



**JAÍZA RIBEIRO MOTA E SILVA**

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO EM SOLO CULTIVADO COM  
GRAMA ESMERALDA (*Zoysia japonica*)**

**LAVRAS – MG  
2017**

**JAÍZA RIBEIRO MOTA E SILVA**

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
SOLO CULTIVADO COM GRAMA ESMERALDA (*Zoysia japonica*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, linha de pesquisa em Saneamento Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira  
Orientador

Prof. Dr. Ronaldo Fia  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Jaíza Ribeiro Mota e.

Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em  
solo cultivado com grama Esmeralda (*Zoysia japonica*) / Jaíza  
Ribeiro Mota e Silva. – Lavras: UFLA, 2017.

73 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Orientador(a): Luiz Fernando Coutinho de Oliveira.

Coorientador(a): Ronaldo Fia.

Bibliografia.

1. Esgoto doméstico. 2. Reúso de água. 3. Fertilidade do solo.  
4. Nutrição de plantas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**JAÍZA RIBEIRO MOTA E SILVA**

**APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM  
SOLO CULTIVADO COM GRAMA ESMERALDA (*Zoysia japonica*)**

**APPLICATION OF EFFLUENT OF SEWAGE TREATMENT STATION IN SOIL  
CULTIVATED WITH EMERALD GRASS (*Zoysia japonica*)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, linha de pesquisa em Saneamento Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 10 de março de 2017.

Dr. Daniel Fonseca de Carvalho – UFRRJ

Dr. Mateus Pimentel de Matos – UFLA

Dr. Ronaldo Fia – UFLA

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2017**

*Aos meus pais, Adilson e Jacqueline.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por tornar tudo possível.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Núcleo de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira, e ao meu coorientador, Prof. Ronaldo Fia, pelo apoio e orientações.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas e do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Engenharia, pelas contribuições e ensinamentos.

Aos colegas da pós-graduação, pela boa convivência.

Aos funcionários do Laboratório de Análise de Águas Residuárias do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Engenharia, do Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia e da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras, pelo auxílio.

Aos meus pais, Adilson e Jacqueline, pelo apoio e incentivo.

Ao meu irmão, Alisson, pelo companheirismo.

A todos que de diferentes formas, contribuíram para a minha formação e crescimento profissional, meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

O aumento da população, associado ao desenvolvimento socioeconômico, estabeleceram novos patamares de demanda e uso da água, ampliando a pressão sobre os recursos hídricos. Sempre que a água, com qualidade requerida para determinado uso, torna-se um recurso escasso, busca-se alternativas de suplementação ou de redução do consumo, para que seja restabelecido o equilíbrio entre a oferta e a demanda. Nessas circunstâncias, a utilização de águas residuárias tratadas, pode ajudar a mitigar os efeitos prejudiciais dos déficits hídricos locais. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes taxas do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), nas características químicas do solo, na produtividade, e na composição química da grama Esmeralda (*Zoysia japonica*), bem como avaliar a potencialidade de uso do efluente na irrigação de áreas cultivadas com grama Esmeralda. O experimento foi conduzido em uma área gramada localizada ao lado da ETE-UFLA, em Lavras/MG. Na área experimental, foram delimitadas 20 parcelas de 1,0 m<sup>2</sup>, espaçadas em 1,0 m entre si. O efluente utilizado foi proveniente da ETE-UFLA, após passar por tratamento secundário. A aplicação do efluente foi iniciada no dia 18 de julho de 2016, encerrando-se no dia 18 de novembro de 2016. As lâminas aplicadas foram determinadas pelo método do balanço hídrico, levando-se em consideração a evapotranspiração e a precipitação ocorrida nos intervalos entre as irrigações. A partir dos valores das lâminas aplicadas e da DBO média do efluente, foram calculadas as taxas de aplicação do efluente, correspondendo a 0; 0,131; 0,262; 0,393 e 0,524 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DBO. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. No efluente, foram avaliados: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, sólidos totais (ST), sólidos em suspensão (SS), demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), demanda química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio total Kjeldahl (NTK), Fósforo total (P), coliformes totais (CT), coliformes termotolerantes (CTer), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Sódio (Na). No solo, antes e após a aplicação do efluente, nas camadas de 0 a 0,20 m e de 0,20 a 0,40 m, foram avaliados: pH, CE, matéria orgânica (MO), NTK, P, Ca, Mg, K e Na. Na grama, foram avaliados: a produtividade de matéria seca e os teores de N, P, K, Ca, Mg e Na. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística, empregando-se o teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ambos a 5% de probabilidade. O efluente mostrou conter elevada concentração de microrganismos patogênicos, evidenciando a necessidade de polimento antes de sua utilização. A aplicação do efluente proporcionou alterações significativas nos valores de pH, K, Ca+Mg, e Na do solo, assim como proporcionou aumento na produtividade de matéria seca e nas concentrações de N, P, K e Na da grama. Taxas de até 0,524 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DBO do efluente da ETE-UFLA podem ser aplicadas em áreas cultivadas com grama Esmeralda. Recomenda-se que a aplicação do efluente seja avaliada por períodos de monitoramento superiores ao realizado neste trabalho, visto que é importante observar as variações climáticas, as condições do solo e o efeito da aplicação do efluente em longo prazo.

**Palavras-chave:** Esgoto tratado. Reúso de água. Fertilidade do solo. Nutrição de plantas.

## ABSTRACT

The population increase, associated with socioeconomic development, established new levels of water demand and use, increasing the pressure on water resources. Whenever quality water required for a particular use becomes a scarce resource, alternatives to supplementation or reduction of consumption are sought in order to restore a balance between supply and demand. In these circumstances, the use of treated wastewater can help mitigate the damaging effects of local water deficits. The objective of the present work was to evaluate the effect of different rates of effluent from the Sewage Treatment Plant of the Federal University of Lavras (ETE-UFLA) on soil chemical characteristics, productivity and chemical composition of *Zoysia japonica*, as well as to evaluate the potential use of the effluent in the irrigation of areas cultivated with *Zoysia japonica*. The experiment was conducted in a grassy area located next to ETE-UFLA, in Lavras/MG. In the experimental area, 20 plots of 1.0 m<sup>2</sup> were delimited spaced 1.0 m apart. The effluent used came from ETE-UFLA, after secondary treatment. The application of the effluent began on 07/18/2016, ending on 11/18/2016. The applied slides were determined by the water balance method, taking into account the evapotranspiration occurred in the intervals between the irrigations. From the values of the slides applied and the average BOD of the effluent, the effluent application rates were calculated, corresponding to 0; 0.131; 0.262; 0.393 and 0.524 kg ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> BOD. A randomized complete block design was used, with five treatments and four replications. In the effluent, pH, electrical conductivity (EC), turbidity, total solids, suspended solids, biochemical Oxygen demand (BOD), chemical Oxygen demand (COD), total Kjeldahl Nitrogen (TKN), total Phosphorus (P), total coliforms, thermotolerant coliforms, Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Potassium (K) and Sodium (Na). In the soil, before and after the application of the effluent, in the layers of 0 to 0.20 m and 0.20 to 0.40 m, pH, EC, organic matter (MO), NTK, P, Ca, Mg, K and Na. On the grass, the dry matter yield and leaf contents of N, P, K, Ca, Mg and Na were evaluated. The results were submitted to statistical analysis, using the F test, and the means were compared by the Tukey test, both at 5% probability. The effluent showed to contain high concentration of pathogenic microorganisms, evidencing the need for polishing before its use. The application of the effluent provided significant changes in the pH, K, Ca+Mg, and Na values of the soil, as well as increased dry matter yield and N, P, K and Na concentrations. Rates of up to 0.524 kg ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup> BOD of the ETE-UFLA effluent can be applied to areas cultivated with *Zoysia japonica*. It is recommended that the effluent application be evaluated by monitoring periods higher than the one carried out in this study, since it is important to observe the climatic variations, the soil conditions and the effect of the effluent application in the long term.

**Keywords:** Treated sewage. Water reuse. Soil fertility. Plants nutrition.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista da área experimental antes do início da aplicação do efluente.....	33
Figura 2 - Distribuição dos tratamentos na área experimental. ....	36
Figura 3 - Dados climáticos de radiação solar observados no período experimental.....	39
Figura 4 - Dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar observados no período experimental. ....	40
Figura 5 - Evapotranspiração e precipitação pluviométrica mensal acumulada durante o período experimental. ....	41
Figura 6 - Estimativa do pH do solo em função das taxas de aplicação do efluente.....	45
Figura 7 - Estimativa da concentração de Potássio do solo em função das taxas de aplicação do efluente. ....	51
Figura 8 - Estimativa da concentração de Cálcio e Magnésio do solo em função das taxas de aplicação do efluente. ....	52
Figura 9 - Estimativa da concentração de Sódio do solo em função das taxas de aplicação do efluente. ....	54
Figura 10 - Estimativa da produtividade de matéria seca da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente. ....	56
Figura 11 - Estimativa da concentração de Nitrogênio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente. ....	57
Figura 12 - Estimativa da concentração de Fósforo da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.....	59
Figura 13 - Estimativa da concentração de Potássio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.....	60
Figura 14 - Estimativa da concentração de Sódio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais riscos sanitários em função do tipo de reúso praticado.....	22
Tabela 2 -	Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação. ....	24
Tabela 3 -	Classes de água de reúso segundo a NBR 13.969.....	25
Tabela 4 -	Diretrizes da USEPA para reúso urbano de água.....	25
Tabela 5 -	Diretrizes da OMS para a irrigação com esgotos sanitários.....	27
Tabela 6 -	Características químicas iniciais do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m. ....	35
Tabela 7 -	Distribuição granulométrica e massa específica do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.....	35
Tabela 8 -	Características do efluente aplicado no solo durante o período experimental...	42
Tabela 9 -	Potencial hidrogeniônico do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	50
Tabela 10 -	Condutividade elétrica do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	46
Tabela 11 -	Concentração de matéria orgânica do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.....	47
Tabela 12 -	Concentração de Nitrogênio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.....	48
Tabela 13 -	Concentração de Fósforo do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	49
Tabela 14 -	Concentração de Potássio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	50
Tabela 15 -	Concentração de Cálcio e Magnésio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.....	52
Tabela 16 -	Concentração de Sódio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	53
Tabela 17 -	Produtividade de matéria seca e concentrações de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio na grama Esmeralda em função dos tratamentos empregados no presente trabalho. ....	55

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
Ca	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
CEa	Condutividade Elétrica da Água
CEes	Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CR	Cloro Residual
CRT	Cloro Residual Total
CT	Coliformes Totais
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CTer	Coliformes Termotolerantes
CV	Coefficiente de Variação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DP	Desvio Padrão
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETo	Evapotranspiração de Referência
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FBS	Filtro Biológico Submerso
FRD	Filtro Rápido Descendente
H + Al	Acidez potencial
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Potássio
Kc	Coefficiente de Cultivo
Mg	Magnésio
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio

Na	Sódio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	Número Mais Provável
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMS	Produtividade de Matéria Seca
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UR	Umidade Relativa do Ar
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WEF	Water Environment Federation
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Esgoto doméstico.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Uso de águas residuárias .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Modalidades de reúso de água .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Regulamentação do reúso de água .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Aspectos sanitários do reúso de água.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b>Qualidade da água de reúso para aplicação na irrigação .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b>Efeitos da aplicação de água residuária no sistema solo-planta.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Efeitos da aplicação de água residuária no solo.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Efeitos da aplicação de água residuária na planta .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Gramma Esmeralda.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Área experimental.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Efluente .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Solo .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Configuração experimental e tratamentos avaliados .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5</b>	<b>Delineamento experimental e análise estatística .....</b>	<b>36</b>
<b>3.6</b>	<b>Procedimento experimental .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1</b>	<b>Condições ambientais .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Qualidade e adequação do efluente .....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Características químicas do solo após a aplicação do efluente.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Potencial hidrogeniônico .....</b>	<b>44</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Condutividade elétrica .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Matéria orgânica.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Nitrogênio .....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Fósforo .....</b>	<b>49</b>
<b>4.3.7</b>	<b>Cálcio e Magnésio .....</b>	<b>51</b>
<b>4.3.8</b>	<b>Sódio.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4</b>	<b>Produtividade e composição química da grama Esmeralda após a aplicação do efluente.....</b>	<b>55</b>

4.4.1	Produtividade de matéria seca.....	55
4.4.2	Nitrogênio .....	57
4.4.3	Fósforo .....	58
4.4.4	Potássio .....	59
4.4.5	Cálcio.....	61
4.4.6	Magnésio.....	61
4.4.7	Sódio.....	62
5	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento da sociedade e para a sustentabilidade ambiental, caracterizando-se como um bem de importância global responsável por aspectos ambientais, econômicos e sociais. A água atende a múltiplas utilidades tais como, abastecimento doméstico e industrial, dessedentação animal, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, recreação, turismo, aquicultura, pesca e, ainda, assimilação e condução de efluentes. Sob essa perspectiva, a água deve ser mais propriamente denominada como recurso hídrico, o qual é dotado de valor econômico.

O aumento da população, associado ao desenvolvimento socioeconômico, estabeleceram novos patamares de demanda e uso da água, ampliando a pressão sobre os recursos hídricos. A poluição dos mananciais, a precariedade da infraestrutura de esgotamento sanitário e abastecimento de água, as mudanças climáticas, o desmatamento, o assoreamento dos rios, o uso inadequado de irrigação e a impermeabilização do solo, dentre tantas outras ações do homem moderno, são responsáveis pela escassez e degradação da qualidade da água em nível mundial (TUNDISI, 2008).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 50% da população mundial viverão em regiões de escassez de água em 2025 (WHO, 2015). Sempre que a água com qualidade requerida para determinado uso torna-se um recurso escasso, são buscadas alternativas de suplementação ou de redução do consumo para que seja restabelecido o equilíbrio entre a oferta e a demanda. Nessas circunstâncias, a utilização de águas residuárias tratadas, pode ajudar a mitigar os efeitos prejudiciais dos déficits hídricos locais (FAO, 2010).

O termo 'águas residuárias' é usado para designar as águas que após serem utilizadas, apresentam suas características naturais alteradas, conforme o uso predominante, que pode ser doméstico, comercial ou industrial. As águas residuárias também são comumente denominadas como esgoto ou águas servidas. A devolução das águas residuárias ao ambiente deve prever, se necessário, o seu tratamento.

A utilização de águas residuárias tratadas, para propósitos de uso não potável, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável. Além do Brasil, países como Espanha, Índia e Itália, estão investindo em pesquisas buscando viabilizar a irrigação com águas residuárias tratadas, devido ao seu potencial econômico e benefícios ambientais (PEREIRA et al., 2011; PEDRERO et al., 2012; SINGH et al., 2012; CIRELLI et al., 2012; SOUZA et al., 2015).

A aplicação de águas residuárias tratadas no sistema solo-planta é uma alternativa interessante, pois além de possibilitar a liberação de recursos hídricos de melhor qualidade para outras atividades, também serve como uma forma de pós-tratamento dos efluentes pelo solo, que é utilizado como um filtro natural, reduzindo os impactos negativos da descarga excessiva de nutrientes e contaminantes causados pelo descarte desses efluentes em águas superficiais (BAME et al., 2014).

Ao considerar os aspectos agronômicos, as águas residuárias, devido a sua composição química, fornecem nutrientes ao solo, tais como Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio, que são essenciais ao crescimento e desenvolvimento de diversas culturas. Autores relatam que a aplicação de águas residuárias em sistemas de cultivo com gramíneas forrageiras tem gerado resultados satisfatórios em relação ao aumento da qualidade e rendimento da forragem (ERTHAL et al., 2010).

Por meio do planejamento integrado das águas naturais e servidas, o reúso pode propiciar suficiente flexibilidade para o atendimento das demandas de curto prazo, assim como assegurar o aumento da garantia no suprimento de longo prazo. Entretanto, para que o reúso seja uma prática viável, é preciso que sejam desenvolvidas técnicas de aplicação e manejo das águas (MATOS, 2007). Nesse sentido, torna-se essencial observar os princípios relacionados à preservação da saúde dos usuários e do ambiente, o atendimento às exigências de qualidade relacionadas ao uso pretendido e a proteção dos materiais utilizados nos sistemas de reúso.

