

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

DINÂMICA E DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES
DO EFLUENTE DO TRATAMENTO PRELIMINAR
DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO QUANDO
APLICADO EM SULCOS NA FERTIRRIGAÇÃO
DO CAPIM-ELEFANTE

Marcus Vinícius Araújo Marques

Belo Horizonte

2017

**DINÂMICA E DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES DO
EFLUENTE DO TRATAMENTO PRELIMINAR DE
ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO QUANDO
APLICADO EM SULCOS NA FERTIRRIGAÇÃO DO
CAPIM-ELEFANTE**

Marcus Vinícius Araújo Marques

Marcus Vinícius Araújo Marques

**DINÂMICA E DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES DO
EFLUENTE DO TRATAMENTO PRELIMINAR DE
ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO QUANDO
APLICADO EM SULCOS NA FERTIRRIGAÇÃO DO
CAPIM-ELEFANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Tratamento de águas residuárias

Orientador: Antonio Teixeira de Matos

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2017

M357d	<p>Marques, Marcus Vinícius Araújo. Dinâmica e distribuição dos nutrientes do efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico no solo quando aplicado em sulcos na fertirrigação do capim-elefante [manuscrito] / Marcus Vinícius Araújo Marques. - 2017. viii, 79 f., enc.: il.</p> <p>Orientador: Antonio Teixeira de Matos.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Bibliografia: f. 74-79.</p> <p>1. Engenharia Sanitária - Teses. 2. Saneamento - Teses. 3. Fertirrigação - Teses. 4. Plantas forrageiras - Teses. 5. Produtividade agrícola - Teses. I. Matos, Antônio Teixeira de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p>CDU: 628(043)</p>
-------	--

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre presente em todos os momentos da minha vida, felizes ou tristes, me dando forças para vencer as dificuldades interpostas no caminho, sendo o meu maior alicerce.

Ao meu maior tesouro, minha fortaleza (minha família), agradeço a todas as ocasiões especiais que passamos juntos. Aos meus pais (Valdomiro e Ilza) por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos, e me apoiarem incondicionalmente, que fique registrado todo o amor e orgulho que tenho por vocês.

A minha namorada (Jéssica), por todo amor e carinho recebido, e por estar a meu lado me apoiando sempre que estava sem forças pra continuar, esse vitória é nossa. A Júlio e Claudete pelo exemplo de sabedoria e conhecimento, que me influenciaram positivamente em toda esta caminhada. E as minhas queridas “cunhas” (Marianne e Laura), por todo carinho recebido.

Ao Prof. Antonio Matos por ter aceitado embarcar nessa jornada comigo e aceitar me orientar, me passando sempre um excelente conhecimento teórico que levarei para a vida.

Aos amigos de casa (Elton e Amirino), por me aguentarem todo este tempo com minhas manias e me ajudarem nessa caminhada.

Aos amigos que fiz neste departamento (Belinazir, Diogo, Isabela, Iacy, Débora, Jéssica, Luyara, Bruna, Jorge e todos os outros não citados aqui), saibam que têm um lugar especial no meu coração.

Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental pela oportunidade de conviver e aprender com seu corpo docente, essa experiência foi incrível.

À COPASA pela parceria firmada, e aos funcionários da ETE - Onça, em especial ao Olendio, Jessé e o Sr. José (Seu Zé), por sempre se empenharem ao máximo para a concretização desta pesquisa.

Aos alunos de iniciação científica (Ana, Mariana, Débora, Maria e Thiago), que sempre me ajudaram a desenvolver este projeto, sem vocês este resultado não seria possível, meu muito obrigado.

“Nunca deixe que lhe digam que não vale a pena acreditar no sonho que se tem, ou que seus planos nunca vão dar certo, ou que você nunca vai ser alguém... Quem acredita sempre alcança.”

Renato Russo e Flávio Venturini

RESUMO

A fertirrigação como alternativa de disposição final de esgoto doméstico é uma solução viável, tendo em vista o baixo custo de implantação, o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas e a quantidade matéria orgânica que atua na estruturação do solo. Neste trabalho, foram avaliadas a dinâmica e a distribuição dos nutrientes do efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico (EDP) no solo, quando aplicado em sulcos, na fertirrigação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*). Por hipótese, o EDP foi aplicado com inversões sequenciais no sentido de escoamento nos sulcos, a fim de obter uma maior homogeneidade na distribuição dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, maior produtividade do capim-elefante. O experimento foi constituído por 4 tratamentos: adubação convencional (utilizando-se adubos químicos comerciais - AQC) do capim-elefante sem alternância no sentido do escoamento da água da rede de abastecimento da COPASA, aplicada nos sulcos (TAS); Adubação convencional do capim-elefante com alternância no sentido do escoamento da água aplicada nos sulcos (TAC); Fertirrigação do capim-elefante sem alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos (TFS); Fertirrigação do capim-elefante com alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos (TFC). Para avaliação da distribuição dos nutrientes do solo, foram mensurados os teores de N, P, K, Ca, Mg e de Na no solo, no centro, nas laterais e ao longo do comprimento dos sulcos. As doses de nutrientes aportadas ao solo pelo EDP foram de 296 kg ha⁻¹ de N, de 43,6 kg ha⁻¹ de P e 87,8 kg ha⁻¹ de K, em 26 semanas de cultivo. A produtividade do capim-elefante foi avaliada em função da quantidade de matéria seca (MS) produzida. Também foi feita uma análise da economia de água e de recursos financeiros com o uso do EDP na produção do capim-elefante. As produtividades apresentadas no segundo corte do capim-elefante, obtidas após 45 dias do primeiro corte, foram de 6,5 t ha⁻¹ de MS, na parcela com AQC sem alternância no sentido de escoamento da água; 5,3 t ha⁻¹ de MS, na parcela de AQC com alternância no sentido desse escoamento; 4,9 t ha⁻¹ de MS, na parcela fertirrigada sem alternância no sentido de escoamento do EDP; e 14,2 t ha⁻¹ de MS, na parcela fertirrigada com alternância no sentido desse escoamento. A alternância no sentido de aplicação do EDP mostrou ser uma técnica com bons resultados agronômicos, proporcionando aumento de quase três vezes na produtividade do capim-elefante. O uso do EDP no cultivo do capim-elefante proporcionou economia financeira total de US\$ 630,00 ha⁻¹ (R\$ 2142,00 ha⁻¹, na cotação de 01/01/2017) e de 58% do total de água demandado pela cultura.

ABSTRACT

Fertigation as an alternative of final disposal of domestic sewage is a viable solution, due to the low implantation cost, the use of nutrients by the plants and the amount of organic matter that acts in the structuring of the soil. In this work, the dynamics and nutrient distribution of the effluent from the preliminary treatment of domestic sewage (PDS) in the soil, when applied in furrows, was evaluated in the fertigation of elephant grass (*Pennisetum purpureum*). By hypothesis, PDS applied with sequential inversions in the direction of flow in the grooves, in order to obtain a greater homogeneity in the distribution of the nutrients in the soil and, consequently, greater productivity of the elephantgrass. The experiment consisted of 4 treatments: conventional fertilization (using commercial chemical fertilizers - CF) of the elephant grass without alternating in the direction of water flow from the COPASA supply network, applied in the grooves (TAS), conventional elephant grass fertilization with alternation in the direction of flow of water applied to the furrows (TAC), fertigation of elephant grass without alternation in the direction of flow of EDP applied in the furrows (TFS), Fertigation of elephant grass with alternation in the direction of flow of EDP applied to the furrows (TFC). In order to evaluate soil nutrient distribution, N, P, K, Ca, Mg and Na contents were measured in the soil, at the center, at the sides and along the length of the grooves. The nutrient doses contributed to the soil by the PDS were 296 kg ha⁻¹ of N, 43.6 kg ha⁻¹ of P and 87.8 kg ha⁻¹ of K. The yield of elephantgrass was evaluated according to the amount of dry matter (DM). An analysis of the economics of water and financial resources was also made with the use of PDS in the production of elephantgrass. The productivity presented in the second cut of the elephant grass, obtained after 45 days of the first one, was of 6.5 t ha⁻¹ of DM, in the plot with CF without alternating in the direction of water flow; 5.3 t ha⁻¹ of DM, in the CF plot with alternation in the direction of this flow; 4.9 t ha⁻¹ of DM, in the fertigated plot without alternation in the flow direction of the PDS and 14.2 t ha⁻¹ of DM, in the fertigated portion with alternation in the direction of this flow. The alternation in the direction of application of PDS increased in almost 3 times the grass productivity. The use of EDP in elephant grass cultivation provided a total financial saving of US\$ 630.00 ha⁻¹ and 58% of the total water demanded by the crop.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA	I
LISTA DE TABELA	III
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	VI
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	5
3.2 FERTIRRIGAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS COM ESGOTO DOMÉSTICO	7
3.3 INTERAÇÃO DOS NUTRIENTES/POLUENTES NO SOLO.....	11
3.4 MÉTODOS UTILIZADOS NA APLICAÇÃO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO SOLO	13
3.5 MÉTODO DE APLICAÇÃO POR SULCOS	14
4 JUSTIFICATIVA	19
5 MATERIAL E MÉTODOS	20
5.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	20
5.2 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO SOLO	21
5.3 ASPECTOS RELATIVOS AO PREPARO DA ÁREA PARA FERTIRRIGAÇÃO COM APLICAÇÃO POR SULCOS	24
5.4 PLANTIO, ADUBAÇÃO E TRATOS CULTURAIS	24
5.5 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DO TRATAMENTO PRELIMINAR.....	26
5.6 TRATAMENTOS	27
5.7 MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO	28
5.8 MANEJO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR.....	28
5.9 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO	31
5.10 HISTÓRICO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA ÁREA.....	32
5.11 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	33
5.12 METODOLOGIA UTILIZADA PARA ANÁLISE DA ECONOMIA DE ÁGUA E FINANCEIRA NO CULTIVO DO CAPIM-ELEFANTE	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6.1 ANÁLISE DO ESGOTO DOMÉSTICO SUBMETIDO AO TRATAMENTO PRELIMINAR	36
6.2 ANÁLISES DE SOLO	43
6.3 PRODUTIVIDADE DO CAPIM-ELEFANTE.....	61
6.4 ANÁLISE DA ECONOMIA DE ÁGUA E FINANCEIRA	68
7 CONCLUSÕES	72
8 RECOMENDAÇÕES	73
9 REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1 - Representação de um evento completo de irrigação por sulcos, em um gráfico de tempo de aplicação em função da distância.....	15
FIGURA 2 - Perfil de infiltração da água ao longo do comprimento do sulco, em condições de irrigação com molhamento completo da zona radicular (esquerda) e não completo (direita).	16
FIGURA 3 - Croquis dos perfis de distribuição da água em situações de mau (esquerda) e bom (direita) manejo do sistema.	17
FIGURA 4 - Fluxograma de montagem e operação do sistema.....	20
FIGURA 5 - Localização da ETE - Onça.....	20
FIGURA 6 - Vista do perfil do solo, com destaque à ausência de horizontes após diagnóstico.	23
FIGURA 7 - Imagens da área e das rochas retiradas do local durante a preparação da área experimental.	23
Figura 8 - Croqui detalhando as dimensões, posicionamento das plantas e espaçamento entre os sulcos (à esquerda) e foto dos sulcos do sistema instalado em campo (à direita).	24
FIGURA 9 - Imagens das mudas sendo plantadas na área experimental.....	25
FIGURA 10 - Croqui de posicionamento das plantas e dos sulcos de irrigação/fertirrigação na parcela experimental (à esquerda) e aplicação do efluente preliminar de esgoto doméstico (à direita).....	25
FIGURA 11 - Imagem dos adubos químicos comerciais (à esquerda), utilizados na fertilização convencional do capim, e detalhe da sua aplicação manual no solo na área experimental (à direita).....	26
FIGURA 12 - Estação Fluviométrica e Pluviométrica, próxima à área experimental.	30
FIGURA 13 - Imagens da coleta de amostras de solo (à esquerda) e detalhe da distribuição dos locais de coletas no sulco (à direita).	32

FIGURA 14 - Gráficos <i>box-whisker</i> apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações de pH, CE, DBO ₅ , DQO e sólidos do EDP na primeira e segunda etapa.	37
FIGURA 15 - Gráficos <i>box-whisker</i> apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações de Na e dos macronutrientes (NTK, P, K, Ca e Mg) do EDP na primeira e segunda etapa.	41
FIGURA 16 - Gráficos <i>box-whisker</i> apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações dos micronutrientes (Zn, Mn, Fe e Al) do EDP na primeira e segunda etapa.	42
FIGURA 17 - Imagens obtidas antes do primeiro corte da parte aérea do capim-elefante.	61
FIGURA 18 - Altura do capim-elefante submetido aos diferentes tratamentos no segundo corte da parte aérea das plantas.	62
FIGURA 19 - Imagens da área experimental, no seu sentido transversal, na área inicial e final dos sulcos, no segundo corte da parte aérea do capim-elefante.	64
FIGURA 20 - Altura do capim-elefante submetido aos diferentes tratamentos, no terceiro corte da parte aérea das plantas.	65
FIGURA 21 - Imagens da área experimental, no seu sentido transversal, próximo ao início e final dos sulcos, no terceiro corte da parte aérea do capim-elefante.	67

LISTA DE TABELA

TABELA 1 - Principais características dos métodos de aplicação de efluente doméstico em áreas de cultivo agrícola.	13
TABELA 2 - Caracterização química, física e físico-hídrica inicial nas diferentes profundidades do solo.....	21
TABELA 3 - Médias e medianas das concentrações do esgoto doméstico do tratamento preliminar.	27
TABELA 4 - Temperatura média mensal, umidade relativa média mensal, precipitação acumulada mensal e irrigação total necessária em cada semana de cultivo do capim-elefante.	31
TABELA 5 - Histórico das atividades desenvolvidas na área experimental.....	32
TABELA 6 - Concentrações médias e doses aplicadas (quando cabível) de pH, CE, ST, SFT, SVT, DBO ₅ e DQO na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.	37
TABELA 7 - Concentrações médias e doses aplicadas, de Na e macronutrientes (NTK, P, K, Ca e Mg), ao solo via EDP na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.	39
TABELA 8 - Concentrações médias e doses aplicadas de micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe e Al) ao solo, via EDP, na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.	42
TABELA 9 - Teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P e K) e do Na, na camada de 0 - 20 cm do solo, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 10 semanas.	43
TABELA 10 - Teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), da MO, além de valores de CE e pH, na camada de 0 - 20 cm no solo das parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 10 semanas.....	46

TABELA 11 - Teores disponíveis médios de Na, NT e K, em diferentes camadas do solo submetidos à aplicação de EDP (TFS e TFC), num período cultivado de 10 semanas.	49
TABELA 12 - Teores médios de nutrientes/poluentes disponíveis, de matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação (CE), em amostras coletadas na camada de 0 - 20 cm do solo, no início e no final dos sulcos, após 10 semanas de aplicação de EDP, considerando-se a alternância ou não alternância no sentido dessa aplicação.....	50
TABELA 13 - Teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P, K, Ca e Mg) e do Na, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.	51
TABELA 14 - Teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), MO, CE e pH em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.....	54
TABELA 15 - Teores disponíveis médios de NT, Na e K, em diferentes camadas do solo das parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC), num período cultivado de 26 semanas.....	54
TABELA 16 - Teores médios de nutrientes/poluentes disponíveis, de matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação (CE), em amostras coletadas na camada de 0 - 20 cm do solo, no início e no final do comprimento dos sulcos, após 26 semanas de aplicação de EDP, considerando-se a alternância ou não alternância no sentido dessa aplicação.	55
TABELA 17 - Comparação dos teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P e K) e do Na, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 (1ª coleta) e 26 (2ª coleta) semanas de cultivos.....	56
Tabela 18 - Comparação dos teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 (1ª coleta) e 26 (2ª coleta) semanas de cultivos.....	57

TABELA 19 - Comparação dos teores de MO, da CE e do pH, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 e 26 semanas de cultivos, 1ª e 2ª etapas, respectivamente.	58
TABELA 20 - Variáveis de fertilidade em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.	59
TABELA 21 - Razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.	60
TABELA 22 - Produtividade média total do capim-elefante no segundo corte da parte aérea das plantas.	62
TABELA 23 - Produtividade média do capim-elefante na área inicial e final dos sulcos, no segundo corte da parte área das plantas.	63
TABELA 24 - Produtividade média total do capim-elefante no terceiro corte da parte aérea das plantas.	65
TABELA 25 - Produtividade média do capim-elefante na área inicial e final dos sulcos, no terceiro corte da parte área das plantas.	66
TABELA 26 - Comparação da produtividade média de matéria seca (MS) do capim-elefante entre o segundo e o terceiro corte da parte área das plantas.	68
TABELA 27 - Valor dos fertilizantes utilizados na adubação química convencional, constituição, doses recomendadas para aplicação e custos com dessa adubação, após 24 semanas de cultivo do capim-elefante.	69
TABELA 28 - Dose de N, P e K e economia com adubação química, após 24 semanas de cultivo, caso seja substituída pela fertirrigação com EDP.	70
TABELA 29 - Custos de produção e custo de irrigação (sulcos), por unidade de área receptora de adubação química convencional (AQC) ou efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico (EDP), após 24 semanas de cultivo do capim-elefante.	71

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AQC - Adubação química convencional

Ca - Cálcio

C_{aq} - Custo da adubação química

Cd - Cádmio

CE - Condutividade Elétrica

CI - Custo da irrigação

CMAR - Centro de monitoramento e alerta de risco

COD - Carbono orgânico dissolvido

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CTC_{ef} - Capacidade de troca de cátions efetiva

CTC_{pot} - Capacidade de trocas de cátions potencial

Cu - Cobre

DBO_5 - Demanda bioquímica de oxigênio

D_f - Dose aportada do elemento químico

DQO - Demanda química de oxigênio

EDP - Esgoto doméstico do tratamento preliminar

E_f - Economia na adubação

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETc - Evapotranspiração da cultura

ETE - Estação de tratamento de esgoto

ETo - Evapotranspiração de referência

ha - hectare

IRN - Irrigação real necessária

ITN - Irrigação total necessária

K - Potássio

Kc - coeficiente de cultura

M - milhões

MF - Matéria fresca

Mg - Magnésio

Mn - Manganês

MO - Matéria orgânica

MS - Matéria seca

N - Nitrogênio

Na - Sódio

NO₃⁻ - Nitrato

P - Fósforo

Pb - Chumbo

pH - Potencial hidrogeniônico

RAS - Razão de adsorção de sódio

SAC - Sistema alagado construído

SFT - Sólidos fixos totais

SIBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SS - Superfosfato simples

ST - Sólidos totais

SVT - Sólidos voláteis totais

TAC - Tratamento com adubação química convencional do capim-elefante, com alternância no sentido do escoamento da água aplicada nos sulcos

TAS - Tratamento com adubação química convencional do capim-elefante, sem alternância no sentido do escoamento da água aplicada nos sulcos

TFC - Fertirrigação do capim-elefante com alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos

TFS - Fertirrigação do capim-elefante sem alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos

U_{cc} - capacidade de campo

U_{pmp} - Ponto de murcha permanente

Zn - Zinco

1 INTRODUÇÃO

Com a escassez de água que atinge grande parte da população mundial, estratégias que diminuam a utilização de água de boa qualidade, ou seja, reduzam a dependência de captação das águas de corpos hídricos superficiais e subterrâneos, vêm sendo discutidas e estudadas. A magnitude desse problema se torna maior no meio rural, em razão do grande consumo de água na irrigação de culturas agrícolas.

A utilização de águas residuárias, tratadas ou não, na fertirrigação de culturas agrícolas tem sido há muito tempo pesquisada, pois, além de possibilitar o aporte de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas e conter matéria orgânica para melhorar a qualidade do solo, pode suprir parte da necessidade hídrica das plantas. Com isso, reduz-se a utilização de fontes de água de melhor qualidade, resguardando-se a utilização dessas para fins mais exigentes. Assim, a utilização de água residuária, quando bem planejada, aplicando-se as doses recomendadas e nos períodos corretos, pode ser uma estratégia importante para proporcionar economia de água e insumos minerais em atividades agrícolas.

Para que esse processo seja vantajoso, do ponto de vista econômico e ambiental, algumas medidas devem ser levadas em consideração no momento de se definir a lâmina de água residuária a ser aplicada. As lâminas ou doses de aplicação não podem ser superiores à capacidade de suporte do sistema solo-planta, para que não venha trazer prejuízos à cultura agrícola, ao solo e às águas subterrâneas. Além disso, aspectos sanitários devem ser observados, a fim de não causar contaminação de alimentos e do meio ambiente.

O método de aplicação do esgoto doméstico deve ser tal que não propicie contaminação microbiana do produto final, minimize a dispersão de contaminantes por via aérea e não proporcione a contaminação do operador do sistema.

Em termos de conteúdo de nutrientes para as plantas, o esgoto doméstico possui em média, 45 mg L⁻¹ de nitrogênio, 7 mg L⁻¹ de fósforo, 158 mg L⁻¹ de potássio, 53 mg L⁻¹ de cálcio, 42 mg L⁻¹ de magnésio (VON SPERLING, 2014; THAPLIYAL *et al.*, 2011). Isso demonstra o potencial de utilização dessa água residuária na fertilização de solos agrícolas, uma vez que esses nutrientes são essenciais para o desenvolvimento das plantas.

A distribuição dos nutrientes no solo é um fator que influencia diretamente a produtividade das culturas e os riscos de contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas. A

deficiência de nutrientes no solo acarreta diminuição na produtividade, enquanto o excesso, tanto pode trazer toxicidade às plantas, bem como aumento nos riscos de sua lixiviação ou salinização do solo, dependendo do índice pluviométrico no local (MATOS, 2010).

A definição da dose de aplicação do esgoto doméstico no solo, estabelecendo-se um elemento químico referencial, é fundamental para que se possa conduzir a atividade de forma sustentável, possibilitando eliminação ou redução significativa nos riscos de contaminação ambiental (MATOS, 2014).

A aplicação de esgoto doméstico no solo agrícola pode ser feita utilizando-se as mesmas técnicas de irrigação, ou seja, via superfície (sulcos, corrugação ou inundação), aspersão ou de forma localizada (microaspersão ou gotejamento).

A aplicação de esgoto doméstico em superfície tem sido considerada, juntamente com a de gotejamento, a de menor impacto ambiental, tendo em vista que proporciona menor dispersão de gotículas, minimizando-se possíveis disseminação de patógenos e dissipação de maus odores proporcionados pela aplicação desta água residuária no solo.

A aplicação por gotejamento ou microaspersão, por sua vez, está limitada pela concentração de sólidos em suspensão no esgoto doméstico, tornando-se necessário seu tratamento em nível primário para que se promova a remoção desses fatores causadores de entupimentos nos emissores.

A aplicação por sulcos, por sua vez, em decorrência do lançamento das águas residuárias sempre na mesma posição, proporciona escoamento sempre no mesmo sentido, aumentando a disponibilização de nutrientes e, conseqüentemente, o melhor desenvolvimento das plantas próximas ao início dos sulcos fertirrigados (PLETSCH, 2012).

Neste contexto, trabalhos que elucidem formas de aplicação do esgoto doméstico de modo que se possibilite uma distribuição mais homogênea dos nutrientes no solo, sem contudo, causar impactos ambientais inaceitáveis, são urgentes e essenciais para viabilizar a alternativa de tratamento/disposição final dessas águas residuárias com fins de aproveitamento agrícola.

Sendo assim, para atender os objetivos descritos a seguir, foi criada uma área experimental, na qual aplicou-se esgoto doméstico efluente do tratamento preliminar, por meio de sulcos, com

o intuito de avaliar sua influência em algumas características químicas e físicas do solo e a produtividade do capim-elefante, nele cultivado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral com a condução desta pesquisa é a avaliação da dinâmica e a distribuição dos nutrientes do efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico (EDP), quando aplicado no solo por sulcos, na fertirrigação do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*).

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a distribuição de nutrientes/poluentes e do Na, contidos no EDP, aplicado no solo, observando os teores do centro, das laterais, dos topos do sulco, e ao longo de seu comprimento fertirrigado;
- Avaliar o efeito da inversão sequencial no sentido de escoamento do EDP sobre a distribuição dos nutrientes no solo;
- Avaliar a influência da forma de aplicação do EDP na produtividade de matéria seca do capim-elefante.
- Avaliar a economia de água e financeira, no uso do EDP, quando utilizado na fertirrigação do capim-elefante.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aproveitamento de águas residuárias

Com a escassez hídrica, muitas têm sido as propostas visando a economia no uso da água e o aproveitamento de águas servidas. No Brasil, já se aproveita cerca de $23.330 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ de água residuária (JIMÉNEZ; ASANO, 2008), entretanto esse valor está muito distante do razoável. Por essa razão, tecnologias devem ser desenvolvidas de forma a fomentar o aproveitamento desse recurso.

Existe uma discussão sobre a gestão integrada de recursos hídricos, que traz dentro de suas vertentes o aproveitamento de água residuárias dentro dos processos produtivos, mas que tem sido subutilizados em muitas nações.

