UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

CAMILA APARECIDA NUNES DE SOUZA

IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA VIA ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NA GRAMA ESMERALDA

Botucatu

2020

CAMILA APARECIDA NUNES DE SOUZA

IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA VIA ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NA GRAMA ESMERALDA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem)

Orientador: Prof. Dr. Leandro José Grava de Godoy

Botucatu

2020

S729i

Souza, Camila Aparecida Nunes de
Irrigação com água residuária doméstica via aspersão ou gotejamento subsuperficial na grama esmeralda / Camila Aparecida Nunes de Souza. -- Botucatu, 2020
89 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Leandro José Grava de Godoy

1. Zoysia. 2. Gramado ornamental. 3. Adubação. 4. Reuso de água. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA VIA ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL NA GRAMA ESMERALDA

AUTORA: CAMILA APARECIDA NUNES DE SOUZA
ORIENTADOR: LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEANDRO JOSE GRAVA DE GODOY (Participaçao Virtual)
Coordenadoria do Curso de Engenharia Agronômica / UNESP - Câmpus de Registro

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participaçao Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu - UNESP p/

Prof. Dr. LUIZ VITOR CREPALDI SANCHES (Participaçao Virtual)
Fitotecnia / Faculdades Integradas de Bauru p/

Botucatu, 03 de novembro de 2020

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A minha amada mãe, que nunca mediu esforços para que eu pudesse realizar os meus sonhos, gratidão define tudo o que fez e faz.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leandro José Grava de Godoy, pela paciência, ensinamentos e incentivo durante a graduação e pós-graduação.

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

Aos funcionários da FEPE e do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente, em especial ao Jair, Felipe, Adriana, Sônia e José Carlos, pelo suporte para realização do experimento.

A Leidiane Portugal, por ser a minha maior incentivadora, por ser abrigo e por ser luz em todos os momentos da minha trajetória neste percurso.

Aos amigos, em especial, Patrick, Matheus, Eunice e João Victor, pela ajuda durante a condução do experimento.

A Rain Bird® pelo fornecimento do material para o experimento.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para o desenvolvimento do experimento.

RESUMO

As gramas são as principais espécies de plantas utilizadas em projetos paisagísticos e nos grandes centros urbanos. A irrigação de gramados ornamentais é um dos muitos competidores pelo uso da água potável. Uma alternativa que pode contribuir com o uso racional da água nesta prática, seria substituir a fonte potável pela água residuária doméstica, que apresenta níveis consideráveis de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Com o presente trabalho, objetivou-se avaliar o efeito do uso contínuo de água residuária doméstica na qualidade dos gramados e nos atributos físicos e químicos do solo, aplicada via aspersão ou via gotejamento subsuperficial. O trabalho foi realizado no Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu/UNESP. O delineamento adotado no experimento foi inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em dois sistemas de irrigação (aspersão e gotejamento subsuperficial), quatro lâminas com água residuária doméstica proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Botucatu-SP, com 50%(T1), 100% (T2), 150% (T3), 200% (T4) da evapotranspiração de referência (ETo) e tratamento controle (T0), com água potável fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) de Botucatu, SP, repondo 100% da evapotranspiração de referência (ETo). Foram avaliadas as seguintes características: massa seca das aparas, teor de nutrientes nas folhas, medida indireta de clorofila (MIC), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de grama (IG), concentração de nutrientes e sódio no solo, argila dispersa em água e estabilidade de agregados. Os sistemas de irrigação foram semelhantes para as avaliações realizadas, com algumas diferenças pontuais. As maiores lâminas de água residuária doméstica proporcionaram maiores índices de qualidade no gramado e maior teor de sódio no solo.

Palavras-chave: Zoysia. Gramado ornamental. Adubação. Reuso de água.

ABSTRACT

The turfs are the main species of plants used in landscaping projects and in large urban centers, irrigation of ornamental turfgrasses is one of the many competitors for the use of potable water. An alternative that can contribute to the rational use of water in this practice, would be substituted the drinking source for domestic wastewater, which presents considerable levels of nutrients such as nitrogen and phosphorus. This study aimed to evaluate the effect of the continuous use of domestic wastewater on the quality of the turfgrass and on the physical and chemical attributes of the soil, applied by sprinkling or subsurface dripping. The work was conducted at the Department Forest, Soil and Environment Science located at Faculty of Agricultural Sciences – Unesp/ Botucatu. The design adopted in the experiment was completely randomized, with split plots and four replications. The treatments consisted of two irrigation systems (sprinkling and subsurface dripping), four slides with domestic wastewater from the Wastewater Treatment Station (ETE) in Botucatu-SP with 50% (T1), 100% (T2), 150% (T3), 200% (T4) of daily evapotranspiration and control treatment (T0), with potable water provided by the Basic Sanitation Company of the Sao Paulo State (Sabesp) from Botucatu, replacing 100% of daily evapotranspiration. The following characteristics were evaluated: dry matter of the clippings, nutrient content in the leaves, indirect measure of chlorophyll (MIC), normalized difference vegetation index (NDVI), grass index (IG), soil concentration of nutrients and sodium, clay dispersed in water and aggregates stability. The irrigation systems were similar for the evaluations carried out, with some occasional differences. The largest blades of domestic wastewater provided higher levels of quality in the lawn and higher sodium content in the soil.

Keywords: Zoysia. Ormanental lawn. Fertilizing. Water reuse.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL..... 11

REVISÃO DE LITERATURA..... 14

Uso racional da água na agricultura..... 14

Gramados ornamentais..... 15

Água residuária..... 16

Uso de água residuária na irrigação de gramados..... 18

CAPÍTULO 1 – IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA VIA ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL E O SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO, NA QUALIDADE E ESTADO NUTRICIONAL DO GRAMADO..... 20

1.1 INTRODUÇÃO..... 20

1.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 21

1.2.1 Localização e caracterização da área experimental..... 21

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos..... 24

1.2.3 Caracterização do solo..... 26

1.2.4 Condução da área experimental..... 27

1.2.5 Irrigação..... 27

1.2.6 Características avaliadas no gramado..... 30

1.2.6.1 Massa da matéria seca das aparas..... 30

1.2.6.2 Teor de nutrientes na folha..... 31

1.2.6.3 Medida indireta de clorofila (MIC)..... 31

1.2.6.4 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)..... 32

1.2.6.5 Índice de grama (IG)..... 33

1.2.7 Análise química da água..... 34

1.2.8 Análise estatística..... 35

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 36

1.4 CONCLUSÕES..... 55

REFERENCIAS 56

CAPÍTULO 2 – ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM GRAMADOS..... 59

2.1 INTRODUÇÃO..... 59

2.2 MATERIAL E MÉTODOS..... 60
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental..... 60
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos..... 62
2.2.3 Caracterização do solo..... 63
2.2.4 Análise química da água..... 65
2.2.5 Condução da área experimental..... 67
2.2.6 Irrigação..... 67
2.2.7 Avaliações realizadas no solo..... 69
2.2.7.1 Atributos químicos..... 69
2.2.7.2 Atributos físicos..... 70
2.2.8 Análise estatística..... 70
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 71
2.4 CONCLUSÕES..... 78
REFERÊNCIAS 83
CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 86
REFERÊNCIAS..... 87

INTRODUÇÃO GERAL

A água potável é um recurso natural finito e o seu uso de modo inadequado pode acarretar sérios problemas, como degradação e até mesmo o seu esgotamento em certas regiões. Dada a sua grandeza e a atual situação do cenário mundial em relação as adversidades climáticas, é necessário pensar em alternativas que otimizem sua utilização de maneira racional e sustentável, como a adoção de práticas de manejo, sistemas mais eficientes e fontes alternativas para uso não potável.

Frente ao grande desenvolvimento urbano, agrícola e industrial – setores de maior demanda de água para a execução de suas atividades – a necessidade de inovar e encontrar novas tecnologias, fontes alternativas e melhorias nos sistemas existentes, tem sido o foco principal dos órgãos e empresas competentes da área.

A presença de gramados em ambientes urbanos pode proporcionar inúmeros benefícios, principalmente ao meio ambiente e a qualidade de vida da população. Os espaços verdes podem minimizar os efeitos negativos relacionados à poluição, pois atuam como um filtro para atenuar ruídos, aumentam a infiltração da água no solo, diminuindo assim os riscos de alagamento, melhoram a qualidade do ar, além de oferecer a sensação de frescor.

Focando no uso da água potável em ambientes urbanos, as áreas verdes são consideradas grandes competidoras com os demais usos, pois necessitam de irrigação para sua implantação e manutenção. A principal forma de irrigação utilizada nos gramados é a aspersão. Uma forma para aumentar a eficiência no uso da água seria adotar sistemas de irrigação que façam a aplicação de forma localizada (quando possível), como o gotejamento subsuperficial e/ou utilizar fontes alternativas de água, como águas residuárias domésticas, que são provenientes de efluentes líquidos de residências, edificações, indústrias e agroindústrias tratados ou não.

Objetivou-se com esse experimento avaliar a qualidade do gramado e os efeitos nos atributos físicos e químicos do solo, em função da irrigação com água residuária doméstica via aspersão ou gotejamento subsuperficial.

REVISÃO DE LITERATURA

Uso racional da água na agricultura

A água é o recurso natural mais valioso disponível, sendo necessário em processos físicos, químicos e biológicos na terra. Nos períodos de escassez, muito se fala sobre o uso adequado e o desperdício que ocorre nos setores agropecuário, industrial e doméstico (DRUGOWICH, 2017).

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017), a irrigação é responsável pelo maior uso da água no Brasil. Em 2015, a área irrigada era de aproximadamente 6,95 milhões de hectares, cerca de 46% das retiradas nos corpos hídricos e por 67% do consumo (água que não retorna diretamente).