Supõe-se que a aplicação do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA) promoverá alterações nas características químicas do solo, na produtividade e na composição química da grama Esmeralda (*Zoysia japonica*), e que o efluente apresentará potencial para ser utilizado na irrigação de áreas cultivadas com grama Esmeralda. Estudos como este, proporcionarão o conhecimento da necessidade de nutrientes das plantas e de sua capacidade de extraí-los do solo, contribuindo para a formulação de diretrizes para o uso de águas residuárias na irrigação.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de diferentes taxas do efluente da ETE-UFLA nas características químicas do solo, na produtividade e na composição química da grama Esmeralda, bem como avaliar a potencialidade de uso do efluente na irrigação de áreas cultivadas com grama Esmeralda.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Esgoto doméstico

Segundo a definição da norma brasileira NBR 9.648 (ABNT, 1986), esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas, sendo compostos por água (99,9%) e sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos (VON SPERLING, 2014).

Tipicamente, o esgoto doméstico bruto apresenta potencial hidrogeniônico (pH) variando entre 6,5 e 7,5 e demanda química de Oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de Oxigênio (DBO) variando entre 200 e 800 mg L<sup>-1</sup> e entre 100 e 400 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. A concentração de coliformes totais e termotolerantes varia entre 10<sup>6</sup> e 10<sup>10</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup> e entre 10<sup>5</sup> e 10<sup>8</sup> NMP 100 mL<sup>-1</sup>, respectivamente (JORDÃO; PESSOA, 2014).

As concentrações dos componentes dos esgotos dependem de fatores como o consumo per capita de água, a condição socioeconômica e os hábitos da população, a medição da água distribuída, as características da água de abastecimento e os usos aos quais essas águas são submetidas, a presença de despejos industriais no sistema público, o clima da região, a época do ano, as horas do dia, bem como o tipo de tratamento aos quais são submetidos.

O consumo per capita de água tende a aumentar à medida que a população aumenta. Entre os fatores determinantes destacam-se a maior demanda, a maior possibilidade de perdas nas redes distribuidoras, e o uso para fins públicos, que pode assumir proporções mais amplas. Os hábitos da população refletem na utilização da água, tais como em banhos, lavagem de pisos e ruas, irrigação de jardins, dentre outros. Quanto mais elevada a condição socioeconômica, maior o consumo, em decorrência da maior utilização da água em aplicações que visam trazer conforto e facilidades. Sobre a influência do clima, quanto mais quente, maior o consumo de água. Ao longo do dia também há variação no consumo de água, sendo maior nos horários de refeições e menor no início da madrugada.

O principal objetivo do tratamento de esgotos é a prevenção da poluição, mas, o reaproveitamento dessas águas também é uma questão de vital importância (CUNHA et al., 2011). Segundo Freitas et al. (2012), a potencialidade de reúso dos esgotos domésticos é ampla, pois, ao liberar fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, seu uso contribui para a conservação dos recursos naturais e acrescenta uma dimensão econômica e social ao planejamento dos recursos hídricos.

Os esgotos domésticos são ricos em nutrientes, como o Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio, elementos essenciais para o desenvolvimento de diferentes culturas, o que atesta seu potencial de uso como fertilizante (BURBARELLI et al., 2010; SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; PINTO et al., 2013). Entretanto, apesar dos benefícios com o aproveitamento do efluente, a presença de alguns constituintes, como o Sódio e metais pesados, é indesejável, tendo em vista que podem acarretar prejuízos ao sistema solo-planta.

## **2.2 Uso de águas residuárias**

### **2.2.1 Modalidades de reúso de água**

O reúso é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original, podendo ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não (LAVRADOR FILHO, 1987).

Na prática, o reúso consiste na recuperação de efluentes de modo a utilizá-los em aplicações menos exigentes. De acordo com Monte e Albuquerque (2010), a água pode ser reutilizada múltiplas vezes e para diversificados usos, desde que seja tratada de modo a adquirir a qualidade compatível com esses usos e que a utilização seja economicamente viável, ambientalmente segura e aceita pela opinião pública.

A Organização Mundial da Saúde (WHO, 1989) sugere as seguintes terminologias para descrever as diversas possibilidades de reúso da água:

- a) Reúso indireto não planejado: ocorre quando a água é utilizada em atividades humanas e lançada no meio ambiente para ser utilizada, à jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. No caminho do ponto de captação para o novo usuário, a água está sujeita à diluição e autodepuração;
- b) Reúso indireto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas à jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico;
- c) Reúso direto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente. Normalmente destinando-se a uso em indústria ou irrigação;

- d) Reciclagem de água: é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema de tratamento ou outro local de disposição, funcionando como uma fonte suplementar de abastecimento do uso original, tratando-se de um caso particular do reúso direto planejado.

O reúso planejado pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água, e também pode ser denominado ‘reúso intencional da água’.

De acordo com a Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2005), o reúso direto não potável de água abrange as seguintes modalidades: reúso para fins urbanos, para fins agrícolas e florestais, para fins ambientais, para fins industriais e reúso na aquicultura.

O reúso para fins urbanos é caracterizado pela utilização de efluentes domésticos tratados para suprir necessidades diversas que admitem qualidade inferior à potável, e é subdividido em duas categorias: áreas com acesso restrito e áreas com acesso irrestrito. As principais aplicações do reúso para fins urbanos não potáveis são:

- a) Irrigação de parques e jardins públicos, residenciais e industriais, centros esportivos, campos de futebol e de golfe, jardins de escolas e universidades, gramados, árvores e arbustos decorativos ao longo de avenidas e rodovias;
- b) Reserva de proteção contra incêndio;
- c) Sistemas decorativos aquáticos, tais como fontes, chafarizes e espelhos d’água;
- d) Lavagens de veículos, tais como automóveis, caminhões, ônibus e trens;
- e) Lavagem de pisos e praças;
- f) Descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados;
- g) Limpeza de tubulações de esgotos e de galerias de águas pluviais;
- h) Controle de poeira;
- i) Construção civil, na lavagem de agregados, preparação e cura de concreto e controle de umidade para compactação do solo.

Os usos urbanos não potáveis envolvem riscos menores e devem ser considerados como a primeira opção de reúso na área urbana. Entretanto, cuidados especiais devem ser tomados quando ocorre contato direto do público com gramados de parques, jardins, hotéis, áreas turísticas e campos de esporte. O reúso potável, embora encontre exemplos de aplicação na prática, não tem sido recomendado, em função da dificuldade de caracterização

pormenorizada dos efluentes e, portanto, dos riscos associados à saúde (HESPANHOL, 2002).

### **2.2.2 Regulamentação do reúso de água**

Durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como ECO-92, foi dada uma importância especial ao reúso de água no Brasil (HESPANHOL, 2008). A Agenda 21 foi um dos principais resultados da Conferência e, em seu capítulo 21, denominado “Gestão ambientalmente adequada de resíduos líquidos e sólidos”, ficaram estabelecidos como objetivos básicos vitalizar e ampliar os sistemas nacionais de reúso e reciclagem de resíduos e tornar disponível informações, tecnologias e instrumentos de gestão apropriados para encorajar e tornar operacional, sistemas de reciclagem e uso de águas residuárias.

A partir da promulgação da Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi dado um novo enfoque para a questão hídrica, enfatizando o uso racional da água, estabelecendo princípios e instrumentos para sua utilização. A norma brasileira NBR 13.969 (ABNT, 1997) possui um item dedicado ao tema reúso, com a definição de classes de água de reúso e indicação de padrões de qualidade.

Em 2005, foi promulgada a Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2005), que estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso não potável de água no país. Em 2010, foi promulgada a Resolução nº 121 (BRASIL, 2010), que estabeleceu diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução nº 54.

Em 2008, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), junto ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), publicou a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG nº 01 (MINAS GERAIS, 2008), que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes para o Estado de Minas Gerais.

Em 2011, o Conselho Nacional de Meio Ambiente publicou a Resolução nº 430 (BRASIL, 2011), que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa e altera a Resolução nº 357 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Em 2012, foi promulgada a Resolução nº 140 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL,

2012), que estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais.

A experiência internacional mostra que sistemas de reúso bem planejados e operando satisfatoriamente podem apresentar efeitos ambientais positivos, além de aumentar a produtividade de diversas culturas. Em locais áridos e semiáridos, a exemplo dos estados da Califórnia, Arizona, Nevada e Colorado, nos Estados Unidos, e em alguns países do Oriente Médio, a utilização de esgotos tratados na indústria e na agricultura já é uma realidade (QADIR et al., 2010; ALFARRA et al., 2011). Sabe-se ainda, que essa prática também encontra lugar onde se buscam políticas de preservação de mananciais de água para abastecimento humano, a exemplo da Austrália, Japão, Grécia, Itália e Portugal (SILVA; HESPANHOL, 2002).

No Brasil, especificamente na região Nordeste, a utilização de águas residuárias se destaca como uma promissora técnica de convivência com a seca (SOUSA et al., 2006). A utilização do esgoto tratado pode representar uma fonte de água e nutrientes disponível para aplicação na agricultura, mesmo durante os períodos de estiagem (SCHAER-BARBOSA et al., 2014). Dessa forma, faz-se extremamente necessária a regulamentação e a promoção do reúso de água no Brasil, para que a prática seja desenvolvida de acordo com princípios técnicos adequados, de forma economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente aceita e segura, em termos de preservação ambiental e de proteção dos grupos de risco envolvidos.

### **2.2.3 Aspectos sanitários do reúso de água**

A qualidade da água de reúso deve ser compatível com o uso pretendido, mas o aspecto de prevenção de doenças de veiculação hídrica constitui sempre uma preocupação importante. As águas residuárias tratadas podem ser uma fonte de organismos patogênicos, substâncias químicas perigosas, sais e metais pesados. Os microrganismos vivos, tais como helmintos, vírus e bactérias originados de esgotos sanitários podem vir a ser um problema de saúde pública dependendo de como esses esgotos são utilizados na irrigação e em quais culturas (BERTONCINI, 2008).

Os riscos sanitários estão diretamente associados às diferentes aplicações do reúso, que podem implicar, de alguma forma, na exposição do homem aos contaminantes presentes na água recuperada (TABELA 1). Portanto, embora o reúso de água possa ter suas vantagens ambientais e econômicas, certos fatores devem ser levados em consideração, tais como a

caracterização do efluente a ser utilizado, o tipo de cultura que será submetida ao reúso, o tipo de aplicação e o controle da exposição humana, para que a adoção da prática não cause problemas futuros (BASTOS et al., 2003).

Tabela 1 - Principais riscos sanitários em função do tipo de reúso praticado.

Forma de reúso	Riscos associados
Agrícola	Contaminação de consumidores de alimentos com organismos patogênicos e/ou substâncias químicas tóxicas; Contaminação de consumidores de animais que se alimentam de pastagens irrigadas, ou que sejam criados em lagoas contaminadas; Contaminação do público por aerossóis; Contaminação direta de trabalhadores.
Industrial	Se utilizada como água de processo, pode haver contaminação de produtos comestíveis; Conexão cruzada entre os sistemas de água potável e de reúso; Contaminação direta de trabalhadores.
Recreacional	Ingestão de contaminantes químicos e irritação de olhos e mucosas devido aos efluentes industriais; Doenças de veiculação hídrica, infecções nos olhos, ouvidos e nariz; Contaminação direta de trabalhadores.
Recarga de aquífero	Contaminação de aquíferos utilizados como fonte de água potável; Contaminação direta de trabalhadores.
Reúso urbano não potável	Conexão cruzada entre os sistemas de água potável e de reúso; Contaminação direta de trabalhadores.
Reúso potável	Ingestão de contaminantes biológicos e químicos; Contaminação direta de trabalhadores.

Fonte: Lavrador Filho (1987).

Segundo Bastos e Mara (1993), as águas residuárias podem conter em sua composição os mais variados agentes patogênicos. Entretanto, a simples presença de um microrganismo patogênico não implica necessariamente na transmissão de doenças, caracterizando apenas um risco potencial. O risco real de um indivíduo ser infectado depende da combinação de uma série de fatores, como a resistência dos microrganismos ao tratamento do esgoto, as condições ambientais da localidade, a quantidade de dose infectante e a patogenicidade dos agentes infecciosos, a susceptibilidade e grau de imunidade do hospedeiro e o grau de exposição humana aos focos de transmissão.

### 2.3 Qualidade da água de reúso para aplicação na irrigação

Os atributos a serem considerados na avaliação da qualidade da água para a irrigação devem contemplar o conjunto de características físicas, químicas e biológicas que definem sua

adequação ou não para o uso. A qualidade da água utilizada e o objetivo específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de investimento, operação e manutenção associados.

Segundo Madungwe e Sakuringwa (2007), irrigação paisagística é a atividade mais comum de utilização de águas residuárias de origem doméstica. A investigação sobre as implicações da reutilização dessas águas na irrigação, muitas vezes se concentra em propriedades químicas da água que, em longo prazo, podem afetar a qualidade e a capacidade produtiva dos solos.

Quando se pretende utilizar esgotos sanitários para irrigação, além dos aspectos de saúde humana e animal, deve ser considerado o potencial fertilizante dos esgotos (BASTOS; BEVILACQUA, 2006). Procura-se o melhor balanço possível entre a demanda, oferta de água e nutrientes, e os efeitos da qualidade da água sobre o solo e as plantas, tais como o potencial de salinização e de comprometimento da capacidade de infiltração do solo, ou a toxicidade de íons específicos.

O aumento da salinidade do solo pode ser considerado um risco potencial quando se utilizam águas residuárias, acarretando uma série de efeitos fisiológicos nas plantas cultivadas e no próprio solo (BONINI et al., 2014). De acordo com Alves et al. (2011), o efeito da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas resulta das elevadas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo, os quais reduzem o seu potencial osmótico e hídrico, diminuindo a disponibilidade de água e nutrientes às plantas.

Porém, a qualidade da água residuária para irrigação não deve ser avaliada apenas pelo seu conteúdo total de sais, mas também, pela composição individual dos íons presentes, como o Sódio, cujo excesso causa efeito sobre a permeabilidade do solo, nutrição e toxicidade às plantas (SILVA et al., 2011).

Na Tabela 2 são apresentadas as diretrizes usualmente empregadas para avaliar a qualidade da água para irrigação, considerando o grau de restrição de uso de águas em termos de salinidade, sodicidade e toxicidade de elementos químicos específicos.

Tabela 2 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação.

Problema potencial	Grau de restrição de uso <sup>(1)</sup>		
	Nenhum	Ligeiro a moderado	Severo
Salinidade (afeta a disponibilidade de água para o cultivo) <sup>(2)</sup>			
CEa (dS m <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
SDT (mg L <sup>-1</sup> )	< 450	450 - 2.000	> 2.000
Infiltração (avaliada usando CEa e RAS, conjuntamente)			
RAS		CEa (dS m <sup>-1</sup> )	
0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidade de íons específicos (afeta culturas sensíveis) <sup>(3)</sup>			
Sódio (Na <sup>+</sup> )			
Irrigação superficial (RAS)	< 3,0	3,0 - 9,0	> 9,0
Irrigação por aspersão (meq L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	
Cloreto (Cl <sup>-</sup> )			
Irrigação superficial (meq L <sup>-1</sup> )	< 4,0	4,0 - 10	> 10,0
Irrigação por aspersão (meq L <sup>-1</sup> )	< 3,0	> 3,0	
Boro (B) (mg L <sup>-1</sup> )	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Outros (afetam culturas sensíveis)			
Nitrogênio (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) (mg L <sup>-1</sup> )	< 5,0	5,0 - 30	> 30,0
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )			
Irrigação por aspersão (meq L <sup>-1</sup> )	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Faixa normal: 6,5 - 8,4	

CEa: salinidade da água de irrigação. (1) Restrição de uso: nenhuma - ausência de problemas potenciais nas culturas, no solo ou nos sistemas de irrigação; ligeira a moderada - exige cuidado na seleção das culturas e das alternativas de manejo para se garantir o máximo potencial de rendimento; severa - indica o aparecimento de problemas maiores no solo, nas culturas ou nos sistemas de irrigação e exige estratégias de manejo efetivas para se preservar rendimentos aceitáveis. (2) CEes = 1,5 CEa para uma fração de lixiviação em torno de 15 a 20%. (3) A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas são sensíveis ao Sódio e ao Cloreto. Para a maioria das culturas anuais que não são sensíveis, pode-se recorrer a informações de tolerância à salinidade. As diretrizes indicadas devem ser complementadas por informações mais específicas de tolerância das diversas culturas.