A irrigação é responsável por cerca de 70% da utilização de águas superficiais e subterrâneas do mundo e, nesta perspectiva, a irrigação com águas residuárias se tornou uma alternativa viável para a economia. A China se destaca na questão de aproveitamento agrícola de água residuária, com mais de 1,3 milhões de hectares irrigados, seguidos do México, com 190 mil hectares (JIMÉNEZ; ASANO, 2008).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) reconhece a utilização de águas residuárias na agricultura como um prática sustentável, ressaltando a necessidade de capacitação adequada de agricultores, técnicos e projetistas, em nível nacional, para que se possa maximizar os benefícios do uso de águas residuárias e diminuir os riscos à saúde pública (WHO/UNEP, 2006).

Além dos benefícios agronômicos associados à utilização de águas residuárias na fertirrigação, existem os benefícios sanitários, tendo em vista que, ao contrário do que se pensa, a utilização de águas residuárias, quando feita de forma planejada na agricultura, pode reduzir os riscos de contaminação das águas superficiais, reduzindo, como consequência, os riscos de contaminação de comunidades utilizadoras dessas fontes de águas superficiais. Em comunidades marginais a centros urbanos, onde seja praticada agricultura, o uso de águas residuárias pode dar fim ao problema de saneamento local, além de contribuir para subsistência dessas populações (WHO/UNEP, 2006).

Dentre as opções de destinação final de águas residuárias, a reutilização pode ocorrer com finalidades diferentes, nas quais devem ser compatíveis com a qualidade requerida para tal fim, possibilitando-se um benefício socioeconômico aos usuários (MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

As vantagens do aproveitamento de águas residuárias urbanas estão fundamentadas na certeza de sua disponibilidade durante todo o ano, principalmente em cidades contempladas com rede de esgotamento sanitário, e na redução dos custos de seu tratamento (MOYO *et al.*, 2015).

De acordo com Hamilton *et al.* (2007), o aproveitamento agrícola de águas residuárias está deixando de ser uma prática aplicável apenas em regiões áridas, para ser uma técnica corriqueira, de ampla difusão no mundo desenvolvido. O aproveitamento agrícola de águas residuárias se fundamenta no aporte de matéria orgânica e, principalmente, dos nutrientes ao sistema solo-planta e menos no atendimento das necessidades hídricas das plantas.

A aplicação prolongada de águas residuárias irá incorporar, de forma gradativa, matéria orgânica ao solo, melhorando significativamente suas características físicas (massa específica, porosidade, retenção de água, além de promover melhorias nas suas condições hidrodinâmicas), influenciando no aumento e na manutenção da produtividade das culturas agrícolas, ao longo dos anos (YANG *et al.*, 2011).

Para manter altas produtividades na agricultura atual, necessita-se da adição de fertilizantes químicos, geralmente proporcionando aumento considerável nos custos de produção. Nessa perspectiva, a utilização de águas residuárias poderá ser fonte de nutrientes para as plantas, podendo possibilitar redução na aplicação de adubos minerais às culturas agrícolas (KIHILA *et al.*, 2014).

O uso da fertirrigação com águas residuárias, que deve ser baseado na redução dos custos com adubação química convencional (AQC), vêm sendo um dos grandes atrativos da agricultura na atualidade, uma vez que, para se alcançar maiores produtividades, torna-se necessário o dispêndio de consideráveis recursos financeiros com AQC no processo de produção. Os valores gastos na compra de insumos variam de 30 - 60% dos custos de produção (ALVES FILHO *et al.*, 2003; NEUMANN *et al.*, 2005).

A irrigação por superfície, como a forma mais rudimentar de irrigação, tendo em vista o emprego do menor nível tecnológico, apresenta como vantagens o custo de implantação e

manutenção, pois a distribuição de água na área se faz pela utilização do próprio solo e não por tubulações. Segundo Bernardo *et al.* (2008), o valor de implantação desses sistemas pode chegar a 80% dos custos da aspersão convencional.

Em simulação do aproveitamento agrícola de esgoto doméstico, Murray e Ray (2010) concluíram que, para o distrito de Pixian, na China, a suplementação da irrigação convencional local com esgoto doméstico proporcionaria um lucro de US\$ 20 M, anualmente, com uma economia de 35 Mm³ de água a ser retirada dos corpos hídricos superficiais.

O Brasil não conta com legislação específica para uso de águas residuárias na agricultura, sendo essa discussão ainda emergente. A não existência dessa legislação é decorrente por se tratar de uma prática que vem ressurgindo no cenário atual e que está sendo desenvolvida em diferentes locais, de diferentes maneiras, não podendo os exemplos práticos serem extrapolados para todos os casos. Alguns países já contam com algumas legislações como Estados Unidos, Austrália, Japão, Israel e alguns países europeus (JIMÉNEZ; ASANO, 2008).

3.2 Fertirrigação de culturas agrícolas com esgoto doméstico

Conforme já explicado, a utilização de fertilizantes minerais aumenta significativamente o custo de produção agrícola, principalmente no que se refere à adubação com os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio.

Desde os primórdios da civilização, o homem tem aproveitado resíduos sólidos e águas residuárias, principalmente as de origem animal, como fonte de nutrientes e matéria orgânica para o sistema solo-planta. Atualmente, com a escassez hídrica, grande interesse passou a ser também o de atendimento, ainda que parcial, das necessidades hídricas das plantas.

O aproveitamento, em larga escala, de águas residuárias como fonte hídrica e de fertilizantes para plantas surgiu em meados do século XIX, notadamente na Europa e nos Estados Unidos (WOLMAN, 1977). A técnica tornou-se, então, alternativa aos métodos tradicionais de tratamento e disposição final de águas residuárias (MATOS, 2010; MONTE; ALBUQUERQUE, 2010).

Os efeitos benéficos da fertirrigação de culturas agrícolas com esgoto doméstico já foram comprovados no Brasil e no exterior. No que se refere ao aumento na produtividade em

culturas agrícolas, as evidências indicaram direta relação com o fornecimento de nutrientes presentes no esgoto doméstico (AZEVEDO; SAAD, 2005; BLUM, 2011; DEON *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, 2008; DUARTE *et al.*, 2006; FIRME, 2007; FREITAS *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2011; SOUSA NETO *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2015; THAPLIYAL *et al.*, 2011; VAZQUEZ-MONTIEL *et al.*, 1996) e aumento na atividade microbiana do solo (PAULA *et al.*, 2010; SIMÕES *et al.*, 2013).

Há de se ressaltar que, quanto maior o grau de tratamento proporcionado ao esgoto doméstico, menor a disponibilidade de macro e micronutrientes no efluente, o que conduz à conclusão que, para uso agrícola, quanto menor for o grau de tratamento maior o equilíbrio químico e o valor fertilizante deste efluente. Por essa razão, tem sido proposto o tratamento mínimo de esgoto doméstico para utilização agrícola (MATOS e MATOS, 2017).

Em contrapartida, existe grande preocupação no que se refere ao fornecimento excessivo de nutrientes ao solo, acima da capacidade de absorção das plantas. No caso específico do nitrogênio, a aplicação de doses excessivas pode levar à sua lixiviação no solo, causando contaminação de águas subterrâneas (CERQUEIRA *et al.*, 2008; LEAL *et al.*, 2010; BLUM *et al.*, 2013).

A sodificação do solo e, ou, das águas subterrâneas também é um perigo real associado à aplicação de esgoto doméstico na fertirrigação, uma vez que o sódio encontra-se em concentrações relativamente altas (acima de 60 mg L^{-1}) no esgoto doméstico e seu acúmulo no solo e/ou contaminação de águas subterrâneas poderá ocorrer se doses acima das recomendadas forem aplicadas (BLUM *et al.*, 2012; FIRME, 2007; FONSECA *et al.*, 2005; LEAL *et al.*, 2009).

Na disposição final de um resíduo em corpos hídricos ou em solo, sempre têm que ser levados em consideração os riscos potenciais de contaminação ambiental. No caso do sistema solo-planta, a técnica utilizada é a definição do elemento químico referencial, em que a quantificação da dose máxima de água residuária a ser aplicada no solo deve levar em consideração as necessidades nutricionais das plantas (normalmente avalia-se o aporte recomendável de nitrogênio, fósforo e potássio), ou os referenciais ambientais de qualidade do solo (elemento químicos indesejáveis como sódio, boro e metais pesados) (MATOS, 2014; 2015).

Quando se referencia a dose de aplicação a um elemento químico escolhido de forma equivocada, isso pode acarretar na aplicação de doses excessivas de um ou vários outros elementos químicos. Isso foi constatado por Santos *et al.* (2015), onde verificaram que, na aplicação de esgoto doméstico tomando-se o potássio como elemento químico referência, houve aumento considerável na quantidade de sódio disponível, percentual de sódio trocável e condutividade elétrica do solo, o que pode vir a comprometer a qualidade do solo após repetidas aplicações desse efluente.

As altas concentrações do sódio no esgoto decorrem da quantidade de sódio encontrada em alimentos, temperos, substâncias de limpeza domiciliar, entre outros (BRASIL *et al.*, 2007). Em estudo realizado por Leal *et al.* (2009), cultivando cana-de-açúcar na cidade de Lins-SP, foi obtido um aumento significativo na concentração de sódio trocável no solo, o que ficou evidenciado por meio de medições da condutividade elétrica, dispersão de argila e razão de adsorção do sódio no meio. Esse aumento se deu pela aplicação de lâminas excessivas de esgoto doméstico para suprir a demanda hídrica da cultura, logo, a aplicação deste efluente se torna inviável para atender, em sua plenitude, as necessidades hídricas das plantas.

Silva *et al.* (2012), utilizando a dose de aplicação referenciada em função da quantidade de sódio presente no esgoto sanitário tratado em nível primário, quantificaram a produtividade e analisaram as possíveis alterações químico-bromatológicas no capim-mombaça fertirrigado com essa água residuária. A dose máxima aplicada nesse experimento foi de 300 kg ha⁻¹ de sódio, partindo-se do pressuposto que essa dose não causaria danos às plantas e ao meio ambientais, como um todo. Os autores concluíram que, o aumento na dose proporcionou aumento na produtividade de matéria seca da parte aérea e na qualidade da forragem, principalmente no que se refere ao teor de proteína bruta, sem proporcionar alterações perceptíveis na composição químico-bromatológica do capim.

Diante do exposto, considera-se que no esgoto doméstico, tal como verificado por Silva *et al.* (2012), o sódio deva ser o elemento químico referência, já que, por não ser considerado nutriente para as plantas, deve ser aplicado em doses controladas no solo.

Mesmo com a escolha correta do elemento químico referencial muito se discute a respeito da acumulação de outros elementos químicos no solo, em virtude da sucessiva aplicação do esgoto doméstico. Isso acontece, porque além de nutrientes para as plantas também estão

presentes não nutrientes, sendo assim, muitos deles podem permanecer no sistema, vindo a se acumular nesse meio.

Rusan *et al.* (2007) avaliaram a aplicação de esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização, por 10 anos, verificando que houve o aumento nos teores de N, P e K no solo, contudo, não houve aumento significativo nos teores de micronutrientes (Cu, Zn, Fe, Mn) e dos metais pesados (Pb e Cd).

Em estudo realizado no México Central, no qual foram avaliadas as alterações químicas no solo submetido à aplicação de esgoto doméstico bruto por longo período de tempo (80 anos), verificou-se aumento no teor de micronutrientes (Cu e Zn) e dos metais pesados (Pb e Cd), na camada de 0-30 cm do solo (SIEBE, 1994 apud SIEBE; FISCHER, 1996). Os teores totais quantificados no solo variaram de 34 para 78 mg kg⁻¹ de Pb, de 1,4 para 3,6 mg kg⁻¹ de Cd, 31 para 67 mg kg⁻¹ de Cu, e de 117 para 281 mg kg⁻¹ de Zn. Há de se considerar, no entanto, que avaliação de teores totais, tal como foi feita pelos citados autores e tal como tem sido recomendado na legislação ambiental, não possibilita uma avaliação real dos riscos ambientais por exposição a metais pesados, tendo em vista que não expressam a biodisponibilidade desses poluentes. Ainda assim, os valores citados pelos autores podem ser comparados aos estabelecidos na Deliberação Normativa nº 166/2011 do COPAM (COPAM, 2011), não tendo sido considerados de risco para agricultura, já que os limites estabelecidos são de 180 mg kg⁻¹ de Pb, 3 mg kg⁻¹ de Cd, 200 mg kg⁻¹ de Cu e 450 mg kg⁻¹ de Zn.

Na aplicação de esgoto doméstico no solo, uma preocupação se refere à sobrevivência dos micro-organismos patofênicos aportados ao meio. Condicionantes do ambiente como temperatura, teor de água, pH, composição do solo e presença de outros micro-organismos, ditam o tempo de sobrevida desses organismos no meio (ESTRADA *et al.*, 2004).

A presença de água é fundamental no controle da temperatura do solo, devido ao elevado poder calorífico que este tem, tornando as condições ambientais mais amenas para os micro-organismos, condições extremas de acidez e alcalinidade (pH < 6,0 ou pH > 8,0), por sua vez, tendem a não serem favoráveis à sobrevivência da maior parte das bactérias no solo, sendo o crescimento e a sobrevivência de bactérias entéricas geralmente maior em solos neutros (ESTRADA *et al.*, 2004). Diante do exposto, o solo em condições normais, alternando momentos úmidos e secos, altas taxas de insolações alcançadas no Brasil, se torna ambiente inóspito à sobrevivência de bactérias.

Pereira *et al.* (2014) verificaram total remoção de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) depois de 6,6 e 13,0 dias da aplicação, respectivamente, de esgoto sanitário bruto no solo plantado e sem cultivo, nas condições climáticas da Zona da Mata de Minas Gerais. Os autores atribuíram a menor contagem de *E. coli* nas parcelas de solo plantado, com maior capacidade de infiltração do esgoto que nas de solo nu, bem como à sua maior distribuição no perfil do solo, não ficando restrita a uma camada fina superficial, tal como ocorreu nas parcelas de solo nu. Outro fator que pode ter contribuído para que ocorressem essas diferenças é a liberação de exsudatos na rizosfera das plantas, cujo efeito seja bactericida.

A atividade microbiológica do solo está ligada, diretamente, aos processos físicos e químicos do solo, sendo este afetado por todo manejo adotado na área. Em estudo realizado por Alguacil *et al.* (2012) demonstrou-se que a fertirrigação de laranjeiras com esgoto doméstico tratado por lodos ativados, por 43 anos, alterou positivamente a diversidade e a atividade da microbiota no solo.

3.3 Interação dos nutrientes/poluentes no solo

Estudos relativos à distribuição dos nutrientes, aplicados via água residuária no solo, tornam-se necessários para que se possa melhor e compreender sua dinâmica em termos espaciais e no perfil do solo, quando aplicados via sulcos na fertirrigação de culturas agrícolas. Essa discussão se torna importante tendo em vista que a aplicação de águas residuárias pode afetar as características químicas do solo e, conseqüentemente, a produtividade das culturas. Entender estas alterações também é fundamental para se atentar aos risco de salinização do solo ou da contaminação de águas subterrâneas.

As formas nítricas do nitrogênio (NO_x) estão presentes quando há disponibilidade de oxigênio no meio e, nessa forma iônica, o nitrogênio apresenta fraca interação com as partículas coloidais do solo, ficando disponível para movimentação nesse meio (BLUM *et al.*, 2013). Assim, quando o NO_x atinge profundidade tal que as raízes das plantas já não conseguem assimilá-lo, pode ser perdido por lixiviação profunda e vir a contaminar mananciais de águas subterrâneas (SERHAL *et al.*, 2009).

O fósforo é considerado um elemento químico de baixa mobilidade no solo, uma vez que, apresenta alto potencial de adsorção aos coloides do solo, além de poder formar precipitados de baixa solubilidade em água (MATOS, 2014; 2015). Corroborando a essa afirmativa, Blum *et al.* (2013) verificaram que a aplicação de efluente doméstico tratado, via fertirrigação, não

aumentou o P lixiviado, o que é decorrente das características do solo, que apresenta grande capacidade de retenção desse nutriente/poluente.

O potássio e o sódio têm comportamento semelhante, em termos de mobilidade no solo, embora o primeiro seja mais interativo com o material sólido do meio. Matos *et al.* (2005), em experimento realizado em rampa cultivada com forrageiras, no tratamento da água residuária oriunda da despolpa de frutos do cafeeiro, verificaram que uma das características desse efluente é a alta concentração de potássio e que sua aplicação em excesso provocou grande aumento na concentração do K trocável na camada superficial do solo, prejudicando o desenvolvimento da cultura agrícola.

Como a remoção de Na pelas culturas é relativamente baixa e as quantidades aplicadas, via fertirrigação com efluentes domésticos, são altas, esse cátion quando acumulado no solo, pode promover a salinização do meio, ou ser lixiviado até suas camadas mais profundas (RENGASAMY; OLSSON, 1993), podendo vir a contaminar mananciais de águas subterrâneas.

Os micronutrientes e os metais pesados estão, normalmente, em baixas concentrações no esgoto doméstico, sendo assim, os teores destes no solo pouco se alteram com a fertirrigação. A preocupação que se tem em relação aos metais pesados decorre do risco de sua bioacumulação, já que, quando presentes em altos teores, podem ser tóxicos ao sistema solo/planta, fauna e, principalmente, ao ser humano (ADRIANO, 2001).

No solo, os metais pesados apresentam duas frações: disponível e indisponível. As frações disponíveis são aquelas que estão adsorvidas fracamente, por forças eletrostáticas, na superfície dos minerais, as frações indisponíveis são aquelas adsorvidas por meio de ligações químicas de alta energia ou na forma de complexos (MATOS, 2015).

A matéria orgânica do solo é capaz de complexar metais pesados, deixando-os indisponíveis no meio. Com a aplicação de esgoto doméstico não tratados, por longos períodos de tempo em solo, verificou-se o aumento no teor de carbono orgânico dissolvido (COD) e diminuição na solubilidade de metais, os autores ressaltam também que outras práticas agrícolas podem ser usadas para aumentar o teor de matéria orgânica, aumentando assim, o tempo de uso dessas áreas (SIEBE; FISCHER, 1996).

3.4 Métodos utilizados na aplicação de esgoto doméstico no solo

Normalmente, a escolha do método de irrigação é baseada nas condições de abastecimento de água, do clima, do solo, das culturas a serem cultivadas e principalmente do custo e da capacidade operacional do produtor. No que se refere ao aproveitamento agrícola de esgoto doméstico, são as restrições que impõem o método utilizado para sua aplicação no solo, devendo se levar em consideração todas as medidas de proteção à saúde pública, sem contaminação do produto, do produtor e do meio ambiente. Além disso, ainda poderá haver repulsa pelo produto agrícola colhido e dificuldades na sua aceitação pelo consumidor (PESCOD, 1992; SANTOS, 2008).

Azevedo e Saad (2005), ao avaliarem os métodos de aplicação (microaspersão, gotejamento e sulcos) de esgoto doméstico tratado em sistemas alagados construídos (SACs), no que se refere à contaminação e produtividade da alface, obtiveram resultados que demonstraram a inviabilidade da sua aplicação via microaspersão, por problemas sanitários.

A inviabilidade da aplicação por microaspersão e aspersão convencional se justifica pelo contato direto do esgoto doméstico com a parte aérea da planta, proporcionando riscos de contaminação do produto, bem como pelo aumento nos riscos de contaminação do operador e de comunidades próximas, pela disseminação de aerossóis contaminados (PESCOD, 1992).

Na Tabela 1 está apresentada uma análise dos fatores envolvidos em uma adequada fertirrigação com esgoto doméstico, considerando-se os métodos de aplicação por sulcos, aspersão e gotejamento.

TABELA 1 - Principais características dos métodos de aplicação de efluente doméstico em áreas de cultivo agrícola.

Critérios avaliados	Sulcos	Aspersão	Gotejamento
Molhamento foliar	Nenhum	Alto	Nenhum
Eficiência em manter o potencial hídrico	Razoável. Depende do manejo	Alta	Alta
Aptidão para lidar com águas residuárias salobras	Aceitáveis	Ruim	Excelente
Problemas com entupimento	Nenhum	Alto	Muito Alto
Risco de contaminação do produto	Baixo	Alto	Baixo
Risco de contaminação do operador	Baixo	Alto	Baixo
Custo	Baixo	Alto	Muito Alto

Fonte: Kandiah, 1990; Pescod, 1992; Bernardo *et al.*, 2008

Peres (2004), ao fertirrigar meloeiro com esgoto doméstico tratado em leitos filtrantes (com solo arenoso e casca de arroz) cultivadas e não cultivadas, verificou que os métodos de aplicação localizada, por gotejamento e superficial (por sulcos) não proporcionaram contaminação do produto, quando o sistema de aplicação do esgoto foi manejado de forma correta, o que, segundo o autor, coloca esses métodos como adequados na aplicação de esgoto doméstico em cultivos agrícolas.

O método de aplicação por gotejamento, quando se utiliza cobertura do solo por lonas ou os gotejadores sejam enterrados, proporciona o uso mais eficiente do efluente doméstico, aumentando o rendimento produtivo e, certamente, oferecerá maior proteção à saúde dos operadores e consumidores. Contudo, esse sistema é de custo elevado, além de exigir melhor qualidade do efluente, para que não proporcione entupimento dos emissores (PESCOD, 1992). O entupimento dos aspersores estão relacionados aos aspectos físicos, químicos e biológicos da água residuária, sendo o último, gerado pela formação de biofilme, com o aumento das quantidades de mucilagem bacteriana e algas, considerado com alto potencial de obstrução, o que normalmente acontece com a utilização de esgoto doméstico (BATISTA *et al.*, 2014).

Considerando-se os riscos de entupimento de emissores na aplicação por gotejamento, e os riscos de dispersão de maus odores e patógenos, na aplicação por aspersão. Logo, o método de aplicação por sulcos apresenta-se como um dos mais adequados para a aplicação de esgoto doméstico em áreas agrícolas. Além dessas vantagens, pode ser citado o seu custo inferior, se comparado aos outros métodos de aplicação.

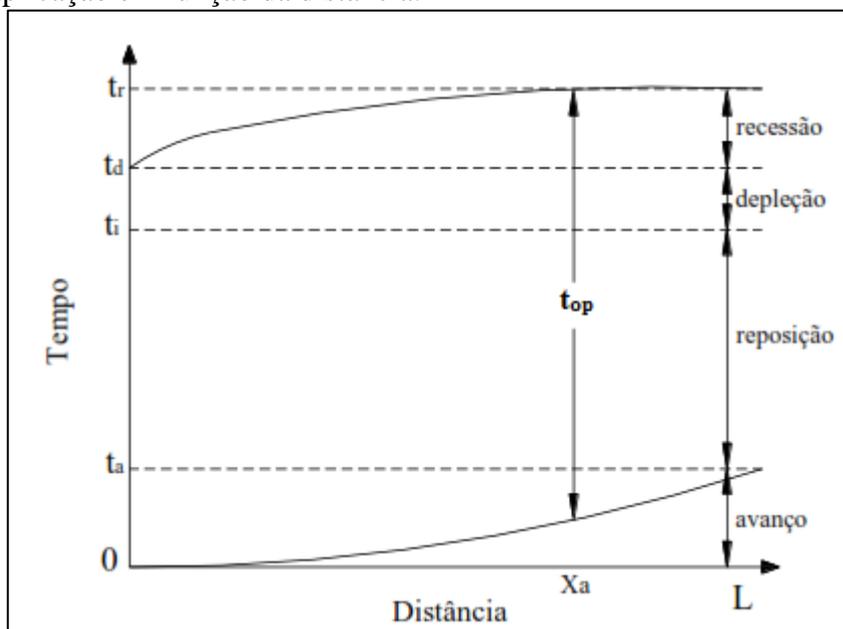
3.5 Método de aplicação por sulcos

A irrigação por superfície foi o primeiro método utilizado no mundo, para aplicação de água em culturas agrícolas, em virtude da falta de tecnologia alternativa na época (BERNARDO *et al.*, 2008). Exemplo disso é que cerca de 6.000 anos atrás, na Mesopotâmia, já se empregava esse método de irrigação de forma arcaica, em áreas de produção agrícola (KANG, 1972).

A aplicação de água residuária, quando efetuada por sulcos, traz uma perspectiva diferente, pois proporciona menor homogeneidade na distribuição da água na área, e a distribuição acontece na horizontal e na vertical (BERNARDO *et al.*, 2008). A irrigação por superfície pode ser dividida em quatro fases distintas: avanço, reposição, depleção e recessão, sendo a

diferença entre o tempo de avanço e de recessão denominado de tempo oportunidade (t_{op}) (FIGURA 1).

FIGURA 1 - Representação de um evento completo de irrigação por sulcos, em um gráfico de tempo de aplicação em função da distância.