Os problemas relacionados ao déficit provocados pelo alta demanda social em relação a oferta de água, podem ser amenizados com a utilização de alternativas que otimizem o seu uso com os critérios adequados (FAGGION et al., 2009). Esta otimização pode ser alcançada atuando-se na estrutura da irrigação existente, aprimorando o sistema e na gestão do uso da água; adoção de métodos de manejo (via solo, planta e atmosfera) e nas fontes alternativas para racionalizar o uso da água (COELHO et al., 2005; DRUGOWICH,2017).

Na agricultura irrigada, a utilização de sistemas de irrigação mais eficientes e de fontes alternativas de recursos hídricos são uma busca constante, pois há uma tendência de aumento no custo da energia e esgotamento dos mananciais (REBOUÇAS et al., 2010; BARRETO FILHO et al., 2000).

Alguns cuidados devem ser considerados para a reutilização de águas provenientes de esgoto doméstico, como a concentração e presença de elementos que possam ser prejudiciais ao sistema solo-planta, como sódio (Na) e metais pesados, e por último, mas não menos importante, a presença de microrganismos causadores de doença.

O reuso de água ou o uso de água residuária para diversos fins tem sido praticado em todo o mundo, não sendo um conceito novo, contribuindo para diminuir os problemas da escassez, má distribuição e má qualidade da água em certos locais. Deve ser considerado como parte de uma atividade mais ampla, que é o uso racional ou eficiente da água, que engloba também o controle de perdas e desperdícios, minimização da produção de efluentes e do consumo de água (CETESB, 2020).

Gramados ornamentais

As gramas são as principais espécies de plantas utilizadas em projetos paisagísticos em todo o mundo (WINTERS, 2012), onde os gramados ornamentais assumem lugar de destaque pelo grande valor estético e diversas funcionalidades (SANTOS; CASTILHO, 2018a).

Neste sentido, os gramados podem ser empregados em áreas residenciais, industriais, públicas, taludes e encostas, canteiros de rodovias e em campos esportivos, e a sua função varia de acordo com o local que está implantado, bem como as características da espécie de grama, nível de manutenção (GODOY; VILLAS BÔAS, 2003), e as técnicas de plantio, irrigação e manutenção adotadas

A grama esmeralda (*Zoysia japônica* Steud) é a mais comercializado no país (MOTA et al., 2019), sendo a espécie mais indicada para áreas industriais, residenciais e rodovias, por ser rústica, bem adaptada às condições tropicais, resistente ao pisoteio e à seca e produzida em grande escala, (GRAMA LEGAL, 2014). É uma espécie de estação quente, crescimento rizomatoso e estolonífero, folhas de textura fina a média, com excelente densidade e cor verde (CHRISTIANS et al., 2016; BACKES et al., 2017),

De acordo com Mendonça (2017), um gramado bem cuidado gera uma valorização das áreas externas por proporcionar bom impacto visual no paisagismo, ajudando no realce das plantas ornamentais e dos diferentes elementos que compõem um jardim.

Além disso, os gramados em ambientes urbanos têm grande importância ambiental, atuando no controle da poluição do solo, melhoria no efeito da erosão superficial, aumento das áreas para infiltração de água no solo, redução da emissão de gás carbônico e na liberação de oxigênio (GODOY; VILLAS BÔAS, 2010), aspectos que influenciam diretamente na qualidade de vida da população, associada a oportunidades de lazer e práticas de esportes (SANTOS, 2012).

Apesar da importância dos gramados no cenário nacional, a gramicultura é um setor ainda em expansão. Segundo Antoniolli (2015), essa atividade agrícola gerou um faturamento estimado em R$ 500 milhões, valores modestos se comparados ao mercado norte americano. De acordo com a Universidade do Texas – TAMU (2020), apenas no Texas, a indústria da grama contribui anualmente com US$ 6 bilhões, sendo o cultivo agrícola com maior rentabilidade no estado, oferecendo oportunidades

de emprego substanciais e contínuas, na criação de novos parques, campos esportivos, áreas de produção de grama, cemitérios, aeroportos, áreas industriais e rodovias.

Água residuária

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na resolução nº 54/2005 que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, define água residuária como: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.

Ainda de acordo com a resolução nº 54/2005, art. 3º: O reuso direto não potável de água, abrange as seguintes modalidades:

I. **reuso para fins urbanos**: irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate a incêndio;
II. **reuso para fins agrícolas e florestais**: produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
III. **reuso para fins ambientais**: implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
IV. **reuso para fins industriais**: em processos, atividades e operações industriais e,
V. **reuso na aquicultura**: para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

Os critérios para o reuso devem considerar não somente aqueles relacionados com a proteção à saúde, mas também a modalidade de reuso, tais como impactos no solo (salinidade e sodicidade), danos ao sistema de aplicação (entupimento do sistema de irrigação) e toxicidade às plantas e peixes (BARROS et al., 2020)

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em seu Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (2019), cita que em 2018 no Brasil, cerca de 92,8% da população urbana possuía rede de abastecimento de água, e destes, 60,9% foram atendidos com coleta de esgoto. O índice de tratamento do esgoto gerado é de apenas 46,3%, e do esgoto total que é coletado, de 74,5%. O reuso planejado dos efluentes na irrigação de gramados ornamentais é uma alternativa que

pode auxiliar na redução do descarte inadequado em corpos hídricos e acarretar benefícios ao meio ambiente e à saúde pública.

O lançamento de esgoto sanitário em corpos d'água deve ser feito segundo exigências do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), tarefa que apresenta certo grau de dificuldade devido a carga nutricional que apresenta, principalmente de nitrogênio e fósforo, que podem causar eutrofização. Sob outra perspectiva, os nutrientes podem significar uma vantagem para alavancar o reuso de água, especialmente em irrigação e piscicultura (MOTA, VON SPERLING, 2009).

Na agricultura, a possibilidade de diminuir o custo de produção com a redução do uso de fertilizantes químicos é uma justificativa para a utilização de água residuária doméstica. Outros fatores também merecem destaque, como a disponibilidade, uma vez que estas águas estão disponíveis durante o ano todo, melhoria na qualidade dos solos e consequente aumento do rendimento dos cultivos, permitindo a ampliação da fronteira agrícola, em algumas ocasiões (CAOVILLA, et al., 2005).

De acordo com Batista et al. (2014), o uso de águas residuárias na agricultura teve um aumento significativo nos últimos anos, em função de dificuldades na busca por fontes alternativas de águas para irrigação; custo elevado de fertilizantes; custo elevado de sistemas de tratamentos necessários para descarga de efluentes em corpos receptores e reconhecimento do valor da atividade pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

Há a necessidade de um incentivo normativo e fiscal para a prática do reuso no Brasil, as leis devem ser mais restritivas para o consumo de água potável e mais atrativa ao uso das águas residuárias. Levando em conta que o Brasil está iniciando a prática do reuso, sua aplicação deve ser focada em culturas agrícolas menos restritivas como o algodão, mamona, girassol, flores e culturas arbóreas (ROCHA et al. 2010 *apud* BARROS et al., 2020).

Com foco na irrigação de áreas com gramados ornamentais, as possibilidades para uso de água residuária doméstica tratada em ambientes urbanos são altas. Além de suprir a demanda hídrica, os nutrientes presentes irão contribuir para a nutrição das plantas, acarretando a diminuição de aplicação de fertilizantes químicos, de descarga e contaminação de corpos hídricos.

Uso de água residuária na irrigação de gramados

Para a manutenção da qualidade estética dos gramados, é de suma importância atender às exigências que cada espécie de grama possuí, como nutricional, hídrica e até mesmo a altura adequada de corte. A irrigação com água residuária, além de suprir a demanda hídrica, contribui com a demanda nutricional das gramas.

A qualidade da água para irrigação deve seguir uma classificação determinada pela concentração de alguns íons, de matéria orgânica, de sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e a razão de adsorção de sódio; sólidos em suspensão totais; substâncias tóxicas como metais pesados e microrganismos (bactérias, vírus, protozoários e helmintos) (BARROSO et al., 2011; PIVELI et al., 2009).

Os sistemas de irrigação localizada são os mais afetados com água de baixa qualidade, que pode aumentar os riscos de entupimento dos emissores. Para o gotejamento, este fator pode ser ainda mais crítico, tendo em vista que a água passa através de gotejadores que apresentam o diâmetro de orifício pequeno, variando entre 0,53 mm a 1,40 mm (ALMEIDA, 2010). Deste modo, é necessário utilizar um adequado sistema de filtragem (filtros de areia, de tela, de disco ou estes combinados), realizar manutenções e avaliações periódicas no sistema e em sua uniformidade, a fim de antever problemas e garantir boa distribuição de água.

Alguns autores atentam para a concentração de sais como os íons cloreto e sulfato, associados ao sódio, presentes na água residuária (METCALF; EDDY, 2003; PIVELLI et al., 2009; BATISTA et al., 2014), que aplicada no solo sem um manejo adequado, que conduza a lixiviação destes sais, podem acarretar problemas na permeabilidade do solo, dispersando a fração argila e diminuindo a taxa de infiltração, o que pode impedir o desenvolvimento radicular da planta (VARALLO, et al., 2012). Os níveis elevados de saís são prejudiciais tanto ao sistema solo-água-planta, como também aos componentes dos sistemas de irrigação.