Fonte: Ayers e Westcot (1999).

Em termos gerais, a norma brasileira NBR 13.969 (ABNT, 1997) definiu classes para a água de reúso e seus respectivos padrões de qualidade de acordo com o reúso praticado (TABELA 3).

Tabela 3 - Classes de água de reúso segundo a NBR 13.969.

Água de reúso	Aplicações	Padrões de qualidade
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos em que ocorra contato direto com o usuário	pH entre 6 e 8 Turbidez < 5 UNT SDT < 200 mg L <sup>-1</sup> CR entre 0,5 mg L <sup>-1</sup> e 1,5 mg L <sup>-1</sup> CTer < 200 NMP 100 mL <sup>-1</sup>
Classe 2	Lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins, manutenção de lagos e canais paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez < 5 UNT CR > 0,5 mg L <sup>-1</sup> CTer < 500 NMP 100 mL <sup>-1</sup>
Classe 3	Descargas em vasos sanitários	Turbidez < 10 UNT CTer < 500 NMP 100 mL <sup>-1</sup>
Classe 4	Irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens e outros cultivos através de escoamento superficial ou irrigação pontual	OD > 2,0 mg L <sup>-1</sup> CTer < 5000 NMP 100 mL <sup>-1</sup>

SDT: sólidos dissolvidos totais; CR: Cloro residual; CTer: coliformes termotolerantes; OD: Oxigênio dissolvido.

Fonte: NRB 13.969 (ABNT, 1997).

Na Tabela 4 são apresentadas as diretrizes estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2012) para o reúso urbano de água.

Tabela 4 - Diretrizes da USEPA para reúso urbano de água.

Tipo de Irrigação	Processo de tratamento	Qualidade do efluente
Irrestrita	Secundário <sup>(1)</sup>	pH entre 6 e 9
	+	DBO ≤ 10 mg L <sup>-1</sup>
	Filtração <sup>(2)</sup>	Turbidez ≤ 2 UNT <sup>(4)</sup>
	+	CTer ND <sup>(5)</sup>
	Desinfecção <sup>(3)</sup>	CRT ≥ 1,0 mg L <sup>-1</sup> <sup>(6)</sup>
Restrita	Secundário <sup>(1)</sup>	pH entre 6 e 9
	+	DBO ≤ 30 mg L <sup>-1</sup>
	+	SST ≤ 30 mg L <sup>-1</sup>
	Desinfecção <sup>(3)</sup>	CTer ≤ 200 NMP 100 mL <sup>-1</sup> <sup>(5, 7)</sup>
		CRT ≥ 1,0 mg L <sup>-1</sup> <sup>(6)</sup>

ND: não detectável; CTer: coliformes termotolerantes; CRT: Cloro residual total; SST: sólidos suspensos totais. (1) Tratamento secundário é considerado aquele capaz de produzir efluentes com DBO e SST ≤ 30 mg L<sup>-1</sup>. (2) Passagem do efluente através de meios filtrantes. (3) Desinfecção, inativação ou remoção de microrganismos patogênicos por mecanismos químicos, físicos ou biológicos. (4) Turbidez pré-desinfecção; média diária: nenhuma amostra > 5 UNT ou 5 mg L<sup>-1</sup> SST. (5) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 14 CTer 100 mL<sup>-1</sup>. (6) Recomendação aplicada apenas quando o Cloro é utilizado como desinfetante primário. CRT após tempo de contato mínimo de 30 minutos. Residuais ou tempos de contato mais elevados podem ser necessários para a garantia de inativação de vírus e parasitas. (7) Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 800 CTer 100 mL<sup>-1</sup>; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção.

Fonte: USEPA (2012).

O critério da USEPA exige para a irrigação irrestrita, ou a irrigação por aspersão em qualquer situação, um padrão de qualidade de efluentes semelhante ao padrão de potabilidade da água (ausência de coliformes, turbidez igual a 2 UNT e Cloro residual igual a 1 mg L<sup>-1</sup>). Infere-se que o critério de ausência de coliformes asseguraria a ausência de bactérias patogênicas, enquanto a inclusão da turbidez e cloro residual presta papel complementar da indicação da remoção de protozoários por filtração e de inativação de vírus (USEPA, 2012). Evidentemente, um padrão com tais níveis de exigência somente pode ser contemplado por processos rigorosos de tratamento de esgotos, incluindo a filtração e a desinfecção.

Na Tabela 5 são apresentadas as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) para a irrigação com esgotos sanitários. As recomendações apontadas pela OMS destacam a importância da qualidade biológica dos efluentes utilizados na irrigação, para que se diminua a probabilidade de propagação de patógenos, evitando diversas enfermidades.

Tabela 5 - Diretrizes da OMS para a irrigação com esgotos sanitários.

Categoria de irrigação	Opção <sup>(1)</sup>	Tratamento de esgotos e remoção de patógenos (log <sub>10</sub> ) <sup>(2)</sup>	Qualidade do efluente	
			E. coli 100 mL <sup>-1</sup> <sup>(3)</sup>	Ovos de helmintos L <sup>-1</sup>
Irrestrita	A	4	≤ 10 <sup>3</sup>	
	B	3	≤ 10 <sup>4</sup>	
	C	2	≤ 10 <sup>5</sup>	
	D	4	≤ 10 <sup>3</sup>	
	E	6 ou 7	≤ 10 <sup>1</sup> ou ≤ 10 <sup>0</sup>	≤ 1 <sup>(4) (5)</sup>
Restrita	F	4	≤ 10 <sup>4</sup>	
	G	3	≤ 10 <sup>5</sup>	
	H	< 1	≤ 10 <sup>6</sup>	

(1) Combinação de medidas de proteção à saúde. A: cultivo de raízes e tubérculos; B: cultivo de folhosas; C: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo; D: irrigação localizada de plantas que se desenvolvem rentes ao nível do solo; E: qualidade de efluentes alcançável com o emprego de técnicas de tratamento, tais como tratamento secundário + coagulação + filtração + desinfecção; qualidade dos efluentes avaliada ainda com o emprego de *indicadores* complementares (turbidez, SST, CR); F: agricultura de baixo nível tecnológico e mão de obra intensiva; G: agricultura de alto nível tecnológico e altamente mecanizada; H: técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos (tanques sépticos ou reatores UASB) associada ao emprego de técnicas de irrigação com elevado potencial de minimização da exposição (irrigação subsuperficial). (2) Remoção de vírus que associada a outras medidas de proteção à saúde corresponderia a uma carga de doenças virais tolerável ≤ 10<sup>-6</sup> DALY ppa e riscos menores de infecções bacterianas e por protozoários. (3) Qualidade do efluente correspondente à remoção de patógenos indicada em (2). (4) No caso de exposição de crianças (15 anos) recomenda-se um padrão e/ou medidas complementares mais exigentes: ≤ 0,1 ovo L<sup>-1</sup>, utilização de equipamentos de proteção individual, tratamento quimioterápico. No caso da garantia da remoção adicional de 1 log<sub>10</sub> na higiene dos alimentos pode-se admitir ≤ 10 ovos L<sup>-1</sup>. (5) Média aritmética em pelo menos 90% do tempo, durante o período de irrigação. A remoção requerida de ovos de helmintos (log<sub>10</sub>) depende da concentração presente no esgoto bruto. Com o emprego de lagoas de estabilização, o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado como indicador de remoção de helmintos. No caso da utilização de técnicas de tratamento mais complexas (E), o emprego de outros indicadores (turbidez ≤ 2 UNT) pode dispensar a verificação do padrão ovos helmintos. No caso de irrigação localizada, em que não haja contato da água com as plantas e na ausência de riscos para os agricultores (H) o padrão ovos de helmintos poderia ser dispensável.

Fonte: WHO (2006).

Para que se possa fazer uma correta interpretação da qualidade da água para irrigação, os atributos analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, na cultura e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água (BERNARDO et al., 2006). Enquanto padrões nacionais com rigor de lei não são estabelecidos, cabe usar o bom senso, aliado ao conhecimento técnico, procurando associar a qualidade ao uso efetivo que se dará à água.

## **2.4 Efeitos da aplicação de água residuária no sistema solo-planta**

A disposição de águas residuárias no sistema solo-planta, quando realizada sem critérios agronômicos e ambientais, pode causar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, e toxicidade às plantas, por outro lado, se bem planejada, esta aplicação pode trazer benefícios, tais como fornecimento de nutrientes e água para as plantas, redução do uso de fertilizantes e de seu potencial poluidor (ERTHAL et al., 2010).

### **2.4.1 Efeitos da aplicação de água residuária no solo**

A questão de como a água de irrigação cria problemas no solo é complexa porque não depende somente da água, mas também de como é realizado o seu manejo, das condições climáticas e do tipo de solo (ALMEIDA, 2010).

Os efeitos geralmente só são pronunciados após um longo período de aplicação (MEDEIROS et al., 2005), mas, dependendo da concentração de nutrientes do efluente e da frequência de aplicação, os efeitos sobre o solo podem ser observados em um curto período de tempo (BAUMGARTNER et al., 2007). As principais alterações para os solos irrigados com efluentes de tratamento de esgoto se resumem a efeitos sobre o aumento do Carbono e do Nitrogênio totais, da atividade microbiana, dos teores de Cálcio e Magnésio trocáveis, da salinidade, da sodicidade e do risco de dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007).

A irrigação com águas cinzas pode promover efeitos diretos sobre as características químicas do solo, como elevação do pH, salinização excessiva ou acúmulo de compostos orgânicos, além de efeitos indiretos, como a modificação da atividade microbiana do solo devido ao aumento da disponibilidade de Carbono orgânico e de nutrientes essenciais (ROESNER et al., 2006).

A aplicação contínua de esgoto doméstico tratado por meio de irrigação é capaz de aumentar o conteúdo de Sódio no complexo de troca do solo, em detrimento de Cálcio, Magnésio e Potássio, gerando problemas de salinidade e sodicidade com impactos negativos sobre a estrutura do solo e a capacidade de absorção de água (LADO; BEN-HUR, 2009; MUYEN et al., 2011). Por outro lado, o aumento da fertilidade do solo também tem sido verificado por vários autores após a aplicação de esgoto doméstico tratado, relatando altos níveis de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio no solo (HEIDARPOUR et al., 2007; HERPIN et al., 2007).

Lucena et al. (2006) observaram que a fertirrigação de um Neossolo Quartzarênico com efluente de esgoto tratado produziu aumento dos teores de Fósforo, matéria orgânica, do conteúdo de Sódio, da porcentagem de Sódio trocável, do pH, da soma de bases trocáveis e da capacidade de troca catiônica do solo. Santos et al. (2006) constataram que a fertirrigação de cafeeiros com esgoto sanitário tratado, no período de maio a julho, elevou significativamente a concentração de Nitrogênio do solo.

Da mesma forma que os últimos autores citados, Kiziloglu et al. (2008), também verificaram aumento dos teores de matéria orgânica, Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo disponível e diminuição do pH do solo, com a aplicação de águas residuárias. Já Duarte et al. (2008) observaram que, com exceção da concentração de matéria orgânica, a aplicação de efluente doméstico tratado não causou alterações significativas nas concentrações de Fósforo, Potássio e pH do solo cultivado.

Segundo Parvan e Danesh (2011), a aplicação de efluente doméstico tratado no solo durante seis anos, proporcionou aumento significativo dos teores de Fósforo, Potássio e Magnésio do solo na camada de 0 a 0,25 m, do teor de Cálcio até a profundidade de 0,50 m e do teor de Sódio até a profundidade de 1,0 m, contudo, não constataram alteração significativa do teor de Nitrogênio do solo. Damasceno et al. (2011) verificaram que o solo irrigado com efluente doméstico tratado apresentou elevada concentração de Fósforo e matéria orgânica e baixos níveis de Sódio e Potássio.

Com a aplicação de esgoto doméstico tratado em solo cultivado com café Conilon, Gonçalves et al. (2014) observaram incremento da salinidade do solo, aumento dos teores de Magnésio e Potássio, da saturação por bases e da soma de bases trocáveis do solo. Após quatro anos utilizando água residuária tratada na irrigação de oliveiras em um solo arenoso, Bedbabis et al. (2014) constataram significativa diminuição do pH e aumento do teor de matéria orgânica, da condutividade elétrica e da razão de adsorção de Sódio do solo.

A fertirrigação de um Latossolo Vermelho distrófico com esgoto doméstico tratado provocou um acréscimo na concentração de nutrientes do solo, em especial o Sódio, indicando tendência à salinização (URBANO et al., 2015). Conforme Silva et al. (2016), a irrigação com esgoto tratado em um Luvisolo Crômico cultivado com algodoeiro herbáceo, proporcionou maior acúmulo de micronutrientes, Potássio e Sódio no solo, elevando os riscos de sodificação em áreas irrigadas.

#### 2.4.2 Efeitos da aplicação de água residuária na planta

Algumas culturas podem ser irrigadas com água de qualidade inferior sem maiores riscos e alguns problemas de qualidade podem ser superados com práticas de manejo agronomicamente adequadas (BOUWER; IDELOVITCH, 1974). Assim, as plantas podem ser nutridas e ao mesmo tempo servirem como parte importante no tratamento dessas águas.

Ribeiro et al. (2009) afirmam que as plantas desempenham papel importante, que é o de utilizar os nutrientes disponibilizados pelas águas residuárias, extraindo assim macro e micronutrientes, evitando seu acúmulo e reduzindo as possibilidades de salinização do solo, bem como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Diversos estudos comprovaram o efeito de fertilizante associado ao uso de águas residuárias em diversas culturas como o algodoeiro (ALVES et al., 2009; SILVA et al., 2013; SOUSA NETO, et al., 2012), o eucalipto (ROCHA et al., 2014; SILVA et al., 2015) e na produção de mudas de hortaliças (OLIVEIRA et al., 2012). Sob fertirrigação com esgoto doméstico tratado, Friedman et al. (2007) observaram maiores níveis de Nitrogênio nas folhas da celósia (*Celosia argentea* L.) e de Fósforo nas folhas de girassol (*Helianthus annuus* L.).

Medeiros et al. (2008) analisaram a concentração de nutrientes nas folhas de cafeeiros fertirrigados com esgoto doméstico e verificaram incrementos nas concentrações de Nitrogênio, Cálcio e Magnésio e decréscimo nas concentrações de Fósforo e Potássio. De acordo com Kiziloglu et al. (2008), a irrigação com águas residuárias aumentou significativamente os teores de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio da couve-flor (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) e do repolho vermelho (*Brassica oleracea* L. var. rubra).

Piedade et al. (2009) compararam o desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama, incluindo a grama Esmeralda, irrigadas com esgoto doméstico tratado e verificaram que o Nitrogênio presente na água de reúso foi suficiente para o bom desenvolvimento de todas as espécies. Alghobar et al. (2014) concluíram que a irrigação de gramínea com esgoto tratado levou a um aumento significativo dos teores foliares de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio.

Costa et al. (2012) afirmaram que a aplicação de esgoto doméstico tratado na cultura do milho proporcionou níveis nutricionais satisfatórios às plantas, sendo que as plantas irrigadas com maiores concentrações de água residuária apresentaram teores de macro e micronutrientes mais próximos da faixa ideal para a cultura. Por outro lado, segundo

Gonçalves et. al. (2013), a aplicação de esgoto doméstico tratado não foi suficiente para atender às necessidades nutricionais (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) do cafeeiro Conilon.

Deon et al. (2010) avaliaram a produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de diferentes doses de efluente doméstico e constataram que houve aumento expressivo da produtividade quando se aplicou o dobro da necessidade evapotranspirométrica da cultura. Oliveira et al. (2013), avaliando a produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado, observaram diferença significativa na produtividade, porém sem comprometer a qualidade sanitária dos frutos.

De acordo com Nazário et al. (2014), todas as taxas de aplicação de esgoto doméstico avaliadas forneceram nutrientes necessários aos cultivares estudados, capim Tifton 85 (*Cynodon spp.*), capim Marandú (*Brachiaria brizantha*) e capim Pujoca (*Paspalum atratum*), proporcionando ganho de produtividade correspondente ao aumento das doses aplicadas. A fertirrigação de capim Tifton 85 e capim Marandú com esgoto doméstico tratado afetou positivamente a produção de massa seca e a extração de macronutrientes e Sódio pelas forrageiras (GARCIA et al., 2015).