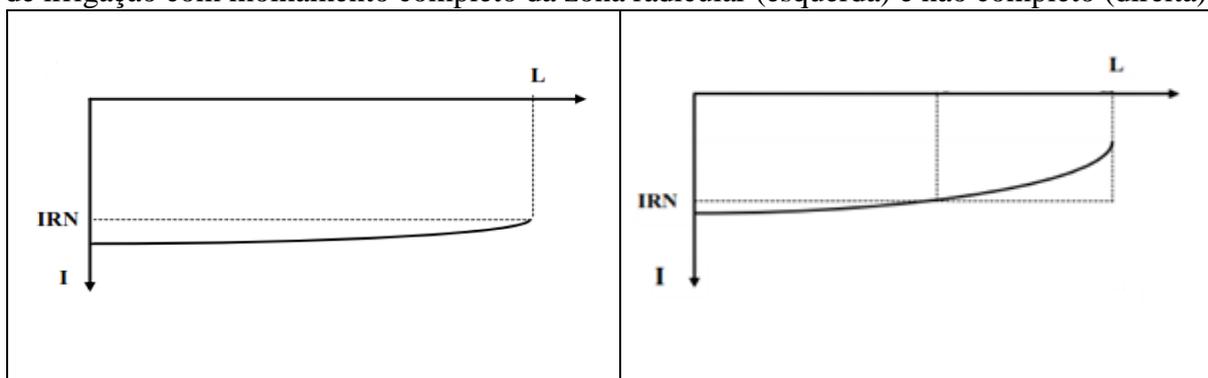
Em que: t_a - tempo de avanço; t_i - instante no qual é cessada a aplicação, no início do sulco; t_d - tempo de depleção; e t_r - tempo de recessão. Fonte: (BERNARDO *et al.*, 2008).

Na aplicação em sulcos, a região inicial irá receber maior quantidade de água do que seu final, em virtude do maior tempo de oportunidade para sua infiltração/percolação, até que a água atinja o final do sulco, esse fato se agrava caso o solo seja mais permeável (BERNARDO *et al.*, 2008).

A uniformidade na distribuição de água nos sulcos depende do entendimento adequado do sistema e da vontade de se efetuarem mudanças. A textura do solo, a inclinação, as condições superficiais e os comprimento dos sulcos são variáveis a serem avaliadas.

Considera-se que uma irrigação eficiente será obtida quanto houver molhamento de toda a camada de solo relativa à zona radicular da cultura, com aplicação de água da forma mais uniforme possível, minimizando-se sua perda por percolação (BERNARDO *et al.*, 2008) conforme apresentado na Figura 2. Embora alguns autores defendam a ideia da não necessidade do molhamento completo da zona radicular, a fim de se reduzirem as perdas de água (USDA; NIFA, 2011).

FIGURA 2 - Perfil de infiltração da água ao longo do comprimento do sulco, em condições de irrigação com molhamento completo da zona radicular (esquerda) e não completo (direita).



Em que: IRN - irrigação real necessária; I - infiltração da água, e L - comprimento do sulco. Fonte: (BERNARDO *et al.*, 2008).

Estudos mais aprofundados vêm sendo realizados a respeito da uniformidade do perfil molhado e o movimento vertical/horizontal de nutrientes/poluentes, em sulcos. Estes estudos apresentam grande importância prática, uma vez que os fatores estudados são responsáveis pelo sucesso da produção e pela segurança ambiental associada ao processo.

Modelos desenvolvidos para descrição do movimento de água e solutos em irrigação por sulcos foram avaliados por Abbasi *et al.* (2004). Os autores demonstraram por meio de simulação que o início do sulco foi o local com maior profundidade molhada e onde houve maior concentração de solutos. Além disso, verificaram que o fundo dos sulcos foi o local onde o acúmulo dos solutos foi maior, comparativamente às laterais e o topo do camalhão.

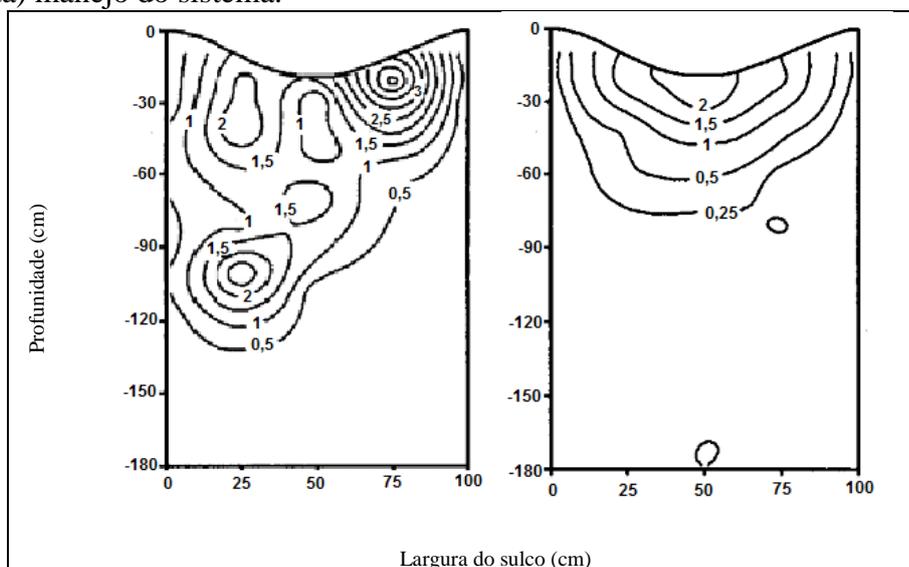
O nitrogênio na sua forma nítrica, em virtude de sua alta mobilidade, se tornou a grande preocupação no que se refere à fertirrigação em sulcos. Ebrahimian *et al.* (2013) verificaram ao aplicarem a dose de 200 kg ha^{-1} de N na cultura do milho, sendo 90% dessa dose aplicada em três parcelas, por fertirrigação convencional (fertilizantes químicos solubilizados em água), que os teores de nitrato no início foram superiores aos quantificados ao final dos sulcos. Os teores variaram de 100 a 300 mg cm^{-3} , após dois dias da aplicação, ressaltando a diferença no tempo oportunidade. Os autores relataram que a fertirrigação após o estabelecimento da cultura pode ser uma estratégia viável pra reduzir as perdas de nitrogênio, pois as plantas aumentam significativamente as necessidades nutricionais deste elemento, confirmado também por Jaynes *et al.* (1992).

Nesse contexto, Pletsch (2012) estudou a aplicação de esgoto doméstico tratado por sulcos, e verificou que essa forma de aplicação proporcionou diferenças na produtividade agrícola ao longo da linha de escoamento da água residuária, fato diretamente associado à distribuição

dos nutrientes nela contida. Assim, embora o método de aplicação por sulcos tenha se mostrado adequado, em decorrência do lançamento do esgoto doméstico ocorrer sempre na mesma posição e sentido, proporciona-se a aplicação de maior quantidade de nutrientes e, conseqüentemente, obtém-se maior desenvolvimento das plantas nos locais mais próximos ao do início dos sulcos de fertirrigação. Sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento de novas formas operacionais do sistema de aplicação da águas residuárias via sulcos.

Em estudos realizados em sulcos fechados por Abbasi *et al.* (2003), foram analisadas a altura da lâmina de aplicação de água com os tempos de aplicação, na distribuição de água e teor de soluto verticalmente, simulando uma fertirrigação. Os resultados indicaram correlação positiva entre a quantidade de solutos infiltrados e a altura de lâmina de água superficial aplicada, sendo que a mais homogênea distribuição da água foi obtida com a aplicação de uma lâmina maior com um menor tempo de aplicação, embora essa forma de manejo do sistema proporcione maior perda de solutos, por percolação (FIGURA 3).

FIGURA 3 - Croquis dos perfis de distribuição da água em situações de mau (esquerda) e bom (direita) manejo do sistema.



Fonte: Abbasi *et al.* (2003)

Segundo Abbasi *et al.* (2003), a não percolação de solutos proporcionada pela menor lâmina aplicada está pautada no menor volume infiltrado/percolado e pela diferença de potencial gerado no topo do solo quando a água superficial evapora.

Outras estratégias vêm sendo utilizadas para melhorar a distribuição de água no solo, entre estas, a alternância nos sulcos irrigados, ou seja, a aplicação ocorre em alguns sulcos e em outros não a cada turno de rega. Este tipo de estratégia vêm sendo usado principalmente em

regiões áridas, pois, mantém a zona radicular parcialmente molhada, causando pequeno estresse hídrico nas plantas, estimulando o fechamento dos estômatos e o crescimento de raízes na zona superficial do solo, sem refletir na produtividade da cultura. Os benefícios estão na economia de água, com sua melhor distribuição na área, resultante da redistribuição proporcionada pela diferença de potencial dos sulcos laterais que não foram irrigados (SKINNER *et al.*, 1998; KANG *et al.*, 2000; KANG; ZHANG, 2004). No caso de fertirrigação, essa estratégia propicia redução nas perdas de nutrientes/poluentes.

A utilização do esgoto doméstico em altas doses, ou para suprir toda a demanda hídrica das culturas agrícolas, poderá causar perdas de água em sistemas nos quais as aplicações são feitas por sulcos, ao passo que, isso também proporciona perdas de nutrientes/poluentes, principalmente dos mais móveis (N, K e Na). Blum *et al.* (2013), estudando o lixiviado da aplicação da aplicação de esgoto doméstico tratado, coletado em drenos posicionados a 1m de profundidade, no atendimento de 100 e 150% das necessidades hídricas das plantas, encontraram que a quantidade de N lixiviado foi 249 e 374 kg ha⁻¹, respectivamente. Isso ressalta a importância de se definir a lâmina de esgoto doméstico a ser aplicada com base nos nutrientes e poluentes para o solo e não aos aspecto secundário, que representa o fornecimento de água.

Diante do exposto, com a realização deste trabalho foram propostos o estudo e a avaliação de manejo alternativo da fertirrigação com esgoto doméstico, quando aplicado por sulcos, a fim de se proporcionar redução da distribuição irregular dos nutrientes ao longo da área, e conseqüentemente, maiores produtividades das culturas.

4 JUSTIFICATIVA

Considerando-se a necessidade do desenvolvimento tecnológico na engenharia de aplicação de águas residuárias no solo, trabalhos que elucidem formas de aplicação e que possibilitem se obter distribuição mais homogênea dos nutrientes no solo, sem contudo, causarem impactos ambientais perceptíveis, são urgentes e essenciais para viabilizar a alternativa de tratamento/disposição final dessas águas residuárias, com fins de seu aproveitamento agrícola.

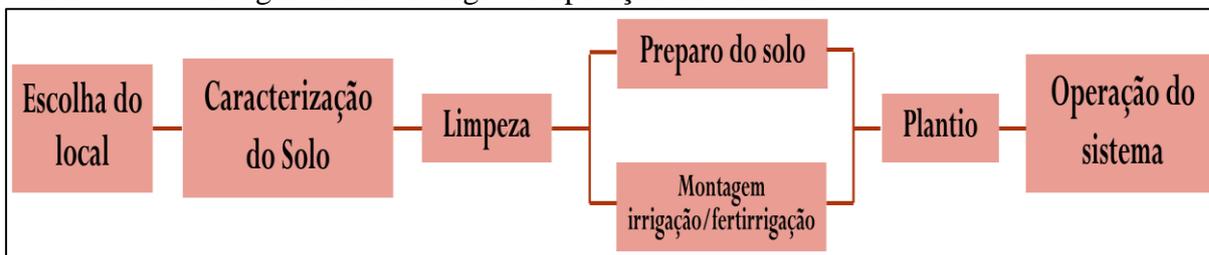
Ponto relevante desta proposta está na alteração operacional ou de manejo do sistema convencional de aplicação por sulcos do efluente doméstico, no intuito de propiciar a referida melhoria na distribuição de nutrientes no solo, o que deverá proporcionar maior produtividade agrícola, com redução nos riscos de poluição ambiental pontual, manejo ainda não estudado na literatura.

Outro ponto relevante deste trabalho está no monitoramento da distribuição dos nutrientes no solo submetido à fertirrigação por sulcos, de acordo com a operação do sistema proposto.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender os objetivos desta pesquisa, seguiu-se o fluxograma apresentado na Figura 4, no qual detalhou-se a implantação até a rotina de operação do sistema.

FIGURA 4 - Fluxograma de montagem e operação do sistema.

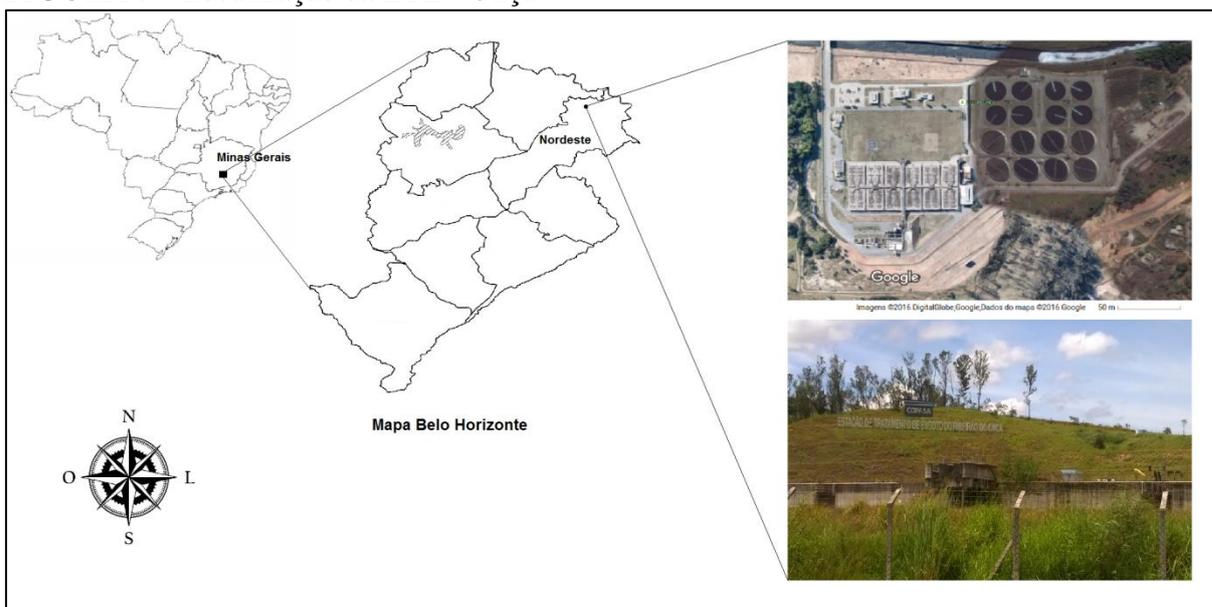


Nos subitens 5.1 ao 5.4 estão descritos o material e métodos utilizados até o momento do plantio, nos subitens seguintes relatam-se as ações que foram realizadas para operar o sistema e obtenção dos dados.

5.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em área disponibilizada na Estação de Tratamento de Esgoto da COPASA (ETE - Onça, FIGURA 5), localizada junto ao Ribeirão do Onça, no município de Santa Luzia - MG, próximo a Belo Horizonte - MG, Brasil, nas coordenadas geográficas 19°49'20,6" Sul e 43°53'46,6" Oeste.

FIGURA 5 - Localização da ETE - Onça.



Fonte: Google maps e próprio autor.

5.2 Caracterização inicial do solo

Antes do início do experimento, foi feita a caracterização física, química e físico-hídrica de amostras de solo coletadas nas profundidades de 0 - 20, 20 - 40 e 40 - 60 cm, no local onde foi instalado o experimento (TABELA 2). As análises químicas do solo consistiram em medição do potencial hidrogeniônico (pH) e quantificação dos teores de matéria orgânica (MO) e nitrogênio total (NT); trocáveis ou disponíveis de fósforo (P_{disp}), potássio (K_{disp}), sódio (Na_{disp}), cálcio (Ca_{disp}), magnésio (Mg_{disp}), Zinco (Zn_{disp}), Cobre (Cu_{disp}) e alumínio (Al_{troc}); capacidade de troca de cátions efetiva e potencial (CTC_{ef} , CTC_{pot}), acidez potencial do solo, porcentagem de saturação por bases e razão de adsorção de sódio (RAS), utilizando-se os métodos descritos pela Embrapa (1999) e por Matos (2012). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Rotina do Departamento de Solos - UFV.

TABELA 2 - Caracterização química, física e físico-hídrica inicial nas diferentes profundidades do solo.

Variável		Profundidade (cm)		
		0 - 20	20 - 40	40 - 60
pH		7,0	7,3	7,4
CE	$\mu S\ cm^{-1}$	93	106	92
MO	$dag\ kg^{-1}$	0,63	0,38	0,38
N_{Total}	$mg\ kg^{-1}$	480	360	360
P_{Disp}		2,6	4	5,7
K_{Disp}	$mg\ dm^{-3}$	54	63	67
Ca_{Disp}		1.575	1.872	1.979
Mg_{Disp}		253	252	245
Al_{Troc}		1	1	1
H+Al	$mmol_c\ dm^{-3}$	7,5	3	3
CTC_{Ef}		102	116	121
CTC_{Pot}		109	118	123
V	%	93	97	98
m		1	1	1
ρ_s	$g\ cm^{-3}$	1,26	-	-
U	$kg\ kg^{-1}$	0,187 ¹	0,167 ²	0,075 ³
G	% areia	46	-	-
	% silte	37	-	-
	% argila	17	-	-

Em que: CE - condutividade elétrica medida na suspensão solo:água 1:2,5; H+Al - acidez potencial; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio; ρ_s - massa específica global do solo; U - teor de água no solo; ^{1,2,3}Valores de U quantificados sob tensão de 0,1, 0,3 e 15 bar para camada de 0 - 20 cm, respectivamente.

As análises físicas contemplaram a análise de massa específica global do solo (ρ_s), análise granulométrica (G - argila, areia e silte), utilizando-se os métodos descritos pela Embrapa (1999) e por Matos (2012), além de medição da condutividade elétrica (CE) na suspensão (relação solo:água de 1:2,5). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola - UFV.

A caracterização físico-hídrica do solo consistiu na quantificação do teor de água na capacidade de campo (U_{cc}), quantificada após ser submetida às tensões de 0,1 e 0,3 bar, e no ponto de murcha permanente (U_{pmp}), quantificada após ser submetida à tensão de 15 bar, utilizando-se os métodos descritos pela Embrapa (1999). Os valores de U_{cc} (0,1 bar) e U_{pmp} (15 bar) foram utilizados como base para cálculo da lâmina de aplicação de água no solo (BERNARDO *et al.*, 2008) como complemento ou, quando fosse o caso, para atendimento completo das necessidades hídricas das plantas. Estas análises foram realizadas no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola - UFV.

Para entender a gênese e a morfologia do solo estudado, abriu-se uma trincheira para a observação dos horizontes pedogenéticos, como pode ser observado na Figura 6. A caracterização visual indica, numa análise preliminar, se tratar de um solo desestruturado, do ponto de vista morfológico, uma vez que não continha consistência de cor em profundidade, com camadas pouco definidas, dentre as quais, a camada orgânica é praticamente inexistente (EMBRAPA, 2006). Verifica-se que se trata de material de aterro, de baixa qualidade, em termos estruturais, constituído por material fino misturado a rochas de granulometria grosseira, aparentemente calcárias e formadas por depósito de material removido de outras áreas. Em vista dessas características do perfil do solo, não se encontra classificação própria, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), podendo-se dizer que se aproxima das características de um Regossolo típico.

FIGURA 6 - Vista do perfil do solo, com destaque à ausência de horizontes após diagnóstico.



Posteriormente ao início dos trabalhos, foi confirmado, por meio de investigações, que a área foi originada de um aterramento efetuado para construção de um desvio no ribeirão do Onça. Tal fato justificou a presença de grande quantidade de rochas de tamanho grosseiro encontradas no solo, o que foi verificado durante o processo de preparação da área experimental (FIGURA 7).

FIGURA 7 - Imagens da área e das rochas retiradas do local durante a preparação da área experimental.

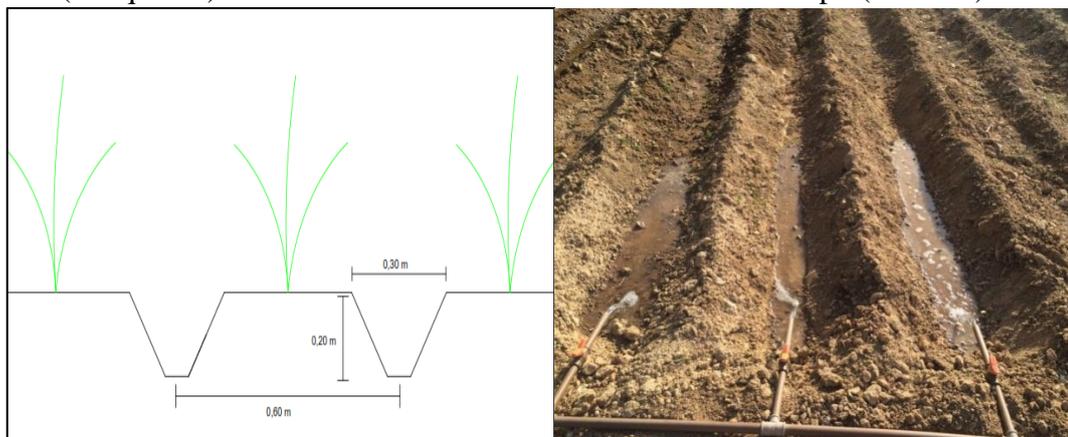


5.3 Aspectos relativos ao preparo da área para fertirrigação com aplicação por sulcos

A fertirrigação com o efluente do esgoto doméstico submetido ao tratamento preliminar (EDP) na área de cultivo do capim-elefante foi efetuada por meio do método superficial, mais precisamente por sulcos. Para isso, o terreno foi previamente sistematizado, ou seja, com base em levantamento topográfico do local, tendo a superfície plainada (BERNARDO *et al.*, 2008).

Os sulcos foram construídos após a sistematização da área com formato trapezoidal, tendo profundidade de 0,20 m, largura de 0,30 m e espaçamento entre sulcos de 0,60 m (Figura 8). A fim de proporcionar a inversão no sentido do escoamento do EDP, condição operacional objeto de investigação nesta pesquisa, os sulcos foram construídos sem declividade de fundo, ou seja, em nível.

Figura 8 - Croqui detalhando as dimensões, posicionamento das plantas e espaçamento entre os sulcos (à esquerda) e foto dos sulcos do sistema instalado em campo (à direita).



5.4 Plantio, adubação e tratos culturais

Seguindo-se as instruções estabelecidas em Embrapa (2015), o plantio de capim-elefante foi efetuado por meio de mudas, conforme mostrado na Figura 9, optando-se por efetuar o plantio no espaçamento de 0,6 m entre linhas. Desta forma, foi construído um sulco entre cada linha de cultivo.

Cada parcela experimental foi constituída por três sulcos fechados e fundo nivelado e quatro linhas de cultivo, sendo os sulcos e as plantas laterais consideradas bordaduras. Os sulcos

foram construídos com 40 m de extensão, o que proporcionou uma área de cultivo total de 72 m² por parcela experimental, conforme apresentado na Figura 10.

FIGURA 9 - Imagens das mudas sendo plantadas na área experimental.

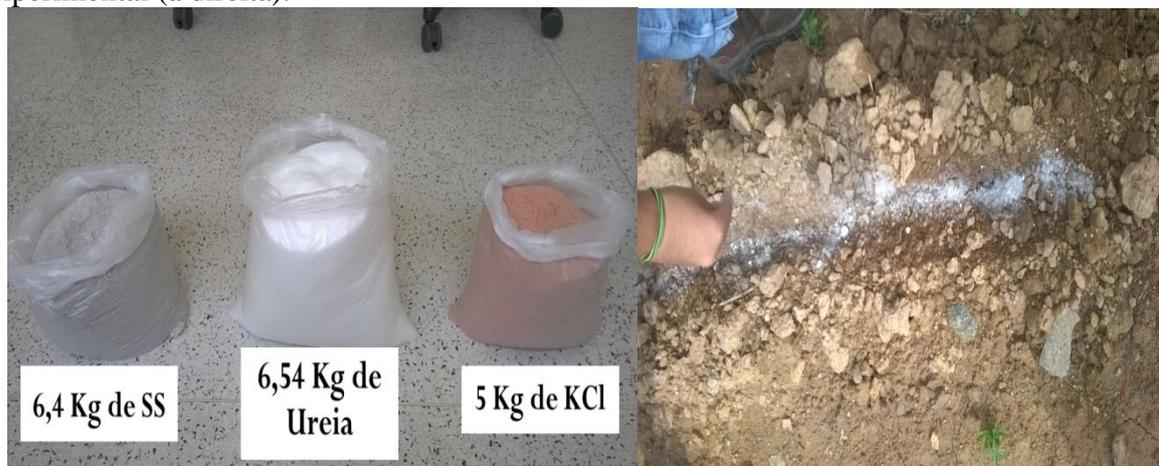


FIGURA 10 - Croqui de posicionamento das plantas e dos sulcos de irrigação/fertirrigação na parcela experimental (à esquerda) e aplicação do efluente preliminar de esgoto doméstico (à direita).



A adubação do solo das parcelas foi feita via fertilização convencional e a fertirrigação. Para adubação química convencional do capim-elefante até o atual momento, foram aplicadas doses de 80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, 150 kg ha⁻¹ de N e de K₂O, utilizando-se os fertilizantes comerciais superfosfato (SS) simples, ureia e cloreto de potássio, respectivamente (FIGURA 11).

FIGURA 11 - Imagem dos adubos químicos comerciais (à esquerda), utilizados na fertilização convencional do capim, e detalhe da sua aplicação manual no solo na área experimental (à direita).



A adubação nitrogenada e potássica nas parcelas experimentais não fertirrigadas com EDP está sendo aplicada na forma parcelada, em doses de 50 kg ha^{-1} , efetuadas após cada corte da parte aérea das plantas, de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO *et al.*, 1999). Ressalta-se que, nas parcelas fertirrigadas com EDP, o mesmo manejo da adubação não foi implantado, tendo em vista que a única fonte de nutrientes para as plantas foi a aplicação frequente da referida água residuária. Nesse caso, conforme será detalhado posteriormente, os referenciais na aplicação de nutrientes serão outros.