O manejo da irrigação de gramados demanda do entendimento de como a umidade do solo influencia seu crescimento e é considerada a principal limitação na irrigação de gramados (CARRIBEIRO, 2010). Irrigações realizadas com menor frequência, com lâminas maiores, proporcionam o umedecimento correspondente à capacidade de campo de uma camada mais profunda do solo, permitindo que as

raízes se aprofundem, e em períodos de déficit hídrico, o gramado terá condições de suportar melhor essa condição de estresse (SAAD et al., 2008).

Na irrigação por aspersão, a água é aplicada sobre as plantas e as folhas podem absorver o sódio diretamente, mesmo que os efeitos tóxicos deste elemento não sejam tão evidentes nos gramados em virtude dos cortes periódicos. No tecido foliar de um gramado irrigado com água residuária, a concentração de sódio é mais alta do que em uma parcela irrigada com água potável sendo em torno de 1442-3029 e 235-432 mg kg^{-1}, respectivamente (CASTRO et al., 2011), além dos efeitos negativos que este elemento pode causar nos atributos físicos do solo.

O gotejamento subterrâneo aplica a água diretamente na região radicular em pequena intensidade e alta frequência, mantendo o solo próximo a capacidade de campo (MANTOVANI et al., 2009), onde as principais vantagens estão relacionadas a economia de água, facilitar o tráfego e os tratos culturais, menores perdas, boa uniformidade de aplicação, entre outros. Este sistema tem se mostrado uma excelente alternativa para aumentar a eficiência produtiva dos cultivos de forma racional e sustentável, podendo ser empregado na irrigação de gramados ornamentais.

De acordo com Duble (2020), em algumas cidades dos Estados Unidos, o uso da água via irrigação para a manutenção dos gramados é responsável por 50% ou mais, do consumo total de água da cidade durante os meses do verão. No Brasil, ainda que os cuidados com a cultura da grama para ornamentação não sejam tão difundidos, as pesquisas acerca do uso de águas residuárias e os seus efeitos nas gramas e no solo, possuem relevância, pois servem de base para o estabelecimento de normas e critérios que tornem sua utilização viável em grande escala.

A irrigação de gramados ornamentais utilizando água residuária doméstica tratada é uma alternativa com grande potencial para substituir a água potável nesta prática, que pode contribuir para o uso racional da água além de auxiliar na redução da contaminação de corpos hídricos com o descarte inadequado de esgoto e suprir parte da demanda nutricional da grama. O sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial pode auxiliar de maneira positiva a impulsionar esta prática, pois diminui os riscos de contaminação por agentes patogênicos, por estar enterrado no solo a uma profundidade que varia de acordo com o fabricante, entre 0,1 e 0,15 m.

CAPÍTULO 1
IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA VIA ASPERSÃO OU GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL E OS SEUS EFEITOS NO CRESCIMENTO, NA QUALIDADE E ESTADO NUTRICIONAL DO GRAMADO

1.1 INTRODUÇÃO

Nos grandes centros urbanos há muitos competidores pelo uso da água potável, sendo um deles a irrigação para instalação e manutenção de áreas gramadas, até mesmo em regiões de clima úmido, pois em períodos de baixa disponibilidade hídrica, tem-se a necessidade de irrigar para a manutenção e sobrevivência do gramado (CARROW, 1996 *apud* Gerolineto, 2008).

Assim como outros cultivos agrícolas, as gramas também requerem tratos culturais adequados para o seu bom crescimento, desenvolvimento e manutenção. Desta forma, o manejo adequado da água e dos nutrientes ocupa papel de grande importância para obtenção de êxito na qualidade estética nos gramados ornamentais.

A demanda hídrica é diferente para cada espécie de grama, mas geralmente, as de clima frio são as mais suscetíveis ao estresse hídrico por falta de água do que as gramas de clima quente, adaptadas ao nosso país. Nos períodos de seca, todas as espécies de grama necessitam de irrigação para a manutenção da cor e do crescimento. Nos períodos de baixas temperaturas, podem ocorrer picos de requerimento de água semelhantes aos períodos de altas temperaturas (GIACOIA NETO, 2004).

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas gramas e quando manejado da forma adequada, promove o vigor, qualidade visual, principalmente no que se relaciona a coloração verde e recuperação de danos (CARROW et al., 2001; BOWMAN et al., 2002; GODOY et al., 2007). Sob outra perspectiva, o excesso deste nutriente acarreta maior susceptibilidade ao ataque de patógenos, maior crescimento vegetativo, exigindo maior frequência dos cortes e como consequência, maior gasto com mão-de-obra.

Dessa forma, a utilização da água residuária doméstica na irrigação de gramados urbanos surge como alternativa viável para manutenção da qualidade estética dos gramados, devido aos níveis consideráveis de nitrogênio e fósforo, nutrientes de grande exigência por parte das gramas, possibilitando a economia no uso de fertilizantes químicos e a redução da descarga de esgotos em corpos hídricos.

De acordo com Sanches (2012), os sistemas de irrigação comumente utilizados em gramados ornamentais são por aspersão e gotejamento subsuperifical, onde a irrigação não deve comprometer a estética do gramado e nem as práticas para sua manutenção.

Na aspersão, os aspersores escolhidos devem ser do tipo escamoteáveis, que são instalados no nível do solo e vistos apenas quando em funcionamento, o que traz como vantagem o trânsito livre sobre o gramado e a poda manual ou mecanizada. Os aspectos negativos estão relacionados às perdas de água, que podem ser maiores devido à deriva, evaporação e escoamento superficial (GIACOIA NETO, 2003). Para o gotejamento subsuperficial, os custos para instalação e manutenção são maiores, bem como os cuidados com a qualidade da água para evitar o entupimento dos emissores. A maior eficiência de aplicação de água é considerada a maior vantagem deste sistema, que chega a 95% (SANCHES, 2012).

Com este embasamento, objetivou-se com o presente experimento avaliar os efeitos da água residuária doméstica aplicada via aspersão ou gotejamento subsuperficial no crescimento, na qualidade e no estado nutricional do gramado.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu – FCA/UNESP (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”), no Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente.

As coordenadas geográficas da área são de aproximadamente: 22º50’48” de latitude sul e 48º26’07” de longitude oeste e a altitude média é de 815 m.

A classificação de Köppen define o clima de Botucatu como Cwa (Clima subtropical úmido), caracterizado por um inverno seco e temperaturas amenas, verão quente, úmido e chuvoso (DAL PAI et al., 2020). A temperatura média no mês mais

quente é de 23,1ºC e no mês mais frio de 17,1ºC, em fevereiro e julho respectivamente. A temperatura média anual é de 20,3ºC e a umidade relativa média anual é de 73,9%. A precipitação média anual é de 1501,4 mm (PRADO, 2013).

Os dados de temperatura mínima, média e máxima do ar (Figura 1), precipitação (Figura 2) e evapotranspiração (Figura 3) foram obtidos diariamente da instalação até o final do experimento, da estação meteorológica da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP.

A temperatura média foi de 20,6 °C, média máxima de 26,6 °C, média mínima de 15,7 °C, precipitação de 572 mm e evapotranspiração de 716 mm, durante o período do experimento.

Figura 1 – Dados climáticos de temperatura mínima (Tmín), média (Tmédia) e máxima (Tmáx) no período do experimento– Botucatu, SP, 2020

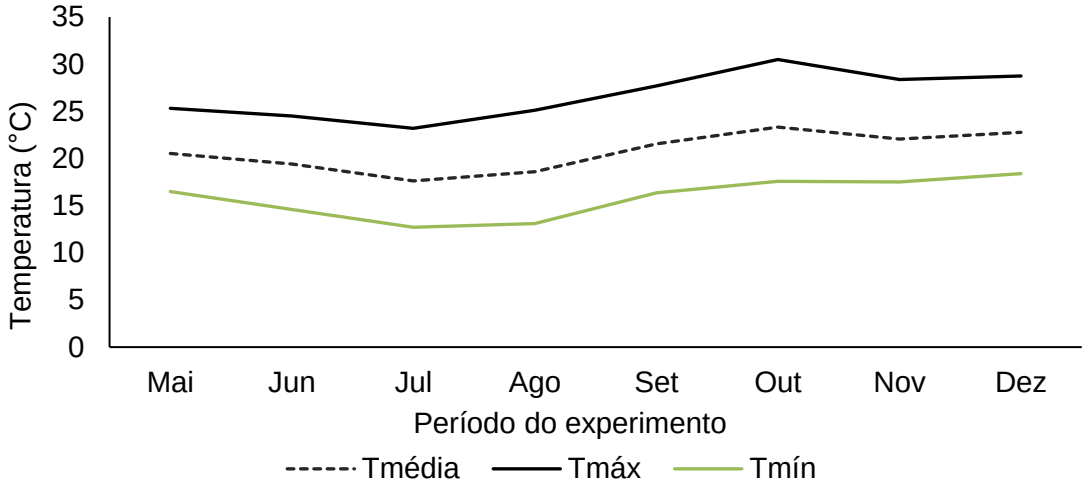


Figura 2 – Dados climáticos de precipitação no período do experimento – Botucatu, SP, 2020