## 2.5 Grama Esmeralda

O gênero *Zoysia* sp. é constituído pelas espécies *Zoysia japonica*, *Zoysia matrella* e *Zoysia tenuifolia*, sendo a primeira a mais popular e utilizada no Brasil. Também conhecida como Esmeralda, foi introduzida no Brasil no início da década de 80, trazida dos Estados Unidos (GODOY; VILLAS BOAS, 2005).

A Esmeralda é uma gramínea de clima quente, originária da orla do Pacífico, especificamente de regiões como China, Japão e outras partes do sudeste da Ásia (SCHWARTZ et al., 2009). Esta gramínea possui média tolerância à sombra, média exigência nutricional, boa tolerância à seca, à salinidade e ao pisoteio (DERNOEDEN, 1999). Adapta-se bem a diferentes tipos de solo, exceto os solos com baixa capacidade de drenagem, sendo tolerante ao frio e a salinidade.

A grama Esmeralda apresenta lâminas foliares de textura fina a média com excelente densidade, coloração verde de intensidade média e crescimento rizomatoso-estolonífero (GODOY et al., 2012). Seu crescimento, entretanto, é lento, o que pode ser uma vantagem por exigir menor frequência de cortes em relação a outras gramíneas de clima quente (TRENHOLM; UNRUH, 2006). Pode ser colhida em área total, visto que após a colheita

permanece no ambiente, rizomas subsuperficiais, capazes de brotarem e cobrir novamente o solo.

Outra vantagem do uso da grama Esmeralda é a formação de um perfeito tapete, devido ao entrelaçamento dos estolões, que são penetrantes e que enraízam facilmente, com as folhas, conferindo assim densa cobertura sobre o solo. É a espécie de grama predominante nos gramados residenciais e nos principais gramados de futebol brasileiros. Além disso, devido ao seu forte sistema radicular e rizomas, é uma grama bastante utilizada em contenção de taludes e em áreas com potenciais problemas de erosão.

De acordo com Godoy e Villas Boas (2010), tapetes de grama Esmeralda bem formados podem apresentar concentrações médias de 20,0 a 25,0 g kg<sup>-1</sup> de Nitrogênio, de 1,7 a 2,0 g kg<sup>-1</sup> de Fósforo, de 11,0 a 14,0 g kg<sup>-1</sup> de Potássio, de 2,0 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> de Cálcio e de 0,9 a 1,2 g kg<sup>-1</sup> de Magnésio em suas lâminas foliares.

Observa-se que, em função das doses de água residuária aplicadas, podem ocorrer ganhos de produção ou prejuízos às culturas. O conhecimento da extração de nutrientes pela grama Esmeralda pode possibilitar o entendimento de fatores relacionados à nutrição mineral da cultura e conseqüentemente permitir calibrar as doses ideais para a espécie. Dessa forma, estudos que visem obter as doses ótimas para a irrigação diferentes espécies vegetais podem nortear o reúso de variados tipos de águas residuárias.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em uma área gramada localizada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), em Lavras, Minas Gerais, vegetada com grama Esmeralda (FIGURA 1).

O município de Lavras está posicionado nas coordenadas geográficas 21° 13' 45" de latitude sul, 44° 58' 31" de longitude oeste e altitude média de 918 m. A região apresenta clima do tipo Cwa (mesotérmico ou tropical de altitude), com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen (SÁ JÚNIOR et al., 2012).

Figura 1 - Vista da área experimental antes do início da aplicação do efluente.



Fonte: Da autora (2016).

#### 3.2 Efluente

O efluente utilizado no experimento foi proveniente da ETE-UFLA, projetada para o tratamento do efluente oriundo das instalações da própria universidade, tais como sanitários, restaurantes, lanchonetes e outros.

Atualmente, encontra-se implantado um sistema de tratamento de esgoto composto por gradeamento grosseiro, gradeamento fino, caixa separadora de gordura, estação elevatória, duas caixas distribuidoras de vazão, seis reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB), seis filtros biológicos aerados submersos (FBAS), quatro filtros rápidos de areia descendentes (FRD), sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, sistema de desinfecção por cloração,

dois filtros prensa para lodo e sistema gerador de energia elétrica movido a biogás. O efluente foi coletado após os FBAS, antes de passar pelos FRD e pela câmara de desinfecção por radiação ultravioleta. A coleta do efluente foi realizada manualmente, com o auxílio de um recipiente plástico graduado.

Durante o período experimental, foram realizadas coletas semanais de amostras do efluente. As coletas foram realizadas às segundas-feiras. As amostras foram analisadas no Laboratório de Análise de Águas Residuárias do Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária do Departamento de Engenharia da UFLA, determinando-se as seguintes variáveis: potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE), por potenciometria; turbidez, por nefelometria; sólidos totais (ST) e em suspensão (SS), por gravimetria; demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), pelo método de Winkler; demanda química de Oxigênio (DQO), pelo método do refluxo fechado; Nitrogênio total Kjeldahl (NTK), pelo método do micro Kjeldahl; Fósforo total (P), pelo método do vanadato-molibdato e coliformes totais (CT) e termotolerantes (CTer), pelo método dos tubos múltiplos (APHA, AWWA, WEF, 2005).

No Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, foram realizadas as análises de Sódio (Na) e Potássio (K), após digestão ácida, por fotometria de chama e de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), após digestão ácida, por espectrofotometria de absorção atômica (SILVA, 2009). Com base nas concentrações de Na, Ca e Mg observadas no efluente, foi determinada, por meio da Equação 1, a razão de adsorção de Sódio (RAS), que permitiu avaliar a restrição ou não do uso do efluente na irrigação.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

em que:

RAS = razão de adsorção de Sódio ( $mmol_c L^{-1}$ )<sup>1/2</sup>;

Na<sup>+</sup> = concentração de Sódio ( $mmol_c L^{-1}$ );

Ca<sup>2+</sup> = concentração de Cálcio ( $mmol_c L^{-1}$ );

Mg<sup>2+</sup> = concentração de Magnésio ( $mmol_c L^{-1}$ ).

### 3.3 Solo

Para avaliação das características iniciais do solo, foi realizada uma amostragem preliminar, antes da aplicação do efluente, na qual foram coletadas amostras simples, nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, com auxílio de um trado tipo holandês, em quinze pontos distintos da área experimental, formando uma amostra composta para cada profundidade, para possibilitar a caracterização química e física do solo.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, determinando-se as seguintes variáveis: potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, matéria orgânica, Nitrogênio, Fósforo total, Potássio, Sódio, Cálcio e Magnésio (EMBRAPA, 1997). A extração da solução do solo para determinação da condutividade elétrica foi realizada pelo método da pasta de saturação (EMBRAPA, 1997).

Também foi realizada a análise física do solo, determinando-se a distribuição granulométrica e a massa específica do solo (EMBRAPA, 1997). Nas Tabelas 6 e 7 são apresentadas, respectivamente, as características iniciais químicas e físicas do solo.

Tabela 6 - Características químicas iniciais do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

Camada (m)	pH	CE	MO	N	P	K	Na	Ca	Mg
		dS m <sup>-1</sup>	---g kg <sup>-1</sup> ---			-----mg dm <sup>-3</sup> -----		--cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> --	
0 - 0,20	6,2	0,12	15,9	1,4	1,3	106,5	3,9	1,6	0,3
0,20 - 0,40	6,6	0,15	12,6	1,1	1,0	71,5	1,6	1,6	0,2

Tabela 7 - Distribuição granulométrica e massa específica do solo nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m.

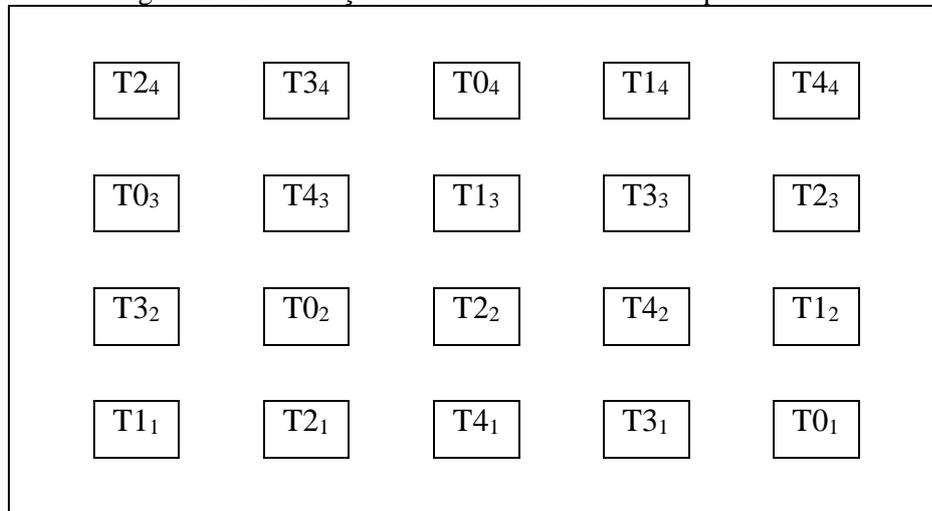
Camada (m)	Distribuição granulométrica (%)			Massa específica do solo (g cm <sup>-3</sup> )
	Argila	Silte	Areia	
0 - 0,20	60	19	21	1,80
0,20 - 0,40	59	18	23	1,85

A classe textural em que o solo se enquadrou foi argilosa e, tendo em vista que a área experimental é uma área de aterro, onde antigamente havia um tanque de piscicultura, não foi possível estabelecer uma classificação para o solo segundo os critérios estabelecidos pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

### 3.4 Configuração experimental e tratamentos avaliados

Na área experimental, foram delimitadas 20 parcelas de 1 m<sup>2</sup> (1 x 1 m), espaçadas em 1,0 m entre si, conforme o esquema apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição dos tratamentos na área experimental.



Os tratamentos avaliados compreenderam a aplicação de diferentes porcentagens do efluente da ETE-UFLA com base na lâmina de irrigação determinada, sendo: T0 - tratamento testemunha, para efeito comparativo (100% água da rede de abastecimento); T1 (75% água da rede de abastecimento + 25% efluente); T2 (50% água da rede de abastecimento + 50% efluente); T3 (25% água da rede de abastecimento + 75% efluente) e T4 (100% efluente). Cada tratamento foi realizado com quatro repetições.

### 3.5 Delineamento experimental e análise estatística

O esquema experimental adotado foi o delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, empregando-se o teste F, em nível de 5% de probabilidade, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando o programa de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2011).

### 3.6 Procedimento experimental

A aplicação do efluente foi iniciada no dia 18 de julho de 2016, encerrando-se dia 18 de novembro de 2016. A aplicação do efluente nas parcelas foi realizada manualmente, com o auxílio de regadores, três vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras). As lâminas aplicadas foram determinadas pelo método do balanço hídrico (EQUAÇÃO 2), considerando uma eficiência de aplicação de 100%, uma vez que não ocorreram perdas de água durante a aplicação.

$$LI = \sum(E T_i - P_i) \quad (2)$$

em que:

LI = lâmina de irrigação (mm);

ET<sub>i</sub> = evapotranspiração no período entre irrigações i (mm);

P<sub>i</sub> = precipitação no período entre irrigações i (mm).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foi estimada por meio da metodologia padronizada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), empregando-se a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), conforme apresentado na Equação 3.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (3)$$

em que:

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

R<sub>n</sub> = saldo de radiação à superfície (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

G = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

T = temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

U<sub>2</sub> = velocidade do vento à altura de 2 m (m s<sup>-1</sup>);

e<sub>s</sub> = pressão de saturação de vapor (kPa);

e<sub>a</sub> = pressão de vapor atual do ar (kPa);

(e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de pressão de vapor (kPa);

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

Os dados meteorológicos utilizados (velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura e radiação solar) foram obtidos na Estação Meteorológica Convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada no campus da UFLA. O coeficiente de cultivo (Kc) foi considerado igual a 1,0, conforme empregado por Godoy (2005), Gerolineto (2008) e Piedade et al. (2009), no manejo da irrigação e no estudo do desenvolvimento de algumas espécies de grama, dentre elas a Esmeralda, no Estado de São Paulo.

No dia 18 de agosto de 2016 foi realizado um corte na área experimental, inclusive dentro das parcelas, para nivelamento da altura da grama. Ao final do experimento foram coletadas amostras de solo, dentro de cada uma das 20 parcelas, nas camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, com o auxílio de um trado tipo holandês, para avaliação das possíveis alterações químicas do solo, decorrentes da aplicação do efluente. As amostras de solo foram preparadas e levadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA para a determinação do potencial hidrogeniônico, da condutividade elétrica e dos teores de matéria orgânica, Nitrogênio, Fósforo total, Potássio, Sódio, Cálcio e Magnésio.

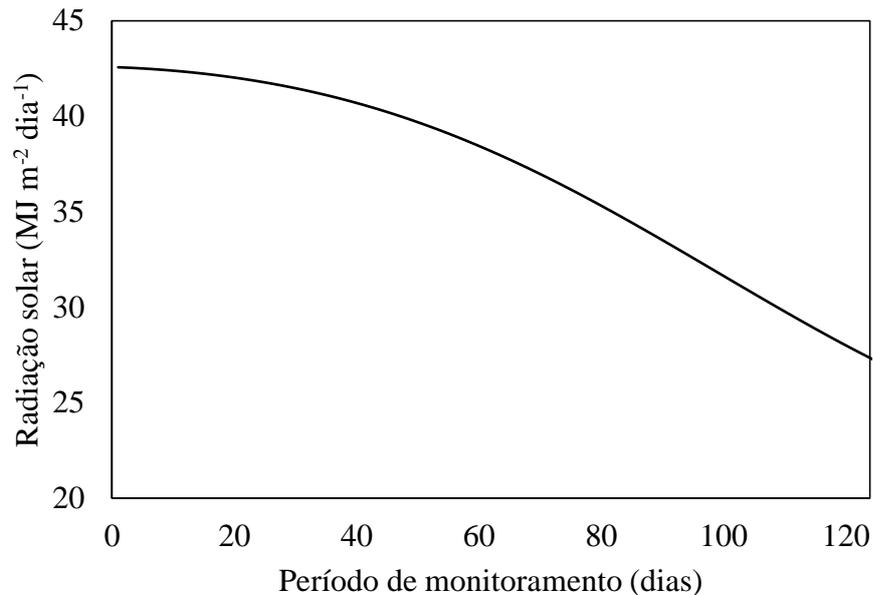
Também foi efetuado o corte final da grama, para avaliação de sua produtividade e composição química. O corte final da grama correspondeu à idade de 92 dias, e foi realizado com o auxílio de uma tesoura, rente à superfície do solo, em área útil de 1,0 m<sup>2</sup> por parcela. Posteriormente, para cada parcela, foi feita a determinação da massa verde, por pesagem no momento do corte, da massa seca, por pesagem após secagem em estufa, e da produtividade de matéria seca, em t ha<sup>-1</sup>. Em seguida, as amostras de grama foram levadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, onde foram preparadas para a determinação dos teores foliares de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições ambientais

As principais variáveis climáticas que influenciam o crescimento das plantas são a radiação solar, a umidade relativa do ar, a temperatura e a precipitação pluviométrica. Na Figura 3 estão representados os valores de radiação solar obtidos durante o período experimental.

Figura 3 - Dados climáticos de radiação solar observados no período experimental.