O controle de plantas daninhas nas parcelas experimentais foi feito manualmente, com o auxílio de enxada.

5.5 Caracterização do efluente do tratamento preliminar

A água residuária utilizada no experimento foi constituída pelo esgoto bruto submetido apenas a um gradeamento (EDP), com malha de uma polegada, cuja caracterização, em termos de seus atributos físicos e químicos estão apresentados na Tabela 3.

As análises químicas do EDP contemplaram as medições do potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), concentração de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe).

TABELA 3 - Médias e medianas das concentrações do esgoto doméstico do tratamento preliminar.

Variável	Média	Mediana	
pH	7,7	7,7	
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1523	1543
ST	998	992	
SFT	544	542	
SVT	454	453	
DBO	433	435	
DQO	760	718	
NTK	136,7	128,6	
P	19,9	19,2	
K	40,6	43,0	
Na	79,5	83,7	
Al	4,2	2,98	
Mn	1,1	0,14	
Fe	3,3	3,5	
Zn	0,35	0,28	
Ca	21,3	20,92	
Mg	6,4	5,9	
Cu	< 0,05	< 0,05	

As análises físicas do esgoto consistiram na medição da condutividade elétrica (CE) e quantificação dos sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT) e sólidos voláteis totais (SVT).

Determinou-se as concentrações de Ca, Mg, Al, Mn, Cu, Zn e Fe, por espectrofotometria de absorção atômica; N, pelo método titulométrico; Na e K, por cromatografia iônica; o P e DQO, pelo método colorimétrico; a DBO₅, pelo método oximétrico; ST, SFT e SVT, pelo método gravimétrico.

Os métodos utilizados nas análises estão apresentados no *Standard methods for the examination for water and wastewater* (APHA, 2005) e em Matos (2015). Todas as análises foram realizadas no Laboratório Físico-Químico do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG e no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Engenharia Química - UFMG.

5.6 Tratamentos

Para atendimento dos objetivos específicos deste experimento, os tratamentos foram, assim, estabelecidos:

- Adubação convencional (utilizando adubos químicos comerciais) do capim-elefante, efetuada após cada corte na parte aérea das plantas, sem alternância no sentido do escoamento da água aplicada nos sulcos (TAS);
- Adubação convencional do capim-elefante, efetuada após cada corte na parte aérea das plantas, com alternância no sentido do escoamento da água aplicada nos sulcos (TAC);
- Fertirrigação do capim-elefante, efetuada semanalmente, sem alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos (TFS);
- Fertirrigação do capim-elefante, efetuada semanalmente, com alternância no sentido do escoamento do EDP aplicado nos sulcos (TFC).

Em todos os tratamentos, o solo das parcelas experimentais foi irrigado com água da rede de distribuição da ETE-Onça, conforme será mais detalhado posteriormente no item 5.8, entretanto, as parcelas submetidas aos tratamento de fertirrigação com EDP, houve apenas complementação da lâmina já aplicada via esgoto doméstico.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 4 tratamentos (TAS, TAC, TFS e TFC) 7 repetições.

5.7 Manejo da fertirrigação

Em função da caracterização do EDP, calculou-se a lâmina a ser aplicada na cultura do capim-elefante, a qual ficou estabelecida pela aplicação de $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Na, tal como sugerido por Matos e Matos (2017), para que esse elemento químico não seja aplicado em excesso no solo.

Tanto a adubação química convencional (AQC) da cultura como a efetuada via aplicação da lâmina de EDP, foi subdividida temporalmente. As aplicações de AQC foram efetuadas aos 30 dias após o plantio e subsequentemente à cada corte, e a lâmina de EDP está sendo aplicada semanalmente, seguindo-se o mesmo turno de rega de irrigação estabelecido para os tratamentos que receberam água da rede de abastecimento e que foi calculado de acordo com Bernardo *et al.* (2008) no próximo tópico.

5.8 Manejo do sistema de irrigação complementar

Considerando-se que a lâmina de EDP aplicada não foi suficiente para atendimento das necessidades hídricas das plantas, foi feita a irrigação complementar, nas parcelas experimentais receptoras de EDP, e total, naquelas não receptoras desta água residuária, com água da rede de abastecimento da ETE Onça.

O manejo da irrigação foi baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) (Equação 5.1), calculada conforme apresentado por Doorenbos e Pruitt (1977), utilizando-se a evapotranspiração de referência (ETo), sendo essa estimada pelo método de Thornthwaite (1948), disponibilizado pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para um período histórico de 12 anos (2003 - 2015); Utilizando-se um coeficiente de cultura único (Kc igual a 1), que levou em consideração a cultura instalada e o valor médio para seus estágios de desenvolvimento (DOORENBONS; KASSAM, 1994).

$$ETc = ETo * Kc \quad (5.1)$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura (mm d⁻¹);

ETo - Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

Kc - Coeficiente da cultura (adimensional).

A irrigação real necessária (IRN), em milímetros, foi calculada utilizando-se a equação apresentada a seguir:

$$IRN = \left((U_{cc} - U_{pmp}) * \frac{\rho_s}{\rho_w} * Z * f \right) - PR - EDP \quad (5.2)$$

Em que:

U_{cc} - conteúdo de água na capacidade de campo (g g⁻¹);

U_{pmp} - conteúdo de água no ponto de murcha permanente (g g⁻¹);

ρ_s - massa específica do solo (g cm⁻³);

ρ_w - massa específica da água (g cm⁻³);

Z - profundidade do sistema radicular (mm);

f - fator de disponibilidade hídrica (%);

PR - lâmina de precipitação no período (mm);

EDP - lâmina aplicada de EDP (mm), termo a ser desconsiderado no cálculo da água da rede de distribuição de ETE, a ser aplicada nas parcelas não receptoras do EDP.

Os dados de precipitação foram adquiridos junto ao CMAR (Centro de Monitoramento e Alerta de Risco), em Estação Fluviométrica e Pluviométrica instalada próxima à área experimental, no qual são medidos os níveis de água no ribeirão Onça e a precipitação local (FIGURA 12).

FIGURA 12 - Estação Fluviométrica e Pluviométrica, próxima à área experimental.



A quantidade total de água a ser aplicada em irrigação (ITN), em milímetros, depende da eficiência da aplicação (E_a) que, para sulcos, está na faixa de 40 a 60%, conforme descrito na Equação 5.3:

$$ITN = \frac{IRN}{E_a} \quad (5.3)$$

Neste trabalho, foi considerada E_a de 0,5. Os tempos de irrigação (T_i) e o turno de rega (TR) são calculados utilizando-se as Equações 5.4 e 5.5:

$$T_i = \frac{ITN * A}{Q * 1000} \quad (5.4)$$

$$TR = \frac{IRN}{ET_c} \quad (5.5)$$

Em que:

T_i - expresso em horas;

TR - expresso em dias;

A - área da parcela experimental (m^2);

Q - vazão ($m^3 h^{-1}$);

ET_c - evapotranspiração da cultura ($mm d^{-1}$).

Para facilitar a operação do sistema como já dito anteriormente, optou-se por trabalhar com um turno de rega de 7 dias, ou seja, a irrigação e a fertirrigação foram aplicadas semanalmente. A irrigação total necessária (ITN) semanal, a temperatura média, a umidade relativa e precipitação para cada mês, estão apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 - Temperatura média mensal, umidade relativa média mensal, precipitação acumulada mensal e irrigação total necessária em cada semana de cultivo do capim-elefante.

Mês	T _{média} (°C)	UR _{média} (%)	P (mm)	ITN _{semanal} (mm)
junho	18	59	0	29
julho	20	53	0	28
agosto	21	49	9	33
setembro	23	49	56	42
outubro	24	53	31	48
novembro	22	63	248	48
dezembro	23	63	304	52

5.9 Avaliação da produtividade da cultura e características químicas do solo

A produtividade de matéria seca (MS) e matéria fresca (MF) da parte aérea do capim-elefante foi quantificada com a coleta de material vegetal aos 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 m de comprimento do sulco, para avaliação do efeito da posição em relação ao início dos sulcos. As amostragens e os cortes foram realizados com o auxílio de foice e facão, sendo a área utilizada para análise da produtividade, delimitada por um quadrado amostral de 1,0 m x 0,6 m. No período analisado, o capim-elefante recebeu 3 cortes, sendo o primeiro realizado com o intuito de proporcionar uniformização da área, não tendo sido quantificada a produtividade do referido capim.

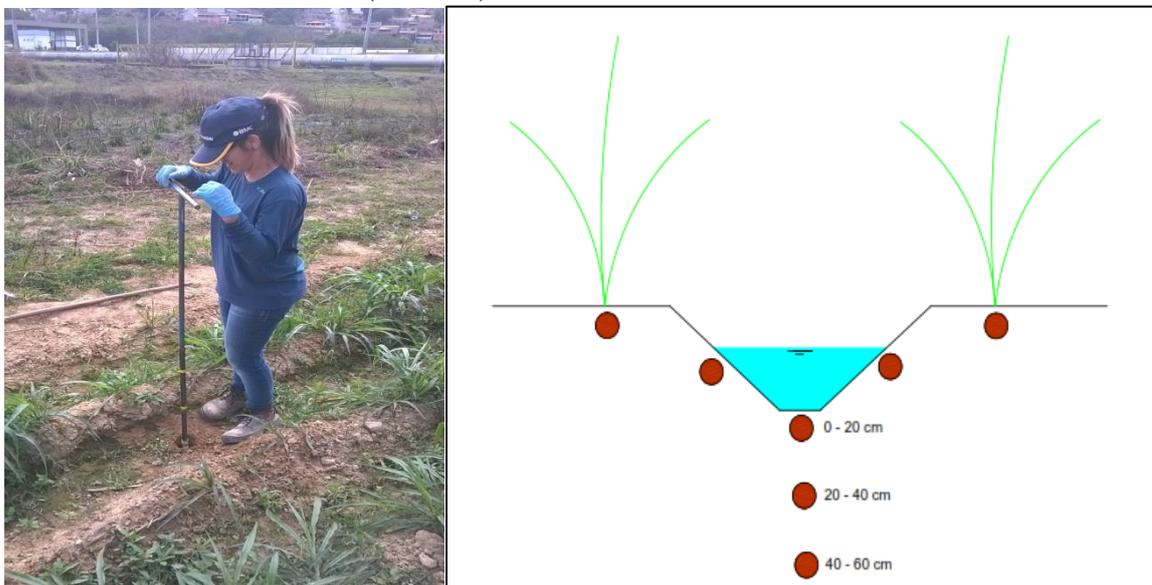
A avaliação das características químicas do solo foi feita seguindo-se os mesmos atributos químicos descritos no subitem 5.2, sendo as análises realizadas no Laboratório de Solos do IFNMG - Campus Januária.

Determinaram-se os teores de Fe, Zn, Cu, Mn, Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica; K e Na, por fotometria de chama; P e MO, pelo método colorimétrico (DONAGEMA *et al.*, 2011; MATOS, 2012). Os extratores utilizados foram os recomendados pela Embrapa (1999), apresentados em Matos (2012).

A coleta de solo foi realizada com auxílio de um trado holandês, em 7 diferentes posições (5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 m) do comprimento de cada sulco, na profundidade de 0 - 20 cm, de modo que abrangesse os topos, as laterais, e o fundo dos sulcos (FIGURA 12), sendo que, no fundo do sulco, foram realizadas coletas nas profundidades de 20 - 40 e de 40 - 60 cm, a fim de se avaliar possível lixiviação de nutrientes no perfil do solo. No período de cultivo

monitorado do capim, foram realizadas duas coletas de solo, a primeira efetuada na 10ª e a segunda na 26ª semana após o início da aplicação de EDP na área.

FIGURA 13 - Imagens da coleta de amostras de solo (à esquerda) e detalhe da distribuição dos locais de coletas no sulco (à direita).



5.10 Histórico das atividades desenvolvidas na área

Na Tabela 5, está apresentado um resumo das atividades desenvolvidas na área após o plantio, marcadas temporalmente, para auxiliar no entendimento dos resultados obtidos na área experimental.

TABELA 5 - Histórico das atividades desenvolvidas na área experimental.

Data	Atividade
10/06/2016	Plantio do capim
10/06/2016	Adubação fosfatada do capim-elefante
21/07/2016	Limpeza da área (capina)
22/07/2016	Replantio das mudas de capim-elefante
24/08/2016	1ª Coleta de amostras solo
29/08/2016	1ª Adubação nitrogenada e potássica
31/10/2016	1º Corte para homogeneização do cultivo
31/10/2016	Limpeza da área (capina)
02/11/2016	2ª Adubação nitrogenada e potássica
15/12/2016	2º Corte com análise de produtividade do capim-elefante
18/12/2016	2ª Coleta de amostras solo

5.11 Tratamento estatístico dos dados

A análise estatística dos dados de produtividade de matéria seca da parte aérea das plantas e do teor de macro e micronutrientes/poluentes no solo foi feita utilizando-se o teste de Normalidade (Shapiro Wilk W Test), seguido da comparação das tendências centrais, sendo significativo o efeito dos tratamentos quando efetuados os testes de médias (t de *Student*), com significância de 5%, para os seguintes casos:

- Análise aos pares, ou seja, TAS x TFS e TAC x TFC, a fim de se avaliar a influência do tipo de adubação (AQC ou EDP) nos teores de macro e micronutrientes/poluentes;
- Análise aos pares, ou seja, TFS x TFC, a fim de se avaliar a influência da forma de manejo, com aplicação de EDP sempre no mesmo sentido de escoamento ou com alternância dessa prática, nos teores de macro e micronutrientes/poluentes no início e final de sulcos;
- Análise aos pares, a fim de se avaliar a influência do tipo de adubação (AQC ou EDP) na produtividade em MS e MF do início e final dos sulcos;
- Análise aos pares, a fim de se comparar a produtividade do segundo e do terceiro corte para todos os tratamentos.

Sendo significativo o efeito dos tratamentos quando efetuados testes de médias (*Tukey*), com significância de 5%, para os seguintes casos:

- Análise do efeito de cada tratamento que recebeu EDP nos teores de macro e micronutrientes/poluentes ao longo da profundidade do solo.
- Análise do efeito de cada tratamento na produtividade do capim-elefante em MF e MS.

5.12 Metodologia utilizada para análise da economia de água e financeira no cultivo do capim-elefante

Para estimar os custos de cultivo do capim-elefante, por unidade de área, foi considerado o cultivo em condições normais, em condições plenas de áreas da produção desse capim. Os dados obtidos neste experimento foram considerados parcialmente, tendo em vista que o fato

do período de cultivo ter sido muito curto e contemplar a fase inicial de estabelecimento da cultura, não representa condições normais de cultivo.

Assim, os dados apresentados a seguir são referentes a 6 cortes da parte aérea do capim, efetuados a cada 30 dias de cultivo e 24 semanas de aplicação de EDP, período compreendido entre o plantio e o segundo corte da forrageira, iniciado em junho (inverno) e terminado em dezembro (verão). Foram utilizados dois tratamentos, apenas, o que recebeu AQC e 100% da irrigação demandada (T1) e o que recebeu a fertirrigação via EDP com complemento das necessidades hídricas com irrigação (T2).

Para avaliação dos ganhos financeiros com a aplicação da fertirrigação com o EDP no cultivo do capim-elefante, calcularam-se as doses aportadas ao solo (Equação 5.6) dos principais nutrientes necessários para o desenvolvimento do capim-elefante (N, P e K), que foram convertidos para N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, para facilitar a comparação com valores apresentados na literatura. Estes resultados foram comparados com as recomendações de doses da AQC.

$$D_f = \left(\sum_1^n \frac{C * V}{A} \right) * \left(\frac{MM_m}{MM_{eq}} \right) \quad (5.6)$$

Em que:

D_f - dose aportada do elemento químico ao solo, via fertirrigação (kg ha⁻¹);

C - concentração do nutriente em questão (kg m⁻³);

V - volume aplicado semanalmente (m³);

A - área receptora (ha);

n - número de semanas de aplicação (adimensional);

MM_m - massa molar da molécula (g);

MM_{eq} - massa molar do elemento químico (g).

A economia de água no período de cultivo foi calculada em percentagem, como sendo a parcela do volume de irrigação total necessária para o desenvolvimento da cultura, subtraída a precipitação em todo período amostrado, e o que foi aplicado via EDP. A quantidade de água economizada foi convertida para valores em dólares (US\$), de acordo com a tarifa cobrada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH -Velhas, DN nº 3/2009), para captação de águas superficiais.

O cálculo do custo para cada adubo químico (N, P e K) está apresentado na Equação 5.7 e a economia de adubo químico com a utilização da fertirrigação utilizando-se o EDP, na

Equação 5.8. O custo de adubação foi baseado em valores levantados por pesquisa no comércio de atacado. Todos os valores utilizados neste trabalho, foram convertidos para dólar e reajustados para sua cotação no mês de janeiro de 2017.

$$C_{aq} = \frac{V_{aq} * D_{aq}}{C_{AQC}} \quad (5.7)$$

$$E_f = \frac{C_{aq} * D_f}{D_{aq}} \quad (5.8)$$

Em que:

C_{aq} - custo da adubação química de um hectare para cultivo do capim-elefante (US\$ ha⁻¹);

V_{aq} - valor financeiro do adubo químico, por unidade de massa (US\$ kg⁻¹);

D_{aq} - dose do nutriente utilizada na área de cultivo (kg ha⁻¹);

C_{AQC} - constituição centesimal do adubo químico (adimensional);

E_f - economia na adubação, por hectare, em razão da fertirrigação via EDP (US\$ ha⁻¹).

Foram estimados os custos de produção em função do custo com arrendamento da área, fertilizantes, mecanização e mão-de-obra, com base em referenciais obtidos em Alves Filho *et al.* (2003), Neumann *et al.* (2005) e Bernardo *et al.* (2008). Também foi estimado o custo de irrigação, sendo para isso, utilizada a Equação 5.9, adaptada da proposta de Soares *et al.* (2002).

$$CI = C_{im} + C_{apli} + C_m + (C_{ag} * ITN) \quad (5.9)$$

Em que:

CI - custo da irrigação (US\$ ha⁻¹);

C_{im} - custo de implantação (US\$ ha⁻¹);

C_{apli} - custo de aplicação (US\$ ha⁻¹);

C_m - custo de manutenção (US\$ ha⁻¹);

C_{ag} - custo da água (US\$ mm⁻¹ ha⁻¹); e

ITN - irrigação total necessária de T1 e T2 (mm).

Para o C_{im} , foi considerado que a sistematização do solo foi a mínima possível e utilizaria o mesmo sistema de irrigação para fertirrigação. O C_{apli} foi considerado a mão-de-obra utilizada para aplicação da lâmina requerida durante o ciclo estudado. O C_m foi considerado o equivalente a 3% do C_{im} , como sugerido por Leitch (1983) *apud* Soares *et al.* (2003). O C_{ag} foi calculado de acordo com a tarifa cobrada pelo Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH -Velhas, DN nº 3/2009).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas e físicas do EDP e do solo foram subdivididos em 2 etapas, sendo que, na primeira etapa do trabalho foi feita uma avaliação dos tratamentos até o momento da primeira coleta de amostras de solo na área experimental, efetuada após 10 semanas do início de aplicação do EDP; na segunda etapa foi feita uma avaliação nas alterações ocorridas por mais 16 semanas de aplicação do EDP, ou seja, até a segunda coleta de amostras de solo com 26 semanas de aplicação do EDP.

Os resultados de produtividade se referem ao segundo e terceiro corte da forrageira, pois o primeiro corte, conforme já informado, serviu apenas para homogeneizar a altura das plantas na área, uma vez que estas apresentam velocidades de crescimento inicial diferenciadas.

6.1 *Análise do Esgoto Doméstico Submetido ao Tratamento Preliminar*

A fertirrigação com EDP na área, considerando-se as 26 semanas de cultivo, ficou na ordem de 215 mm, valor correspondente à aplicação de $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Na. Torna-se importante ressaltar que este valor de lâmina aplicada seria facilmente superado na fertirrigação com esgoto doméstico, caso as concentrações de Na fossem menores, o que acontece em ETE que recebem o esgoto por meio de adutoras abertas, pois aumenta-se seu fator de diluição.

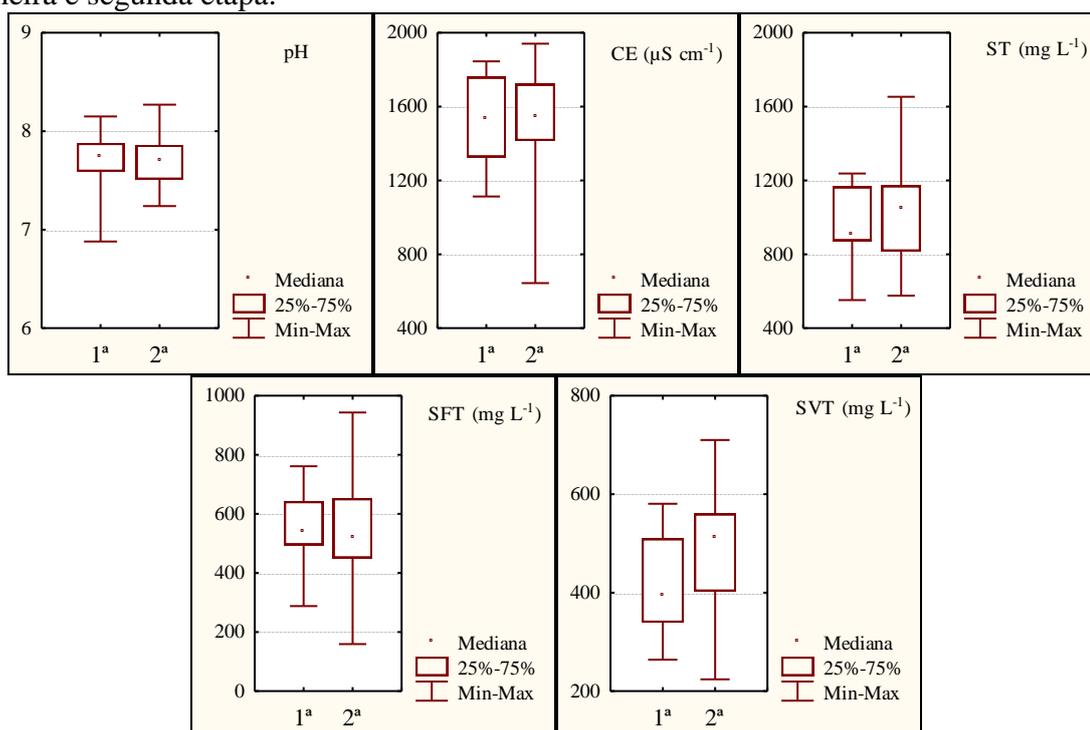
Para melhor entendimento das alterações químicas ocorridas no solo, o EDP aplicado foi caracterizado semanalmente, sendo estes resultados apresentados em tabelas e gráficos *box-whisker* (TABELAS 6, 7 e 8; FIGURAS 13, 14 e 15).

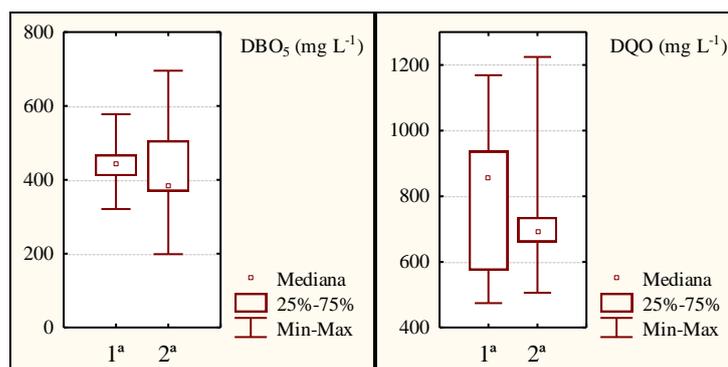
O pH do esgoto doméstico, normalmente, não possui grandes variações, estando este próximo da neutralidade. Neste trabalho, o pH do EDP utilizado teve baixa variação ao longo do tempo, permanecendo entre 7 e 8 (média de 7,7), conforme pode ser observado na Figura 14 e Tabela 6, sendo estes valores típicos para esgoto doméstico, segundo von Sperling (2014). Ao contrário do pH, a CE apresentou maior variação ao longo do tempo, uma vez que a quantidade de íons em solução está diretamente ligada à quantidade de sólidos dissolvidos, e estes variam muito a depender do período amostrado, do fator de diluição, do horário da coleta, entre outros fatores (METCALF & EDDY, 2003). A CE variou de 600 a $2.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (FIGURA 14), sendo os valores médios similares entre as duas etapas consideradas e a média total de $1.523 \mu\text{S cm}^{-1}$ (TABELA 6).

TABELA 6 - Concentrações médias e doses aplicadas (quando cabível) de pH, CE, ST, SFT, SVT, DBO₅ e DQO na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.

Variável	Unidade	1ª Etapa	2ª Etapa	Total
pH		7,7	7,7	7,7
CE	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1.547	1.506	1.523
ST	mg L^{-1}	957	1.028	998
	kg ha^{-1}	854	1.352	2.206
SFT	mg L^{-1}	539	548	544
	kg ha^{-1}	480	721	1.201
SVT	mg L^{-1}	418	481	454
	kg ha^{-1}	374	631	1.005
DBO ₅	mg L^{-1}	442	426	433
	kg ha^{-1}	398	560	958
DQO	mg L^{-1}	786	713	743
	kg ha^{-1}	697	902	1.599

FIGURA 14 - Gráficos *box-whisker* apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações de pH, CE, DBO₅, DQO e sólidos do EDP na primeira e segunda etapa.