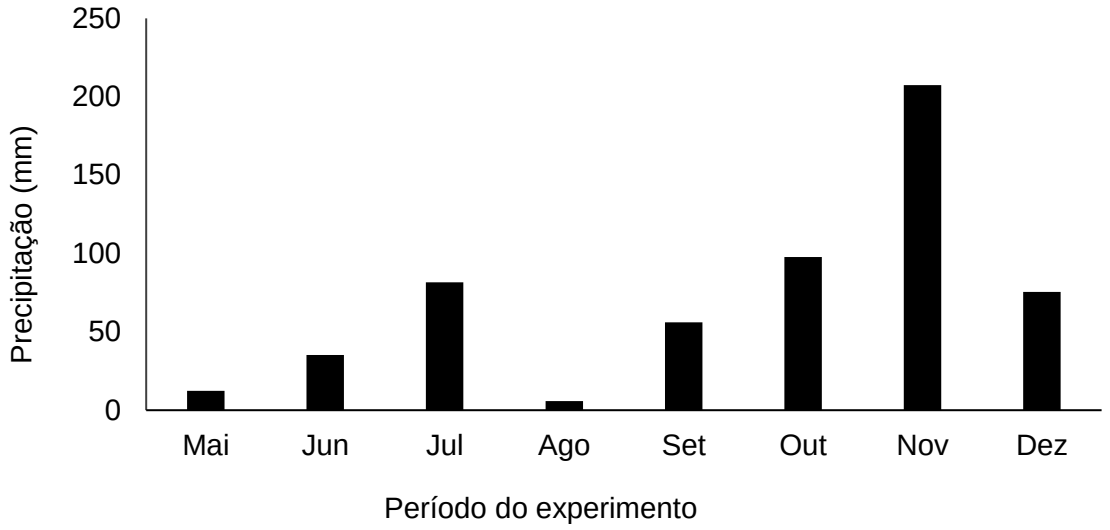
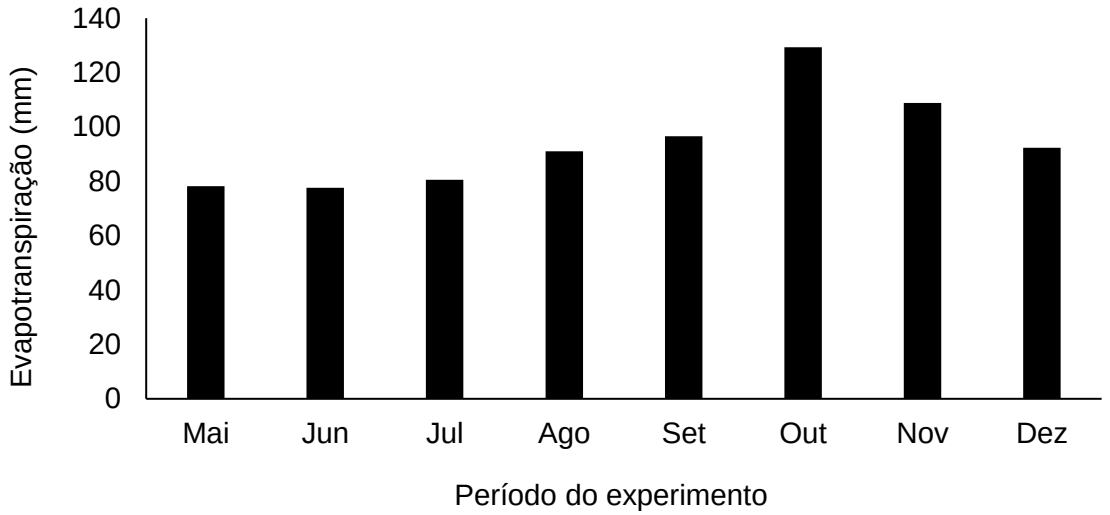


Figura 3 – Dados climáticos de evapotranspiração no período do experimento – Botucatu, SP, 2020



A área experimental já estava implantada com grama esmeralda desde 2016, onde foi irrigada com água residuária do mês de maio a dezembro (7 meses), seguindo os mesmos tratamentos utilizados neste presente experimento (Figura 4).

Figura 4 – Imagem aérea da área experimental antes do início do experimento

1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento adotado no experimento foi inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos (Tabela 1) consistiram em dois sistemas de irrigação (aspersão e gotejamento subsuperficial), quatro lâminas com água residuária doméstica proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Botucatu-SP, com 50%(T1), 100% (T2), 150% (T3), 200% (T4) da evapotranspiração de referência (ETo) e tratamento controle (T0), com água potável fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) de Botucatu, SP, repondo 100% da evapotranspiração diária.

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos para os sistemas de irrigação via aspersão e gotejamento subsuperficial

Tratamento	Descrição	Lâmina de irrigação (%)
T0 (controle)	Água da Sabesp (AS100)	100%
T1	Água residuária doméstica (ARD50)	50%
T2	Água residuária doméstica (ARD100)	100%
T3	Água residuária doméstica (ARD150)	150%
T4	Água residuária doméstica (ARD200)	200%

As parcelas foram divididas em vinte subparcelas (Figura 5), com dimensões de 1,5 m x 1,5 m, totalizando 2,25 m², espaçamento de 0,5 m no sentido horizontal,

1,0 m no sentido vertical entre subparcelas, 1,0 m entre os dois sistemas de irrigação e 2,5 m de bordadura.

A água residuária doméstica utilizada no experimento foi captada com um tanque de 3.000 litros acoplado a um trator, transportada da ETE, que fica localizada na Fazenda Lageado e despejada em reservatório de 3.000 litros (Figura 6) no Departamento Ciência Florestal, Solos e Ambiente. A aplicação dos tratamentos teve início na segunda quinzena do mês de maio e encerrou-se no mês de dezembro.

Figura 5 – Disposição dos tratamentos nas parcelas experimentais para os sistemas de irrigação via aspersão e gotejamento subsuperficial

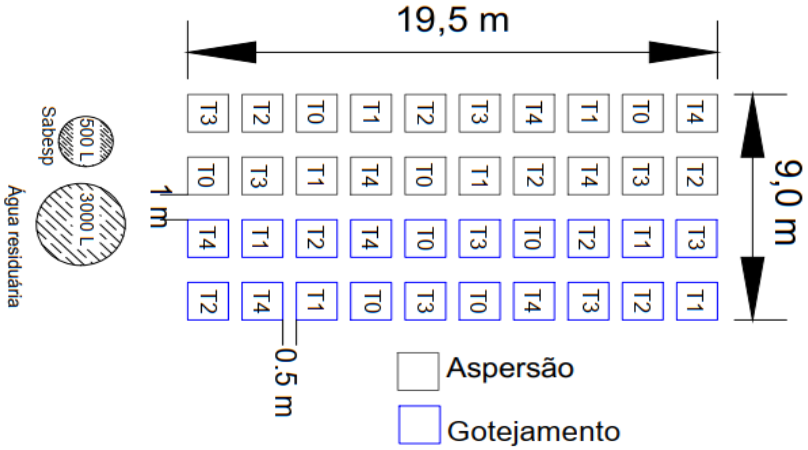


Figura 6 – Preenchimento do reservatório de 3000 litros com água residuária doméstica

1.2.3 Caracterização do solo

O solo da área foi classificado de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho Distrófico. Foram coletadas três amostras por subsuparcela para caracterização química da camada de 0-0,2 m de profundidade com um trado do tipo rosca. O material foi homogeneizado e agrupado para formar uma amostra composta por tratamento, a fim de verificar o estado inicial da fertilidade do solo antes do início da aplicação dos tratamentos.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Botucatu-SP, para determinação das características químicas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2011) e físicas, de acordo com a Embrapa (2011). Nas tabelas 2 e 3 abaixo estão representados os resultados das análises químicas do solo.

Para a caracterização textural do solo, foram coletadas 10 amostras em área total, que foram secas ao ar (TFSA) e enviadas ao laboratório para determinação da quantidade de argila, areia e silte (Tabela 4) conforme a metodologia da Embrapa (2011).

Tabela 2 – Resultado da análise química do solo antes do início do experimento – Botucatu, SP, 2020

Tratamentos	pH	M.O.	P_{resina}	S	Al^{3+}	H+Al	Na	K	Ca	Mg	CTC	V%
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	--mg dm^{-3}--	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------								
						Aspersão						
AS100%	5,3	20	4	5	0	20	0,3	0,8	13	7	41	50
ARD50%	5,1	24	9	7	0	24	0,2	0,7	13	6	43	44
ARD100%	5,5	27	7	3	0	16	0,3	0,7	15	8	39	58
ARD150%	5,1	28	8	5	0	20	0,3	0,8	17	7	44	54
ARD200%	5,3	25	6	6	0	23	0,3	0,6	15	7	45	49
						Gotejamento subsuperficial						
AS100%	5,4	19	7	4	0	16	0,2	0,6	13	7	36	56
ARD50%	5,3	22	7	5	0	20	0,3	0,6	14	8	42	52
ARD100%	5,1	22	6	5	0	26	0,2	0,7	13	7	46	43
ARD150%	5,3	18	9	5	0	19	0,2	0,6	12	6	37	49
ARD200%	5,2	19	8	5	0	22	0,2	1,0	14	6	42	49

Tabela 3 – Resultados da análise química dos micronutrientes do solo antes do início do experimento – Botucatu, SP, 2020

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----------mg dm^{-3}----------				
	Aspersão				
AS100%	0,34	2,1	39	5,4	0,9
ARD50%	0,42	2,1	50	6,6	2,8
ARD100%	0,35	2,6	45	7,4	1,7
ARD150%	0,34	2,9	47	9,0	3,4
ARD200%	0,41	3,1	54	10,8	0,8
	Gotejamento subsuperficial				
AS100%	0,34	1,2	28	3,5	0,2
ARD50%	0,37	1,7	33	4,3	0,3
ARD100%	0,37	2,0	33	7,0	0,4
ARD150%	0,41	1,2	31	3,5	0,5
ARD200%	0,35	1,4	36	3,6	0,6

Tabela 4 – Composição textural da área no início e ao final do experimento – Botucatu, SP, 2020

Amostra	Areia	Argila	Silte	Classificação
	g kg^{-1}			
0-0,15 m	início			Franco Arenoso
	640	97	263	
	final			
	718	79	203	

1.2.4 Condução da área experimental

Foram realizadas operações de manutenção do gramado, como corte, irrigação e controle manual de plantas invasoras. Para nivelar o terreno devido a um incidente ocorrido com um caminhão que passou sobre a área do experimento, foram realizadas duas aplicações de areia.