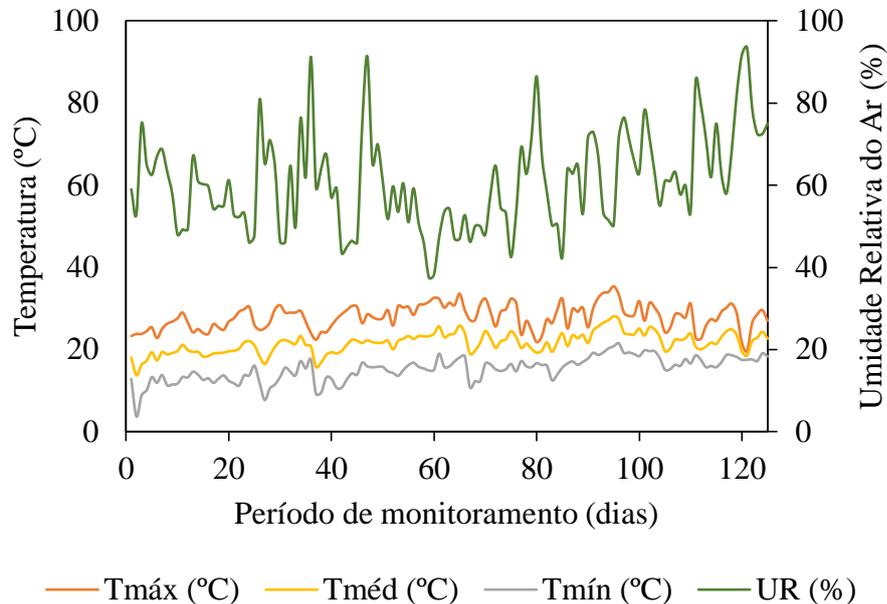
A radiação solar apresentou valores entre 27,2 e 42,6 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. O efeito da radiação solar é o determinante básico do crescimento das plantas, pois influencia na fotossíntese e em outros processos fisiológicos como a transpiração e a absorção de água e nutrientes.

Os valores de temperatura máxima (T<sub>máx</sub>), temperatura média (T<sub>méd</sub>), temperatura mínima (T<sub>mín</sub>) e umidade relativa do ar (UR) coletados durante o período experimental estão representados na Figura 4. No período de monitoramento, as temperaturas máximas e mínimas foram iguais a 35,4°C no dia 19/10/2016 e 3,7°C no dia 02/07/2016, respectivamente, sendo a temperatura média igual a 19,6°C.

A umidade relativa do ar apresentou valores entre 37,5 e 93,5%. A umidade relativa do ar tem influência direta na transpiração das plantas. Costa et al. (2005) afirma que as

baixas umidades do ar são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas por provocar o fechamento dos estômatos, o que reduz não somente a saída de água como também a entrada de dióxido de carbono, reduzindo as taxas fotossintéticas.

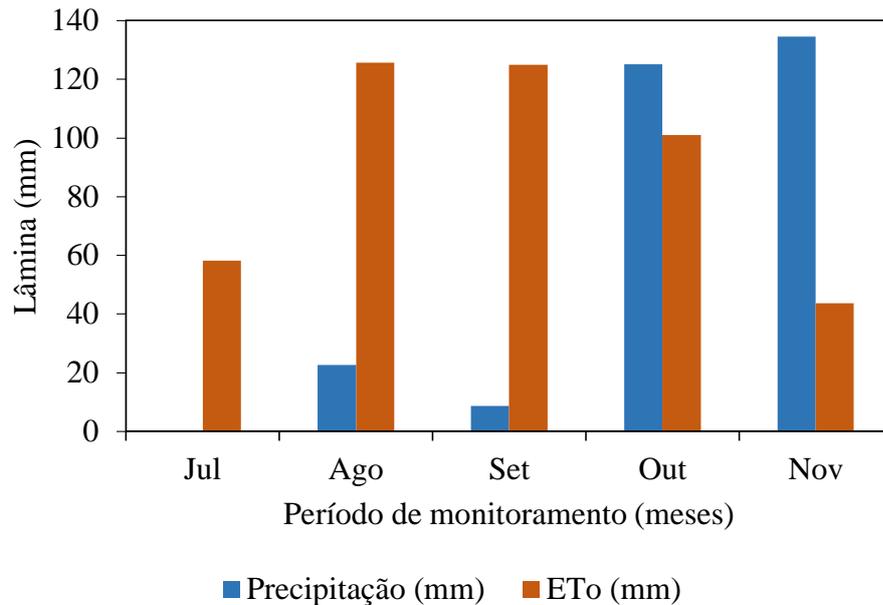
Figura 4 - Dados climáticos de temperatura e umidade relativa do ar, observados no período experimental.



Calor e frio são estados termodinâmicos responsáveis pela alta e baixa energia cinética das moléculas e, portanto, dependendo da intensidade e da duração, podem interferir nas atividades metabólicas da planta (LARCHER, 2000). Segundo Santiago et al. (2002), as gramíneas possuem alta taxa de crescimento e aceleração de seu metabolismo em temperatura do ar na faixa de 25 a 35°C, e, em temperatura menor do que 20°C iniciam um processo de dormência, ocasionando diminuição do seu metabolismo.

Na Figura 5 estão representados os valores de evapotranspiração e de precipitação pluviométrica, obtidos durante o período experimental. As frequências de precipitações diárias ocorreram de forma mais concentrada no mês de novembro. A máxima precipitação diária ocorreu no dia 14/11/2016, sendo igual a 54,6 mm.

Figura 5 - Evapotranspiração e precipitação pluviométrica mensal acumulada durante o período experimental.



As condições climáticas influenciam diretamente o crescimento das plantas e, conseqüentemente, afetam a demanda por nutrientes. O estudo das variáveis climáticas é de grande importância para a avaliação de seus efeitos nas condições fisiológica dos vegetais, podendo afetar as etapas de crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, justificando as observações experimentais.

As lâminas de irrigação foram determinadas pelo método do balanço hídrico, com base nos valores da evapotranspiração (453,7 mm) e da precipitação pluviométrica (290,9 mm) observados durante o período experimental (124 dias). A partir dos valores da lâmina de irrigação média (1,31 mm dia<sup>-1</sup>) e da DBO média do efluente (40 mg L<sup>-1</sup>), foram calculadas as taxas de aplicação do efluente, correspondendo a 0; 0,131; 0,262; 0,393 e 0,524 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de DBO, referentes aos tratamentos T0, T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

#### 4.2 Qualidade e adequação do efluente

Na Tabela 8 são apresentadas as características do efluente da ETE-UFLA, aplicado no solo durante o período experimental.

Tabela 8 - Características do efluente aplicado no solo durante o período experimental.

Variável	Média ± DP	Mínimo	Máximo	CV (%)	Taxa aplicada (kg ha <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )
pH <sup>(16)</sup>	7,2 ± 0,4	6,8	8,0	6,1	-
CE (dS m <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	0,7 ± 0,2	0,5	0,9	24,5	-
Turbidez (UNT) <sup>(16)</sup>	6,3 ± 1,1	4,9	7,6	17,1	-
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	546,3 ± 51,9	485,0	623,0	9,5	7,157
Sólidos totais fixos (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	334,8 ± 18,9	300,0	350,0	5,6	4,386
Sólidos totais voláteis (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	211,5 ± 45,6	140,0	275,0	21,6	2,771
Sólidos suspensos (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	64,8 ± 46,9	10,0	128,0	72,4	0,849
Sólidos dissolvidos (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	481,5 ± 39,8	405,0	512,0	8,3	6,308
DQO (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	86,6 ± 42,7	31,4	155,3	49,3	1,134
DBO (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	40,0 ± 17,7	12,0	60,0	44,2	0,524
Nitrogênio (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	19,6 ± 4,7	13,7	27,3	24,0	0,257
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	0,7 ± 0,3	0,4	1,1	46,3	0,009
CT (NMP 100 mL <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	2,8x10 <sup>9</sup> ± 1,5x10 <sup>9</sup>	1,1x10 <sup>9</sup>	4,5x10 <sup>9</sup>	53,4	-
CTer (NMP 100 mL <sup>-1</sup> ) <sup>(16)</sup>	2,7x10 <sup>9</sup> ± 1,6x10 <sup>9</sup>	1,1x10 <sup>9</sup>	4,5x10 <sup>9</sup>	58,7	-
Sódio (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(8)</sup>	6,8 ± 1,7	5,4	8,7	25,8	0,089
Potássio (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(8)</sup>	3,5 ± 0,8	2,9	4,5	24,3	0,046
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(8)</sup>	0,1 ± 0,01	0,08	0,1	12,4	0,001
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(8)</sup>	0,1 ± 0,02	0,06	0,1	26,7	0,001
RAS (mmolc L <sup>-1</sup> ) <sup>1/2</sup>	3,9 ± 1,5	2,9	5,7	38,1	-

Os valores entre parênteses referem-se ao número de amostragens.

Tendo em vista as diretrizes estabelecidas por Ayers e Westcot (1999) observa-se que, em se tratando de qualidade de água para irrigação quanto à salinidade, o efluente apresentou grau de restrição para o uso em irrigação de ligeiro a moderado, por apresentar CE e SDT médios iguais a  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  e  $481,5 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente. Quanto ao aspecto problemas de infiltração, o efluente também apresentou grau de restrição para o uso em irrigação de ligeiro a moderado, por apresentar RAS e CE médios iguais a  $3,9 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$  e  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ , respectivamente.

O acúmulo de sais pode causar alterações no potencial osmótico, dificultando ou impedindo a captação de água por parte da planta e, o excesso de Sódio pode conduzir à degradação do solo, com consequente perda de sua estrutura e permeabilidade. Porém, a suspensão da aplicação do efluente durante o período chuvoso pode contribuir para a lixiviação dos sais abaixo da zona radicular, evitando problemas de toxicidade às plantas, bem como de infiltração e de salinização do solo.

A adequação da água de irrigação não depende unicamente do teor total de sais, mas também dos tipos de íons presentes. No que se refere à toxicidade de íons específicos, as concentrações médias de Na, K, Ca e Mg, iguais a 6,8; 3,5; 0,1 e  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, apresentaram-se dentro do limite ideal para uso na irrigação, conforme estabelecido por Ayers e Westcot (1999), não indicando restrições de uso.

O pH do efluente, com valor médio de 7,2, manteve-se próximo da neutralidade e, de acordo com Ayers e Westcot (1999), o mesmo se encontra na faixa considerada normal para uso na irrigação. O uso de águas com pH fora dessa constitui-se em um risco, pois pode deteriorar tubulações e equipamentos, devido aos efeitos da corrosão e incrustação.

A matéria orgânica presente nas águas residuárias pode melhorar o armazenamento de água e a capacidade de troca catiônica do solo, bem como aumentar a população de organismos que promovem o crescimento das plantas (ARIENZO et al., 2009). Contudo, observa-se que o efluente apresentou concentração média de DBO de  $40,0 \text{ mg L}^{-1}$ , não atendendo à recomendação da Agência de Proteção Ambiental Americana (USEPA, 2012) para o reúso urbano de água, que estabelece concentrações máximas de DBO de  $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ , para reúso irrestrito, e de  $30,0 \text{ mg L}^{-1}$ , para reúso restrito.

Outro aspecto importante quando se tem o objetivo de empregar a prática do reúso refere-se à concentração de nutrientes presentes na água residuária, tais como o Nitrogênio e o Fósforo. A concentração média de NTK no efluente foi de  $19,6 \text{ mg L}^{-1}$ , valor que deve ser levado em consideração no cálculo da dose de aplicação do efluente em fertirrigação, de forma a minimizar os riscos ambientais dessa prática. A concentração de P no efluente variou

entre 0,4 e 1,1 mg L<sup>-1</sup>, valores considerados normais em água de irrigação (entre 0,0 e 2,0 mg L<sup>-1</sup>), segundo Ayers e Westcot (1999). Como a maioria dos solos brasileiros é pobre em fósforo, a aplicação do efluente pode beneficiar a cultura em que será aplicado.

Quanto à qualidade microbiológica do efluente, tomando-se por base os valores estabelecidos na Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2005), na qual estão definidos os limites de coliformes termotolerantes de  $2,0 \times 10^2$ ,  $1,0 \times 10^3$  e  $4,0 \times 10^3$  NMP 100 mL<sup>-1</sup> em corpos de água doce de classe 1, 2 e 3, respectivamente, dos quais podem ser captadas águas para a irrigação de diferentes culturas, verifica-se que, por conter elevada concentração de coliformes termotolerantes, em média  $2,7 \times 10^9$  NMP 100 mL<sup>-1</sup>, a aplicação do efluente não seria recomendável. Observa-se que a contagem de coliformes termotolerantes excedeu, também, os limites recomendados pela OMS (WHO, 2006) para a irrigação com esgotos sanitários.

Entretanto, Pereira et al. (2014) verificaram que a fertirrigação se mostrou uma técnica adequada para tratamento/disposição final de esgotos sanitários no que se refere à inativação de organismos patogênicos. Após 32 dias da aplicação de esgoto sanitário bruto, a contagem de E. coli passou a ser insignificante tanto em áreas com cobertura vegetal como em solo nu, tornando-se desprezíveis após 6,6 e 13,0 dias, respectivamente, de sua aplicação no solo. Souza et al. (2011) aplicando esgoto doméstico, verificaram que a contaminação por coliformes termotolerantes na superfície do solo foi mínima e sem risco para a saúde humana, chegando a ausência de contaminação a 1,0 m de profundidade.

### **4.3 Características químicas do solo após a aplicação do efluente**

#### **4.3.1 Potencial hidrogeniônico**

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao pH do solo durante o período experimental. Do mesmo modo, foram encontradas evidências de diferenças significativas no pH do solo em relação à profundidade.

Na Tabela 9, observa-se que o pH do solo aumentou significativamente tanto com o aumento da taxa de aplicação do efluente, nas duas camadas avaliadas, quanto em profundidade, em todos os tratamentos avaliados.

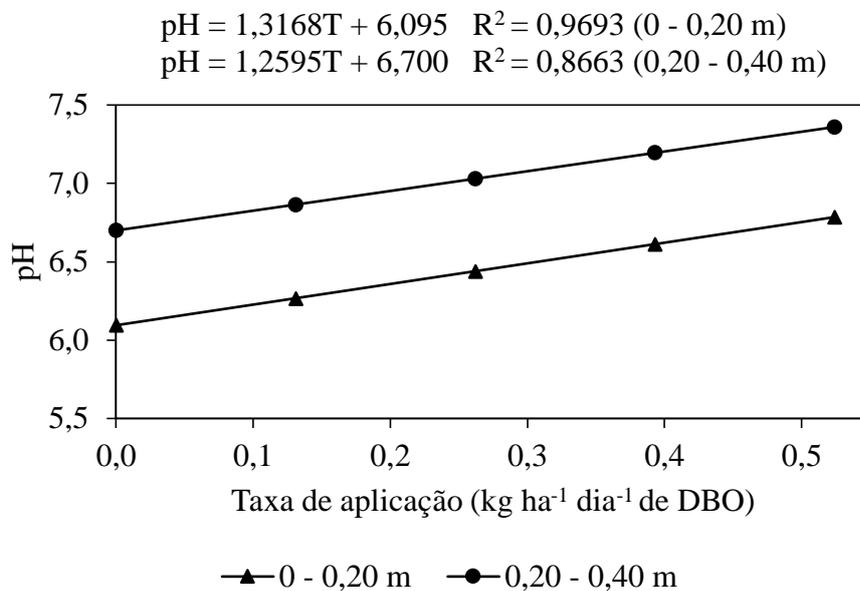
Tabela 9 - Potencial hidrogeniônico do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	pH				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	6,1 Aa	6,3 Aab	6,4 Aab	6,7 Ab	6,8 Ab
0,20 - 0,40	6,6 Ba	7,0 Bab	7,1 Bab	7,2 Bab	7,3 Bb

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram observados aumentos de 4,9 até 11,5%, na camada de 0 a 0,20 m, e de 6,1 até 10,6%, na camada de 0,20 a 0,40 m, no pH do solo dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha. Na Figura 6 encontram-se as equações de regressão e o modelo ajustado para o pH do solo em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 6 - Estimativa do pH do solo em função das taxas de aplicação do efluente.



O aumento do pH dos solos tem sido atribuído ao pH elevado do efluente e à adição de cátions trocáveis oriundos do efluente, como o Ca, Mg, K e Na, que diminuem a atividade do íon H<sup>+</sup>, um dos responsáveis pela acidez do solo. Lucena et al. (2006) observaram que devido aos valores de pH do efluente de esgoto tratado utilizado na irrigação de um Neossolo Quartzarênico, a acidez do solo foi praticamente neutralizada, o que pôde ser comprovado pelo aumento dos valores de pH e pela diminuição das concentrações de H<sup>+</sup> e Al do solo.

A irrigação de milho (*Zea mays* L.) e girassol (*Helianthus annuus* L.) com efluente de esgoto tratado, durante dois anos, aumentou o pH do solo em 0,5 a 1,0 unidade e reduziu a acidez total em mais de 50% (GLOAGUEN et al., 2007). Avaliando os efeitos da aplicação da

água residuária do tratamento de esgoto sanitário sobre as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, Figueiredo Neto et al. (2013) também observaram aumento do pH do solo, com conseqüente diminuição da acidez potencial, diante da elevação das doses de água residuária.