A quantidade de sólidos voláteis (SV) presente em águas residuárias pode ser entendida como uma estimativa, ainda que grosseira, do conteúdo orgânico (MATOS, 2014). Sendo assim, quanto maior a concentração de SV, melhor será a água residuária para fins agrícolas. A concentração de ST foi em média 998 mg L⁻¹, perfazendo uma carga aplicada de 2.206 kg ha⁻¹. Desse valor, 46% são relativos aos sólidos voláteis totais, para as 26 semanas de aplicação do EDP. Estes valores foram menores do que os reportados por von Sperling (2014), 1.100 mg L⁻¹ de ST, dos quais, cerca de 56% estão na forma de SV.

As concentrações médias de DBO₅ e DQO foram similares nas duas etapas consideradas, com média total de 433 e 743 mg L⁻¹, respectivamente. A relação DQO/DBO₅ indica a biodegradabilidade da matéria orgânica do esgoto doméstico e, quanto menor essa relação maior será degradabilidade proporcionada pelos micro-organismos, o que pode ser, também, considerado indicativo de qualidade, quando utilizado para fins agrícolas (MATOS, 2014). A relação DQO/DBO₅ foi 1,7, ou seja, 58% da DQO está na forma de DBO₅, valor considerado de alta biodegradabilidade, sendo indicado para tratamentos biológicos, segundo von Sperling (2014).

Na Tabela 7 estão apresentadas as concentrações e cargas aplicadas de macronutrientes e Na, onde, de maneira geral, a variação entre as etapas foi baixa. Verifica-se que o elemento químico referencial Na apresentou concentração média total de 79,5 mg L⁻¹ no EDP, o que, considerando-se a dose previamente estabelecida de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, proporcionou a aplicação de uma dose de 173 kg ha⁻¹ de Na no solo, em 26 semanas de cultivo do capim-elefante. No que se refere ao esgoto doméstico, concentrações de Na maiores que as obtidas neste trabalho (121 mg L⁻¹) foram encontradas por Leal *et al.* (2009), em efluente oriundo de um sistema de tratamento de esgoto doméstico composto por lagoas anaeróbias seguidos de lagoas facultativas. Esses autores, no intento de suprir 100% da demanda hídrica da cana-de-

açúcar, aplicaram uma dose total de 3.056 kg ha⁻¹ de Na, valor incompatível para que a prática da fertirrigação seja conduzida com mínimo impacto para o solo e/ou águas subterrâneas.

As concentrações de N e P no EDP foram, em média, 137 e 19,9 mg L⁻¹ (TABELA 7), respectivamente, valores acima dos citados por von Sperling (2014) para esgoto doméstico bruto. Essa alta concentração, pode ser justificada pelo fato do esgoto chegar à área experimental por meio de rede condutora de esgoto fechada, nas quais é menor a entrada de água pluvial.

TABELA 7 - Concentrações médias e doses aplicadas, de Na e macronutrientes (NTK, P, K, Ca e Mg), ao solo via EDP na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.

Variável	Unidade	1ª Etapa	2ª Etapa	Total
Na	mg L ⁻¹	77,8	80,6	79,5
	kg ha ⁻¹	71,0	102	173
NT	mg L ⁻¹	143	132	137
	kg ha ⁻¹	129	167	296
P	mg L ⁻¹	19,4	20,2	19,9
	kg ha ⁻¹	17,5	26,1	43,6
K	mg L ⁻¹	43,2	38,8	40,6
	kg ha ⁻¹	39,0	48,8	87,8
Ca	mg L ⁻¹	18,4	23,3	21,3
	kg ha ⁻¹	15,6	33,7	49,3
Mg	mg L ⁻¹	6,5	6,3	6,4
	kg ha ⁻¹	5,8	9,1	14,9

Sabe-se que a concentração de N e P pode ser consideravelmente reduzida em esgotos tratados, tendo em vista que parte importante dos nutrientes em solução são incorporados ao lodo formado e retido no sistema e, no caso específico do N, ocorrem perdas consideráveis via processos de desnitrificação. Segundo Thapliyal *et al.* (2011), em sistemas alagados construídos (*wetlands* construídos), a remoção de N pode chegar a 40% e de P a 30%. Khila *et al.* (2014), analisando um sistema de tratamento de esgoto para fertirrigação, demonstraram que a concentração de N que passa por lagoas facultativas e de maturação, diminui de 9,19 para 2,35 mg L⁻¹ e, quando submetido em sequência ao tratamento em sistema alagado construído, ocorreu ainda a redução de mais 25% nessa concentração. Com isso, fica claro que, quando o esgoto doméstico é tratado, perde-se em sua qualidade para uso agrícola, pois ocorre diminuição na quantidade de nutrientes essenciais (N e P, principalmente) fornecidos às plantas.

Se consideradas as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO *et al.*, 1999), estabelecida com base na adubação após ser realizado cada corte da parte aérea do capim-elefante, a dose de N aplicada nas parcelas submetidas aos tratamentos controle (adubação convencional - AQC) foi de 100 kg ha⁻¹, tendo em vista que, pelos motivos já expostos, foram efetuados apenas dois cortes da parte aérea das plantas e a recomendação é de 50 kg ha⁻¹ corte⁻¹. Essa dose foi superada nas parcelas fertirrigadas com EDP (TABELA 7), no entanto, se a adubação tivesse ocorrido em condições normais de crescimento das plantas, esta dose poderia ser de até 800 kg ha⁻¹ ano⁻¹, ou de 400 kg ha⁻¹, nas 26 semanas de cultivo, neste experimento (MATOS e MATOS, 2017).

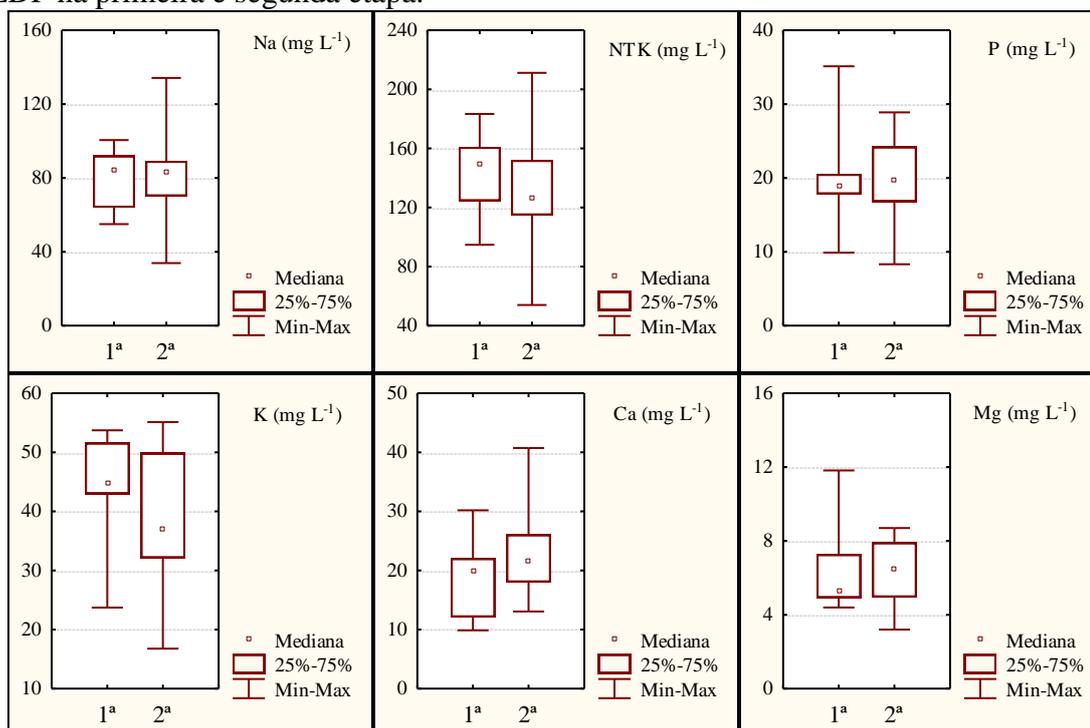
A concentração de P no EDP foi maior que a reportada por Fonseca *et al.* (2005) para esgoto doméstico tratado em lagoas anaeróbias, seguidas de lagoas facultativas e de estabilização, que foi de 8,4 mg L⁻¹ (TABELA 7).

A concentração de K no EDP foi maior do que a encontrada por Abdel-Aziz (2015), em Gyza, no Egito, que foi de 22 mg L⁻¹, mas menor do que a reportada por Thapliyal *et al.* (2011), que obtiveram, em Delhi, na Índia, a concentração de 158 mg L⁻¹, no primeiro caso, para esgoto doméstico com tratamento secundário e, no segundo, para esgoto doméstico bruto (TABELA 7).

As concentrações de Ca no EDP apresentaram leve aumento e as de Mg leve redução, da primeira para a segunda etapas de avaliação, sendo as concentrações médias de 21,3 e 6,4 mg L⁻¹, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos reportados por Kumwimba *et al.* (2017), que foram de 90,4 e 14,9 mg L⁻¹, respectivamente dos mesmos nutrientes referidos, em esgoto doméstico do tratamento preliminar da cidade de Sichuan, na China.

Na Figura 15 estão apresentados os gráficos *box-whisker* de concentração de macronutrientes e Na, nos quais pode ser observado que a concentrações desses elementos químicos no EDP aplicado apresentaram reduzida amplitude entre quartis, ou seja, baixo coeficiente de variação entre as etapas, à exceção da de K, que apresentou a maior variação, com uma redução aparente no valor da mediana da primeira para a segunda etapa.

FIGURA 15 - Gráficos *box-whisker* apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações de Na e dos macronutrientes (NTK, P, K, Ca e Mg) do EDP na primeira e segunda etapa.



A menor variação na concentração dos nutrientes pode ser considerada positiva no caso de aproveitamento agrícola de águas residuárias, tendo em vista que proporcionará melhor distribuição na área de cultivo.

As concentrações de micronutrientes no EDP (TABELA 8; FIGURA 16) estão relativamente baixas, esperando-se o mesmo no que se refere aos teores no solo, contudo, a presença desses no sistema solo-planta é essencial, podendo sua falta resultar em baixas produtividades das culturas agrícolas.

As concentrações de Cu no EDP ficaram abaixo do limite de detecção do método (< 0,05 mg L⁻¹), por essa razão, deve ser apresentado como elemento-traço. Os valores encontrados neste trabalho foram inferiores aos reportados Thapliyal *et al.* (2011), em esgoto doméstico bruto e tratado em sistemas alagados construídos, que foram de 0,28 e 0,23 mg L⁻¹, respectivamente. Os mesmos autores encontraram valores inferiores de Zn, 0,045 e 0,038 mg L⁻¹, respectivamente (TABELA 8).

As concentrações de Mn diminuíram da primeira para a segunda etapa, chegando a ficar abaixo do limite de detecção em algumas amostras, contudo, as concentrações de Fe e Al, se comportaram de forma contrária. As concentrações médias totais de Mn, Fe e Al, foram 1,1,

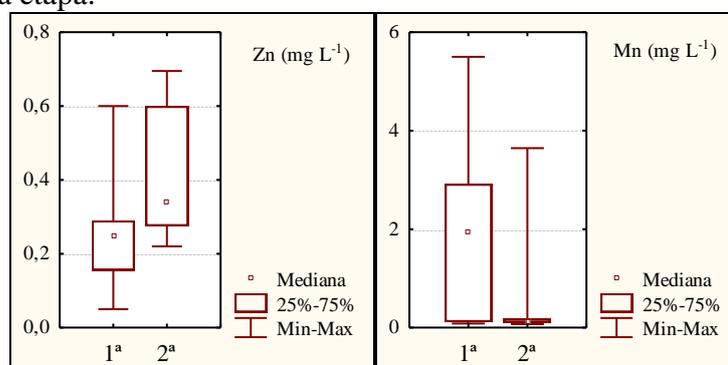
3,3 e 4,2 mg L⁻¹, respectivamente, sendo esses valores superiores aos detectados por Kumwimba *et al.* (2017), para efluente do tratamento preliminar de esgoto, 0,08, 0,064 e 0,055 mg L⁻¹, respectivamente (TABELA 8).

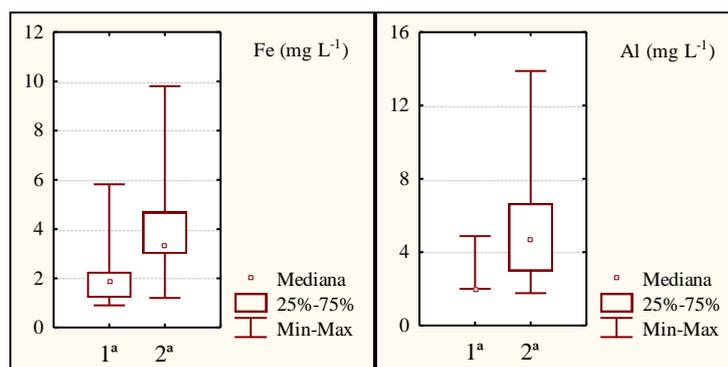
TABELA 8 - Concentrações médias e doses aplicadas de micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe e Al) ao solo, via EDP, na primeira e segunda etapa, e do tempo total de aplicação do EDP no solo.

Variável	Unidade	1ª Etapa	2ª Etapa	Total
Cu	mg L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	kg ha ⁻¹	-	-	-
Zn	mg L ⁻¹	0,3	0,4	0,4
	kg ha ⁻¹	0,2	0,6	0,8
Mn	mg L ⁻¹	1,8	0,6	1,1
	kg ha ⁻¹	1,7	0,8	2,5
Fe	mg L ⁻¹	2,4	4,0	3,3
	kg ha ⁻¹	2,0	5,8	7,8
Al	mg L ⁻¹	2,4	5,5	4,2
	kg ha ⁻¹	2,1	7,9	10,0

As concentrações de micronutrientes variaram de forma considerável entre a primeira e segunda etapas, como pode ser observado nos gráficos *box-whisker* (FIGURA 16); o Zn, Fe e Al aumentaram, tendo o Al apresentado concentração menor que o limite de detecção (< 2 mg L⁻¹), em quase todas as amostras da primeira etapa. O Mn apresentou comportamento contrário, apresentando baixas concentrações na maior parte das amostras coletadas na segunda etapa.

FIGURA 16 - Gráficos *box-whisker* apresentando as medianas, amplitude entre quartis, mínimos e máximos, das concentrações dos micronutrientes (Zn, Mn, Fe e Al) do EDP na primeira e segunda etapa.





6.2 Análises de Solo

Os resultados apresentados a seguir, referem-se as análises químicas e física (CE) de solo realizadas em amostras coletadas após 10 e 26 semanas do início de aplicação do EDP, na área experimental utilizada neste trabalho.

Na Tabela 9 está apresentado o teste de médias entre tratamentos da mesma forma de aplicação da água ou água e EDP, nos sulcos.

TABELA 9 - Teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P e K) e do Na, na camada de 0 - 20 cm do solo, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 10 semanas.

Tratamentos	NT	P	K	Na
	mg kg ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----		
TAS	282a	35,1b	63,4b	10,7a
TFS	324a	16,2a	41,9a	19,6b
TAC	313a	30,0a	53,3b	12,7a
TFC	289a	15,0a	38,1a	18,7b

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *student*, em nível de 5% de significância.

Não houve influência do tipo de adubo (AQC ou EDP) nos teores de NT do solo, o que evidenciou que a fertirrigação proporcionou efeito semelhante a AQC no sistema solo-planta avaliado. Entretanto, numa análise geral dos resultados indicam que houve pequena redução nos teores de NT, na camada 0 - 20 cm, tendo em vista que o teor inicial foi de 480 mg kg⁻¹ (TABELA 2). Acredita-se que essa diminuição esteja, principalmente, associada à imobilização pela microbiota e à remoção pelas plantas. O fato de não haver aumento nos teores de NT no solo pode ser tomado como um indicativo de que nem a AQC e nem o EDP foram aplicados em doses acima das demandadas pelo sistema.

Os teores de NT podem variar de 0,06 a 0,56 dag kg⁻¹, ou seja, de 600 a 5.600 mg kg⁻¹, na camada superficial de solos cultivados, podendo ser menor que 0,02 dag kg⁻¹ (200 mg kg⁻¹) no subsolo (MATOS, 2012). Sendo assim, os resultados apresentados indicam que, no solo estudado, os teores de NT estão baixos e que a dose aplicada de AQC e EDP estão proporcionando o ideal em termos de disponibilidade para plantas, sem que cause excesso desse nutriente no solo.

O TAS proporcionou maior acúmulo de P disponível no solo que o TFS, o que pode estar associado à forma em que se encontrava o P na adubação aplicada. O P de AQC é totalmente solúvel e, portanto, totalmente disponíveis, ao contrário do P do EDP que, estando predominantemente na forma orgânica demandará da mineralização do material orgânico para ficar disponível nesse meio. Numa avaliação geral dos teores proporcionados por todos os tratamentos, fica clara a afirmação de que o P da AQC está mais prontamente disponível que o P do EDP.

Os teores disponíveis de P no solo, da camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais que receberam AQC, podem ser classificados como “muito boa” fertilidade, entretanto, os teores apresentados no solo das parcelas que receberam EDP, foram classificadas como “média” fertilidade, segundo a interpretação dos resultados de análises de solo, apresentada em Ribeiro *et al.* (1999). Esta diferença, também foi apresentada no que se referem aos teores de K, no solo dos tratamentos que receberam AQC, os quais foram classificados como de fertilidade “média” e as parcelas que receberam EDP, classificados como de “baixa” fertilidade. Estando esses valores abaixo das faixas consideradas como de "alta" fertilidade, entende-se que o aporte de nutrientes ainda não foi suficiente para ocorrerem sobras no sistema, ou que esteja havendo aplicação excessiva desses nutrientes no solo.

Os teores disponíveis de P, obtidos neste trabalho, foram de 16,2 e 15,0 mg dm⁻³ (TABELA 9), enquanto Duarte *et al.* (2008), na fertirrigação com esgoto doméstico tratado por diferentes métodos, aplicado com o intuito de suprir 100% da demanda hídrica da cultura do pimentão, encontraram teores na faixa de 150 a 230 mg dm⁻³, demonstrando o equívoco do estabelecimento de lâminas de aplicação de EDP baseadas na demanda hídrica e não no elemento químico referencial nele contido.

Embora os teores K no solo tenham sido afetado pelo tratamentos, avaliados aos pares, apresentaram-se valores similares aos quantificados antes do início do experimento, que era

de cerca de 54 mg dm^{-3} (TABELA 2). Da mesma forma como ocorreu com o P, os tratamentos com AQC proporcionaram maiores teores disponíveis de K que as parcelas que receberam EDP. No entanto, nesse caso, a explicação não pode ser a mesma, tendo em vista que o K contido no EDP pode ser considerado prontamente disponível, uma vez que não está associado à matéria orgânica da água residuária ou resíduos sólido orgânico (MATOS, 2014). Mas está se explica pela carga recebida via EDP (TABELA 7), que foi menor que a aplicada via AQC.

Os teores médios de $41,9$ e $38,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de K disponível, proporcionados com a aplicação do EDP, são inferiores aos encontrados por Duarte *et al.* (2008), que foram de 840 a 1.080 mg dm^{-3} , na fertirrigação com esgoto doméstico para suprir 100% da demanda hídrica da cultura do pimentão.

Os teores disponíveis de K e P no solo foram maiores nos tratamentos que receberam AQC, indicando que, em curto prazo, as necessidades desses macronutrientes foram melhor atendidas nos tratamentos que receberam AQC, entretanto, acredita-se que o aporte continuado desses nutrientes via EDP ocasionará a extinção dessas diferenças.

Apesar da insuficiência, momentânea, na disponibilidade de N e P no solo receptor de EDP, a expectativa é de que haja contínuo aumento nesses teores, com o tempo de sua aplicação no solo da área experimental. Rusan *et al.* (2007), após um período de 10 anos na fertirrigação de culturas agrícolas utilizando esgoto doméstico, observaram aumento significativo no teor de N no solo, que passou de 600 para 900 mg dm^{-3} , e de P, que passou de 15 para 45 mg dm^{-3} , do 2º para o 10º ano de aplicação, respectivamente.

Os teores de NT, P e K, quantificados ao final do período de 10 semanas de cultivo na área, indicaram que a disponibilidade de nutrientes no solo não está sendo excessiva, fatos explicados anteriormente, ou seja, o referencial de 300 kg ha^{-1} de sódio está aparentemente, adequado.

A análise dos tratamentos, avaliados aos pares, possibilitou verificar que o teor de Na disponível no solo aumentou com a aplicação do EDP, comparativamente aos que receberam AQC, independente se havia ou não alternância no sentido de escoamento da água e da água e EDP nos sulcos. Isso já era esperado tendo em vista que a AQC não contempla a aplicação de Na, enquanto o esgoto doméstico, contrariamente ao que seria o ideal, apresenta concentrações relativamente altas desse elemento químico (TABELA 9). Sendo assim,

confirma-se a necessidade de preocupação com o acúmulo desse elemento químico no solo receptor de esgoto doméstico, tratado ou não. Leal *et al.* (2009), ao aplicarem esgoto doméstico tratado por lagoas anaeróbias seguido de lagoas facultativas, visando suprir a demanda hídrica da cana-de-açúcar, encontraram teores disponíveis na ordem de 108 mg dm^{-3} de Na no solo, valor maior que o encontrado neste experimento.

Os resultados obtidos em relação ao sódio disponível confirmam, mais uma vez, o acerto na sua utilização como elemento químico referencial na definição da dose de esgoto doméstico a ser aplicada ao solo, conforme ressaltado por Matos e Matos (2017).

Na Tabela 10 está apresentado o teste de médias para os teores de micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), da MO, além dos valores de CE e pH entre tratamentos da mesma forma de aplicação da água ou água e EDP, nos sulcos.

TABELA 10 - Teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), da MO, além de valores de CE e pH, na camada de 0 - 20 cm no solo das parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 10 semanas.

Tratamentos	Cu	Zn	Mn	Fe	MO	CE	pH
	----- mg dm ⁻³ -----				dag kg ⁻¹	μS cm ⁻¹	-
TAS	5,3a	6,4b	70,1b	332a	1,9a	53,7a	7,1a
TFS	4,9a	4,5a	46,7a	319a	2,2a	45,4a	7,4a
TAC	6,3a	5,8b	56,2a	303a	2,0a	45,1a	7,1a
TFC	4,8a	3,9a	111,7b	281a	1,9a	52,6a	7,3a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Dentre os micronutrientes analisados no solo, após 10 semanas de condução do experimento, o Zn e Mn foram os únicos micronutrientes que apresentaram teores significativamente diferentes, indicando que a AQC, à exceção no caso Mn na análise pareada de TAC x TFC, proporcionou maior disponibilidade de micronutrientes no solo. Os resultados encontrados não deixam de ser surpreendentes, tendo em vista que se houvesse alteração nesses teores, seria de se esperar que isso ocorresse nos tratamentos de aplicação do EDP. O EDP é um adubo mais completo, em termos de micronutrientes, apesar deles serem encontrados em baixas concentrações do que a AQC utilizada, que é potencial fornecedora apenas de N, P e K.

Numa análise geral dos resultados, os teores disponíveis encontrados de micronutrientes Cu, Zn, Mn e Fe não podem ser considerados baixos, o que se atribui às características químicas e

mineralógicas do material formador do solo (aterro com material calcário), sendo superiores, aos encontrados por Abdel-aziz (2015), ao aplicar esgoto doméstico submetido a tratamento secundário no cultivo do milho, que foi de cerca de 0,06, 0,68, 0,27 e 9,25 mg dm⁻³, respectivamente.

Torna-se importante ressaltar que os teores de micronutrientes pouco se alteraram com o tempo de aplicação (10 meses) de EDP, pois estes encontram-se em baixas concentrações nos esgotos domésticos. Rusan *et al.* (2007) também não observaram alterações nos teores disponíveis de Cu, Zn, Fe e Mn, na camada de 0 - 20 cm, em solo que recebeu esgoto doméstico submetido a tratamento secundário, por 10 anos de cultivo agrícola, salientando que o mesmo aconteceu em relação aos metais pesados cádmio (Cd) e chumbo (Pb).

Embora se considere que teores disponíveis sejam mais importantes que os totais, para análise de riscos ambientais, não se encontra na literatura referenciais limitantes ou de qualidade do solo no que se referem a metais pesados disponíveis. Assim, os valores quantificados neste experimento foram comparados aos apresentados por Ribeiro *et al.* (1999), que consideraram teores disponíveis associados a "alta" fertilidade para plantas, em mg dm⁻³, se maiores que 2,2, para Zn; 12, para Mn; 45, para Fe; e 1,8, para Cu. Esses valores foram superados por todos os micronutrientes analisados no solo deste experimento. Essa comparação não possibilita, no entanto, avaliar em termos ambientais se os teores estão altos ou não, apenas dá indicativos se os micronutrientes estão disponíveis em quantidades adequadas para as plantas.

