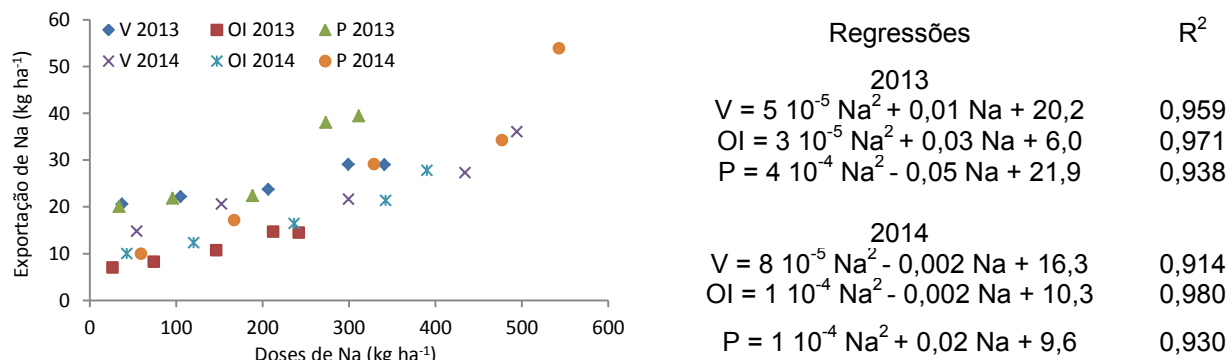


Figura 50. Regressão entre suprimento de sódio via EET e exportação do nutriente por *Brachiaria brizantha* no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e 2014.

4.11.5. Lotação animal

Em todo o período experimental as doses crescentes de EET proporcionaram maior taxa de lotação animal (Tabela 56). A heterogeneidade na produtividade de biomassa seca e eficiência de fertilizantes ao longo do ano dificultam o manejo animal, porém, o conhecimento do potencial produtivo, favorece a gestão agropecuária. Na prática, o pisoteio animal pode influenciar negativamente nos resultados.

Assim, o uso de EET concentrado pode proporcionar aumento da capacidade animal em 16,7%, 83,3% e 84,2% no verão, outono-inverno e primavera, em 2013, respectivamente, e de 41,2%, 88,9% e 475% no verão, outono-inverno e primavera, em 2014, respectivamente, em relação à dose mínima (tratamento E1 <50 kg ha⁻¹ de N) em 2013.

Tabela 56. Taxa de lotação animal média por ciclo da área com cultivo da *Brachiaria brizantha* fertirrigada com doses de EET por estação do ano, em 2013 e 2014.

Tratamento	Verão	Outono-Inverno	Primavera	Média
	Unidade animal (estação ha ⁻¹) em 2013			
E5	3,5	1,1	3,5	2,7±1,4
E4	3,4	1,1	3,2	2,6±1,3
E3	3,2	0,9	2,3	2,1±1,2
E2	3,1	0,7	2,1	2,0±1,2
E1	3,0	0,6	1,9	1,8±1,2
E0	3,6	1,1	2,8	2,5±1,3
Unidade animal (estação ha ⁻¹) em 2014				
E5	3,4	1,7	4,5	3,2±1,4
E4	3,1	1,5	4,1	2,9±1,3
E3	2,5	1,2	2,8	2,2±0,8
E2	2,5	1,0	1,9	1,8±0,7
E1	2,0	0,9	1,3	1,4±0,6
E0	3,5	1,4	3,7	2,9±1,3

Em relação ao tratamento referência (E3) os incrementos foram de 9,3, 22,2 e 52,2%, respectivamente, no verão, outono-inverno e primavera, em 2013 e de 0,0%, 75% e 44,4% no verão, outono-inverno e primavera, em 2014, respectivamente, correspondendo positivamente ao aumento da receita econômica dos empreendimentos rurais.

A alta produtividade no verão e primavera possibilita ao gestor a decisão de armazenar forragem para a produção de feno para ser utilizado em períodos críticos ao desenvolvimento das forrageiras.

4.12. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Houve aumento nas leituras do NDVI em função dos tratamentos com maiores doses de nitrogênio aplicadas via EET (Figura 51), com correlação muito forte ($R > 0,99$). A maior reflectância ocorreu no outono-inverno. Este fato ocorreu em virtude da estiagem naquele período, o que favoreceu a absorção de nitrogênio pela forrageira.

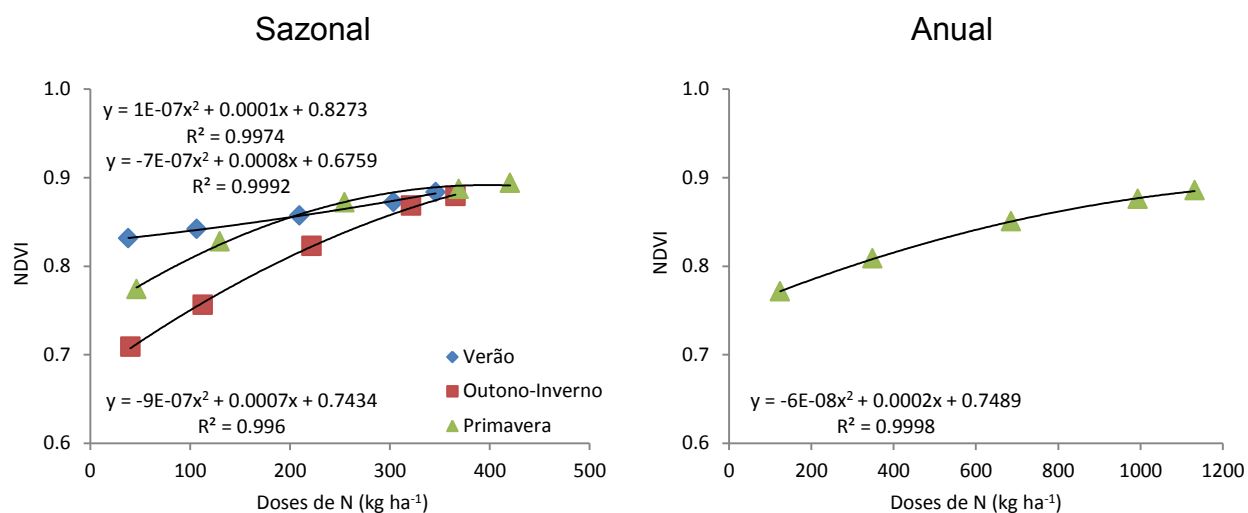


Figura 51. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em função das doses de nitrogênio via EET aplicadas por períodos sazonal e anual.