A diferença entre os valores de pH do solo observada no presente trabalho foi inferior a uma unidade, semelhante ao descrito por Leal et al. (2009) e Tarchouna et al. (2010). Apesar de não ser elevada, diferenças dessa ordem têm sido consideradas na literatura como significativas, refletindo o efeito da irrigação com água ou efluente de esgoto tratado sobre os valores de pH do solo após vários anos de irrigação (SANTOS, 2004). Neste sentido, ressalta-se que o pH influencia a solubilidade, a concentração em solução e a forma iônica dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, sua absorção e utilização pelas plantas (FAGERIA et al., 1997).

#### 4.3.2 Condutividade elétrica

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à condutividade elétrica do solo durante o período experimental. Do mesmo modo, não foram encontradas diferenças significativas na condutividade elétrica do solo em relação à profundidade (TABELA 10).

Tabela 10 - Condutividade elétrica do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	CE (dS m <sup>-1</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	0,11 Aa	0,11 Aa	0,15 Aa	0,16 Aa	0,17 Aa
0,20 - 0,40	0,08 Aa	0,16 Aa	0,15 Aa	0,18 Aa	0,18 Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A condutividade elétrica do extrato de saturação, em si, não é um parâmetro suficiente para expressar o estado de salinidade do solo em dado instante, pois, ela mede unicamente a atividade dos íons em solução, que pode ser afetada pela presença de certos ânions, formando pares iônicos e íons complexos (FERREIRA, 2004).

Segundo Matos (2007), o solo começa a apresentar problemas de uso agrícola quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo supera o valor de 4,0 dS m<sup>-1</sup>. Como os valores médios de CE observados no solo estudado foram inferiores ao valor considerado

limite, constatou-se que a aplicação do efluente, durante o período experimental, não foi suficiente para criar condições inadequadas ao solo em questão com relação à salinidade.

A redução da condutividade elétrica do solo estudado, em comparação ao seu valor inicial, pode estar relacionada à elevada pluviosidade observada nos últimos dois meses do período experimental, que pode ter contribuído para uma lixiviação dos sais do solo para as camadas de solo abaixo das contempladas no presente estudo.

### 4.3.3 Matéria orgânica

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos com relação à concentração de matéria orgânica do solo durante o período experimental. Em contrapartida, foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de matéria orgânica do solo em relação à profundidade.

Na Tabela 11 observa-se, em todos os tratamentos avaliados, uma diminuição significativa da concentração de matéria orgânica do solo em relação à profundidade. O decréscimo no conteúdo de matéria orgânica do solo pode ser atribuído às adequadas condições de umidade e temperatura do solo e ao aporte de nutrientes e microrganismos advindos do efluente aplicado durante o período experimental, que podem ter favorecido a atividade microbiana, provocando uma rápida mineralização da matéria orgânica adicionada pela aplicação do efluente.

Tabela 11 - Concentração de matéria orgânica do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	MO (g kg <sup>-1</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	11,3 Aa	11,0 Aa	11,5 Aa	12,7 Aa	12,7 Aa
0,20 - 0,40	7,0 Ba	7,9 Ba	7,3 Ba	8,0 Ba	8,8 Ba

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonseca (2001), estudando a disponibilidade de Nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho irrigado com esgoto tratado, constatou a rápida mineralização da matéria orgânica nos solos irrigados com esgoto tratado. Resultado semelhante foi descrito por Medeiros et al. (2005), ao avaliarem as alterações químicas do solo, em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica.

Simões et al. (2013), avaliando a influência da aplicação de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana de um Latossolo Amarelo distrocoeso, observaram que a atividade microbiana (liberação de CO<sub>2</sub>) aumentou com a aplicação de concentrações crescentes do efluente. Este resultado está em conformidade com o encontrado por Sparling et al. (2006) ao verificarem aumento da atividade microbiana ao longo do tempo, em função da irrigação com esgoto doméstico tratado em quatro solos na Nova Zelândia.

A matéria orgânica é capaz de influenciar uma série de processos do solo, dentre eles, o aumento da capacidade de troca catiônica, da atividade biológica do solo, da estabilidade de agregados e resistência do solo à compactação, sendo considerada um indicador de qualidade do solo. Assim, o incremento de sua concentração na camada superficial do solo é importante, devendo ser considerado nos projetos de reutilização de águas residuárias.

#### 4.3.4 Nitrogênio

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Nitrogênio do solo durante o período experimental. Do mesmo modo, não foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de Nitrogênio do solo em relação à profundidade (TABELA 12).

Tabela 12 - Concentração de Nitrogênio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	N (g kg <sup>-1</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	1,8 Aa	1,9 Aa	1,9 Aa	1,8 Aa	1,8 Aa
0,20 - 0,40	1,6 Aa	1,8 Aa	1,9 Aa	1,8 Aa	1,9 Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Andrade Filho et al. (2013), avaliando as alterações químicas em um Latossolo Vermelho Amarelo e um Cambissolo fertirrigados com doses crescentes de água residuária no cultivo com algodoeiro em região semiárida, também não obtiveram significância no teor de Nitrogênio no solo em função da aplicação de efluente de esgoto tratado. No trabalho conduzido por Medeiros et al. (2005) também não foram detectadas diferenças significativas no incremento da concentração de Nitrogênio do solo, em função dos manejos adotados, convencional e com água residuária de origem doméstica.

Apesar da adição de Nitrogênio no solo, em função da aplicação do efluente, devido ao estado de oxidação do mesmo, pode ter ocorrido nitrificação, e, como o nitrato não é quantificado pelo NTK, pode ter ocorrido aumento da concentração de nitrato sem alterar o Nitrogênio total do solo.

#### 4.3.5 Fósforo

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Fósforo do solo durante o período experimental. Do mesmo modo, não foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de Fósforo do solo em relação à profundidade (TABELA 13).

Tabela 13 - Concentração de Fósforo do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	1,2 Aa	1,6 Aa	2,1 Aa	2,4 Aa	2,6 Aa
0,20 - 0,40	1,2 Aa	1,8 Aa	1,8 Aa	1,8 Aa	1,7 Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A dinâmica do Fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS et al., 2088).

O aporte de Fósforo para o solo, em razão da aplicação via águas residuárias, é baixo (FONSECA et al., 2007). Duarte et al. (2008) também observaram que a aplicação de efluente doméstico tratado não causou alterações significativas na concentração de Fósforo do solo cultivado. A baixa concentração de Fósforo observada no efluente utilizado no experimento pode explicar o fato de não ter ocorrido alterações significativas na concentração de Fósforo no solo.

#### 4.3.6 Potássio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Potássio do solo durante o período

experimental. Do mesmo modo, foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de Potássio do solo em relação à profundidade.

Na Tabela 14, observa-se que a concentração de Potássio do solo aumentou, na camada de 0 a 0,20 m, proporcionalmente ao aumento da taxa de aplicação do efluente e que, em todos os tratamentos avaliados, ocorreu uma diminuição significativa da concentração de Potássio do solo em relação à profundidade.

Tabela 14 - Concentração de Potássio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

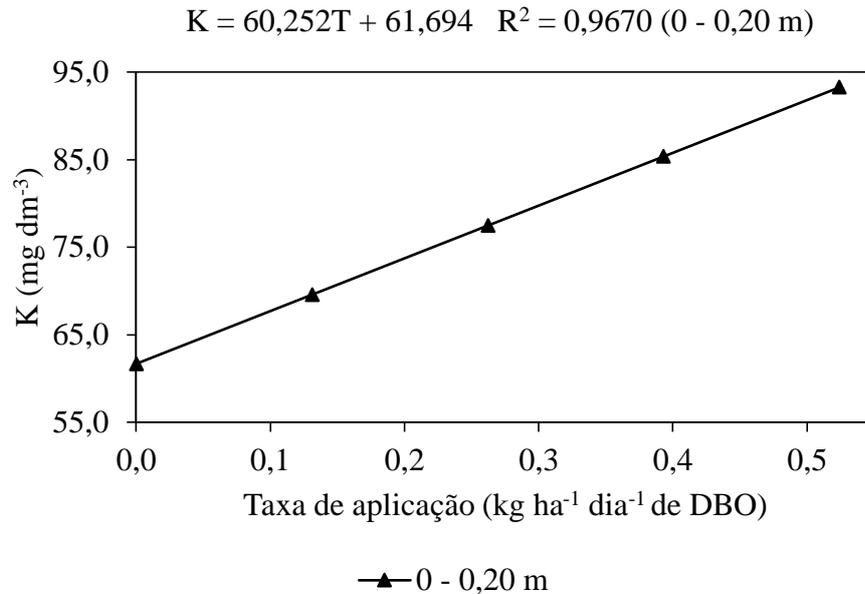
Camada (m)	K (mg dm <sup>-3</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	59,4 Aa	72,5 Aab	78,8 Aab	83,0 Aab	93,6 Ab
0,20 - 0,40	38,5 Ba	39,9 Ba	43,4 Ba	47,4 Ba	50,4 Ba

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foram observados aumentos de 22,1 até 57,6%, na camada de 0 a 0,20 m, na concentração de Potássio do solo dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha. Trabalhando com água residuária de bovinocultura, Erthal et al. (2010) também observaram aumento significativo na concentração de Potássio do solo em consequência do aumento da concentração de água residuária.

Na Figura 7 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Potássio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 7 - Estimativa da concentração de Potássio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.



A disponibilidade de Potássio, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes, da capacidade de troca catiônica do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas (WERLE et al., 2008).

A diminuição da concentração de Potássio do solo, em relação à profundidade, pode ser atribuída à alta solubilidade e mobilidade do elemento no solo. Além disso, o aumento da concentração de Sódio, também presente no efluente, tendo em vista que este elemento desloca o Potássio dos sítios de troca iônica do complexo coloidal, facilitando sua dissorção e lixiviação, pode ter contribuído para a redução dos teores de Potássio no solo.

#### 4.3.7 Cálcio e Magnésio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Cálcio e Magnésio do solo durante o período experimental. Em contrapartida, não foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de Cálcio e Magnésio do solo em relação à profundidade.

Na Tabela 15, observa-se que a concentração de Cálcio e Magnésio do solo aumentou, na camada de 0,20 a 0,40 m, proporcionalmente ao aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de 43,7 até 125%, na camada de 0,20 a 0,40 m, na concentração

de Cálcio e Magnésio do solo dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

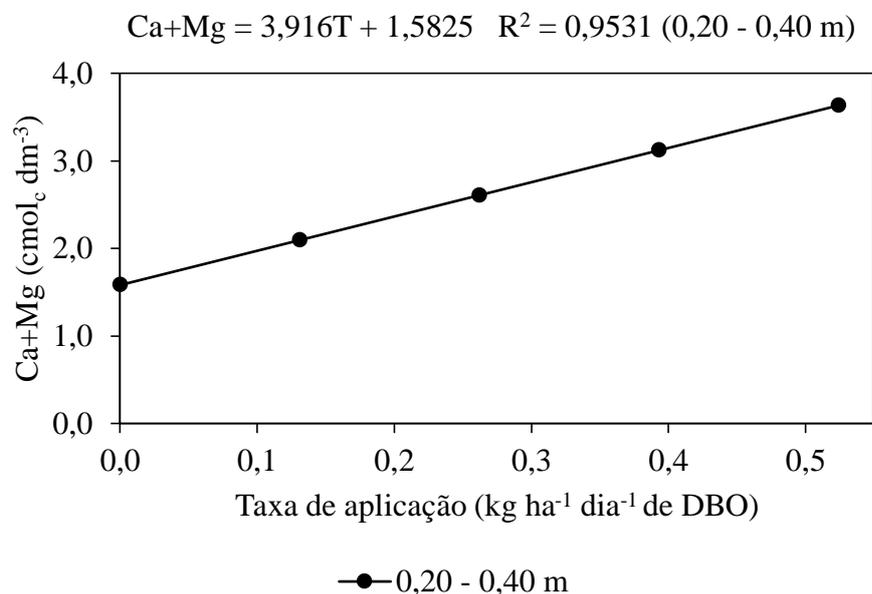
Tabela 8 - Concentração de Cálcio e Magnésio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	2,9 Aa	3,7 Aa	3,9 Aa	4,7 Aa	5,2 Aa
0,20 - 0,40	1,6 Aa	2,3 Aab	2,3 Aab	3,3 Aab	3,6 Ab

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 8 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Cálcio e Magnésio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 8- Estimativa da concentração de Cálcio e Magnésio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.



O acréscimo ou decréscimo destes elementos está diretamente relacionado com a concentração na água residuária aplicada, com a concentração absorvida pelas plantas e com a lixiviação dos mesmos no perfil do solo. Portanto, o aumento da concentração de Cálcio e Magnésio no solo pode ser atribuído ao seu acúmulo no mesmo, em virtude da elevação da taxa de aplicação.

Resultado semelhante ao obtido no presente trabalho foi descrito por Medeiros et al. (2005), ao avaliarem as alterações químicas do solo em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. Hu et al. (2006) também constataram aumento significativo

da concentração de Cálcio e Magnésio em solo irrigado por mais de 30 anos com efluente de esgoto.

#### 4.3.8 Sódio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Sódio do solo durante o período experimental. Do mesmo modo, foram encontradas evidências de diferenças significativas na concentração de Sódio do solo em relação à profundidade.

Na Tabela 16, observa-se que a concentração de Sódio do solo aumentou significativamente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente, nas duas camadas avaliadas, e que, nos tratamentos T0, T1 e T2, ocorreu uma diminuição significativa da concentração de Sódio do solo em relação à profundidade.

Foram observados aumentos de 247 até 798%, na camada de 0 a 0,20 m, e de 347 até 1.117%, na camada de 0,20 a 0,40 m, na concentração de Sódio do solo dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

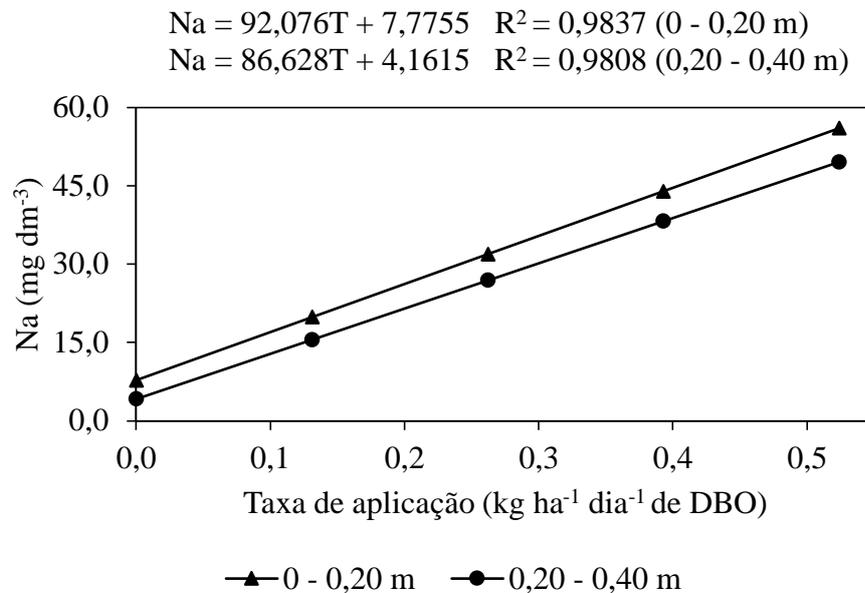
Tabela 9- Concentração de Sódio do solo, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Camada (m)	Na (mg dm <sup>-3</sup> )				
	T0	T1	T2	T3	T4
0 - 0,20	5,9 Aa	20,5 Ab	33,2 Ac	47,0 Ad	53,0 Ad
0,20 - 0,40	3,8 Ba	17,0 Bb	23,6 Bc	41,5 Ad	48,3 Ae

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A diminuição da concentração de Sódio do solo em relação à profundidade pode ser atribuída à retenção do elemento na camada mais superficial do solo, na qual o efluente foi aplicado. Na Figura 9 encontram-se as equações de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Sódio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 9 - Estimativa da concentração de Sódio do solo em função das taxas de aplicação do efluente.