Não se realizou adubação no gramado, com o intuito de verificar a contribuição da carga de nutrientes presentes na água residuária doméstica.

1.2.5 Irrigação

a) Sistemas

Os sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento subsuperficial já estavam devidamente instalados em uma área de aproximadamente 175,5 m², constituindo duas parcelas principais com 87,75 m², sendo uma para cada sistema de irrigação.

Os aspersores sprays instalados foram da série 1800 com 0,15 m de altura de elevação (Figura 7), indicado pela fabricante para espaços verdes de tamanho reduzido, canteiros e arbustos. Cada subparcela foi constituída por quatro aspersores, com um bocal 8 HE-VAN (bocal Spray de arco variável de alta eficiência) com filtro de tela acoplado, que apresenta jatos mais grossos e gotas maiores para maior resistência ao vento, ajustado para aplicar a água em um ângulo de 90°, com vazão de 0,07 m^3 h^{-1} a uma pressão de serviço de 2 bar, resultando em uma intensidade de aplicação de 124,44 mm h^{-1}.

Figura 7 – Aspersor 1804 em funcionamento

O tubo gotejador instalado foi da série XF-SDI autocompensante com gotejadores "*in-line*" de vazão 3,48 l h^{-1}, espaçados a cada 0,3048 m, com tecnologia "escudo de cobre" que impede a intrusão de raízes, indicado para irrigação subsuperficial, dispensando assim, a utilização de produtos químicos, patenteada pela Rain Bird®. O espaçamento entre tubos foi de 0,5 m e para cada subparcela, utilizou-se quatro linhas do tubo, com 1,5 m de comprimento, contendo cinco gotejadores em cada linha, totalizando vinte por subparcela, resultando em uma intensidade de aplicação de 22,82 mm h^{-1}. O sistema (Figura 8) foi instalado a 0,12 m de profundidade, conforme a recomendação da fabricante.

Figura 8 – Circuito fechado do sistema de irrigação por aspersão subsuperficial

Fonte: Mendonça (2016, p.34)

A setorização dos sistemas de irrigação instalados foi feita utilizando válvulas solenoides 100-DV, cada sistema foi constituído por cinco setores, desta forma, totalizando dez válvulas solenoides. Logo em seguida, foram instaladas válvulas anti-vácuo de ½”. Estas válvulas permitem a entrada e saída de ar das linhas de gotejo, e assim evitam o golpe de aríete e também da sucção de sujeira. Para que não houvesse oscilação foram instalados reguladores de pressão em todos os tratamentos do gotejamento, modelo PSI-M20.

O filtro utilizado para água residuária foi do tipo cesto de 200 mesh com um indicador na tampa de coloração verde que mudava para vermelho quando necessário efetuar manutenção e um manômetro para o controle da pressão de serviço. O sistema de filtragem para a água da Sabesp foi composto por um filtro de disco com 100 mesh.

O sistema de bombeamento da água foi composto por dois conjuntos de motobomba afogada, um para cada fonte de água, com potência de 0,5 cv, pressão de trabalho de 26 metros de coluna d’água e vazão de 2,7 $m^3\ h^{-1}$.

Para a automação foram utilizados dois controladores ESP-me, sendo um para a irrigação com água residuária doméstica e outro para a água potável. Os equipamentos de irrigação, automação e sensores, foram fornecidos pela empresa Rain Bird®.

b) Manejo da irrigação

O manejo da irrigação adotado nesta pesquisa foi realizado via clima, de acordo com os dados diários de evapotranspiração obtidos da estação meteorológica da FCA/Unesp, adotando o coeficiente de cultivo para a grama esmeralda (kc) = 1,0 (MATEUS; CASTILHO, 2012). Em períodos com a precipitação igual ou superior a 5,0 mm dia^{-1}, não foi realizada a irrigação. A lâmina total aplicada durante o período do experimento de acordo com os tratamentos pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 – Lâmina total de irrigação aplicada durante período do experimento

Sistemas	Lâmina total (mm)			
	50%	100%	150%	200%
Aspersão	1047,7	2083,8	3143,2	4190,9
Gotejamento subsuperficial	1049,7	2099,5	3149,2	4198,9

1.2.6 Características avaliadas no gramado

As avaliações das características do gramado, foram realizadas nos dias 05/07; 20/07;08/08; 22/08; 10/08; 26/09; 08/10; 23/10; 08/11; 21/11 e 06/12, o que corresponde aos 35; 50; 69; 83; 102; 118; 130; 145; 162; 181 e 196 dias após o início do experimento (DAIE).

1.2.6.1 Massa da matéria seca de aparas

O gramado foi cortado a uma altura de 20 mm com o cortador GreenMaster 1000 (Toro) (Figura 9). Realizada a coleta, as aparas dos cortes de cada subparcela foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação e renovação de ar forçada, onde permaneceram 72 horas a 65ºC, até atingir peso constante. Após secas, as aparas sua massa aferida em balança de precisão.

Figura 9 – Cortador de grama com coletor de aparas utilizado.

1.2.6.2 Teor de nutrientes na folha

O teor de macro e micronutrientes foi determinado de acordo com a metodologia de Malavolta et al., (1997). As aparas provenientes dos cortes foram moídas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu/SP. Utilizou-se amostras de dois períodos de desenvolvimento, sendo estes do meio (102 DAIE) e fim do experimento (196 DAIE).

1.2.6.3 Medida indireta de clorofila (MIC)

A leitura da medida indireta de clorofila foi realizada com o aparelho portátil Field Scout CM-1000 (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011) (Figura 10). Este equipamento detecta a luz nos comprimentos de onda de 700 nm (absorvida) e 840 nm (refletida) e assim estima a quantidade de clorofila nas folhas.

Figura 10 – Medidor indireto de clorofila Field Scout 1000

Foram realizadas três leituras por subsuparcela a uma distância padronizada de 1,0 m do gramado, resultando em um campo de leitura do aparelho de aproximadamente 0,1027 m de diâmetro. O valor do índice de clorofila pode variar de 0 a 999 e é calculado a partir de dados ambientais e luz refletida (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011).

1.2.6.4 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI, do inglês *Normalized difference vegetation index*) foi avaliado com o auxílio do aparelho portátil Greenseeker Handheld Crop Sensor (Trimble ®) (Figura 11), que determinar o vigor do gramado em um índice variando de 0 a 0,99. O sensor emite rajadas na faixa do vermelho (660 nm) e do infravermelho próximo (770 nm). A luz refletida é captada pelo sensor, que calcula automaticamente o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Foram realizadas três leituras por subparcela a uma distância padrão de 1,0 m da superfície do gramado.

Figura 11 – Aparelho Greenseeker Handhead Crop Sensor (Trimble ®)

1.2.6.5 Índice de grama (IG)

O índice de grama é uma pontuação dada para a cor e a densidade do gramado, que varia numa escala de 1 a 9, onde 1 indica um gramado com qualidade ruim, acima de 6, qualidade aceitável e 9, nota máxima, onde o gramado apresenta ótima qualidade (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011; ROCHE, 2013). Foi realizada com o auxílio do equipamento Field Scout TCM-500 (Figura 12).

As leituras foram realizadas com o aparelho sendo pressionado sob a superfície do gramado a fim de evitar a entrada de feixes de luz solar. Foram realizadas três leituras por subparcela.

Figura 12 – Equipamento Field Scout TCM-500

1.2.7 Análise química da água

Para a água tratada, a análise foi realizada no início (maio) e no final do experimento (dezembro). Para a água residuária doméstica, a cada reposição semanal, uma alíquota foi retirada e devidamente armazenada para compor a análise mensal de cada mês do experimento. Para ambas, o volume coletado por amostragem foi de aproximadamente 100 ml.

O material foi encaminhado ao Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas /UNESP, Botucatu-SP, para a determinação da concentração de macro e micronutrientes de acordo com a metodologia modificada de Malavolta et al., (1997), pH e condutividade elétrica. Os resultados das análises químicas da água residuária doméstica e água potável fornecida pela SABESP estão expressos nas tabelas 6 e 7 abaixo, respectivamente.

A razão de adsorção de sódio – RAS foi calculada com a seguinte formula:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{Ca+Mg}{2}^{0,5}}$$

Onde RAS é a razão de adsorção de sódio; Na é sódio, em mEq L^{-1}; Ca é cálcio, em mEq L^{-1} e Mg é magnésio, em mEq L^{-1}

Tabela 6 – Média mensal das análises de pH, condutividade elétrica (CE), Na, macro e micronutrientes da água residuária doméstica

Mês	pH	Ce	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	RAS
		mS cm^{-1}							mg L^{-1}						
Jun.	7,0	0,662	41	4	18	17	3	12,5	58	0,22	ND	0,40	0,06	ND	3,4
Jul.	7,0	0,602	73	2	18	15	3	12,9	49	0,26	ND	0,50	0,4	ND	3,0
Ago.	7,7	0,725	66	2	28	27	4	19,2	50	0,01	ND	0,20	0,03	ND	2,4
Set.	4,2	0,475	46	2	23	8	3	16,0	44	0,0	ND	0,02	0,0	ND	1,2
Out.	7,2	0,676	42	2	21	18	3	12,7	61	0,13	ND	0,11	0,06	ND	3,5
Nov.	8,0	0,654	49	2	25	23	3	11,0	56	0,06	ND	0,16	0,04	ND	2,9
Dez.	7,4	0,777	66	2	28	27	4	19,2	50	0,01	ND	0,15	0,03	ND	2,4
média	6,9	0,653	55	2,3	23	19	3,3	14,8	53	0,10	-	0,22	0,09	-	2,7

ND= não detectável.