No outono-inverno e na primavera, doses de nitrogênio inferiores a 200 kg ha^{-1} por estação do ano causaram menor desenvolvimento da forrageira, ocorrendo muitas falhas no estande, o que afetou a área do solo exposto ou de biomassa seca, resultando em menores valores de NDVI. No verão, os fatores climáticos favoreceram o rápido desenvolvimento da cultura, sendo possível determinar a variabilidade da reflectância do dossel com mais acurácia. Resultados semelhantes foram obtidos por Povh et al. (2008) com um sensor ótico ativo com doses de N, concentração de nitrogênio nas folhas, produção de matéria seca e produtividade de grãos nas culturas de trigo, triticale, cevada e milho. Deghaid (2013) avaliando a correlação entre o NDVI e a produtividade do amendoim na produção de massa verde e seca do amendoim obtiveram regressão linear positiva e coeficientes de correlação de 0,31 e 0,27,

respectivamente. Os baixos valores de NDVI foram atribuídos à exposição de solo nu entre fileiras de plantas.

Houve alta correlação entre NDVI e biomassa seca de *Brachiaria* produzida ($R > 0,97$), demonstrando que o método pode ser utilizado para estimativa de forragem (Figura 52).

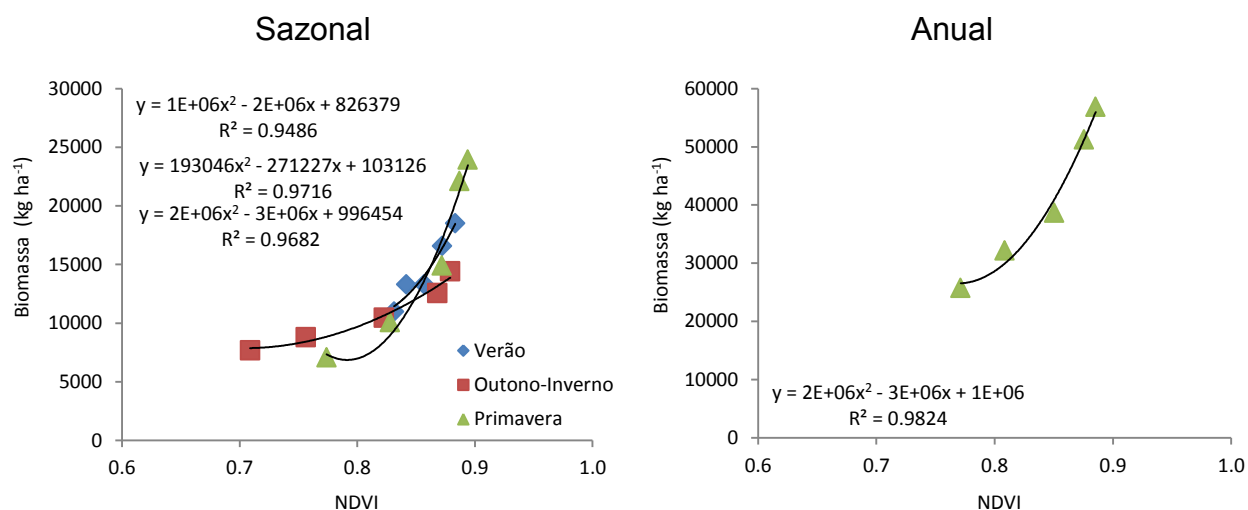


Figura 52. Biomassa seca em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.

Menores correlações (0,61 a 0,87) foram obtidas por Grohs et al. (2009) em avaliações de NDVI x biomassa de trigo e cevada sobre resteva de milho e soja. Povh et al. (2007) avaliando a correlação entre o NDVI com as doses de nitrogênio na cultura do trigo, mostraram que o NDVI e a produção de biomassa seca no final do emborrachamento foram satisfatórios, com coeficiente de correlação variando de 83% e 99%.

As aplicações continuadas e crescentes de EET propiciaram melhor qualidade foliar em nitrogênio, correlacionando com os maiores índices de NDVI (Figura 53). Houve correlação muito forte ($R > 0,97$) com o NDVI e o nitrogênio foliar em todas as épocas avaliadas.