O aumento da concentração de Sódio do solo foi proporcional ao aumento da taxa de aplicação do efluente no solo. Resultado semelhante ao descrito por Andrade Filho et al. (2013), Urbano et al. (2015) e Silva et al. (2016). Pereira et al. (2010), avaliando a influência de diferentes lâminas de irrigação na laranjeira com efluente de esgoto tratado, observaram aumento significativo no teor de Sódio do solo estudado. A irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com água residuária urbana resultou em acúmulo temporário de Sódio, mas o elemento foi lixiviado do perfil do solo após uma estação chuvosa (LEAL et al., 2009).

Altas concentrações de Sódio na solução do solo, em comparação com o Cálcio e o Magnésio, podem causar deterioração da estrutura do solo pela dispersão dos coloides e subsequente entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade à água e aos gases, influenciando negativamente o desenvolvimento de plantas (ERTHAL et al., 2010). Mesmo com o aumento significativo da concentração de Sódio do solo, durante o período experimental, não foram observados problemas de infiltração durante a aplicação do efluente no solo.

#### 4.4 Produtividade e composição química da grama Esmeralda após a aplicação do efluente

Na Tabela 17 são apresentados os valores de produtividade de matéria seca (PMS) e das concentrações de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio na grama Esmeralda, após a aplicação do efluente, em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Tabela 10 - Produtividade de matéria seca e concentrações de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio na grama Esmeralda em função dos tratamentos empregados no presente trabalho.

Tratamento	PMS (t ha <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Na (mg kg <sup>-1</sup> )
T0	2,3a	11,6a	1,3a	10,5a	2,1a	0,5a	0,2a
T1	2,5a	12,3ab	2,0ab	10,9a	3,0a	0,8a	0,2a
T2	4,3ab	14,2bc	2,3ab	15,0b	3,1a	0,9a	0,7b
T3	4,7b	14,3bc	2,5ab	15,7b	2,1a	0,8a	0,8b
T4	6,2b	15,0c	3,0b	16,6b	2,6a	0,8a	1,2c

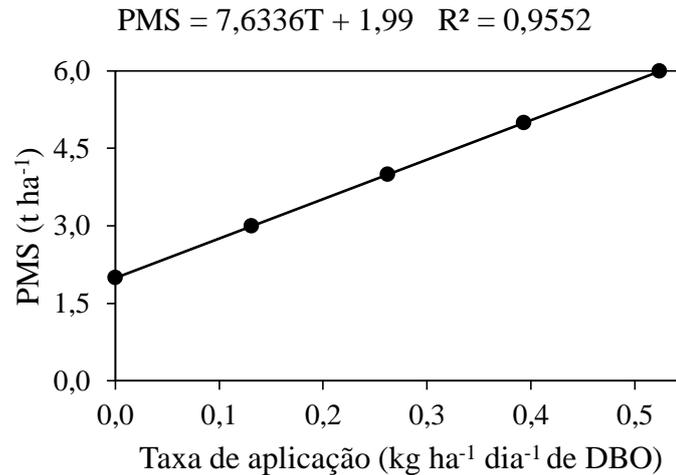
Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

##### 4.4.1 Produtividade de matéria seca

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à produtividade de matéria seca da grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17). Verifica-se que a produtividade de matéria seca aumentou, linearmente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de 8,7 até 169,6% na produtividade de matéria seca dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 10 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a produtividade de matéria seca da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 10 - Estimativa da produtividade de matéria seca da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.



Backes et al. (2010), avaliando a produção, acúmulo e exportação de nutrientes em grama Esmeralda adubada com lodo de esgoto observaram aumento no total da massa das aparas com o aumento das doses de lodo de esgoto, e, para a maior dose de lodo aplicada (40.000 kg ha<sup>-1</sup>), retiraram da área 4.153 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca cortada, durante todo o ciclo da cultura (4 meses).

Lima et al. (2015), analisando a quantidade de nutrientes extraídos pela grama Bermuda (*Cynodon dactylon*) em função de doses de Nitrogênio, obtiveram aumento no total da massa das aparas com o aumento das doses de Nitrogênio, sendo que, para a maior dose aplicada (600 kg ha<sup>-1</sup>), retiraram da área 5.567 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca cortada, até o momento da colheita dos tapetes (4 meses de ciclo).

O peso da matéria seca é usado para expressar o resultado do metabolismo da planta e o efeito das condições ambientais sobre o seu crescimento, isto é, determinando-se a quantidade de matéria seca, pode-se estimar a velocidade de crescimento da planta (ESTRADA et al., 1991). Quanto maior a produção de matéria seca, maior a capacidade da planta em extrair poluentes, evitando o acúmulo dos mesmos no solo.

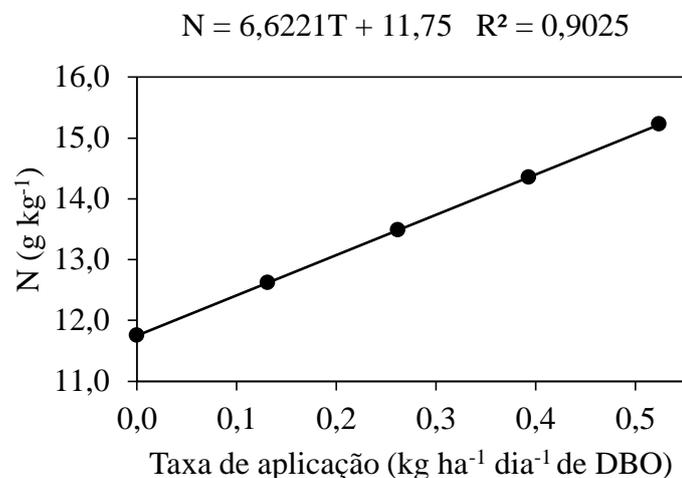
O aumento da produtividade de matéria seca observado no presente trabalho evidencia a capacidade da grama Esmeralda em extrair os poluentes presentes no efluente, evitando o acúmulo dos mesmos no solo.

#### 4.4.2 Nitrogênio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Nitrogênio na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17). Verifica-se que a concentração de Nitrogênio aumentou, linearmente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de 6,0 até 29,3% na concentração de Nitrogênio na grama Esmeralda dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 11 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Nitrogênio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 11 - Estimativa da concentração de Nitrogênio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.



A extração de nutrientes pela grama Esmeralda obedece a seguinte ordem:  $N > K > S > Ca > P > Mg$  (BACKES et al., 2010). O Nitrogênio, quando mantido em níveis adequados nas gramíneas promove o vigor, qualidade visual e recuperação de injúrias (BOWMAN et al., 2002). O efeito mais conhecido da aplicação do Nitrogênio é um aumento no crescimento da parte aérea e na intensidade da coloração verde das folhas, o que é desejável no aspecto estético, além de um ganho no crescimento de raízes e produção de rizomas (CARROW et al., 2001).

Piedade et al. (2009), avaliando o desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente doméstico, encontraram concentrações entre 17,0 a 21,0 g kg<sup>-1</sup> nas lâminas foliares de grama Esmeralda. Carribeiro (2010), analisando o potencial de água

no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama Esmeralda, encontrou valores de 15,0 a 20,0 g kg<sup>-1</sup> de Nitrogênio nas lâminas foliares.

As concentrações de Nitrogênio encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (11,6 a 15,0 g kg<sup>-1</sup>) mostraram-se inferiores às recomendações feitas por Mills e Jones (1996) e por Godoy e Villas Boas (2010), que consideram como valores ideais aqueles compreendidos entre 20,0 e 24,0 g kg<sup>-1</sup>, e 20,0 e 25,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

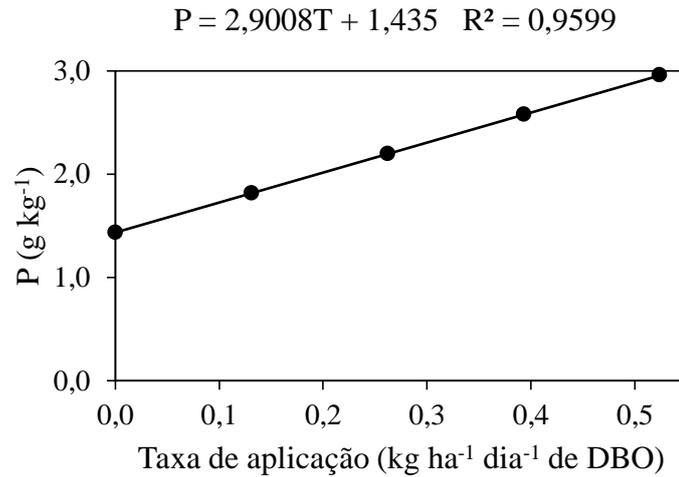
De acordo com Godoy e Villas Boas (2010), teores mais próximos de 15,0 g kg<sup>-1</sup> indicam uma deficiência moderada e teores mais próximos de 20,0 g kg<sup>-1</sup> indicam uma leve deficiência de Nitrogênio. Diante do exposto, verifica-se que as taxas do efluente da ETE-UFLA aplicadas no solo não forneceram suprimento de Nitrogênio adequado para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda.

#### **4.4.3 Fósforo**

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Fósforo na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17). Verifica-se que a concentração de Fósforo aumentou, linearmente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de 53,8 até 130,7% na concentração de Fósforo na grama Esmeralda dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 12 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Fósforo da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 12 - Estimativa da concentração de Fósforo da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.



A importância do Fósforo para o crescimento de raízes é bem conhecida e gramas desenvolvidas em solos deficientes em Fósforo são incapazes de produzir sistema radicular bem desenvolvido (CHRISTIANS, 1998).

Os valores recomendados por Mills e Jones (1996) e por Godoy e Villas Boas (2010) para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda, estão compreendidos entre 2,0 e 2,4 g kg<sup>-1</sup>, e 1,7 e 2,0 g kg<sup>-1</sup> de Fósforo, respectivamente. Levando em consideração as recomendações de ambos, o tratamento T0 (1,3 g kg<sup>-1</sup>) apresentou concentração de Fósforo abaixo do intervalo adequado, a concentração de Fósforo proporcionada pelo tratamento T1 (2,0 g kg<sup>-1</sup>) encontra-se dentro do intervalo adequado e o tratamento T4 (3,0 g kg<sup>-1</sup>) apresentou concentração de Fósforo acima do intervalo adequado.

Piedade et al. (2009) obtiveram teores aproximados de 2,0 g kg<sup>-1</sup> e Carribeiro (2010) encontrou valores de 1,4 a 1,9 g kg<sup>-1</sup> de Fósforo nas lâminas foliares de grama Esmeralda. Diante do exposto, verifica-se que as taxas do efluente da ETE-UFLA aplicadas no solo forneceram suprimento de Fósforo adequado para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda.

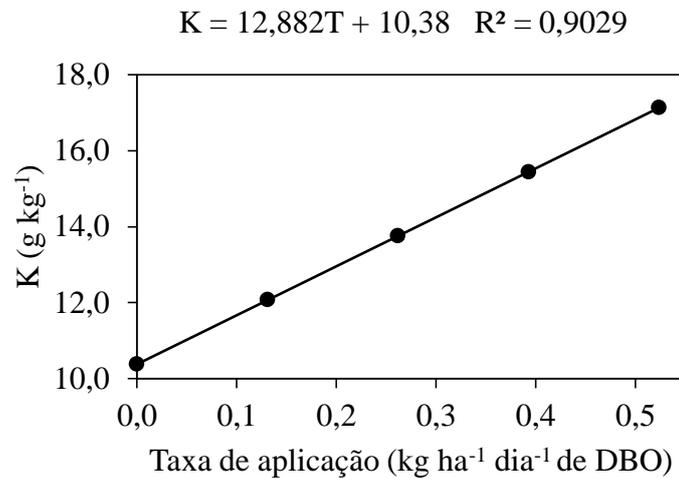
#### 4.4.4 Potássio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Potássio na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17). Verifica-se que a concentração de Potássio aumentou, linearmente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de

3,8 até 58,1% na concentração de Potássio na grama Esmeralda dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 13 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Potássio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 13 - Estimativa da concentração de Potássio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.



Muitas vezes não são observados efeitos da aplicação de Potássio em gramados, embora possa aumentar a produção de carboidratos, aumentar a resistência ao estresse e aos patógenos (CHRISTIANS, 1998). O Potássio é o principal regulador da abertura e fechamento dos estômatos das folhas. Plantas com um bom estado nutricional de Potássio podem regular melhor a abertura e fechamento dos estômatos de modo a permitir maior entrada de CO<sub>2</sub> e reduzir as perdas de vapor de água com a redução da disponibilidade de água no solo.

De acordo com Godoy e Villas Boas (2010), tapetes de grama Esmeralda bem formados podem apresentar concentrações médias de 11,0 a 14,0 g kg<sup>-1</sup> de Potássio em suas lâminas foliares. Levando em consideração a recomendação feita pelo autor, as concentrações de Potássio na grama, proporcionadas pelos tratamentos T2, T3 e T4, iguais a 15,0; 15,7 e 16,6 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, encontram-se acima do intervalo adequado.

As concentrações de Potássio encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (10,5 a 16,6 g kg<sup>-1</sup>) assemelham-se aos valores obtidos por Carribeiro (2010) de 8,9 a 17,8 g kg<sup>-1</sup> e por Godoy (2005), analisando a adubação nitrogenada na produção de tapete de gramas Santo Agostinho e Esmeralda, de 13,0 a 15,0 g kg<sup>-1</sup>. Diante do exposto, verifica-se que as

taxas do efluente da ETE-UFLA aplicadas no solo forneceram suprimento de Potássio adequado para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda.

#### 4.4.5 Cálcio

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Cálcio na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17).

O papel mais importante do Cálcio nas gramas é quanto ao crescimento das raízes. O Cálcio é praticamente imóvel na planta, ou seja, uma vez alocado na estrutura da planta, não pode ser redirecionado para outra parte da planta caso haja a deficiência deste nutriente no solo. Portanto, o único meio do Cálcio chegar até as partes da planta em crescimento é vindo diretamente do solo e, por isso, é necessário que sempre esteja em níveis adequados.

As concentrações de Cálcio encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (2,1 a 2,6 g kg<sup>-1</sup>) encontram-se dentro da faixa considerada adequada por Godoy e Villas Boas (2010), entre 2,0 e 5,0 g kg<sup>-1</sup>. Diante do exposto, verifica-se que as taxas do efluente da ETE-UFLA aplicadas no solo forneceram suprimento de Cálcio adequado para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda.

#### 4.4.6 Magnésio

De acordo com o teste F, não foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Magnésio na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17).

Por fazer parte da estrutura da molécula da clorofila, pigmento responsável pela coloração verde das plantas, o principal efeito do Magnésio nos gramados é o aumento na intensidade da coloração verde das folhas proporcionando um melhor visual estético.

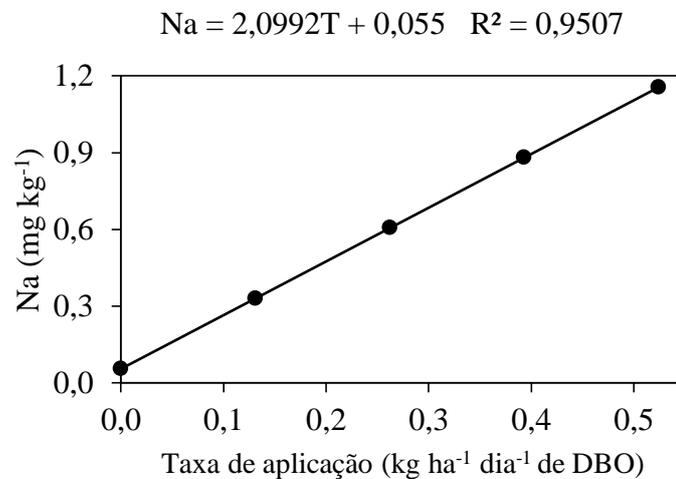
As concentrações de Magnésio encontradas nas lâminas foliares da grama Esmeralda (0,5 a 0,8 g kg<sup>-1</sup>) encontram-se abaixo da faixa considerada adequada por Godoy e Villas Boas (2010), entre 0,9 e 1,2 g kg<sup>-1</sup>. Diante do exposto, verifica-se que as taxas do efluente da ETE-UFLA aplicadas no solo não forneceram suprimento de Magnésio adequado para o bom desenvolvimento da grama Esmeralda.