Em relação à MO, espera-se que a AQC não proporcione aporte de MO ao meio, enquanto o EDP, sim. Entretanto, o aporte de EDP disposto no solo, considerando-se a baixa concentração de material orgânico que este efluente tem, aliado as pequenas lâminas aplicadas, não foram suficientes para alterar em curto prazo os teores de MO (TABELA 10). Perceptíveis alterações nos teores de MO em solos fertirrigados, caso essa aplicação seja feita de forma criteriosa, só devem ser perceptíveis após vários anos de aplicação contínua do EDP.

A CE também não foi influenciada pelos tratamentos, o que pode estar associado a chuvas torrenciais que antecedeu a coleta de amostras de solo, mas também à diminuição na disponibilidade de íons (nutrientes e não nutrientes) em solução, ou até mesmo a absorção pelas plantas, cujo crescimento foi estimulado na área.

O fato da CE não ter aumentado com a aplicação do EDP pode ser considerado mais um indicativo no acerto na definição da dose de EDP a ser aplicada com base no Na, conforme abordado anteriormente.

Os teores de MO obtidos no solo da camada 0 - 20 cm, coletados nas parcelas experimentais de todos os tratamentos, foram classificados como “baixa” fertilidade, segundo Ribeiro *et al.* (1999), sendo similar ao encontrado por Duarte *et al.* (2008), cerca de 1,6 dag kg⁻¹, ao aplicarem esgoto sanitário tratado (por filtração em areia) no solo.

A CE na suspensão do solo foi inferior à encontrada por Abdel-aziz (2015) que, na produção de milho fertirrigado com esgoto doméstico submetido a tratamento secundário e com água subterrâneas, encontraram valores de 420 e 360 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (relação solo:água de 1:1), respectivamente. Há de se considerar, no entanto, que neste trabalho, a suspensão foi preparada na proporção 1:2,5, o que proporciona diluição 2,5 vezes maior dos sais presentes no solo, concorrendo para que sejam obtidas medições de menores valores de CE.

O pH na camada de 0 - 20 cm do solo praticamente não se alterou desde o início até 10 semanas de aplicação de EDP nos tratamentos, os quais não proporcionaram diferenças detectáveis nessa variável (TABELA 10). A variação proporcionada pela aplicação de esgoto doméstico no pH do solo pode ser grande, sendo reportados em alguns casos a acidificação e em outros, a alcalinização do meio (BLUM *et al.*, 2012). Matos (2014) atribui essa dupla possibilidade ao tempo decorrido após a aplicação da matéria orgânica no solo, ocorrendo acidificação em aplicações recentes e alcalinização nas mais remotas.

Torna-se importante ressaltar que, da mesma forma como já discutido em relação ao NT e P, a tendência é de que ocorram pequenos aumentos no teor de MO e na CE com o tempo de aplicação do EDP, em razão da aplicação continuada de material orgânico e sais ao solo. A importância na utilização do Na como elemento químico referencial coloca limites no aumento indesejável da CE no solo, daí sua importância para a sustentabilidade da prática da fertirrigação com águas residuárias.

Como já discutido amplamente na literatura, cátions monovalentes, por não se associarem a material orgânico e terem fraca interação com os colóides do solo, ficam predominantemente na solução do solo, apresentando acentuada mobilidade, o mesmo acontece para nitrogênio em suas formas nítricas.

Diante disso, na Tabela 11 estão apresentados testes de médias dos teores de NT, Na e K ao longo da profundidade do solo (camada de 0 a 60 cm), cujos resultados possibilitam identificar possível lixiviação de nutrientes/poluentes abaixo da zona radicular das plantas, nos tratamentos em que foi aplicado o EDP.

TABELA 11 - Teores disponíveis médios de Na, NT e K, em diferentes camadas do solo submetidos à aplicação de EDP (TFS e TFC), num período cultivado de 10 semanas.

Profundidade (cm)	NT		Na		K	
	TFS	TFC	TFS	TFC	TFS	TFC
	---- mg kg ⁻¹ ----		----- mg dm ⁻³ -----			
0 - 20	324b	289b	19,6a	18,7a	41,9a	38,1a
20 - 40	210a	193a	19,7a	13,1a	38,3a	32,9a
40 - 60	249ab	233ab	16,4a	12,6a	46,4a	37,1a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente pelo teste *Tukey*, em nível de 5% de significância.

Pode-se observar que os teores de Na e K disponíveis não diferiram em profundidade, contudo, os teores de NT apresentaram diferenças, sendo a camada inicial (0 - 20 cm) do solo o local onde foi observado os maiores valores, embora não tenha sido diferente dos teores quantificados na camada 40 - 60 cm. O maior teor de NT nas camadas superficiais do solo, sob o ponto de vista ambiental, é importante, pois indica acumulação na zona radicular, onde fica passível de ser absorvido pelas plantas. A diferença do teor de NT na camada de 20 - 40 cm, pode estar associada a atividades das raízes que são normalmente mais ativas no ápice radicular, que se encontra nesta camada.

Torna-se importante ressaltar que os teores de NT estão abaixo do considerado normal para a camada superficial de um solo agrícola que, segundo Matos (2012) é de 600 mg kg⁻¹.

Na Tabela 12 estão apresentados testes de médias para comparação dos teores de nutrientes/poluentes disponíveis, de matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação (CE), em amostras coletadas na camada de 0 - 20 cm do solo, no início e no final dos sulcos, após 10 semanas de aplicação de EDP. O objetivo dessa análise foi avaliar se os teores dos nutrientes/poluentes e das demais variáveis são influenciados, no início e final dos sulcos, pela inversão sequencial no sentido de aplicação do EDP.

De maneira geral, nessa primeira análise do solo, efetuada com 10 semanas de aplicação dos tratamentos na área, não houve diferença significativa entre os teores disponíveis médios proporcionados pelos tratamentos de alternância ou não no sentido do escoamento de EDP, a

não ser no que se refere ao teor de Mn. No que se refere às diferenças nos teores disponíveis encontrados no solo do início e final dos sulcos, houve diferença apenas para os teores de Na e Mn e no valor de CE.

TABELA 12 - Teores médios de nutrientes/poluentes disponíveis, de matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação (CE), em amostras coletadas na camada de 0 - 20 cm do solo, no início e no final dos sulcos, após 10 semanas de aplicação de EDP, considerando-se a alternância ou não alternância no sentido dessa aplicação.

Tratamento	Posição no sulco			
	início	final	início	final
	Na (mg dm ⁻³)		NT (mg kg ⁻¹)	
TFS	12,6aA	26,2bA	316aA	323aA
TFC	8,7aA	31,1bA	287aA	283aA
	Posição no sulco			
	início	final	início	final
	K (mg dm ⁻³)		P (mg dm ⁻³)	
TFS	37,9aA	47,0aA	10,7aA	22,9aA
TFC	33,5aA	45,4aA	10,4aA	19,9aA
	Posição no sulco			
	início	final	início	final
	CE (µS cm ⁻¹)		MO (dag kg ⁻¹)	
TFS	38,6aA	53,6aA	2,1aA	2,3aA
TFC	26,6aA	84,9aB	1,9aA	2,6aA
	Posição no sulco			
	início	final	início	final
	Zn (mg dm ⁻³)		Mn (mg kg ⁻¹)	
TFS	4,9aA	4,4aA	58,6aA	36,7aA
TFC	4,4aA	3,8aA	155,0bB	91,2aA
	Posição no sulco			
	início	final	início	final
	Cu (mg dm ⁻³)		Fe (mg dm ⁻³)	
TFS	4,9aA	4,6aA	339aA	300aA
TFC	5,1aA	4,3aA	315aA	252aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na vertical, e mesma letra maiúscula, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

O teor de Na e o valor de CE no solo foram maiores nas amostras de solo coletadas na região próxima à do final dos sulcos que no seu início, fenômeno ocorrido nos dois tratamentos em que foi aplicado o EDP (TFS e TFC), no entanto, o maior teor encontrado no solo coletado na região final dos sulcos do TFC foi inesperado, tendo em vista que foi esse tratamento que proporcionou maior homogeneidade na distribuição desse poluente, aplicado via EDP, no solo. Entretanto, considerando-se que o semelhante resultado observado em relação à variável

CE, admite-se a suspeita que essas diferenças sejam decorrentes de maior concentração natural no solo da área. Há de se convir que, a heterogeneidade de material pode ser uma característica esperada em áreas de aterro.

Entende-se que esses tipos de diferenças não explicáveis possam ser amenizadas com o aumento no tempo de aplicação do EDP. Com isso, heterogeneidades pré-existentes e os efeitos dos tratamentos passarão a ser mais perceptíveis.

Embora não tenham sido verificadas diferenças nos teores dos nutrientes avaliados, a sua distribuição mais homogênea, proporcionada pelo TFC, ficará evidente quando forem apresentados os resultados de produtividade do capim-elefante, na área.

Com 26 semanas de aplicação de EDP, foi feita a segunda análise de solo, estando os resultados de teor de macronutrientes e de Na apresentados na Tabela 13, na qual é mostrado os testes de médias entre tratamentos de mesma forma de aplicação da água ou água e EDP, nos sulcos.

TABELA 13 - Teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P, K, Ca e Mg) e do Na, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.

Tratamentos	NT	Na	P	K	Ca	Mg
	mg kg ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----				
TAS	391a	11,6a	32,6b	40,5a	1611a	156a
TFS	392a	22,8b	15,5a	35,9a	2044b	156a
TAC	391a	12,3a	17,6a	36,7a	1714a	164a
TFC	383a	26,0b	16,0a	38,2a	1502a	146a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não são diferentes, estatisticamente, pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Os teores de NT, K e Mg, não foram influenciados pelo tipo de adubo utilizado, apesar de maior que os obtido aos 10 meses de aplicação no caso do NT (Tabela 13). O tipo de adubo influenciou, no entanto, os teores médios de Na, P e Ca disponíveis no solo. No que se refere ao Na, os teores disponíveis foram maiores nas parcelas que receberam EDP que nas de AQC, independente se com ou sem alternância no sentido de escoamento nos sulcos.

Os resultados obtidos nos teores de Na, confirmaram a preocupação que se deve ter em relação ao possível acúmulo deste elemento químico no solo, contudo, apresentam-se ainda inferiores aos reportados na literatura, principalmente naqueles experimentos em que se utilizaram o esgoto doméstico para suprir toda a demanda hídrica da cultura. Os teores

disponíveis de Na não chegaram a se equiparar ao reportado por Leal *et al.* (2009), que foi de 108 mg dm^{-3} , na aplicação de esgoto doméstico tratado para suprir a demanda hídrica da cana-de-açúcar.

O teor disponível de P nas amostras de solo coletadas nas parcelas submetidas à aplicação do TFS foi menor que o quantificado nas amostras coletadas nas parcelas submetidas ao TAS, entretanto estão similares aos obtidos na primeira coleta, indicando uma situação de pouco acúmulo no solo.

Os teores de NT apresentados na 26ª semana (TABELA 13) ainda foram inferiores aos reportados por Rusan *et al.* (2007), que foi de 900 mg kg^{-1} , em longo período (10 anos) de aplicação de esgoto doméstico no solo, mas superiores ao reportado por Thapliyal *et al.* (2011), cerca de 154 mg kg^{-1} , em solo receptor de esgoto bruto.

A dose aplicada até a 26ª semana de N, via EDP, foi 296 kg ha^{-1} , ao passo que, a dose aplicada por AQC foi de 100 kg ha^{-1} , quase três vezes maior, em razão dos diferentes manejos estabelecidos para a adubação na área. Sendo a aplicação de adubos químicos comerciais feita com base em doses estabelecidas para serem aplicadas a cada corte, essa ficou subestimada, considerando-se que foram efetuados apenas dois corte no período de 26 semanas (pouco mais de meio ano).

Ressalta-se que em condições normais e estabilizadas, de cultivo do capim-elefante, tais como as que se encontra no momento (terceiro corte), os cortes são mais frequentes e, conseqüentemente as adubações químicas também, e o resultado disso serão quantidades aplicadas de EDP e AQC mais equivalentes. A aparente superdosagem de N, proporcionada pela aplicação de EDP não é real, tendo em vista que recomenda-se a aplicação de até $800 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N (Matos e Matos, 2017) e, portanto, se for considerado meio ano de cultivo, os valores aplicados de N ainda se encontram consideravelmente abaixo do recomendado.

Os teores disponíveis de P foram maiores nas amostras de solo coletadas nas parcelas que receberam AQC (35 kg ha^{-1} de $\text{P-P}_2\text{O}_5$) que nas que receberam EDP ($43,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P), acredita-se que esta diferença esteja associada à já comentada pronta disponibilidade do P no adubo químico e não no EDP, tendo em vista que grande parte está ligada a cadeias orgânicas e que será disponibilizada apenas com a mineralização do solo.

Os teores apresentados de P, continuam apresentando “muito boa” fertilidade nas amostras de solo das parcelas experimentais submetidas ao TAS e “média” fertilidade, nas submetidas ao TAC, TFS e TFC, enquanto os teores de K apresentaram “média” fertilidade nas submetidas ao TAS, e “baixa” fertilidade nas submetidas ao TAC, TFS e TFC (RIBEIRO *et al.*, 1999). Como já discutido anteriormente, a permanência dos teores dentro da faixa de classificação são bons indicativos da qualidade do solo no processo.

Os valores elevados dos teores de Ca, acima de 1500 mg dm^{-3} , fazem referência à já comentada origem do solo da área experimental que, provavelmente, foi originado de rochas calcárias. Os teores apresentados de Ca foram similares ao da condição inicial do solo (TABELA 2), sendo justificada, pois a AQC não incluiu a adição de Ca e o EDP possui concentrações relativamente baixas desse nutriente, onde possível influência não seria esperada. Altos teores de Ca e Mg ocasionam a diminuição na RAS (razão de adsorção de sódio) e, como consequência proporcionam atenuação do efeito desestruturante do Na no solo (MATOS, 2012).

Blum *et al.* (2012) encontraram teores de Ca (cerca de 245 mg dm^{-3}) e de Mg (67 mg dm^{-3}) inferiores aos obtidos neste trabalho, quando aplicaram esgoto doméstico tratado em lagoas na fertirrigação da cana-de-açúcar, visando-se suprir 100% da sua demanda hídrica. Cabe ressaltar, que o solo utilizado por esses autores não é de origem calcária, como o utilizado neste trabalho, o que justifica estas diferenças.

Os teores disponíveis de Ca nas parcelas que receberam EDP, foram similares ao encontrados por Thapliyal *et al.* (2011), na aplicação de esgoto doméstico bruto em espécie arbórea, que foi de 1.499 mg dm^{-3} , com valores superiores de Mg, de 837 mg dm^{-3} , em um período de 6 meses de cultivo.

Na Tabela 14 estão apresentados os teores disponíveis de micronutrientes e valores de CE e pH, sendo apresentado os testes de médias avaliados entre tratamentos da mesma forma de aplicação da água ou água e EDP, nos sulcos. Verifica-se, no geral, nenhuma influência do tipo de adubo nos teores de micronutrientes, da MO e das variáveis CE e pH. Entretanto, em relação a alguns comportamentos de micronutrientes, tal como o dos teores de Zn, Mn, não se encontram justificativas plausíveis para explicá-los, à exceção ao Fe.

Os teores de Fe foram maiores nas parcelas que receberam EDP, tendo em vista o relativo alto aporte (3,3 mg L⁻¹, conforme Tabela 3) desse micronutriente ao solo, proporcionado pela fertirrigação com essa água residuária.

Os teores de MO não diferiram com o tipo de adubo, indicando que houve baixo incremento de MO proporcionado pelo EDP. A CE e o pH do solo, foram similares entre os tratamentos, assim, aparentemente a AQC e EDP estão proporcionando o mesmo efeito no solo.

TABELA 14 - Teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), MO, CE e pH em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.

Tratamentos	Cu	Zn	Mn	Fe	MO	CE	pH
	----- mg dm ⁻³ -----				dag kg ⁻¹	μS cm ⁻¹	
TAS	3,2a	6,2b	113a	495a	1,5a	81,5a	6,9a
TFS	2,8a	4,3a	134b	533b	1,3a	83,9a	6,9a
TAC	2,8a	3,9a	102a	463a	1,5a	66,2a	6,7a
TFC	2,1a	6,6b	112a	506b	1,4a	74,2a	6,8a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente, pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Na Tabela 15 está apresentado o teste de médias entre os teores de NT, Na e K em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades, a fim de se avaliar possível influência dos tratamentos na lixiviação desses nutrientes/poluentes, após 26 semanas de cultivo do capim-elefante.

TABELA 15 - Teores disponíveis médios de NT, Na e K, em diferentes camadas do solo das parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC), num período cultivado de 26 semanas.

Profundidade (cm)	NT		Na		K	
	TFS	TFC	TFS	TFC	TFS	TFC
	---- mg kg ⁻¹ ----		----- mg dm ⁻³ -----			
0 - 20	392b	383b	22,8a	26,0a	35,9a	38,2a
20 - 40	205a	261a	27,1a	21,6a	38,1a	41,7a
40 - 60	221a	299ab	25,7a	20,0a	47,6b	44,1a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente, pelo teste *Tukey*, em nível de 5% de significância.

Como pode ser observado, os teores disponíveis de Na, NT e K, quantificados ao longo do perfil do solo, se comportaram de forma semelhante aos obtidos na 10^a semana, tendo apenas os teores NT apresentado diferença significativa, mas com seus teores maiores observados na camada superficial do solo. O importante na análise desses resultados é a persistente não

evidência de lixiviação de nutrientes/poluentes no solo, embora o teor de potássio na camada mais profunda do solo receptor do EDP, sem alternância da sua posição de aplicação nos sulcos, comece a apresentar possíveis sinais de lixiviação profunda.

Na Tabela 16 estão apresentados dados e teste de médias dos teores dos nutrientes/poluentes em amostras coletadas no início e final dos sulcos, a fim de averiguar se a inversão sequencial no sentido de aplicação do EDP está influenciando a distribuição destes no solo, após 26 semanas de aplicação.

TABELA 16 - Teores médios de nutrientes/poluentes disponíveis, de matéria orgânica (MO) e condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação (CE), em amostras coletadas na camada de 0 - 20 cm do solo, no início e no final do comprimento dos sulcos, após 26 semanas de aplicação de EDP, considerando-se a alternância ou não alternância no sentido dessa aplicação.

Tratamentos	Posição no sulco					
	início	final	início	final	Início	final
	Na (mg dm ⁻³)		NT (mg kg ⁻¹)		P (mg dm ⁻³)	
TFS	25,2aA	21,9aA	394aA	361aA	11,4aA	20,9aA
TFC	14,2aA	40,3aB	401aA	376aA	10,2aA	21,6aA
	Posição no sulco					
	início	final	início	final	Início	final
	K (mg dm ⁻³)		Ca (mg dm ⁻³)		Mg (mg dm ⁻³)	
TFS	33,9aA	39,0aA	2177aA	1961aA	184aA	155aA
TFC	32,2aA	46,3aA	1441aA	1566aA	128aA	201aA
	Posição no sulco					
	início	final	início	final	Início	final
	CE (µS cm ⁻¹)		MO (dag kg ⁻¹)		Fe (mg dm ⁻³)	
TFS	67,4aA	105,5aA	1,2aA	1,4aA	551aA	513aA
TFC	78,9aA	78,3aA	1,3aA	1,6aA	540aA	471aA
	Posição no sulco					
	início	final	início	final	Início	final
	Zn (mg dm ⁻³)		Mn (mg dm ⁻³)		Cu (mg dm ⁻³)	
TFS	4,7aA	4,4aA	146,7aA	127,9aA	2,9aA	3,0aA
TFC	5,6aA	7,3aA	95,7aA	131,5aA	1,8aA	2,4aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na vertical, e mesma letra maiúscula, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Assim como observado na análise de solo efetuada após 10 semanas de cultivo do capim, nesta segunda análise não houve diferença significativa entre o tratamento com alternância no sentido do escoamento de EDP, comparado ao que não recebeu. A única diferença foi encontrada para os teores de Na em amostras de solo coletadas no início e final dos sulcos, o

que já havia ocorrido na análise efetuada aos 10 meses de cultivo do capim-elefante (TABELA 12), embora desta vez não ter sido observada diferença no TFS.

A persistência na obtenção de maior teor de Na em amostras de solo coletadas na região próxima ao final dos sulcos, embora não mais acompanhada por igual condição, em relação à variável CE, confirma a possibilidade de maior teor natural no material aterrado nessa região, o que já foi abordado na discussão dos resultados obtidos para 10 semanas de cultivo do capim-elefante. Da mesma forma como explicado anteriormente, se o TFC possibilita maior homogeneidade na distribuição desse poluente no solo, aplicado via EDP, onde este tratamento não deve ser o responsável por esses mais altos teores no solo. Acredita-se que à medida que o tempo de aplicação do EDP no solo for aumentando as diferenças proporcionadas pelos tratamentos, na distribuição dos nutrientes/poluentes, ficarão mais evidentes.

Nas Tabelas 17, 18 e 19 está apresentado o teste de médias para comparação entre teores de nutrientes/poluentes e outras variáveis do solo, obtidos de acordo com os tratamentos de mesma forma de aplicação dos adubos, relativos à 10^a e 26^a semanas de aplicação da água ou água e EDP, nos sulcos.

TABELA 17 - Comparação dos teores disponíveis médios dos macronutrientes (NT, P e K) e do Na, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 (1^a coleta) e 26 (2^a coleta) semanas de cultivos.

Tratamentos	NT		Na		P		K	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
	---- mg kg ⁻¹ ----		----- mg dm ⁻³ -----					
TAS	282a	391a	10,7a	11,6a	35,1a	32,6a	63,4b	40,5a
TFS	324a	392a	19,6a	22,8a	16,2a	15,5a	41,9a	35,9a
TAC	313a	391a	12,7a	12,3a	30,0a	17,6a	53,3b	36,7a
TFC	289a	383a	18,7a	26,0b	15,0a	16,0a	38,1a	38,2a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de Student, em nível de 5% de significância, entre as etapas.

Especificamente, na Tabela 17, está apresentada a comparação entre teores de macronutrientes e Na em amostras coletadas às 10 e 26 semanas de cultivo do capim-elefante. Verifica-se que não houve alteração nessas variáveis à exceção no que se refere ao teor de Na no solo. O aumento no teor de Na nas amostras de solo coletadas às 26 semanas de cultivo do capim-elefante, da mesma forma como já discutido anteriormente, deve-se ao maior aporte

deste elemento ao sistema, via EDP, uma vez que este não é considerado nutriente para as plantas, o mesmo não é absorvido por elas tendendo a se acumular no sistema.

Embora não significativo, houve pequeno aumento nos teores de NT da 10^a para 26^a semana de cultivo do capim-elefante, ainda sim, estes valores continuam inferiores ao apresentado por Matos (2012), que estão próximos de 600 mg kg⁻¹ em solos agrícolas.

Na Tabela 18 está apresentada a mesma comparação das médias dos teores de micronutrientes, obtidas em amostras de solo coletadas às 10 e 26 semanas de cultivo do capim-elefante.

Tabela 18 - Comparação dos teores disponíveis médios dos micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe), em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 (1^a coleta) e 26 (2^a coleta) semanas de cultivos.

Tratamentos	Cu		Zn		Mn		Fe	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
	----- mg dm ⁻³ -----							
TAS	5,3b	3,2a	6,4a	6,2a	70,1a	113,0b	332a	495b
TFS	4,9b	2,8a	4,5a	4,3a	46,7a	134,0b	320a	533b
TAC	6,3b	2,8a	5,8a	3,9a	56,2a	102,0b	303a	463b
TFC	4,8b	2,1a	3,9a	6,6a	111,7a	112,0a	281a	506b

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância, entre as etapas.

Houve aumento nos teores de Mn e Fe da 10^a para 26^a semana de cultivo do capim-elefante e, considerando-se que houve aumento desses micronutrientes inclusive nos tratamentos que receberam AQC (que não é fonte de Mn e Fe) e água, acredita-se que, além do EDP, também a água aplicada possa ser fonte desses micronutrientes para o solo. Sabe-se que águas, especialmente as subterrâneas, podem conter Mn e Fe em quantidades significativas (MATOS, 2010; 2012).

Os teores de Cu, ao contrário, diminuíram, tendo em vista a baixa carga aplicada via EDP, além da absorção pelas plantas e, ou, complexação pela MO do solo. Segundo Queiroz *et al.* (2004), utilizando água residuária da suinocultura em rampas cultivadas, a redução dos teores disponíveis de Cu no solo, além do extraído pelas plantas, pode ser resultado da complexação da MO.

Na Tabela 19, estão apresentadas as mesmas comparações das médias dos teores de MO e das variáveis CE e do pH, obtidas em amostras de solo coletadas às 10 e 26 semanas de cultivo do capim-elefante.

O valor de CE no solos submetidos ao TFS aumentou da 10^a para a 26^a semana de cultivo do capim-elefante, resultado esperado pela quantidade de sais aportados ao solo via EDP, entretanto, a mesma diferença não foi observada no TFC. Acredita-se que esse já seja um início na diferenciação na distribuição dos constituintes do EDP no solo, proporcionadas pela sua aplicação alternada no início e final dos sulcos. Isso corrobora a hipótese anteriormente levantada que maior diferenciação na distribuição de nutriente/poluentes no solo só devam aparecer em médio-longos prazos.