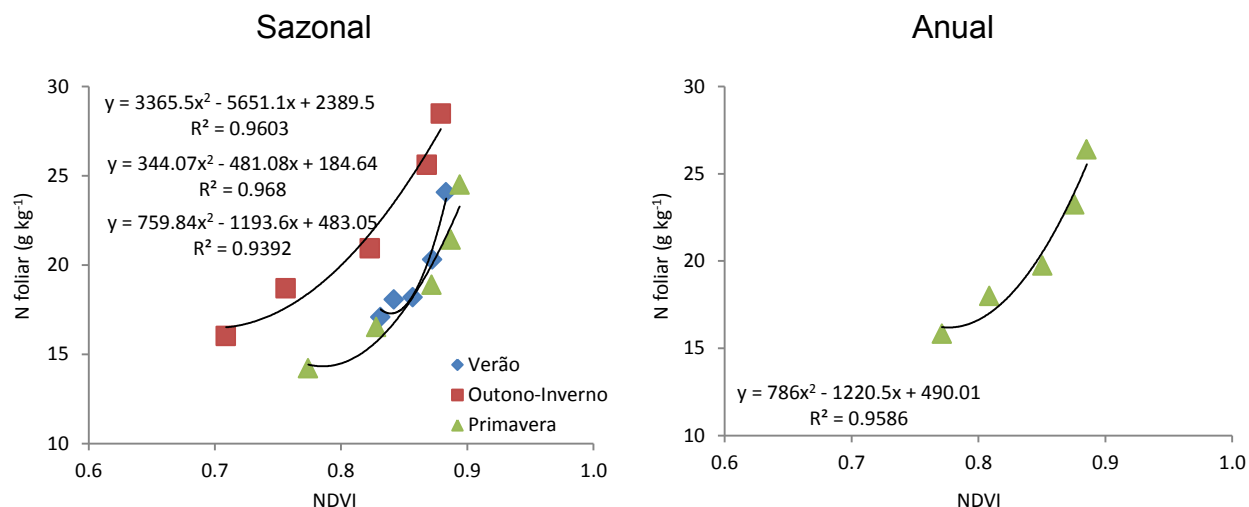


Figura 53. Nitrogênio foliar em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.

O decréscimo no teor de nitrogênio foliar na primavera e verão e, consequentemente, dos índices de NDVI foi ocasionado pela maior velocidade de expansão foliar no período, proporcionando diluição dos nutrientes foliares (SILVA et al., 2012). Motomiya et al. (2009) obtiveram aumento dos índices de NDVI com o aumento das doses de nitrogênio aplicadas, mostrando-se ser o método uma eficiente ferramenta para detecção de deficiência de nitrogênio foliar.

O aumento da qualidade nutricional da forragem em decorrência da maior disponibilidade de nitrogênio nos tratamentos com maiores doses de EET aplicadas resultou em maiores teores de proteína bruta e menores de fibra em detergente neutro. Como a maior disponibilidade de nitrogênio devido à aplicação de EET, houve aumento da qualidade nutricional da forrageira em consequência do aumento de compostos mais digestíveis, havendo efeito gradual no teor de proteína bruta e NDVI com a aplicação de nitrogênio via EET. Houve forte correlação ($R > 0,88$) entre o NDVI e o teor de proteína bruta da forragem (Figura 54).

O uso do NDVI demonstrou ser uma eficiente ferramenta de gestão agrícola na estimativa de qualidade foliar, representado pela alta correlação entre as variáveis, com precisão nas informações, além de aperfeiçoar os trabalhos de campo e auxiliar os produtores na estimativa da qualidade da safra.

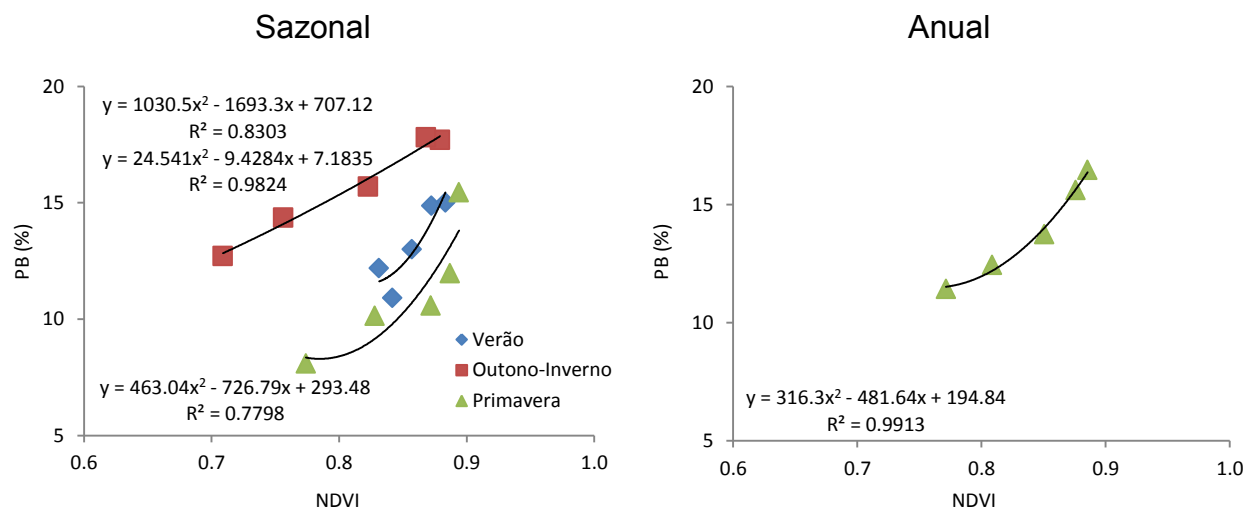


Figura 54. Proteína bruta em função do índice de vegetação por diferença normalizada sazonal e anual.

4.13. Potencial de área fertirrigada

A Tabela 57 apresenta as doses de nitrogênio e suas respectivas áreas com potencial de irrigação com EET a partir da vazão de $5,3 \cdot 10^9 \text{ L ano}^{-1}$ e a concentração de nitrogênio total de 41 mg L^{-1} .

Tabela 57. Doses de nitrogênio e potencial de área irrigada com EET na região de Jaboticabal-SP.

Doses de nitrogênio ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Potencial de área fertirrigada (ha)
100	2.165,5
200	1.082,8
300	721,8
400	541,4
500	433,1
600	360,9

Os resultados da Tabela 57 mostram que o potencial de área fertirrigada em função da adubação nitrogenada decresce inversamente à dose aplicada. A decisão de

aplicar uma dose mais baixa ou mais alta de nitrogênio deve considerar a disponibilidade de área e a necessidade nutricional da cultura.