Tabela 7 – Resultado das análises de pH, condutividade elétrica (CE), Na, macro e micronutrientes da água potável

Mês	pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	RAS
		mS cm^{-1}						mg L^{-1}							
Jun	6,6	0,035	8	0	12	6	2	7,5	0,9	ND	ND	0,13	ND	ND	0,08
Dez.	7,2	0,039	7	1	16	4	2	8,2	0,9	ND	ND	0,02	ND	ND	0,13
média	6,9	0,038	7,5	0,5	14	5	2	7,9	0,9	-	-	0,07	-	-	0,10

ND= não detectável.

Na tabela 8 estão representadas o aporte médio de macronutrientes e do elemento sódio para os dois sistemas de irrigação, com base na lâmina de água total aplicada durante o período do experimento e do teor médio dos nutrientes de acordo com o laudo da análise da água.

Tabela 8 – Aporte médio de macronutrientes e do elemento sódio, de acordo com as lâminas e com as fontes de água para os sistemas de irrigação

Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Tratamentos				kg ha^{-1}			
AS100%	17	1,2	32	7	4,6	18	2
ARD50%	64	2,7	28	22	3,8	17	62
ARD100%	127	5,3	53	44	7,6	34	122
ARD150%	192	8,0	80	66	11,5	52	185
ARD200%	256	10,7	107	88	15	69	247

1.2.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade e regressões linear e quadrática, sendo adotada a de maior coeficiente de determinação quando ambas significativas.

As medias dos tratamentos com água residuária foram agrupados, dentro de cada lâmina, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As médias do tratamento com água da Sabesp foram comparadas com as médias dos tratamentos com água residuária, pelo teste de contraste, a 5% de probabilidade.

A análise estatística foi realizada no software *Sisvar* versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.3.1 Massa da matéria seca das aparas

Para o fator sistema de irrigação, houve diferença significativa somente aos 130 DAIE (Tabela 9) e para lâmina, a diferença só ocorreu aos 102 DAIE. Não houve interação significativa entre sistema e lâmina.

Tabela 9 – Resumo da análise de variância da massa seca das aparas aos 69, 102, 130 e 145 dias após o início do experimento

Fator de variação	Massa seca das aparas			
	DAIE			
	69	102	130	145
	----------p-valor----------			
Sistema (S)	0,89	0,14	0,001	0,11
Lâmina (L)	0,93	0,01	0,44	0,14
SxL	0,27	0,14	0,56	0,39
CV (S), %	26,5	49,1	15,3	23,7
CV (L), %	34,0	38,7	20,3	24,0

DAIE: dias após o início do experimento

Quando comparado a massa da matéria seca utilizando água residuária com a água potável (8,5 g m^{-2}) pelo teste de contraste ($P<0,05$), somente a massa do ARD200% (13,5 g m^{-2}) se diferenciou (Tabela 10).

Tabela 10 – Média da massa seca das aparas de acordo com as lâminas aplicadas aos 69, 102, 130 e 145 dias após o início do experimento

Tratamentos	Massa seca das aparas (g m^{-2})			
	DAIE			
	69	102	130	145
AS100%	8,8	8,5	10,1	9,3
ARD50%	8,7	6,7	11,2	9,1
ARD100%	9,8	10,2	11,5	10,7
ARD150%	9,6	12,6	12,2	11,7
ARD200%	8,9	13,5 *	11,8	11,6

DAIE: dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste;

O sistema de irrigação via aspersão proporcionou maior acúmulo de massa seca das aparas para as lâminas de ARD aos 130 DAIE e aos 145 DAIE para a lâmina de 200% (Tabela 11). Resultados diferentes foram encontrados por Mendonça (2017), avaliando aplicação de água residuária via aspersão e gotejamento em grama esmeralda, onde o maior acúmulo de massa seca foi obtido com o gotejamento em três das quatro datas de avaliação (70, 135 e 160 DAIE), com média 55,2 g, 25,2 g e 310,2 g respectivamente.

A resposta para os tratamentos com ARD na análise de regressão foi linear somente para a aspersão, aos 102 DAIE, e aos 145 DAIE, onde não houve diferenciação entre as lâminas.

Tabela 11 – Análise de regressão da massa seca das aparas para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
	Massa seca das aparas (g m^{-2})					
	69 DAIE					
Aspersão	8,2 A	8,7 A	10,3 A	10,9 A	ns	-
Gotejamento	9,2 A	10,9 A	9,0 A	6,8 A	ns	-
	102 DAIE					
Aspersão	5,0 A	11,5 A	13,8 A	16,9 A	0,009 L[1]	94,31
Gotejamento	8,5 A	8,9 A	11,2 A	10,2 A	ns	
	130 DAIE					
Aspersão	13,6 A	13,6 A	14,0 A	14,2 A	ns	-
Gotejamento	8,9 B	9,5 B	10,4 B	9,5 B	ns	-
	145 DAIE					
Aspersão	8,8 A	11,1 A	12,5 A	13,8 A	0,02 L[2]	97,8
Gotejamento	9,4 A	10,3 A	10,8 A	9,4 B	ns	
	Total (g m^2)					
Aspersão	35,6	44,9	50,6	55,9	-	-
Gotejamento	36,0	39,6	41,4	35,9	-	-

[1] $\hat{y}$ =2,2863+0,076x
[2] $\hat{y}$ =7,49+0,0326x

DAIE: dias após o início do experimento; L – linear, Q – quadrático, ns – não significativo, médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Um fator que pode auxiliar na obtenção de baixa quantidade de massa seca é irregularidade na superfície do gramado na área do experimento, gerando pequenas depressões distribuídas ao longo das subparcelas. Estas irregularidades impediram que a lâmina do cortador de grama GreenMaster 1000 (Toro) entrasse em contato

com o gramado de maneira uniforme, prejudicando assim, a qualidade do corte, pois deixaram zonas com a grama mais alta e zonas com a grama mais rala, alterando a coleta das aparas. Por outro lado, o gramado apresentou em área total, baixo crescimento vegetativo durante o período do experimento que, teve início no inverno, época de crescimento lento da grama esmeralda (CHRISTIANS et al., 2016).

1.3.2 Teor de nutrientes no tecido foliar

Para os macronutrientes na avaliação realizada na metade do período do experimento (M) (Tabela 12), somente o teor foliar de N e S foram significativos, no fator sistema. Para o fator lâmina, somente o teor de Mg não apresentou diferença. Houve interação significativa para os teores foliares para N, K, Mg e S. No final do experimento (F), os teores foliares de P, Ca e S não se diferenciaram para o fator sistema. Para lâmina, novamente Mg não apresentou diferença. Não houve interação significativa entre sistema e lâmina para P, Ca e Mg.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância dos macronutrientes no tecido foliar na metade (m) e ao final (F) do período do experimento

			M			
Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S
Fator de variação	----------p-valor----------					
Sistema (S)	0,001	0,137	0,097	0,922	0,133	0,032
Lâmina (L)	0,001	0,001	0,019	0,008	0,068	0,001
SxL	0,001	0,054	0,001	0,406	0,002	0,046
CV S, (%)	3,4	8,0	9,8	23,9	5,4	5,9
CV L, (%)	7,5	4,1	8,2	12,2	5,2	7,4
			F			
	----------p-valor----------					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Sistema (S)	0,016	0,57	0,049	0,96	0,06	0,057
Lâmina (L)	0,001	0,001	0,010	0,19	0,63	0,001
SxL	0,001	0,39	0,031	0,12	0,24	0,013
CV S, (%)	8,2	6,5	3,9	24,5	5,6	11,9
CV L, (%)	11,0	4,5	10,7	23,2	9,2	8,6

Para os micronutrientes (Tabela 13), todos apresentaram interações significativas entre sistema e lâmina no período correspondente à metade do experimento. No final do experimento, somente o Mn apresentou significância para

sistema e Cu, Fe e Mn, para lâmina. As interações significativas ocorreram para B, Cu, Fe e Zn.

Tabela 13 – Análise de variância dos micronutrientes no tecido foliar na metade (M) e ao final (F) do período do experimento

M					
Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fator de variação	----------p-valor----------				
Sistema (S)	0,133	0,499	0,15	0,10	0,59
Lâmina (L)	0,015	0,001	0,03	0,001	0,011
SxL	0,001	0,001	0,01	0,016	0,001
CV S, (%)	2,0	9,6	81,1	33,8	7,8
CV L, (%)	8,8	4,8	26,6	4,3	4,5
F					
Nutriente	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fator de variação	----------p-valor----------				
Sistema (S)	0,74	0,10	0,054	0,027	0,34
Lâmina (L)	0,31	0,007	0,001	0,028	0,49
MxL	0,04	0,004	0,001	0,169	0,022
CV S, (%)	12,8	3,4	29,4	10,3	15,4
CV L, (%)	16,3	3,4	29,8	6,7	9,7

M= meio do experimento; F= final do experimento

Quando comparada a lâmina com 100% da evapotranspiração de água tratada (AS100%) e água residuária (ARD100%), não houve diferença significativa no teor dos nutrientes no tecido foliar para os dois períodos de análise (Tabela 14), a diferença só foi observada com o tratamento ARD200%, para N, P, Ca e S.