#### 4.4.7 Sódio

De acordo com o teste F, foram encontradas evidências de diferenças significativas entre os tratamentos em relação à concentração de Sódio na grama Esmeralda durante o período experimental (TABELA 17). Verifica-se que a concentração de Sódio aumentou, linearmente, com o aumento da taxa de aplicação do efluente. Foram observados aumentos de 250 até 500% na concentração de Sódio na grama Esmeralda dos tratamentos que receberam efluente, em relação ao tratamento testemunha.

Na Figura 14 encontra-se a equação de regressão e o modelo ajustado para a concentração de Sódio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.

Figura 14 - Estimativa da concentração de Sódio da grama Esmeralda em função das taxas de aplicação do efluente.



Apesar de não ser nutriente para as gramíneas, a concentração de Sódio na grama foi avaliada devido à elevada concentração do elemento no efluente aplicado no solo, tendo em vista que o aumento da concentração de Sódio no solo como consequência da irrigação é responsável pela acumulação do mesmo na planta. Porém, quanto às grandes quantidades aplicadas, a grama Esmeralda não apresentou concentrações de Sódio que prejudicassem o seu desenvolvimento.

## 5 CONCLUSÃO

O efluente da ETE-UFLA, embora apresente potencial para reúso na irrigação de áreas cultivadas com grama Esmeralda, devido ao fornecimento de água e nutrientes ao solo, mostrou, no estudo realizado, conter elevada concentração de microrganismos patogênicos, evidenciando a necessidade de polimento antes de sua utilização, de modo a evitar riscos à saúde humana.

A aplicação do efluente proporcionou alterações significativas nos valores de pH, Potássio, Cálcio e Magnésio, e Sódio do solo. Ocorreu acúmulo de Sódio no solo, porém, não causando prejuízo à sua qualidade nem ao desenvolvimento da grama Esmeralda.

A aplicação do efluente proporcionou aumento, proporcional ao aumento das taxas de aplicação, na produtividade de matéria seca e nas concentrações de Nitrogênio, Fósforo, Potássio e Sódio da grama Esmeralda. Contudo, não foram observados efeitos adversos da aplicação do efluente em relação à concentração mineral da grama.

Taxas de até  $0,524 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de DBO do efluente da ETE-ULFA podem ser aplicadas em áreas cultivadas com grama Esmeralda. Entretanto, é recomendável o monitoramento das características físicas, químicas e biológicas do efluente e do solo.

Para futuras pesquisas, recomenda-se que a aplicação do efluente seja avaliada por períodos de monitoramento superiores ao realizado neste trabalho, visto que é importante observar as variações climáticas, as condições do solo e o efeito da aplicação do efluente em longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ALFARRA, A. et al. A framework for wastewater reuse in Jordan: utilizing a modified wastewater reuse index. **Water Resources Management**, v. 25, p. 1153-1167, 2011.
- ALGHOBAR, A. M.; RAMACHANDRA, L.; SURESHA, S. Effect of sewage water irrigation on soil properties and evaluation of the accumulation of elements in Grass crop in Mysore city, Karnataka, India. **American Journal of Environmental Protection**, v. 3, p. 283-291, 2014.
- ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (FAO - Estudio Riego e Drenaje, 56).
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em:  
<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/26783/1/livro-qualidade-agua.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2016.
- ALVES, W. W. A. et al. Águas residuárias e nitrogênio: efeito na cultura do algodão marrom. **Revista Verde**, v. 4, n. 1, p. 16-23, 2009.
- ALVES, F. A. L. et al. Efeito do  $\text{Ca}^{2+}$  externo no conteúdo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 602-608, 2011.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, 2005.
- ANDRADE FILHO, J. et al. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013.
- ARIENZO, M. et al. A review of the fate of potassium in the soil-plant system after land application of wastewaters. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 415-422, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO - Estudos Irrigação e Drenagem, 29).
- BACKES, C. et al. Produção, acúmulo e exportação de nutrientes em grama esmeralda adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 413-422, 2010.
- BAME, I. B. et al. The effect of irrigation with anaerobic baffled reactor effluent on nutrient availability, soil properties and maize growth. **Agricultural Water Management**, v. 134, p. 50-59, 2014.

BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. Avaliação dos critérios e padrões de qualidade microbiológica de esgotos sanitários tendo em vista sua utilização na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 17., 1993, Natal. **Anais...** Natal: UFRN, 1993.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; KELLER, R. **Organismos patogênicos e efeitos na saúde humana.** In: Desinfecção de efluentes sanitários. PROSAB 3. Rio de Janeiro: ABES. p. 27-88, 2003.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso de água. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X. E AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** p. 17-62. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BAUMGARTNER, D. et al. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 152-163, 2007.

BEDBABIS, S. et al. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 45-50, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8. ed. Viçosa, 2006. 625 p.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso de água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BONINI, M. A. et al. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014.

BOUWER, H.; CHANEY, R. L. Land treatment of wastewater. **Advances in Agronomy**, v. 26, p. 133-176, 1974.

BOWMAN, D. C.; CHERNEY, C. T.; RUFTY JUNIOR, T. W. Fate and transport of nitrogen applied to six warmseason turfgrasses. **Crop Science**, v. 42, p. 833-841, 2002.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, jan. 1997.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, mar. 2006.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, dez. 2010.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, mai. 2011.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 140, de 21 de março de 2012. Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ago. 2012.

BURBARELLI, R. C. et al. Avaliação microbiológica do solo em área irrigada com efluente de lagoa de estabilização. **Revista DAE**, n. 184, p. 65-68, 2010.

CARRIBEIRO, L. S. **Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama esmeralda**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2010.

CARROW, R. N.; WADDINGTON, D. V.; RIEKE, P. E. **Turfgrass soil fertility and chemical problem: assessment and management**. Chelsea: Ann Arbor, 2001. 400 p.

CIRELLI, G. L. et al. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 163-170, 2012.

COSTA, K. A. P. et al. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Ciência Ambiental Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 187-193, 2005.

COSTA, M. S. et al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 12-26, 2012.

CHRISTIANS, N. E. **Fundamental of turfgrass management**. Chelsea, Arbor, 1998. 301 p.

CUNHA, A. H. N. et al. Reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1225-1248, 2011.

DAMASCENO, L. M. O. et al. Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 2, p. 121-128, 2011.

DEON, M. D. et al. 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.

DERNOEDEN, P. H. Planting and care of a zoysia grass lawn. **Home & Garden**, Maryland Cooperative extension, University of Maryland, 1999. 4 p.

- DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.
- ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.
- ESTRADA, C. L. H.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A. J. Efeito do número e tamanho do quadrado nas estimativas pelo Botanal da composição botânica e disponibilidade de matéria seca de pastagens cultivadas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 20, n. 5, p. 483-493, 1991.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C.A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 2. ed. New York: M. Dekker, 1997. 624 p.
- FERREIRA, P. A. Manejo de água-plantas em solos salinos. Viçosa, MG: UFV, 2004. 111 p. (Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola).
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FIGUEIREDO NETO, P. et al. Alterações químicas do solo e produção de aveia fertilizada com água residuária do tratamento de esgoto sanitário. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 4, p. 71-83, 2013.
- FONSECA, A. F. **Disponibilidade de Nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2001.
- FONSECA, A. F. et al. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 64, n. 2, p. 194-209, 2007.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The wealth of waste: The economics of wastewater use in agriculture**. In: FAO Water Report n. 35. Water Development and Management Unit, FAO, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>>. Acesso em: 6 out. 2016.
- FREITAS, C. A. S. et al. Crescimento vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) irrigada com água de esgoto doméstico tratado. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 27-43, 2012.
- FRIEDMAN, H. et al. Application of secondary-treated effluents for cultivation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and celosia (*Celosia argentea* L.) as cut flowers. **Scientia Horticulturae**, v. 115, p. 62-69, 2007.

GARCIA, G. O. et al. Massa seca e extração de nutrientes por duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 215-226, 2015.

GEROLINETO, E. **Desenvolvimento da grama Esmeralda (*Zoysia japonica* STEUD) sob dois manejos de irrigação**. 2008. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, SP, 2008.

GLOAGUEN, T. V. et al. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 88, p. 119-131, 2007.

GODOY, L. J. G. **Adubação nitrogenada para a produção de tapete de grama Santo Agostinho e Esmeralda**. 2005. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, SP, 2005.

GODOY, L. J. G.; VILAS BÔAS, R. L. **Produção e consumo de gramas crescem no Brasil**. In: *Agrianual – Anuário da Agricultura Brasileira*. 10. ed. São Paulo: FNP Consultoria a Agroinformática, p. 35-38, 2005.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BOAS, R. L. Tecnologias para auxiliar o manejo da adubação na produção de gramas. In: *SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS*, Botucatu, 2010. Tópicos atuais em gramados II: **Anais...** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 92- 102, 2010.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. **Nutrição, Adubação e Calagem para produção de gramas**. 1. ed. FEPAF, 2012. 146 p.

GONÇALVES, I. Z. et al. Nutrition and growth of the conilon coffee after application of treated wastewater. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 71-77, 2013.

GONÇALVES, I. Z. et al. Soil fertility cultivated with conilon coffee after application of treated wastewater. **Coffee Science**, v. 9, n. 1, p. 110-121, 2014.

HEIDARPOUR, M. et al. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. **Agricultural Water Management**, v. 90, p. 87-94, 2007.

HERPIN, U. et al. Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation - A pilot field study in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 89, p. 105-115, 2007.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008.

HU, C. et al. Muskegon Wastewater Land Treatment System: Fate and Transport of Phosphorus in Soils and Life Expectancy of the System. **Engineering in Life Sciences**, v. 6, n. 1, p. 17-25, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7. ed. Associação Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária, ABES, 2014.

KIZILOGLU, F. M. et al. Effect of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 95, p. 716-724, 2008.

LADO, M.; BEN-HUR, M. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 152-163, 2009.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMA Artes e Textos, 2000. 532p.

LAVRADOR, J. F. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil**. 1987. 213 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 1987.

LEAL, R. M. P. et al. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 242-249, 2009.

LEAL, R. M. P. et al. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. **Agricultural Water Management**, n. 96, p. 307-316, 2009.

LIMA, C. P. et al. Quantidade de nutrientes extraídos pela grama Bermuda em função de doses de Nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 5, p. 1432-1440, 2015.

LUCENA, A. M. A. et al. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 409-414, 2006.

MADUNGWE, E.; SAKURINGWA, S. Greywater reuse: A strategy for water demand management in Harare. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 32, p. 1231-1236, 2007.

MATOS, A. T. Disposição de águas residuárias no solo. **Engenharia na Agricultura**, 2007. 142 p. (Caderno Didático 38).

MEDEIROS, S. S. et al. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MEDEIROS, S. S. et al. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 109-115. 2008.

MILLS, H. A.; JONES, J. B. Jr. **Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Athens: MicroMacro, 1996. 456 p.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o

seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Executivo, Belo Horizonte, 2008.

MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa, 2010. 319 p. (Série de Guias técnicos, 14).

MUYEN, Z.; MOORE, G. A.; WRIGLEY, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. **Agricultural Water Management**, v. 99, p. 33- 41, 2011.

NAZÁRIO, A. A. et al. Acúmulo de nutrientes por forrageiras cultivadas em sistema de escoamento superficial para tratamento de esgoto doméstico. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 97-108, 2014.

OLIVEIRA, J. F. et al. Efeito da água residuária de esgoto doméstico tratado na produção de mudas de pimenta cambuci e quiabo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 443-452, 2012.

OLIVEIRA, P. C. P. et al. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 861-867, 2013.

PARVAN, M.; DANESH, S. **Effects of Irrigation with Treated Wastewater on Some Chemical Soil Properties in Parkandabad**. Irrigation Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, 2011. Disponível em: <[http://www.rid.go.th/thaicid/\\_6\\_activity/Technical-Session/SubTheme4/4.04-Majed\\_PS-Danesh.pdf](http://www.rid.go.th/thaicid/_6_activity/Technical-Session/SubTheme4/4.04-Majed_PS-Danesh.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2016.

PEDRERO, F. et al. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 109, p. 54-60, 2012.

PEREIRA, B. F. F. et al. Irrigação de laranjeira com efluente de esgoto tratado; Na e K no solo. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 32., **Anais...**Uberlândia, MG, 2010.

PEREIRA, B. F. F. et al. Reclaimed wastewater: impact on soil- plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, p. 54-61, 2011.

PEREIRA, M. S. P. et al. Decaimento de bactérias do grupo coliformes em solos com cobertura vegetal e nu. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 6, p. 575-582, 2014.

PIEIDADE, A. R. et al. Desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente doméstico. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 268-275, 2009.

PINTO, M. C. K. et al. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido á irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, v.18, n. 2, 2013.

QADIR, M. et al. Wastewater production, treatment, and irrigation in Middle East and North Africa. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 24, p. 37-51, 2010.

RIBEIRO, M. S. et al. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 569-577, 2009.

ROCHA, S. A. et al. Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. Irrigadas com diferentes qualidades de água. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 141-151, 2014.

ROESNER, L. et al. **Long-term Effects of Landscape Irrigation Using Household Graywater –Literature Review and Synthesis**. Water Environment Research Foundation, 2006. Disponível em: <<http://www.aciscience.org/docs/SDA-WERF%20Graywater%20Lit%20Review.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

SÁ JUNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brasil. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 108, p. 1-7, 2012.

SANTIAGO, A. V. et al. Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 1, p. 57-66, 2002.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85**. 2004. 35 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

SANTOS, S. S. et al. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 1, p. 32-38, 2006.

SANTOS, M. B. H. et al. Salinidade de um solo irrigado com água residuária e adubado com biossólido. **Agropecuária Técnica**, v. 27, n. 1, 2006.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.

SCHWARTZ, B. M. et al. Heritability estimates for turfgrass performance and stress response in *Zoysia* spp. **Crop Science**, v. 49, p. 2113-2118, 2009.

SILVA, J. P.; HESPANHOL, I. **Reúso de água**: efluentes tratados como água de processo na indústria de curtimento de couros. Estudo de caso: ETA Franca (SABESP). Distrito Industrial de Franca. In: V Simpósio de Gerenciamento Ambiental na Indústria, 2002.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, I. N. et al. Qualidade de água na irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 7, n. 3, p. 1-15, 2011.

- SILVA, C. C. et al. Resposta do capim Marandú (*Brachiaria brizantha* Stapf) à aplicação de NPK e fontes de matéria orgânica. **Revista Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, v. 7, p. 43-57, 2012.
- SILVA, L. V. B. D. et al. Torta de mamona residual e irrigação com efluente sobre crescimento e produção de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1264-1270, 2013.
- SILVA, R. J. et al. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 2, p. 323-330, 2015.
- SILVA, L. B. D. et al. Atributos químicos de um Luvissole Crômico sob irrigação com águas residuárias tratadas e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 308-315, 2016.
- SIMÕES, K. S. et al. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 518-523, 2013.
- SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v. 103, p. 100-104, 2012.
- SOUSA; J. T. et al. Tratamento de águas residuárias: uma proposta para a sustentabilidade ambiental. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 1, p. 90-97, 2006.
- SOUSA NETO, O. N. et al. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 200-208, 2012.
- SOUZA, V. A. A. et al. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.
- SOUZA, C. F. et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reúso agrícola. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 587-597, 2015.
- SPARLING, G. P. et al. Nutrient leaching and changes in soil characteristics of four contrasting soils irrigated with secondary-treated municipal wastewater for four years. **Australian Journal of Soil Research**, v. 44, p. 107-116, 2006.
- TARCHOUNA, L. G. et al. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. **Applied Geochemistry**, v. 25, p. 1703-1710, 2010.
- TRENHOLM, L. E.; UNRUH, J. B. **New and not so new lawn grasses for Florida**. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, 2006. IFAS Publication Number: ENH1033. Disponível em: <<http://ufdc.ufl.edu/IR00001764/00001>>. Acesso em: 6 nov. 2016.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – USEPA. **Guidelines for water reuse**. Washington DC: USEPA, 2012.

URBANO, V. R. et al. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 4, p. 737-747, 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health guidelines for the safe use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: WHO, 1989. (Technical Report Series, 778).

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. 213 p. Geneva: WHO, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Drinking - Water**, Fact Sheet 391, June, 2015. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/en/>>. Acesso em: 26 out. 2016.