Aplicando-se a dose considerada ideal de $350 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (COSTA et al., 2006) a região de Jaboticabal apresenta potencial de irrigação de 618 hectares, área que poderia favorecer no aumento da renda local através do aumento da produtividade de massa verde e consequentemente aumento do rebanho. Os mesmos autores concluíram que a produção de forragem sem o uso de fertilizantes nitrogenado implica na baixa produtividade, sendo o suficiente para alimentar $<1 \text{ UA ha}^{-1}$, por outro lado o uso da irrigação com EET pode superar $>7 \text{ UA ha}^{-1}$. O aumento da produtividade de forragem simulada no presente estudo concorda também com Carard et al. (2008), que avaliaram três cultivares de *Brachiaria* (Marandu, MG4 e MG5) e doses de nitrogênio (0, 100 e $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) no estado do Paraná e verificaram que quanto maior as doses de nitrogênio maior foram a produção de matéria seca e inflorescência. Também Fagundes et al. (2005), que avaliaram quatro doses de adubação nitrogenada (75, 150, 225 e $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na *Brachiaria decumbens* em Minas Gerais, verificaram produção crescente de matéria seca.

A adubação nitrogenada por si só é apresentada com algumas ressalvas devido à perda por volatilização. As águas residuárias tem como vantagens disponibilizar a planta os elementos minerais na forma de rápida absorção, além de conter macro e microelementos, ao quais são indispensáveis as culturas.

A Tabela 58 apresenta a evapotranspiração média diária da *Brachiaria brizantha* para cada mês do ano e suas respectivas áreas potenciais a serem irrigadas.

O potencial de área irrigada apresentou variação de 242,9% entre o mês de maior (janeiro) e menor (junho) demanda. Nos meses de deficiência hídrica na região (maio a setembro) a estação de tratamento de efluente demonstrou potencial de irrigar no mês mais crítico 510,7 hectares, podendo chegar a 886 hectares. De forma geral a estação de tratamento demonstrou potencial de irrigar 364,7 hectares, atendendo a necessidade hídrica e nutricional da cultura em qualquer época do ano.

A irrigação com águas residuárias pode estar associada em atender a necessidade nutricional e hídrica da cultura. A decisão de uma baixa dose de fertilizante nitrogenado pode não atender a necessidade hídrica da cultura e inversamente.

Tabela 58. Evapotranspiração média mensal da *Brachiaria brizantha* e potencial de área irrigada em Jaboticabal-SP.

Mês	ETc* (mm dia ⁻¹)	Área irrigada potencial (ha)
Janeiro	4,0	364,7
Fevereiro	3,8	378,7
Março	3,5	411,6
Abril	2,8	523,0
Maio	2,0	712,0
Junho	1,6	886,0
Julho	1,7	862,7
Agosto	2,3	640,8
Setembro	2,8	510,7
Outubro	3,5	415,4
Novembro	3,7	387,6
Dezembro	3,9	373,8

*Evapotranspiração da cultura.

A vazão disponível, com o respectivo teor de nitrogênio total, mostrou que é possível buscar variadas combinações, de forma a atender a necessidade nutricional e hídrica da cultura. Considerando a dose de nitrogênio de 100 ou 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ a irrigação ficaria restrita a disponibilidade hídrica, variando de 364,7 a 886,0 hectares, sendo os meses de maior e menor demanda hídrica, o que acarretaria na variação da concentração da água residuária. Assumindo a dose média de 300 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ seria possível suprir a necessidade nutricional e 70,7% da hídrica nos meses de deficiência hídrica na região. Com a dose de 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em que se supriria a necessidade nutricional e 94,3% da necessidade hídrica no mesmo período. A dose de 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ supriria a necessidade nutricional e hídrica da cultura em todos os meses com deficiência hídrica e aos demais meses em 84,2% da necessidade hídrica. A dose considerada alta de 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ supriria uma menor área, porém, seria suficiente para fertirrigar no mínimo 360,9 hectares em qualquer época do ano.

Marques et al. (2003) apresentou estudo realizado pela Universidade de São Paulo no município de Lins, SP, utilizando o efluente para avaliar os efeitos da irrigação por gotejamento na cultura do milho. A unidade experimental contígua à estação de tratamento de esgoto recebia contribuição de cerca de 70.000 habitantes e apresenta vazão de $440 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, condições semelhantes à de Jaboticabal. Considerando a evapotranspiração de 3 a 6 mm dia^{-1} , determinou a área irrigável de 308 a 154 ha, respectivamente. Quando apresentado a produtividade do milho em diferentes tratamentos, sendo, sequeiro mais adubação convencional, irrigação com água mais adubação convencional completa, irrigação com efluente mais adubação convencional (plantio e cobertura) e irrigação com efluente mais adubação convencional (plantio), apresentaram que quando utilizado o último tratamento apresentou resultou em boa produtividade e economia de insumos.

A avaliação realizada por Marques et al. (2003) com três diferentes formas de irrigação sendo água, adubação mineral e efluente com e sem adubação nitrogenada, além da testemunha absoluta para a cultura do milho, demonstrou que quando utilizado o efluente sem adubação nitrogenada houve boa produtividade e economia de 70 kg ha^{-1} de nitrogênio (adubação de cobertura). Quando comparado com a produtividade da cultura que recebeu tratamento com efluente com e sem adubação nitrogenada em relação a testemunha, notou-se um acréscimo de 11,1% e 7,8%, respectivamente, gerando receita líquida adicional de $\text{R\$ } 452,60 \text{ ha}^{-1}$ e $\text{R\$ } 317,36 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