De acordo com Carrow et al. (2001), o nutriente que apresenta a maior influência no crescimento e desenvolvimento da grama, é o nitrogênio. Doses menores de nitrogênio aumentam o tempo para o fechamento do gramado e diminuem a qualidade estética, devido as folhas não apresentarem a coloração de verde intenso. Em contrapartida, doses maiores impactam no custo de manutenção, pois devido ao maior crescimento vegetativo, tem-se a necessidade de aumentar a frequência de cortes.

A concentração de P e Mg (exceto para ARD100%) na lâmina foliar estão dentro da faixa adequada de acordo com o proposto por Mills e Jones (1996) para grama Zoysia. Já para o N, K, Ca, S, e Zn, os teores encontrados nesta pesquisa estão abaixo da faixa de suficiência, embora a quantia fornecida pela água residuária nas maiores lâminas tenha sido alta, e para o B, Cu, Fe e Mn os teores estão acima do valor recomendado. Uma hipótese que pode auxiliar na explicação destes

resultados, é de que não foi realizada nenhuma adubação para fornecimento de nutrientes antes do início do experimento e a remoção das aparas por meio dos cortes periódicos, que de acordo com Godoy; Villas Bôas (2008), exportam cerca de 25% a 60% do N aplicado.

Tabela 14 – Média do teor de macronutrientes no tecido foliar de acordo com as lâminas, no meio e ao final do experimento

Tratamentos	Nutrientes (g kg^{-1})					
	N		P		K	
	M	F	M	F	M	F
AS100%	9,9	9,4	2,1	2,0	8,9	7,9
ARD50%	11,5	11,1	2,0	1,9	9,7	9,0
ARD100%	11,6	10,7	2,0	1,9	8,1	7,4
ARD150%	14,2	13,7	2,2	2,1	8,9	8,5
ARD200%	18,1*	18,2*	2,4	2,4*	10,5	10,6
Tratamentos	Nutrientes (g kg^{-1})					
	Ca		Mg		S	
	M	F	M	F	M	F
AS100%	1,8	1,5	1,3	1,3	1,7	1,5
ARD50%	1,8	1,5	1,3	1,3	1,7	1,7
ARD100%	1,6	1,4	1,3	1,2	1,7	1,7
ARD150%	2,1	1,9	1,3	1,3	2,0	1,9
ARD200%	2,5*	2,0	1,5	1,4	2,6*	2,5*

M= meio, F= final; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste

O sistema de irrigação por gotejamento na lâmina de 200% da evapotranspiração (Tabela 15), promoveu o maior teor para todos os nutrientes. Na lâmina de 150%, o sistema via gotejamento promoveu a obtenção dos maiores teores apenas nos macronutrientes. Para K, Mg, B e Zn, a lâmina de 50% proporcionou o inverso, ou seja, os maiores teores foram encontrados no sistema de irrigação por aspersão

Dentre os macronutrientes, o único elemento a obter resposta linear para as lâminas de água residuária nos dois sistemas de irrigação foi o S. Para a aspersão, o ajuste linear foi obtido para os micronutrientes B e Zn e o ajuste quadrático somente no Mg. Já no gotejamento subsuperficial, K e Mg obtiveram respostas lineares e N, B, Cu e Zn, ajuste quadrático. As lâminas para a obtenção dos pontos de máximo para os teores ficaram próximas a 100%, exceto para o N, com lâmina de 68,7%.

Tabela 15 – Análise de regressão dos nutrientes no tecido foliar ao meio do experimento para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
	Nutrientes					
	N (g kg^{-1})					
Aspersão	11,5 A	10,8 A	12,7 B	13,5 B	ns	-
Gotejamento	11,6 A	12,4 A	15,7 A	22,7 A	0,001 Q[1]	99,9
	P (g kg^{-1})					
Média	2,0	2,0	2,2	2,4	-	-
	K (g kg^{-1})					
Aspersão	10,8 A	7,6 A	7,6 B	8,9 B	ns	-
Gotejamento	8,6 B	8,7 A	10,2 A	12,0 A	0,004 L[2]	89,3
	Ca (g kg^{-1})					
Média	1,9	1,6	2,1	2,5	-	-
	Mg (g kg^{-1})					
Aspersão	1,5 A	1,3 A	1,2 B	1,4 B	0,04 Q[3]	98,9
Gotejamento	1,1 B	1,4 A	1,5 A	1,6 A	0,002 L[4]	94,1
	S (g kg^{-1})					
Aspersão	1,6 A	1,6 A	1,7 B	2,4 B	0,008 L[5]	75,9
Gotejamento	1,7 A	1,9 A	2,4 A	2,8 A	0,001 L[6]	95,9
	B (mg kg^{-1})					
Aspersão	35,1 A	26,0 A	25,3 A	20 B	0,003 L[7]	89,6
Gotejamento	27,1 B	20,6 B	29,4 A	33,2 A	0,004 Q[8]	75,2
	Cu (mg kg^{-1})					
Aspersão	6,7 A	7,3 A	7,0 A	6,7 B	ns	-
Gotejamento	6,0 A	6,0 B	6,2 A	8,3 A	0,002 Q[9]	95,7
	Zn (mg kg^{-1})					
Aspersão	25,5 A	24,7 A	23,2 A	19,3 B	0,006 L[10]	89,4
Gotejamento	22,0 B	23,0 A	21,7 A	33,0 A	0,001 Q[11]	87,2

[1] $\hat{y} = 14,235 - 0,0836x + 0,0006x^2$ máx=68,7
[2] $\hat{y} = 6,94 + 0,0236x$
[3] $\hat{y}=1,8563 - 0,0099x + 4E\text{-}05x^2$ máx: 99
[4] $\hat{y} = 1,0425 + 0,0027x$
[5] $\hat{y} = 1,1775 + 0,0051x$
[6] $\hat{y} = 1,255 + 0,0076x$
[7] $\hat{y} = 38,125 - 0,0923x$
[8] $\hat{y} = 33,5 - 0,1999x + 0,001x^2$ máx= 99,9
[9] $\hat{y} =7,545 - 0,0399x + 0,0002x^2$ máx= 99,8
[10] $\hat{y} = 28,165 - 0,04x$
[11] $\hat{y} = 29,919 - 0,195x + 0,001x^2$ máx= 97,5

L – Linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

A lâmina de 200% via gotejamento promoveu o maior teor para quase todos os nutrientes (exceto para Fe), na lâmina de 150%, os maiores teores foram encontrados apenas para o S, via gotejamento e Cu e Fe, via aspersão (Tabela 16).

Somente o Cu obteve ajuste linear via gotejamento. Os demais nutrientes que apresentaram significância na análise de regressão, se enquadraram ao modelo quadrático, sendo N, K, S e Zn para gotejamento e o Fe para aspersão. Com os pontos de máxima de 77,4%, 92,3%, 85%, 109% e 138%, respectivamente.

Tabela 16 – Análise de regressão dos nutrientes no tecido foliar ao final do experimento para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
	Nutrientes					
	N (g kg^{-1})					
Aspersão	10,8 A	9,7 A	12,4 A	11,6 B	ns	-
Gotejamento	11,5 A	11,6 A	14,9 A	24,7 A	0,001 Q[1]	99,5
	P (g kg^{-1})					
média	1,9	1,9	2,1	2,4	-	-
	K (g kg^{-1})					
Aspersão	9,7 A	7,0 A	8,2 A	8,7 B	ns	-
Gotejamento	8,3 A	7,9 A	8,9 A	12,5 A	0,001 Q[2]	99,4
	Ca (g kg^{-1})					
Média	1,5	1,4	1,4	2,0	-	-
	Mg (g kg^{-1})					
Média	1,3	1,2	1,3	1,4	-	-
	S (g kg^{-1})					
Aspersão	1,5 A	1,6 B	1,7 B	2,0 B	ns	-
Gotejamento	1,8 A	1,8 A	2,2 A	3,0 A	0,04 Q[3]	99,9
	B (mg kg^{-1})					
Aspersão	31,7 A	25,0 A	27,0 A	20,5 B	ns	-
Gotejamento	26,7 A	22,5 A	33,2 A	33,6 A	ns	-
	Cu (mg kg^{-1})					
Aspersão	6,0 A	6,0 A	8,0 A	6,0 B	ns	-
Gotejamento	6,0 A	6,0 A	6,5 B	9,0 A	0,01 L[4]	72,9
	Fe (mg kg^{-1})					
Aspersão	348 A	324 A	2100 A	460 A	0,003 Q[5]	39,2
Gotejamento	318 A	452 A	376 B	448 A	ns	-
	Zn (mg kg^{-1})					
Aspersão	24,5 A	22,0 A	24,0 A	20,0 B	ns	-
Gotejamento	22,0 A	23,0 A	23,0 A	31,0 A	0,04 Q[6]	92,3

[1] $\hat{y}$=16,949 - 0,1547x + 0,001x^2 máx=77,4
[2] $\hat{y}$=10,988 - 0,0738x + 0,0004x^2 máx=92,3
[3] $\hat{y}$=2,3038 - 0,0136x + 8E-05x^2 máx=85
[4] $\hat{y}$=7,625 - 0,0435x + 0,0002x^2 máx=109
[5] $\hat{y}$ =-1740 + 44,636x,4 - 0,1617x^2 máx=138

L – Linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O uso de lâminas excessivas de irrigação pode acarretar lixiviação de nutrientes, em especial de nitrogênio na forma de nitrato, nutriente de maior demanda pelas gramas. Esta situação pode se agravar em solos arenosos, pois devido à baixa capacidade de armazenamento de água, o arraste de nitrato para camadas inferiores é alto (MENDES et al, 2015). Neste experimento, foram realizadas duas aplicações de areia para o nivelamento da área antes do início do experimento, e as maiores

lâminas de irrigação podem ter contribuído com a perda de N por lixiviação, fazendo com o teor foliar ficasse abaixo do nível de suficiência.