Outro fato da CE do solo não ter se alterado, pode-se atribuir à intensiva ocorrência de chuvas no período anterior e próximo ao da coleta das amostras de solo (TABELA 4). Sais detectáveis na CE são muito móveis, razão pela qual essa variável é fortemente dependente da ocorrência de chuvas.

TABELA 19 - Comparação dos teores de MO, da CE e do pH, em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), dos períodos amostrados com 10 e 26 semanas de cultivos, 1^a e 2^a etapas, respectivamente.

Tratamentos	MO		CE		pH	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
	---- dag kg ⁻¹ ----		---- µS cm ⁻¹ ----			
TAS	1,9a	1,5a	53,7a	81,5a	7,1a	6,9a
TFS	2,2b	1,3a	45,4a	83,9b	7,4b	6,9a
TAC	2,0a	1,5a	45,1a	66,2a	7,1b	6,7a
TFC	1,9a	1,4a	52,6a	74,2a	7,4b	6,8a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na horizontal, não diferem estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância, entre as etapas.

O pH do solo começou a apresentar sinais de abaixamento, da 10^a para 26^a semanas de cultivo do capim-elefante, possivelmente decorrente dos processos de nitrificação no meio, já que ocorreu tanto no solo das parcelas receptoras de AQC e EDP. Acredita-se que a sua tendência é de equilíbrio no solo receptor de EDP, conforme verificado por diversos autores (BLUM *et al.*, 2012; AL-SHDIEFAT *et al.*, 2010).

Embora não tenham sido significativos, verificou-se tendência dos teores de MO no solo apresentarem pequena redução. Isso se deve à baixa capacidade do EDP em incrementar à

MO do solo e ao fato do estímulo que os nutrientes aportados ao solo, via AQC ou EDP, trazem à mineralização do material orgânico pré-existente no solo (efeito *priming*), conforme comentado por Paula *et al.* (2013).

Rusan *et al.* (2007) observaram que a MO do solo só passou a ser incrementada a partir de 2 anos de aplicação de esgoto doméstico tratado, enquanto Thapliyal *et al.* (2011) observaram aumentos mais rápidos, tendo sido observado aumentos consideráveis com apenas 6 meses de aplicação de esgoto doméstico bruto. Torna-se importante ressaltar que o acúmulo de MO no solo depende da carga aplicada.

Na Tabela 20 estão apresentando valores médios e o teste de médias, considerando-se avaliação pareada dos tratamentos TAS x TFS e TAC x TFC, de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva e potencial (CTC_{ef} e CTC_{pot}) e a saturação por bases (V), tendo sido utilizados os mesmos valores de acidez potencial da condição inicial do solo para cálculo dessas variáveis, de amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, após 26 semanas de cultivo do capim-elefante.

TABELA 20 - Variáveis de fertilidade em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.

Tratamentos	SB	CTC_{ef}	CTC_{pot}	V
	-----	$cmol_c dm^{-3}$	-----	%
TAS	9,5a	9,6a	10,2a	92a
TFS	11,7b	11,7b	12,5b	94b
TAC	10,3a	10,3a	11,0a	93a
TFC	9,1a	9,1a	9,8a	92a

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente, pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

De acordo com a Tabela 20, verificou-se que a aplicação de EDP proporcionou melhorias na fertilidade do solo quando comparada à de AQC, quando considerada a aplicação da água ou da água e EDP apenas no início dos sulcos. Os valores CTC_{ef} , CTC_{pot} e V, após 26 semanas de aplicação de EDP, permanecem, no entanto, similares aos da condição inicial do solo, $10,2 cmol_c dm^{-3}$, $10,9 cmol_c dm^{-3}$ e 93%, respectivamente (TABELA 2).

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo pode ser entendida como a capacidade do solo em adsorver cátions ($N_{amoniacal}$, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, etc.), sendo assim, quanto maior este valor, melhor será o solo para agricultura. Solos que recebem substância orgânicas, tendem a aumentar sua CTC, uma vez que, a degradação de material orgânico, gera um

coloide possuidor de carga superficial negativa capaz de adsorver cátions de cargas positivas (MATOS, 2014).

Segundo Ribeiro *et al.* (1999), no que se refere a essas variáveis, o solo utilizado no experimento apresenta-se com a classificação de “muito boa” fertilidade, para a SB, CTC_{ef} e V, e classificada como “boa” fertilidade, para CTC_{pot}. Esta classificação é resultado da SB que leva em consideração os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ que, como já discutido anteriormente estão em altas concentrações neste solo em razão de se tratar de um material calcário, muito rico em Ca e Mg, que são nutrientes cujos teores entram no cálculo das referidas variáveis.

Como já discutido em literatura ampla, existe a preocupação com a sodificação do solo, na aplicação de esgoto doméstico, sendo assim, foram calculados a razão de adsorção de sódio (RAS) e a porcentagem de sódio trocável para os tratamentos que receberam AQC e EDP, apresentadas na Tabela 21.

TABELA 21 - Razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) em amostras de solo coletadas na camada de 0 - 20 cm, nas parcelas experimentais submetidas à aplicação de EDP (TFS e TFC) e AQC (TAS e TAC), num período cultivado de 26 semanas.

Tratamentos	RAS (mmol _c dm ⁻³) ^{0,5}	PST %
TAS	0,3a	0,5a
TFS	0,6b	0,8b
TAC	0,3a	0,5a
TFC	0,8b	1,1b

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, entre tratamentos de iguais condições na aplicação da água ou EDP, não se diferenciam estatisticamente, pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Verifica-se que a aplicação do EDP, tanto quando não há, como quando há alternância no sentido de escoamento nos sulcos, proporcionou aumento nos valores de RAS e PST, o que poderia se esperar considerando-se a já comentada alta concentração de Na no EDP. Os riscos decorrente dos altos valores de RAS e PST, está na sua capacidade de causarem dispersão da argila do solo que, por sua vez, tem capacidade desestruturante no sistema (MATOS e MATOS, 2007). Contudo, os valores apresentados de RAS e PST são considerado baixos, o que indica baixa capacidade de sodificação do solo, uma vez que, em condições extremas a RAS e PST só causariam danos quando apresentassem valores superiores a 5 (mmol_c dm⁻³)^{0,5} e 20%, respectivamente (MATOS e MATOS, 2017). Caso estes valores fossem maiores, esta análise teria que ser interpretada junto a CE do solo, pois estas características, quando analisadas conjuntamente, ditam o comportamento dispersivo do solo (MATOS, 2010).

6.3 Produtividade do Capim-Elefante

Em relação à produtividade do capim na área, torna-se necessário ressaltar que o primeiro corte foi feito apenas entre a 20ª e 21ª semana de cultivo, atraso decorrente do plantio do capim-elefante ter sido executado no inverno, o que retardou de forma significativa o crescimento inicial das plantas. A massa de capim-elefante produzida no primeiro corte não foi, por essa razão, considerada na análise de produtividade, pois as plantas estavam em estágios de desenvolvimento diferentes, assim, esse corte foi usado apenas para uniformizar a altura da forrageira. O corte foi feito manualmente e, nesse momento, o capim fertirrigado alcançava pouco mais de 2 m de altura (FIGURA 17).

FIGURA 17 - Imagens obtidas antes do primeiro corte da parte aérea do capim-elefante.



O segundo corte foi feito durante a 27ª semana após o plantio, 45 dias após o 1º corte, de novembro a dezembro, período chuvoso (verão). Durante o verão, a forrageira tende a aumentar significativamente sua taxa de crescimento, alcançando rapidamente a altura de

corte. Esse corte também foi realizado manualmente, entretanto, dessa vez a massa fresca e seca produzida em cada parcela experimental foi quantificada. As médias de produtividade de matéria fresca e seca estão apresentadas na Tabela 22.

TABELA 22 - Produtividade média total do capim-elefante no segundo corte da parte aérea das plantas.

Tratamento	Matéria Fresca	Matéria Seca
	----- t ha ⁻¹ -----	
TAS	30,7a	6,5a
TAC	30,5a	5,3a
TFS	36,0a	4,9a
TFC	77,5b	14,2b

Médias seguidas de mesma letra na vertical, não se diferenciam estatisticamente pelo teste *Tukey*, em nível de 5% de significância.

Como pode ser verificado ao se avaliarem os dados apresentados na Tabela 22, o TFC proporcionou maior produtividade de matéria fresca e seca, se comparado com o que foi obtido nos outros tratamentos, o que confirma a hipótese de que a inversão sequencial de aplicação do EDP proporciona aumento na produtividade do capim-elefante.

O EDP se mostrou uma água residuária satisfatória e suficiente, em termos de fornecimento de nutrientes do capim-elefante, pois o TFS se igualou estatisticamente em relação à produtividade obtida nos tratamentos que receberam AQC e o TFC superou todos os tratamentos (TABELA 22). As plantas cultivadas nas parcelas experimentais que receberam EDP atingiram alturas superiores às cultivadas com recebimento AQC (FIGURA 18).

FIGURA 18 - Altura do capim-elefante submetido aos diferentes tratamentos no segundo corte da parte aérea das plantas.



As produtividades médias de MS do capim-elefante do TAS, TAC e TFS foram similares à obtida por Vitor *et al.* (2009), após 45 dias de plantio do capim-elefante, que foi de aproximadamente 5,25 t ha⁻¹, ao aplicar 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, via adubação convencional, no solo de cultivo.

Saraiva e Konig (2013), ao fertirrigarem o capim-elefante com esgoto doméstico tratado, obtiveram uma produtividade, aos 45 dias de cultivo, de aproximadamente 11,5 e 37 t ha⁻¹ para MS e MF, respectivamente, valor inferior ao obtido neste trabalho, se comparado ao tratamento de maior produtividade média, o TFC, que foi de 14,2 e 77, 5 t ha⁻¹ de MS e MF, respectivamente.

Na Tabela 23 está apresentada a produtividade do capim-elefante na região inicial e final dos sulcos, cujos dados foram utilizados com o intuito de se identificar possíveis diferenças ao longo da área de aplicação sob influência dos sulcos. A produtividade do capim-elefante obtida no início e no final dos sulcos, mostrou que há tendência do início apresentar maiores produtividades, embora apenas o TFS tenha apresentado diferença significativa (TABELA 23). Esses resultados eram esperados, tendo em vista que a carga de nutriente recebida nesta região inicial no TFS é maior.

TABELA 23 - Produtividade média do capim-elefante na área inicial e final dos sulcos, no segundo corte da parte área das plantas.

Tratamento	Matéria Fresca		Matéria Seca	
	início	final	início	final
	----- t ha ⁻¹ -----			
TAS	36,2a	23,4a	7,6a	5,0a
TAC	34,9a	25,0a	6,0a	4,3a
TFS	43,6b	26,0a	7,0b	4,5a
TFC	86,2a	65,8a	16,5a	11,0a

Médias seguidas de mesma letra, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Com os resultados apresentados na Tabela 23, pode-se confirmar a hipótese de que a inversão sequencial proporcionou produtividade mais equânime na área de cultivo, sendo que o TFC não apresentou diferença significativa entre o início e final dos sulcos, o que ressalta o quanto foi vantajoso a inversão no sentido do escoamento do EDP. Acredita-se que, com o tempo de aplicação do EDP, a produtividade do capim-elefante no início e final dos sulcos, tenda a ficar ainda mais próxima.

Fazendo uma análise visual da forragem, pode-se notar nas imagens da Figura 19 apresentadas a seguir, que o início do sulco apresentou capim de menor altura nas parcelas que receberam AQC, ao passo que, as parcelas que receberam EDP as superaram em altura, ficando os tratamentos TFS e TFC equivalentes entre si (FIGURA 19). Observando a parte final dos sulcos, nota-se que o tratamento TFS não está mais equivalente, em termos de altura de plantas, se comparado ao TFC, resultado provável da má distribuição de nutrientes ao longo do sulco, que foi comprovada pela análise efetuada no solo, o que vem proporcionando diferenças tanto na altura de plantas como na sua produtividade (FIGURA 19).

FIGURA 19 - Imagens da área experimental, no seu sentido transversal, na área inicial e final dos sulcos, no segundo corte da parte aérea do capim-elefante.



O terceiro corte da parte aérea do capim-elefante foi efetuado na 36ª semana após seu plantio, aproximadamente 60 dias após efetuado o 2º corte, tendo ocorrido em fevereiro de 2017, ainda no período chuvoso (verão). As médias de produtividade de matéria fresca e seca do terceiro corte estão apresentadas na Tabela 24.

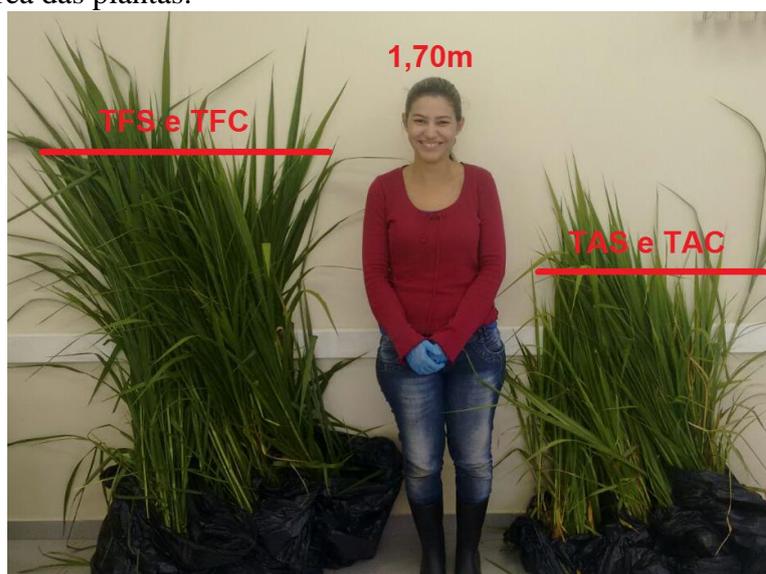
TABELA 24 - Produtividade média total do capim-elefante no terceiro corte da parte aérea das plantas.

Tratamento	Matéria Fresca	Matéria Seca
	----- t ha ⁻¹ -----	
TAS	21,1a	4,1a
TAC	17,2a	3,4a
TFS	22,6a	4,6a
TFC	36,2b	6,8b

Médias seguidas de mesma letra na vertical, não se diferenciam estatisticamente, pelo teste *Tukey*, em nível de 5% de significância.

Como pode ser verificado ao se avaliar os dados apresentados na Tabela 24, o TFC continuou proporcionando maior produtividade de matéria fresca e seca, se comparado com o que foi obtido nos outros tratamentos, reafirmando a hipótese de que a inversão sequencial de aplicação do EDP proporciona aumento na produtividade do capim-elefante. As plantas cultivadas nas parcelas experimentais que receberam EDP atingiram alturas (em torno de 1,70 m) superiores às cultivadas nas parcelas que receberam AQC, conforme pode ser verificado na Figura 20, embora tenham sido menores que os obtidos no segundo corte, que foram de 2,0 m.

FIGURA 20 - Altura do capim-elefante submetido aos diferentes tratamentos, no terceiro corte da parte aérea das plantas.



As produtividades médias de MS do terceiro corte do capim-elefante para TAS, TAC e TFS, obtidas após 60 dias de cultivo, foram inferiores à obtida por Vitor *et al.* (2009), após 45 dias de plantio do capim-elefante cultivado com aplicação 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, que foi de aproximadamente 5,25 t ha⁻¹, contudo, o TFC proporcionou valor superior (6,8 t ha⁻¹).

Na Tabela 25 estão apresentados dados médios de produtividade de matéria seca do capim-elefante na região próxima ao início e ao final dos sulcos de aplicação da água ou água e EDP. Analisando-se a produtividade da parte aérea do capim, continuou-se a observar a tendência da região inicial apresentar maiores produtividades, mais claramente nas parcelas submetidas ao TFS. Conforme já discutido anteriormente, esses resultados eram esperados, tendo em vista que há maior carga de nutrientes na região inicial da área submetida ao TFS. No entanto, verifica-se inexistência nas diferenças de produtividade entre o início e o final da área, nas parcelas submetidas ao TFC, demonstrando uma maior homogeneidade na distribuição dos nutrientes.

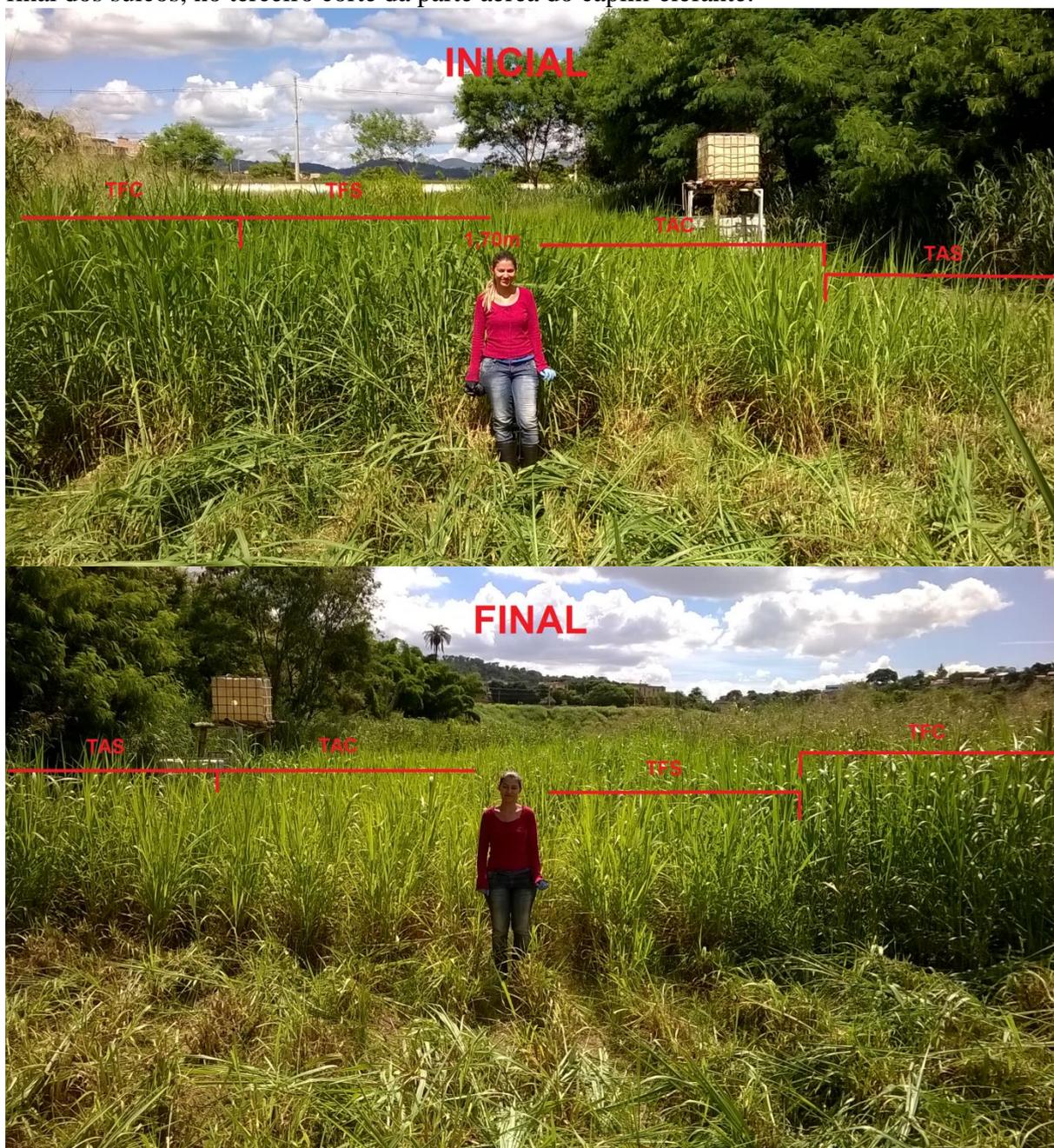
TABELA 25 - Produtividade média do capim-elefante na área inicial e final dos sulcos, no terceiro corte da parte aérea das plantas.

Tratamento	Matéria Fresca		Matéria Seca	
	início	final	início	final
	----- t ha ⁻¹ -----			
TAS	15,8a	23,7a	3,1a	4,5a
TAC	18,5a	14,6a	3,5a	2,8a
TFS	24,7b	16,6a	5,3b	3,3a
TFC	39,0a	34,0a	7,4a	6,2a

Médias seguidas de mesma letra, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

Fazendo-se uma análise visual da forrageira do terceiro corte, assim como feito no segundo corte, pode-se notar, na Figura 21, que a região próxima ao início dos sulcos continuou a apresentar capim de menor altura nas parcelas que receberam AQC, contudo, as parcelas que receberam EDP as superaram em altura, tendo as plantas das parcelas experimentais submetidas ao TFS e TFC alturas equivalentes entre si. Observando-se, no entanto, a parte final dos sulcos, nota-se que, atualmente, as parcelas submetidas ao TFS já não estão mais equivalentes, em termos de altura de plantas, em relação às observadas nas parcelas submetidas ao TFC, resultado, da má distribuição de nutrientes ao longo do sulco e, portanto da área de cultivo do capim, o que vem proporcionando diferenças tanto na altura de plantas como na sua produtividade (FIGURA 21).

FIGURA 21 - Imagens da área experimental, no seu sentido transversal, próximo ao início e final dos sulcos, no terceiro corte da parte aérea do capim-elefante.



Na Tabela 26 está apresentada a comparação entre as produtividades de matéria seca da parte aérea do capim-elefante, obtidas no segundo e no terceiro corte. Como pode ser observado, houve redução na produtividade do segundo para o terceiro corte, mas esta redução só foi significativa para o TFC. Acredita-se que essa redução seja decorrente, principalmente, das condições climáticas e das condições de fertilidade do solo, que provavelmente recebeu cargas menores de EDP.

Com o tempo haverá maior estabilidade na produtividade do capim-elefante, considerando-se que as alterações proporcionadas ao solo se tornarão, cada vez mais efetivas.

TABELA 26 - Comparação da produtividade média de matéria seca (MS) do capim-elefante entre o segundo e o terceiro corte da parte área das plantas.

Tratamento	2º corte	3º corte
	----- t ha ⁻¹ -----	
TAS	6,5a	4,1a
TAC	5,3a	3,4a
TFS	4,9a	4,6a
TFC	14,2b	6,8a

Médias seguidas de mesma letra, na horizontal, não se diferenciam estatisticamente pelo teste t de *Student*, em nível de 5% de significância.

6.4 Análise da Economia de Água e Financeira

Embora se tenha consciência de que outros custos não contemplados, notadamente no que se refere a gastos com mão-de-obra e gastos energéticos, teriam de ser incluídos na análise econômica apresentada abaixo, entende-se que, as estimativas feitas nas considerações estabelecidas neste estudo de caso são relevantes.

A irrigação total necessária (ITN) na área, considerando-se as 26 semanas de cultivo foi de 372 mm, enquanto a lâmina aplicada de EDP, considerando-se a utilização de 300 kg ha⁻¹ de Na, foi de 215 mm. Com base nisso, pode-se calcular que o uso do EDP representou uma economia de 58% na água que seria utilizada numa irrigação convencional do capim-elefante, o que de acordo com a tarifa cobrada no estado de Minas Gerais pelo CBH - Velhas, gerou uma economia de US\$ 6,00 ha⁻¹ (R\$ 20,40 ha⁻¹), em 26 semanas de cultivo do capim-elefante. Cabe ressaltar que, para os cálculos apresentados a seguir, foi utilizado 24 semanas, por motivos já explicitados na metodologia.

Cabe ressaltar que essa economia de recursos financeiros seria facilmente superada no caso da fertirrigação com esgotos domésticos, caso as suas concentrações de Na fossem menores, o que aconteceria se houvesse redução de seu consumo em alimentos, por exemplo. Outra condição que propicia isso e que já foi discutida anteriormente, é no caso de ETE que recebem o esgoto por meio de tubulações abertas, pois aumenta-se o fator de diluição do esgoto, diminuindo-se a concentração de Na no esgoto.

Na Tabela 27 estão apresentados os resultados relativos aos gastos com AQC, necessários para se efetuar os 6 cortes na forrageira, a partir do plantio, tendo sido o custo total com AQC de US\$ 570,00 ha⁻¹ (R\$ 1.938,00 ha⁻¹). Este valor foi superior ao encontrado por Neumann *et al.* (2005), que foi de cerca de US\$ 153,50 ha⁻¹ (R\$ 521,90 ha⁻¹), utilizando fertilizante químico (10-18-20), considerando-se uma adubação de base de 300 kg ha⁻¹ e ureia como

adubação de cobertura, na dose 110 kg ha^{-1} , para produzir sorgo forrageiro. De formar similar, Alves Filho *et al.* (2003) encontraram valores inferiores ao deste trabalho, cerca de US\$ $220,60 \text{ ha}^{-1}$ (R\$ $750,04 \text{ ha}^{-1}$), utilizando adubação de base com formulado e ureia na adubação de cobertura, para formação de pastagem (azevém). Esta diferença está ligada ao valor do tipo de manejo adotado, o tipo de adubo, bem como, o tipo de solo que está sendo utilizado.

TABELA 27 - Valor dos fertilizantes utilizados na adubação química convencional, constituição, doses recomendadas para aplicação e custos com dessa adubação, após 24 semanas de cultivo do capim-elefante.