- Houve resposta positiva em produtividade da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em função da aplicação crescente de EET em até 121%.
- Houve estacionalidade marcante no rendimento de forragem, com maiores produtividades no verão (35,9 a 44,7%) e primavera (35,7 a 38,4%), e menores produtividades (19,6 a 25,7%), porém com melhor qualidade de forragem no outono-inverno;
- Apesar das altas doses de nitrogênio aplicadas ($1.132 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}$), não foi atingido o ponto de máximo da função de rendimento de forragem, indicando que aplicações adicionais de nitrogênio ainda incrementariam a produtividade;
- Houve resposta positiva em qualidade foliar em macro e micro nutrientes foliares, sendo crescente em função da disponibilidade de EET.
- Após 24 meses de aplicação de EET não foram observadas alterações na resistência do solo à penetração, pH e matéria orgânica do solo, houve aumento da concentração de cálcio, saturação de bases e capacidade de troca catiônica, e melhor disponibilidade de micronutrientes do solo, principalmente em Cu, Mn e S-SO₄, porém as concentrações de fósforo, potássio e magnésio diminuíram devido à alta extração pela cultura nos tratamentos com produtividades elevadas;
- Concentrações equivalentes de nitrogênio, fósforo e potássio no tratamento com média concentração de efluente (E3), em relação ao tratamento com adubação mineral (E0), apresentaram qualidade do solo igual ou superior, indicando possibilidade de redução dos custos com fertilizante pela aplicação de efluente;
- A aplicação de EET não afetou o pH da solução do solo, manteve constantes as concentrações de cálcio, e magnésio e nitrogênio, porém aumentou a condutividade elétrica e a concentração de sódio;
- A aplicação de EET aumentou os níveis de sódio na solução do solo, principalmente nas camadas superficiais, embora o elemento tenha sido lixiviado para as camadas mais profundas do perfil;

- O índice de reflectância por diferença normatizada pode ser utilizado para estimativa produtividade de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e nitrogênio e proteína bruta foliar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRINO, E.; VAZ, R. G. M. V.; SANTOS, A. C. dos. Características da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu durante o seu estabelecimento submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**. v.26, n.6, p.886-893, 2010.
- ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reuso. **Vértices**, v.13, n.2, p.31-43, 2011.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 edition, Washington, 2005.
- ANAMI, M. H.; SAMPAIO, S. C.; SUSZEK, M.; GOMES, S. D.; QUEIROZ, M. M. F. de. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n1, p.75-80, 2008.
- ANDRADE, A. S.; DRUMOND, L. C. D.; MAICON, F. A.; MOREIRA, D. D.; ARAÚJO, F. C. de; GOD, P. I. V. G. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagem fertirrigada. **Global Science and Tchnology**, v.5, n.2, p.56-68, 2012.
- ANDRADE, M. G. **Elementos-traço As, Ba, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn em latossolos e plantas de milho após treze aplicações anuais de lodo de esgoto**. Doutorado em Agronomia. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 125p. 2011.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O. N. de; DIAS, N. da S.; NASCIMENTO, I. B. do; MEDEIROS, J. F. de; COSME, C. R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro, **Irriga**, v.18, n.4, p.661-674, 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. de. F. E; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.873-880, 2006.
- ARAR, A. **The role of the use of sewage effluent for irrigation development in the Near East Region**. In: Water for the future: water resources developments in perspective. Proceedings International Symposium on Water for the Future, Rome

(Italy), 6-11, Apr, 1987, Wunderlich, W.O. (ed.) Prins, J. E. (ed.)/International Association for Hydraulic Research, Delft (Netherlands), 1987, 18 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Calidad del agua para la agricultura**. Roma: FAO, 1976. 174p. (Estudios FAO: Riegos y Drenajes, 29).

AZEVEDO, L. P. de; OLIVEIRA, E. L. de. Efeitos de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, 2005.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLAM, P. R.; GALLO, J. R. **Método de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.30, p.821-828, 2006.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; CORRAUCCI FILHO, B., MELO, H. N. S.; ANDRADE NETO, C. O., STEFANUTTI, R. **Alimentação animal com produtos irrigados com esgotos sanitários**. In: BASTOS, R. K. X. (Coord.). Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rio de Janeiro: ABES/RiMa Artes e Texto, 2003. p. 226-246 (projeto PROSAB).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.

BLUM, J.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Nutrição mineral da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto tratado, em área com aplicação de fosfogesso. **Pesq. Agropec. Bras.** V.47, n.4, p.563-602, 2012.

BOARETTO, A. E.; RAIJ, B. V.; SILVA, F. C. da; CHITOLINA, J. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do. **Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de plantas para análise química**. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Ed. Fabio Cesar da Silva. 2º ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; SILVA, C. A. B.; DORNELAS, F. L.; ASSUNÇÃO, F. A. L.; RIOS, E. N.; SILVA, A. F. S.; FREITAS, A. S. de; COSTA, G. S.

Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.164-170, 2005.

BONFIM, M. R. **Qualidade e potencial fertilizante de efluente de esgoto**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 62f. 2011.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; VERAS JÚNIOR, M. S.; PORTO, M. F. A.; NUCCI, N. L. R.; JULIANO, N. M. A.; EIGER, S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Orentice Hall, 2002. 305p.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. do C. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na Chapada, em Uberlândia. (MG). **Caminhos de Geografia**. n.3, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N.375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N.357**, de 18 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N.430**, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

BRESSAN, D. F.; PEREIRA, F. F. S.; ORNELHAS, M.; ALVES, M. C. G.; LOZANO, M. R. L. O reúso de água na agricultura: teoria e prática. **Manual de utilização de águas residuárias em irrigação**. Coord.: Eduardo Luiz de Oliveira. Botucatu: FEPAF, 192p. 2012.

BRITO, A. dos S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.17-24, 2009.

BURBARELLI, R. C.; PIRES, M. S. G.; COURACCI FILHO, B.; SIVIERO, A. R.; GUIMARÃES J. R. Avaliação microbiológica do solo em área irrigada com efluente de lagoa de estabilização. Artigo técnico. **Revista DAE especial**. Edição comemorativa. 2010. p. 65-68.

- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- CAOVILLA, F. A. C.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, J. O.; VILAS BOAS, M. A.; GOMES, B. M.; FIGUEIRÊDO, A. de C. Lixiviação de nutrientes provenientes de água residuárias em coluna de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, suplemento, p.283-287, 2005.
- CARARD, M.; NERES, M. A.; TONELLO, C. L. Efeitos de doses crescentes de nitrogênio no desenvolvimento de cultivares de *Brachiaria brizantha*. **Uruguiana**, v.15, n.2, p.135-144. 2008.
- CASTRO, G. H. F.; GRAÇA, D. S.; GONÇALVES, L. C.; MAURÍCIO, R. M.; RODRIGUEZ, N. M.; BORGES, I.; TOMICH, T. R. Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu colhida em diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.59, n.6, p.1538-1544, 2007.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução técnica 31**. Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. 2006.
- COELHO, A. M.; MARTINS, C. E. **Estado da arte da fertirrigação em pastagem no Brasil**. Fertilidade do solo para pastagens produtivas. Simpósio sobre manejo de pastagens. Ed.: Carlos Guilherme Silveira Pedreira, José Carlos de Moura e Vidal Pedroso de Faria. Piracicaba: FEALQ. 480p. 2004.
- COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I, infiltrômetro de anéis *versus* infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.137-141, 2000.
- CONDÉ, M. S.; ALMEIDA NETO, O. B. de; HOMEM, B. G. C.; FERREIRA, I. M.; SILVA, M. D. Impactos da fertirrigação com água residuária da suinocultura em um latossolo vermelho-amarelo. **Vértices**, v.15, n.2, p.161-178, 2013.
- CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação** (Conceitos básicos e práticas). Embrapa Semi-Árido, 2001, 32p.

CORRÊA, L. de A.; POTT, E. B.; CORDEIRO, C. A. **Integração de pastejo e uso de silagem de capim na produção de bovinos de corte**. II Simpósio de Produção de Gado de Corte. p.159-186. s/d.

COSTA, K. A. de P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. de; SEVERIANO, E. da C.; SIMON, G. A.; CARRIJO, M. S. Extração de nutrientes do capim-marandu sob doses e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, n.4, p.801-812, 2009.

COSTA, K. A. de P.; OLIVEIRA, I. P. de; SEVERIANO, E. da C.; SAMPAIO, F. de M. T.; CARRIJO, M. S.; RODRIGUÊS, C. R. Extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio. **Ciências Animal Brasileira**, v.11, n.2, p.307-314, 2010.

COSTA, K. A. de P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I. P. de; CUSTÓDIO, D. P.; SILVA, D. C. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Ambiental Brasileira**, v.6, n.3, p.187-193, 2005.

DALRI, A. B.; CORTEZ, G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. **Irriga**, v.15, n.4, p.344-352, 2010.

DEGHAI, J. **Correlação entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e características agronômicas da cultura do amendoim**. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2013. 54p.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1836-1844, 2012.

DRUMOND, L. C. D.; ZANINI, J. R.; AGUIAR, A. de P. A.; RODRIGUÊS, G. P.; FERNANDES, A. L. T. Produção de matéria seca em pastagem de Tifton 85 irrigada, com diferentes doses de dejetos líquidos de suíno. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.426-433, 2006.

DUTRA, L. A.; CARVALHO, F. C. de. Relação folha:colmo e produção da *Brachiaria hidrida* cv. Mulato. **Anais...** Associação Brasileira de Zootecnista, Águas de Lindóia, SP. 2009.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro - RJ). **Manual e métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.** 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T. de; 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.

FARIA, R. T. de; CARAMORI, P. H.; CHIBANA, E. Y.; BRITO, L. R. de S.; NAKAMURA, A. K.; FERREIRA, A. R. **Clima** - programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. Londrina: IAPAR, 2002. 29p.:il. (IAPAR. Boletim Técnico, 66).

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection.** Berlin: Springer-Verlag, 224p., 1991.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. **Riscos associados ao uso do lodo de esgoto.** In. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, p.21-26, 1999.

FONSECA, A. F. da. **Viabilidade agrônômica e ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem.** Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 174f. 2005.

FONSECA, A. F. da; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONES, C. R.; ALMEIDA, V. V. de;

GIMENES, F. M. de; SILVA, S. C. da; FIALHO, C. A.; GOMES, M. B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M. T. Ganho de peso e produtividade animal em capim-maradu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.751-759, 2011.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v.87, (2007), p. 21-336

- FREITAS, K. R.; ROSA, B.; RUGGIERO, J. A.; NASCIMENTO, J. L. do; HEINEMAM, A. B.; MACEDO, R. F.; NAVES, M. A. T.; OLIVEIRA, I. P. de. Avaliação da composição químico-bromatológica do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v.23, n.3, p.1-10, 2007.
- GOMES, T. M.; DEON, M. D.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; CARVALHO, A. L. C. de. Monitoramento do lençol freático sob influência da irrigação com águas residuárias. **Anais... XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2013.
- GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n.1, p.101-112, 2009.
- INOCÊNCIO, M. F.; CARVALHO, J. G. de; FURTINI NETO, A. E. Potássio, sódio e crescimento inicial de espécies florestais sob substituição de potássio por sódio. **Revista Árvore**, v.38, n.1, p.113-123, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção pecuária municipal 2011**. Brasília: IBGE, 2011. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 17/08/2014.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ªed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604p.
- JOHNSON, D. E.; CHAUDHURI, U. N.; KANEMASU, E. T. Statistical analysis of line-source sprinkler experiments and other nonrandomized experiments using multivariate methods. **Soil Science Society of American Journal**, v.47, n.2, p.309-312, 1983.
- JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; BUTTURI-GOMES, D.; GONÇALVES, A. C. A. Continuidade espacial da taxa de infiltração básica de água em três solos do noroeste do Estado do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.3, p.517-532, 2013.
- KARIA, C. T.; DUARTE, J. B.; ARAÚJO, A. C. G. de. **Desenvolvimento de cultivares do gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2006. 57p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 163).
- LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de micro-ondas e convencional. **Bioscience Journal**, v.25, n.3, p. 185-190, 2009.