	Valor do AQC*	Constituição	Dose recomendada de AQC	Custo do AQC (C_{aq})
SFS	US\$ $0,24 \text{ kg}^{-1}$ *	18% de P_2O_5	$80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5	US\$ $105,00 \text{ ha}^{-1}$
KCl	US\$ $0,38 \text{ kg}^{-1}$ *	58% de K_2O	300 kg ha^{-1} de K_2O **	US\$ $195,00 \text{ ha}^{-1}$
Ureia	US\$ $0,40 \text{ kg}^{-1}$ *	44% de N	300 kg ha^{-1} de N**	US\$ $270,00 \text{ ha}^{-1}$
<i>Total</i>				<i>US\$ $570,00 \text{ ha}^{-1}$</i>

*preço pesquisado no mercado de atacado; **Dose correspondente a seis cortes na forrageira.

Valor similar para aplicação de N ao encontrado neste trabalho foi obtido por Soares *et al.* (2001) com a aplicação de ureia na produção de aveia preta e azevém, durante o período de inverno, que foi de cerca de US\$ $278,50 \text{ ha}^{-1}$ (R\$ $946,90 \text{ ha}^{-1}$), ao aplicar uma dose de 200 kg ha^{-1} de N. Os autores ressaltaram que a adubação nitrogenada de cobertura com ureia representou 36% do custo total da produção.

Segundo Neumann *et al.* (2005), o custo com a adubação foi o responsável por 25% dos custos totais da produção da forrageira, enquanto para Alves Filho *et al.* (2003) este valor chegou a 56%, resultados que reforçam o quanto é dispendioso financeiramente o uso de AQC.

Na Tabela 28 está apresentada a economia com AQC, caso seja usada a fertirrigação com EDP. O EDP gerou uma economia de 100% do P_2O_5 , 33% do K_2O , e 93% do N, ou seja, o valor da E_f foi maior que o C_{aq} apenas para a dose de P_2O_5 , o que proporcionou uma economia total de US\$ $445,00 \text{ ha}^{-1}$ (R\$ $1.513,00 \text{ ha}^{-1}$).

A aplicação de P_2O_5 , via EDP, foi 22% maior que a efetuada, ao solo, por fertilização química convencional. Assim, a quantidade de P_2O_5 aplicados via EDP foi 1,2 vezes maior que o indicado por Ribeiro *et al.* (1999) para manter altas produtividades de forrageiras.

TABELA 28 - Dose de N, P e K e economia com adubação química, após 24 semanas de cultivo, caso seja substituída pela fertirrigação com EDP.

Dose Fertirrigação (D_f)	Economia com fertirrigação (E_f)
97 kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	US\$ 127,00 ha ⁻¹
100 kg ha ⁻¹ de K ₂ O	US\$ 65,00 ha ⁻¹
280 kg ha ⁻¹ de N	US\$ 253,00 ha ⁻¹
<i>Total</i>	<i>US\$ 445,00 ha⁻¹</i>

A utilização da fertirrigação com EDP em 24 semanas de aplicação, estabelecida utilizando-se o Na como elemento químico referência, representou, para o atual ano, uma economia de US\$ 445,00 ha⁻¹ (R\$ 1.513,00 ha⁻¹), equivalente a uma dose de 97, 100 e 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅, K₂O e N, respectivamente, e representando uma economia de 78% do custo total com AQC. Torna-se importante ressaltar que essa economia será maior se for levado em conta que haverá gasto com mão-de-obra na aplicação de AQC.

Com a dose de P₂O₅ aplicada via fertirrigação estando maior que as recomendações de AQC, essas poderiam refletir em maiores produtividades com EDP, tendo em vista que a dose de N fertirrigada (280 kg ha⁻¹), que ditaria a produtividade, foi próxima da dose com AQC (300 kg ha⁻¹), sendo assim, espera-se que a produtividade seja semelhante ou maiores para os tratamentos que receberam EDP. Estudo realizado por Vitor *et al.* (2009) demonstraram que o aumento na dose nitrogenada até 700 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (24 semanas equivale a 351 kg ha⁻¹ de N), aumentou linearmente a produtividade do capim-elefante.

Para efeito de alimentação animal, com o aumento na produtividade da forrageira, aumentará a disponibilidade desta por unidade de área, o que, em termos práticos, resultará em uma maior pressão de pastejo, ou seja, poderá ser aumentada a quantidade de animais na mesma área (RESTLE *et al.*, 2002). Isso significa que a produtividade por peso animal e o ganho financeiro por unidade de área, será maior.

Os custos apresentados na Tabela 29 levaram em consideração os gastos relativos ao processo de produção e a aplicação da irrigação/fertirrigação. Os custos com mudas não foram levados em consideração, uma vez que, geralmente, são conseguidos na própria propriedade, bem como, o custo com energia da irrigação, entendendo que o sistema será operado utilizando a energia potencial (gravidade), não utilizando, portanto, energia elétrica.

TABELA 29 - Custos de produção e custo de irrigação (sulcos), por unidade de área receptora de adubação química convencional (AQC) ou efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico (EDP), após 24 semanas de cultivo do capim-elefante.

CUSTOS	AQC	EDP
CUSTO DE PRODUÇÃO: ----- US\$ ha ⁻¹ -----		
Mudas	0,00	0,00
Arrendamento da terra ¹	35,00	35,00
Fertilizantes:		
- Ureia	271,00	0,00
- SS	105,00	0,00
- KCl	195,00	0,00
Mecanização:		
Plantio ²	53,00	53,00
Aplicação de fertilizantes ¹	53,00	0,00
Mão-de-obra ¹	46,00	46,00
<i>Custo total de produção</i>	<i>758,00</i>	<i>134,00</i>
CUSTO DA IRRIGAÇÃO:		
Custo de implantação ³	680,00	680,00
Custo de aplicação ¹	965,00	965,00
Custo de manutenção ⁴	20,00	20,00
Custo água ⁵	11,00	5,00
<i>Custo total da irrigação</i>	<i>849,00</i>	<i>843,00</i>
CUSTO TOTAL	1.607,00	977,00

Adaptado de: ¹NEUMANN *et al.* (2005); ^{2, 3}BERNARDO *et al.*, (2008); ⁴LEITCH, 1983 *apud* SOARES *et al.* (2002); ⁵DN CBH-VELHAS, n°03/2009.

O custo total de produção com aplicação de AQC foi de US\$ 758,00 ha⁻¹ (R\$ 2577,20 ha⁻¹), cerca de 82% maior que o obtido com aplicação de EDP, que foi de US\$ 134,00 ha⁻¹ (R\$ 455,60 ha⁻¹). Essa diferença ressalta o quanto foi vantajoso a utilização de EDP, do ponto de vista econômico, estando essa diferença ligada ao custo com fertilizantes e os gastos de mão-de-obra para a sua aplicação. Valores inferiores na produção de forrageiras utilizando AQC foram encontrados por Alves Filho *et al.* (2003), Neumann *et al.* (2005) e Soares *et al.* (2001), que foram, respectivamente, de US\$ 398,90; 365,00; e 278,50 ha⁻¹ (R\$ 1.346,06; 1.241,00; e 946,90 ha⁻¹).

A diferença no custo de irrigação entre os que receberam AQC e EDP foi irrisória, cerca de 0,6%, o que ressalta o baixo valor cobrado pela agência regulamentadora pelo metro cúbico de água, US\$ 0,003 m⁻³. Essa baixa influência do custo da água no custo da irrigação, foi apresentada por Gomes (2005) para irrigação por sulcos, da cultura do tomateiro.

O custo total da irrigação foi de US\$ 849,00 e 843,00 ha⁻¹ (R\$ 2.886,00 e 2866,20 ha⁻¹), nas parcelas submetidas aos tratamentos com AQC e EDP, respectivamente, esses valores foram maiores que o reportado por Gomes (2005), que foi de US\$ 675,80 ha⁻¹ (R\$ 2,297,72 ha⁻¹), utilizando sistema por sulcos simplificado com utilização de mangueiras.

O custo total da produção de capim-elefante utilizando AQC foi, então, de US\$ 1.607,00 ha⁻¹ (R\$ 5.463,80 ha⁻¹), enquanto a utilização de EDP gerou um custo total de US\$ 977,00 ha⁻¹ (R\$ 3.321,80 ha⁻¹), essa diferença foi de US\$ 630,00 ha⁻¹ (R\$ 2.142,00 ha⁻¹), o que representou uma economia 60% do custo total.

7 CONCLUSÕES

- O aporte de nutrientes ao solo com a aplicação do EDP foi considerável, o que coloca essa água residuária como sendo de excelente qualidade para uso agrícola, desde que o sistema de fertirrigação seja manejado da forma correta e que seja respeitadas as doses de aplicação recomendadas;
- A inversão sequencial no sentido de escoamento do EDP nos sulcos proporcionou melhor distribuição dos nutrientes ao longo do seu comprimento e a obtenção de maiores produtividades do capim-elefante;
- O N foi absorvido em quantidades consideráveis pelo capim-elefante, o que indica que o estabelecimento da dose aplicada considerando-se o Na como elemento químico referência foi ambientalmente segura, inclusive em relação ao tratamento em que não houve alternância no sentido de escoamento do EDP nos sulcos;
- O EDP proporcionou a substituição de 100% do P₂O₅, 33% do K₂O e 93% do N demandado para o cultivo do capim-elefante, gerando uma economia financeira de US\$ 445,00 ha⁻¹ (R\$ 1.513,00 ha⁻¹) nessa adubação, que é parte da economia de US\$ 624,00 ha⁻¹ (R\$ 2.121,60 ha⁻¹) dos custos de produção; proporcionando uma economia total de

US\$ 630,00 ha⁻¹ (R\$ 2.142,00 ha⁻¹, na cotação de 01/01/2017) e uma economia hídrica de 58% do total demandado.

8 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que a pesquisa, tal como implantada, seja conduzida por longo período de tempo, tendo em vista que, assim, poderão ficar ainda mais evidentes as diferenças proporcionadas pelos tratamentos, possibilitando a obtenção de indicativos de sustentabilidade da prática, sob o ponto de vista agrícola e ambiental, em áreas receptoras de EDP.
- Avaliar as características hidráulicas da aplicação, por sulco, e a condição operacional de inversão sequencial no sentido do escoamento do EDP, a fim de avaliar as limitações do sistema.
- Monitorar a RAS e a CE do solo, ao longo dos anos, para se identificar possíveis desacordos com a condição ideal e sustentável de operação do sistema, considerando-se o a qualidade do solo, da planta e das águas subterrâneas.

9 REFERÊNCIAS

- ABBASI, F.; ADAMSEN, F. J.; HUNSAKER, D. J.; FEYEN, J.; SHOUSE, P.; VAN GENUCHTEN, M. T. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: Field data analysis. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 129, n. 4, p. 237-246, 2003.
- ABBASI, F.; FEYEN, J.; VAN GENUCHTEN, M. T. Two-dimensional simulation of water flow and solute transport below furrows: Model calibration and validation. *Journal of Hydrology*, v. 290, n. 1-2, p. 63-79, 2004.
- ABDEL-AZIZ, R. Impact of Treated Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties and Crop Productivity. *Journal of Water Resources and Arid Environments*, v. 4, n. 1, p. 30-36, 2015.
- ADRIANO, D. C. *Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*. 2ª ed. Editora Springer, New York, 2001.
- ALGUACIL, M. M.; TORRECILLAS, E.; TORRES, P.; GARCÍA-ORENES, F.; ROLDÁN, A. Long-Term Effects of Irrigation with Waste Water on Soil AM Fungi Diversity and Microbial Activities: The Implications for Agro-Ecosystem Resilience. *Plos One*, v. 7, n. 10, p. 1-8, 2012.
- AL-SHDIEFAT, S.; AYOUB, S.; JAMJOUR, K. Effect of irrigation with reclaimed wastewater on soil properties and olive oil quality. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, v. 5, n. 2, 2010.
- ALVES FILHO, D. C.; NEUMANN, M.; RESTLE, J.; SOUZA, A. N. M.; PEIXOTO, L. A. Características agronômicas produtivas, qualidade e custo de produção de forragem em pastagem de azevém (*Lolium multiflorum* Lam) fertilizada com dois tipos de adubo. *Ciência Rural*, v. 33, n. 1, p. 143-149, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard methods for the examination for water and wastewater*. Washington, 21ª ed., 2005. 1220 p.
- AZEVEDO, L. P.; SAAD, J. C. C. Qualidade microbiológica de alface americana (*Lactuca sativa* L.) irrigada com águas residuárias, sob diferentes sistemas de irrigação. [Anais...] In: XV Congresso Brasileiro de Olericultura, Fortaleza-CE, n. 14, p. 4, 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação* - 8ª ed., 2008, 625 p.
- BLUM, J. *Aspectos agronômicos e ambientais da irrigação com efluente de estação de tratamento de esgoto e aplicação de fosfogesso em sistema de produção de cana de açúcar*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP, 107 p., 2011.
- BLUM, J.; HERPIN, U.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Soil properties in a sugarcane plantation after the application of treated sewage effluent and phosphogypsum in Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 115, p. 203-216, 2012.
- BLUM, J.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; GOMES, T. M. Nitrogen and phosphorus leaching in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v. 117, p. 115-122, 2013.
- BRASIL, M. D. S.; MATOS, A. T. De; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, p. 266-272, 2007.

CBH-VELHAS, N. DELIBERAÇÃO NORMATIVA CBH-Velhas no 03/2009 de 20 de março 2009.

CERQUEIRA, L. L.; FADIGAS, F. S.; PEREIRA, F. A.; GLOAGUEN, T. V.; COSTA, J. A. Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* irrigados com águas residuárias tratadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 75, p. 606-613, 2008.

COPAM. Deliberação Normativa COPAM nº 166, de 29 de junho de 2011, 2011.

DEON, M. D. I.; GOMES, T. M.; MELF, A. J.; MONTES, C. R.; DA SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, 2010.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2011.

DOORENBOS, J.; KANSSAM, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. Tradução de: GHEYI, H. R.; SOUZA, A. A.; DAMASCO, F. A. V.; MEDEIROS, J. F. Campina Grande, UFPB, 306 p., 1994. (FAO: Irrigação e drenagem, n. 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Roma, FAO, 179p., 1977. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 19, p. 302-310, 2008.

DUARTE, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, E. F. F. Efeitos da aplicação de água residuária tratada na fertilidade do solo e na nutrição de plantas de pimentão. [Anais...] In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Gavatá, p. 10, 2006.

EBRAHIMIAN, H.; LIAGHAT, A.; PARSINEJAD, M.; PLAYÁN, E.; ABBASI, F.; NAVABIAN, M. Simulation of 1D surface and 2D subsurface water flow and nitrate transport in alternate and conventional furrow fertigation. *Irrigation Science*, v. 31, n. 3, p. 301-316, 2013.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Informações sobre a cultivar de capim-elefante BRS Kurumi. Juiz de Fora - MG, 2015, 4 p. (*Comunicado Técnico*, 75).

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, 370 p., 1999.

EMBRAPA. *Centro nacional de pesquisa de solos. sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ESTRADA, I. B.; ALLER, A.; ALLER, F.; GÓMEZ, X.; MORÁN, A. The survival of *Escherichia coli*, faecal coliforms and enterobacteriaceae in general in soil treated with sludge from wastewater treatment plants. *Bioresource Technology*, v. 93, n. 2, p. 191-198, 2004.

FIRME, L. P. *Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado no sistema solo-planta em latossolo cultivado com cana de açúcar*. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 110p., 2007.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize Growth and Changes in Soil Fertility After Irrigation with Treated Sewage Effluent. II. Soil Acidity, Exchangeable Cations, and Sulfur, Boron, and Heavy Metals Availability. *Communications in Soil Science*

and Plant Analysis, v. 36, n. 13-14, p. 1983-2003, 2005.

FREITAS, C. a S. De; SILVA, A. R. a; BEZERRA, F. M. L.; MOTA, F. S. B.; GONÇALVES, L. R. B.; BARROS, E. M. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar Reuse of treated domestic sewage effluent as an alternative water source for the production of sugarcane. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 85, p. 727-734, 2013.

GOMES, E. P. *Viabilidade de mudanças tecnológicas na irrigação da tomaticultura de mesa*. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 93p., 2005.

HAMILTON, A. J.; STAGNITTI, F.; XIONG, X.; KREIDL, S. L.; BENKE, K. K.; MAHER, P. Wastewater irrigation: The state of play. *Vadose Zone Journal*, v. 6, n. 4, p. 823-840, 2007.

JAYNES, D. B.; RICE, R. C.; HUNSAKER, D. J. Solute Transport During Chemigation of a Level Basin. *Transactions of the ASAE*, v. 35, n. 6, p. 1809-1815, 1992.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. *Water reuse: an international survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing, 650p., 2008.

KANDIAH, A. Criteria and classification of saline water, soil and crop management practices relating to the use of saline water. *FAO - irrigation and drainage*, p. 34-51, 1990.

KANG, S. T. Irrigation in Ancient Mesopotamia. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 8, n. 3, p. 619-624, jun. 1972.

KANG, S. Z.; SHI, P.; PAN, Y. H.; LIANG, Z. S.; HU, X. T.; ZHANG, J. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. *Irrigation Science*, v. 19, n. 4, p. 181-190, 2000.

KANG, S. Z.; ZHANG, J. Controlled alternate partial root-zone irrigation: Its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 407, p. 2437-2446, 2004.

KIHILA, J.; MTEI, K. M.; NJAU, K. N. Wastewater treatment for reuse in urban agriculture; the case of Moshi Municipality, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 72, p. 104-110, 2014.

KUMWIMBA, M. N.; ZHU, B.; SUANON, F.; MUYEMBE, D. K.; DZAKPASU, M. Long-term impact of primary domestic sewage on metal/lloid accumulation in drainage ditch sediments, plants and water: Implications for phytoremediation and restoration. *Science of The Total Environment*, v. 581, p. 773-781, 2017.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; HERPIN, U.; DA FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; DOS SANTOS DIAS, C. T.; MELFI, A. J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v. 97, n. 2, p. 271-276, 2010.

LEAL, R. M. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F. da; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 2, p. 307-316, 2009.

MATOS, A. T. D. E. *Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

MATOS, A. T. *Manual de análises de resíduos sólidos e águas residuárias*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2015.

MATOS, A. T. *Poluição ambiental: impactos no meio físico*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2010.

- MATOS, A. T. *Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.
- MATOS, A. T.; MATOS, M. P. *Disposição de águas residuárias no solo e sistemas alagados construídos*. 1ª ed. Viçosa: Editora UFV, 357 p., 2017.
- MATOS, A. T.; PINTO, A. B.; PEREIRA, O. G.; BARROS, F. M. Alteração de atributos químicos no solo de rampas utilizadas no tratamento de águas residuárias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n.3, p. 406-412, 2005.
- METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4ª ed. New York: McGraw Hill Higher Education, 2003.
- MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. *Reutilização de águas residuais*. Lisboa, Portugal: Série de Guias Técnicos 14, 2010.
- MOYO, L. G.; VUSHE, A.; JANUARY, M. A.; MASHAURI, D. A. Evaluation of suitability of Windhoek's wastewater effluent for re-use in vegetable irrigation: a case study of Gammams effluent. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, v. 199, p. 109-120, 2015.
- MURRAY, A.; RAY, I. Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. *Water Research*, v. 44, n. 5, p. 1667-1679, 2010.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; FILHO, D. C. A.; MACCARI, M.; PELLEGRINI, L. G. de; SOUZA, A. N. M.; PEIXOTO, L. A. de O. Qualidade de forragem e desempenho animal em pastagem de sorgo (*Sorghum bicolor*, L.), fertilizada com dois tipos de adubo, sob pastejo contínuo. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 11, n. 2, p. 221-226, 2005.
- PAULA, A. M.; FONSECA, A. F.; CARDOSO, E. J. B. N.; MELFI, A. J. Microbial metabolic potential affected by surplus wastewater irrigation in tropical soil cultivated with Tifton 85 Bermuda grass (*Cynodon dactylon* Pers. X *C. niemfuensis* Vanderyst). *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 205, n. 1-4, p. 161-171, 2010.
- PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; PEREIRA, M. dos S.; ANDRADE, C. A. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados ao solo em campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 6, p. 1729-1741, 2013.
- PEREIRA, M. S.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P.; AGUIAR, P. L. Decaimento de bactérias do grupo coliforme em solos com cobertura vegetal e nu. *Engenharia na Agricultura*, v. 22, n. 6, p. 575-582, 2014.
- PERES, M. R. *Uso de água residuária com diferentes sistemas de irrigação no desenvolvimento e na qualidade microbiológica do meloeiro (cucumis melo l.)*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 51p., 2004.
- PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. *FAO - Irrigation and drainage*. v. 47, 1992.
- PLETSCH, T.A. *Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado*. Tese, Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, 71p., 2012.
- QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. *Ciência Rural*, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.
- RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Irrigation and sodicity. *Australian Journal of Soil Research*, v. 31, n. 6, p. 821-837, 1993.
- RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V.; NÖRNBERG, J. L.; BRONDANI, I. L.; CERDÓTES, L.;

- CARRILHO, C. O. Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 31, n. 3, p. 1491-1500, 2002.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*. EMBRAPA: monitoramento por satélite, v. 8, p. 26, 2010.
- RUSAN, M. J. M.; HINNAWIB, S.; ROUSAN, L. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, v. 215, p. 143-152, 2007.
- SANTOS, M. M. C. *Reutilização de águas residuais urbanas tratadas*. Dissertação de mestrado. Faculdade de ciências e Tecnologia, 100p., 2008.
- SANTOS, O. S. N.; PAZ, V. P. da S.; GLOAGUEN, T. V.; TEIXEIRA, M. B.; FADIGAS, F. D. S.; COSTA, J. A. Crescimento e estado nutricional de helicônia irrigada com água residuária tratada em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 8, p. 820-827, 2012.
- SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; DE OLIVEIRA, P. M.; ANDRADE, I. de O.; MATOS, A. T. de. Short-term changes in soil properties due to sanitary wastewater irrigation used as a potassium source. *Australian Journal of Crop Science*, v. 9, n. 8, p. 713, 2015.
- SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. *Revista Holos*. v. 1, n. 29, p. 28-46, 2013.
- SERHAL, H.; BERNARD, D.; KHATTABI, J. El; SABINE, B. L.; SHAHROUR, I. Impact of fertilizer application and urban wastes on the quality of groundwater in the Cambrai Chalk aquifer, Northern France. *Environmental Geology*, v. 57, n. 7, p. 1579-1592, 2009.
- SIEBE, C.; FISCHER, W. R. Effect of long-term irrigation with untreated sewage emuents on soil properties and heavy metal adsorption of Leptosols and Vertisols in Central Mexico. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 159, p. 357-364, 1996.
- 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, 2012.
- SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIÉGAS, R. a. Crescimento e produção do pinhão-manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 6, p. 621-629, 2011.
- SIMÕES, K. S.; PEIXOTO, M. D. F. S. P.; ALMEIDA, A. T. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira Treated wastewater from domestic sewage on soil microbial activity and growth of castor bean. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.
- SKINNER, R. H.; HANSON, J. D.; BENJAMIN, J. G. Root distribution following spatial separation of water and nitrogen supply in furrow irrigated corn. *Plant and Soil*, v. 199, n. 2, p. 187-194, 1998.
- SOARES, A. B.; RESTLE, J.; ROSO, C.; LUPATINI, G. C.; ALVES FILHO, D. C. Dinâmica, qualidade, produção e custo de produção de forragem da mistura aveia preta e azevém anual adubada com diferentes fontes de nitrogênio. *Ciência Rural*, v. 31, n. 1, p. 117-122, 2001.
- SOARES, J. I.; COSTA, R. N. T.; SILVA, L. A. C.; GONDIM, R. S. Função da resposta da

melancia aos níveis de água e adubação nitrogenada, no Vale do Curu, CE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 219-224, 2002.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. D. S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. a De; DINIZ, A. Fertilização do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 200-208, 2012.

SOUZA, D. P.; QUELUZ, J. G. T.; SILVA, A. O.; ROMÁN, R. M. S. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. *Irriga*, v. 20, n. 2, p. 348-362, 2015.

THAPLIYAL, A.; VASUDEVAN, P.; DASTIDAR, M. G.; TANDON, M.; SEN, P. K.; MISHRA, S. Growth of tree saplings of neem (*Azadirachta indica* Juss) under fertigation with untreated and treated domestic wastewater. *Journal of Scientific and Industrial Research*, v. 70, n. 8, p. 616-621, 2011.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

USDA (United States Department of Agriculture); NIFA (National Institute of Food and Agriculture). *Irrigation Management: Furrow Irrigation Management*. 2011. Disponível em: <https://nifa.usda.gov/>

VAZQUEZ-MONTIEL, O.; HORAN, N. J.; MARA, D. D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Water Science and Technology*, v. 33, n. 10-11, p. 355-362, 1996.

VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. M.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I. Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 3, p. 435-442, 2009.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte. 4ª ed, v. 1, 2014, 472 p.

WHO/UNEP. Wastewater use in agriculture. *International Water Management Institute*, v. 2, 196p., 2006.

WOLMAN, A. Public health aspects of land utilization of wastewater effluents and sludges. *Journal of the water pollution control Federation*, v. 49, n. 11, p. 2211-2218, 1977.

YANG, X.; LI, P.; ZHANG, S.; SUN, B.; XINPING, C. Long-term-fertilization effects on soil organic carbon, physical properties, and wheat yield of a loess soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 174, n. 5, p. 775-784, 2011.