LAUER, D. A. Line source sprinkler systems for experimentation with sprinkler applied nitrogen fertilizers. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47(1), p. 124-128, 1983.

LEAL, R. M. P. **Efeitos da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 110p. 2007.

LOPES, B. A. **Aspectos importantes da fisiologia vegetal para o manejo**. 2003. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br>>. Acesso em: 07 abr. 2014.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L. de; 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.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Livro Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MARANHÃO, C. M. de A.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V.; COSTA, A. C. P. R.; MARTINS, G. C. F.; CARDOSO, E. O. Características produtivas do capim-braquiária submetido a intervalos de cortes e adubação nitrogenada durante três estações. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 32, n. 4, p.375-384, 2010.

MARQUES, M. O.; CORAUCCI FILHO, B.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A. de; ANDRADE NETO, C. O. de; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.; MARQUES, T. A.; BELLINGIERI, P. H.; VAN HAANDEL, A. **Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agronômicos e ambientais**. Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. Rafael Kopschitz Xavier Bastos (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, Rima, p.61-118. 2003.

MATOS, A. T. de; SILVA, D. de F.; LO MONACO, P. A. V.; PEREIRA, O. G. Produtividade e composição química do capim-tifton 85 submetido a diferentes taxas de aplicação do percolato de resíduos sólidos urbano. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.188-200, 2013.

- McBRIDE, M. **Environmental chemistry of soils**. Oxford University Press, Inc. 406P, 1994.
- MENEZES, H. R. de; ALMEIDA, B. G. de; ALMEIDA, C. D. G. C. de; BENNETT, J. M.; SILVA, E. M. da; FREIRE, M. B. G. dos S. Use of threshold electrolyte concentration analysis to determine salinity and sodicity limit of irrigation water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, (Suplemento), p.S53-S58, 2014.
- MIRANDA, J.; COSTA, L. M. da; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:633-647, 2006.
- MONTEIRO, F. A.; RAMOS, A. K. B.; CARVALHO, D. D. de; ABREU, J. B. R. de; DAIUB, J. A. S.; SILVA, J. E. P. da; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agrícola**, v.52, n.1, p.135-141, 1995.
- MOTA, S.; FONSECA, A. F. da; STEFANUTTI, R.; VOLSCHAN JÚNIOR, I.; NAVAL, L. **Irrigação com esgotos sanitários e efeitos nas plantas**. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Lourdinha Florencio, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Miguel Mansur Aisse (Coord.) Rio de Janeiro: ABES, p. 201-238, 2006.
- MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor ótico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.137-145, 2009.
- NICHELE, J. **Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 75f. 2009.
- NOGUEIRA, S. F.; PEREIRA, B. F. F.; GOMES, T. M.; PAULA, A. M.; SANTOS, J. A. dos; MONTES, C. R. Treated sewage effluent: agronomical and economical aspects on bermudagrass production. **Agricultura Water Management**, v.116, p.151-159, 2012.
- PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S; BOOT, K. J.; LARA, M. A. S; ALDERMAN, P. D. Adapting CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crop Research**, v.120, n.3, p. 370-379, 2011.

- PEREIRA, B. F. F.; DEON, M. D.; GOMES, T. M.; SCHAAF, M.; NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M. de; SANTIN, R.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Irrigação de laranja com efluente de esgoto tratado; Na e K no solo. **Anais...** XXXII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, Uberlândia, MG, 2010.
- PINTO, J. C.; GOMIDE, J. A.; MAESTRI, M. Produção de matéria seca e relação folha/colmo de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.23, n.3, p.313-326, 1994.
- PINTO, M. C. K.; CRUZ, R. L.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido á irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, v.18, n.2, 2013.
- POVH, F. P.; GIMENEZ, L. M.; SALVI, J. V.; FRASSON, F. R.; MOLIN, J. P.; PAULETI, V. Uso de sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio no trigo. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007, p.343-350.
- POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1075-1083, 2008.
- PRADO, R. de M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: Funep, 500p. 2008.
- PRATT, P. F. Quality criteria for trace elements in irrigation Waters. California: **California Agricultural Experiment Station**, 1972. 46p.
- PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. de A.; SILVA, A. G. da; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes de nitrogênio. **Ciência Agrotecnologia**, v.30, n.3, p.562-568, 2006.
- QUINTANILHA, S. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C.; DUPAS, E.; BUZETTI, S. Resposta dos capins Mombaça e Brizantha à irrigação. **Anais...** In.: XVIII Congresso de iniciação científica da UNESP, Jaboticabal, 14 e 15 de novembro de 2006. Disponível em: <ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/cic2006_capins_monbaca.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2014.
- RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RASSINI, J. B. Período de estacionalidade de produção de pastagens irrigadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.821-825, 2004.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1.805-1.816, 2008.
- RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A.; CRUZ, M. A. S.; MENESES, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, (Suplemento), p.S46-S52, 2014.
- RIBEIRO, K. D.; MANEZES, S. M.; MESQUITA, M. da G. B. de F.; SAMPAIO, F. de M. T. S. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solo da região de Lavras-MG, **Ciênc. Agrotec.**, v.31, n.4, p.1.167-1.175, 2007.
- RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos**. 5. ed. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1970. 172p. il (Centro Regional de Ayuda Técnica. Manual de Agricultor, 60).
- RODRIGUÊS, D. de C. **Produção de forragem de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex^a Rich.) Stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 94p. 2004.
- RODRIGUÊS, R. C.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. de C.; HERLING, V. R. Produção de matéria seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.394-400, 2008.
- SANTOS, A. G. T.; VIEIRA, A. R. **Alturas de pastejo recomendadas para as principais forrageiras considerando 95% de interceptação luminosa**. Disponível

em: <<http://www.fazu.br/ojs/index.php/posfazu/article/viewFile/430/322>> Acesso em: 07 out. 2014.

SANTOS, A. P. R. dos. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com Capim-Tifton 85**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 95f. 2004.

SANTOS, B. G. dos; CORRCHEL, V.; CUNHA, P. P. da; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P. de; LEANDRO, W. M.; NASCIMENTO, J. B.; CARVALHO, G. D. Resistência mecânica de um solo cultivado com algodoeiro em sistema de preparo convencional em Ipameri, GO. **Anais...** V Congresso Brasileiro de Algodão. 2005.

SANTOS, F. G. dos. **Aspectos morfológicos e índice de crescimento dos capins *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 e *Panicum maximum* cv. Tanzânia, para a região agropastoril de Itapetinga-BA**. UESB, 11p. 2006.

SANTOS, G. O. **Uso e ocupação do solo e monitoramento dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

SANTOS, G. O.; FARIA, R. T. de; SOARES, C. A.; ZANINI, J. R.; DALRI, A. B. Potencial de reuso de efluente de estação de tratamento de esgoto no município de Jaboticabal-SP. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza-CE. **Anais...** 2013.

SANTOS, L. M. dos; SIMÕES, M. L.; SILVA, W. T. L. da; MILORI, D. M. B. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; MATIN-NETO, L. Caracterização química e espectroscópica de solo irrigados com efluente de esgoto tratado. **Ecl. Química**, v.34, n.1, p.39-44, 2009.

SANTOS, S. S. dos; SOARES, A. A.; MATOS, A. T. de; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na agricultura**, v.14, n.1, p.32-38, 2006.

SEGARRA, E.; DARWISH, M. R.; ETHRIDGE, D. E. Returns to municipalities from integrating crop production with wastewater disposal. Resources, **Conservation and Recycling**, v.17, p.97-107, 1996.

SERAFIM, R. S. **Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com água residuária de suinocultura**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista. 104f. 2010.

SERAFIM, R. S.; GALBIATTI, J. A. Efeito da aplicação de água residuária de suinocultura na *Brachiaria brizantha* cv Marandu. **Revista Colombiana de Ciência Animal**. v.4, n.1. p.185-203, 2012.

SIEBERT, S.; DÖLL, P.; FEICK, S.; HOOGEVEEN, J.; FRENKEN, K. The global map of irrigated areas. 2005. Disponível em:

http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/f_poster/poster_gmia_v4_lowres.pdf. Acesso em: 21 set. 2011.

SILVA, A. G. de B. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto rico em sódio em propriedades químicas e físico-hídricas de um Argissolo e produtividade de capim Tifton 85 no município de Lins**. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 83p., 2013.

SILVA, C. C.; SANTOS, A. C. dos; SILVA, G. F. da; ROCHA, J. M. L. da; PIRES, C. C.; OLIVEIRA, L. B. T. de. Resposta do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* Stapf) a aplicação de NPK e fontes de matéria orgânica. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, v.7, n.17, 2012a.

SILVA, C. C. F. **Morfogênese e produção de braquiárias submetidas a diferentes doses de nitrogênio**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 71p. 2006.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C. S.; ANDRADE, I. P. de S.; SILVA, G. T. Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite. **Irriga**, p.250-263, 2012b.

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

- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 235p.
- SOUZA, I. F. de. Caracterização da qualidade do efluente tratado por lagoas de estabilização de esgoto no campus da UNESP, Botucatu, SP. **Tekhne e Logos**, v.3, n.3, 2012.
- SOUZA, J. A. R. de; MOREIRA, D. A.; MATOS, A. T. de; RODRIGUES, A. S. de L. Effect of irrigation with wastewater from swine in the chemical properties of a latossol. **African Journal of Agricultural Research**, v.8, n.41, p.5166-5173, 2013.
- SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.18-23, 2003.
- TELLES, D. D'. **Aspectos da utilização de corpos de d'água que recebem esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas**. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Coord. Ariovaldo Nuvolari. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. p.507-528.
- TOMÉ JÚNIOR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.
- Universidade Estadual Paulista. **Dados climáticos diários**. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/>>. Acesso em: 08 jan. 2015.
- VAN ROOIJEN, D. J.; BIGGS, T. W.; SMOUT, I.; DRECHSEL, P. Urban growth, wastewater production and use in irrigated agriculture: a comparative study of Accra, Addis Ababa and Hyderabad. **Irrigation and Drainage Systems**, v.24, p.53-64, 2010.
- VELOSO, M. E. C.; DUARTE, S. N.; SILVA, I. J. O. Potencial de uso de águas residuárias na agricultura como suprimento hídrico e nutricional. **Engenharia Rural**. v.15, p.79-86, 2004.
- VILELA, L.; LEITE G. G.; GUERRA, A. F.; MARCELINO, K. R. A.; OLIVEIRA, M. V. F. de. **Produtividade do capim Marandu sob diferentes tensões hídricas no solo e doses de nitrogênio**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2002.
- VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M. **Calagem e adubação para pastagens na região do cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrado. Circular Técnico 37. 1998. 16p.

ZANINE, A. de M.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. de; FERREIRA, D. de J. Modernas estratégias no manejo do pastejo das gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Cynodon*. **Revista Electrónica de Veterinária REDVET**. v.6, n.11, 2005.