De acordo com Godoy; Villas Bôas (2006), o teor nutricional do tecido foliar pode ser usado para o manejo da adubação, pois atua como um indicativo para o conhecimento do estado nutricional da grama, em especial para o N, pois nos laudos da análise de solo, não há um indicador da disponibilidade deste nutriente no solo.

1.3.3 Qualidade do gramado

1.3.3.1 Medida indireta de clorofila (MIC)

A interação significativa entre sistema e lâmina somente não ocorreu aos 35 DAIE, quando houve efeito dos dois fatores, e aos 118 e 130 DAIE, quando houve efeito da lâmina (Tabela 17 e Tabela 18).

Tabela 17 – Resumo da análise de variância da medida indireta de clorofila (MIC) dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Fator de variação	Medida Indireta de Clorofila (MIC)					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
	----------p-valor----------					
Sistema (S)	0,011	0,74	0,88	0,49	0,57	0,19
Lâmina (L)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
SxL	0,542	0,010	0,010	0,001	0,014	0,079
CV S, (%)	25,3	27,3	25,9	24,6	22,6	23,9
CV L, (%)	14,3	18,2	15,3	16,8	17,1	20,9

DAIE= dias após o início do experimento

Tabela 18 – Resumo da análise de variância da medida indireta de clorofila (MIC) dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Fator de variação	Medida Indireta de Clorofila (MIC)				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
	----------p-valor----------				
Sistema (S)	0,98	0,039	0,94	0,005	0,011
Lâmina (L)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
SxL	0,15	0,011	0,034	0,007	0,045
CV S, (%)	24,5	36,0	20,4	20,8	19,3
CV L, (%)	24,9	25,8	24,3	19,7	17,7

DAIE= dias após o início do experimento

O tratamento com ARD200% se diferenciou do tratamento com AS100% em todas as datas de avaliação pelo teste de contraste, já o tratamento ARD150% apresentou diferença a partir dos 83 DAIE e por fim, o ARD100% não se diferenciou aos 35, 50, 69 e 145 DAIE. (Tabela 19 e Tabela 20)

Tabela 19 – Média da medida indireta de clorofila (MIC) de acordo com as lâminas, dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Tratamentos	Medida Indireta de Clorofila (MIC)					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
AS100%	167,9	165,4	152,1	140,4	145,6	146,5
ARD50%	176,0	172,9	159,0	147,8	156,9	167,5
ARD100%	194,9	191,8	181,5 *	171,0 *	192,4 *	200,2 *
ARD150%	191,4	196,1	180,3	185,7 *	215,0 *	241,8 *
ARD200%	202,3 *	213,2 *	196,9 *	189,4 *	238,5 *	266,3 *

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

Tabela 20 – Média da medida indireta de clorofila (MIC) de acordo com as lâminas, dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Tratamentos	Medida Indireta de Clorofila (MIC)				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
AS100%	132,9	142,0	152,0	155,7	156,0
ARD50%	131,8	165,8	178,8	189,9	183,8
ARD100%	198,0*	179,8	203,3*	211,1*	215,4*
ARD150%	216,4*	211,5*	240,6*	254,0*	245,1*
ARD200%	246,7*	215,7*	280,9*	272,3*	272,1*

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

Os valores de medida indireta de clorofila se ajustaram ao modelo linear para as doses de água residuária doméstica (Tabela 21), indicando aumento na medida indireta de clorofila com o aumento das lâminas. Exceto aos 83 DAIE, via gotejamento, onde o ajuste obtido foi ao modelo quadrático, com máxima de 138% e aos 162 DAIE, via aspersão com máxima de 73%.

As medidas indiretas de clorofila encontradas por Mendonça (2017), utilizando água residuária doméstica na grama esmeralda via aspersão e via gotejamento subsuperficial, até os 110 DAIE, estão próximos aos resultados encontrados neste experimento, após os 125 DAIE, o autor obteve valores variando de 388 a 626. Como discutido anteriormente, a concentração de alguns nutrientes no tecido foliar estava abaixo do nível de suficiência, com destaque para o nitrogênio, que está diretamente

relacionado ao conteúdo de clorofila na planta, explicando assim os baixos valores de MIC encontrados.

Tabela 21 – Análise de regressão para a medida indireta de clorofila (MIC) para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
	Medida indireta de clorofila (MIC)					
			50 DAIE			
Aspersão	173,8 A	184,2 A	180,7 A	225,6 A	0,001 L[1]	70,1
Gotejamento	172,1 A	199,5 A	211,6 A	196,7 A	ns	-
			69 DAIE			
Aspersão	155,0 A	173,5 A	171,1 A	207,0 A	0,001 L[2]	82,4
Gotejamento	163,1 A	189,5 A	189,6 A	183,4 A	ns	-
			83 DAIE			
Aspersão	137,5 A	164,3 A	167,4 B	202,0 A	0,001 L[3]	92,0
Gotejamento	158,1 A	177,6 A	203,9 A	172,7 B	0,03 Q[4]	81,1
			102 DAIE			
Aspersão	144,1 A	179,6 A	206,6 A	250,5 A	0,003 L[5]	99,2
Gotejamento	169,8 A	205,3 A	223,4 A	222,4 A	0,001 L[6]	82,4
			145 DAIE			
Aspersão	166,0 A	148,3 B	199,3 A	186,4 B	ns	-
Gotejamento	165,5 A	211,5 A	223,6 A	254,1 A	0,001 L[7]	95,2
			162 DAIE			
Aspersão	181,5 A	186,7 A	221,4 A	302,2 A	0,015 Q[8]	99,9
Gotejamento	176,1 A	219,8 A	259,8 A	252,6 B	0,001 L[9]	83,0
			181 DAIE			
Aspersão	184,4 A	192,5 B	215,8 B	262,8 A	0,001 L[10]	89,7
Gotejamento	195,4 A	229,8 A	292,2 A	285,0 A	0,001 L[11]	85,8
			196 DAIE			
Aspersão	175,3 A	198,6 B	217,8 B	266,8 A	0,001 L[12]	95,0
Gotejamento	192,3 A	232,2 A	272,5 A	279,2 A	0,001 L[13]	93,2

[1] $\hat{y} = 153,05 + 0,304x$
[2] $\hat{y} = 138,25 + 0,3072x$
[3] $\hat{y} = 118,67 + 0,3932x$
[4] $\hat{y} = 97,097 + 1,409x - 0,0051x^2$ máx=138
[5] $\hat{y} = 108,62 + 0,6925x$
[6] $\hat{y} = 161,16 + 0,3525x$
[7] $\hat{y} = 144,2 + 0,5558x$
[8] $\hat{y} = 218,229 - 1,096x + 0,0075x^2$ máx=73
[9] $\hat{y} = 159,72 + 0,5389x$
[10] $\hat{y} = 149,29 + 0,5165x$
[11] $\hat{y} = 167,8 + 0,6623x$
[12] $\hat{y} = 141,2 + 0,587x$
[13] $\hat{y} = 168,8 + 0,6x$

DAIE= dias após o início do experimento; L – linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

As clorofilas são pigmentos fotossintéticos encontrados em organelas denominadas cloroplastos e são formadas por complexos derivados da porfirina, cujo átomo central é o magnésio e ligados a este, tem-se quatro moléculas de nitrogênio (TAIZ; ZIEGER, 2004). Desta forma, a medida indireta de clorofila pode auxiliar no conhecimento do estado nutricional de nitrogênio na planta, principalmente pelo fato

de que 50 a 70% do N total das folhas ser componente estrutural de enzimas (CHAPMAN e BARRETO, 1997 *apud* ARGENTA et al., 2001).

Para complementar, de acordo com Godoy et al. (2003), uso de equipamentos que forneçam indiretamente o teor de clorofila na planta de forma simples, rápida e não-destrutiva, pode ser uma excelente ferramenta para o manejo da adubação e manutenção da qualidade estética dos gramados.

1.3.3.2 Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Houve efeito significativo da lâmina e da interação entre lâmina e sistema em todas as datas de avaliação (Tabela 22 e Tabela 23). Para o sistema, os efeitos só foram observados aos 35, 50 e 145 dias após o início do experimento.

Tabela 22 – Resumo da análise de variância do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Fator de variação	NDVI					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
	----------p-valor----------					
Sistema (S)	0,037	0,029	0,059	0,54	0,54	0,84
Lâmina (L)	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
SxL	0,022	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CV S, (%)	14,2	12,1	12,9	12,9	16,9	18,2
CV L, (%)	11,2	9,7	10,7	9,6	10,4	11,2

DAIE= dias após o início do experimento

Tabela 23 – Resumo da análise de variância do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Fator de variação	NDVI				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
	----------p-valor----------				
Sistema (S)	0,092	0,049	0,67	0,94	0,87
Lâmina (L)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
SxL	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CV S, (%)	23,0	16,7	13,7	12,4	7,9
CV L, (%)	15,1	12,2	9,8	10,0	9,6

DAIE= dias após o início do experimento

Nas tabelas 24 e 25 estão expressas as médias do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para as lâminas de irrigação. As lâminas com ARD foram superiores ao tratamento controle AS100% pelo teste de contraste aos 69, 83, 102, 118 e 162 DAIE. Para ARD100% aos 35, 181 e 196 DAIE, as medias de NDVI foram iguais a AS100%.

Tabela 24 – Médias do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de acordo com as lâminas, dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Tratamentos	NDVI					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
AS100%	0,51	0,48	0,48	0,45	0,46	0,46
ARD50%	0,54	0,57*	0,57*	0,55*	0,56*	0,57*
ARD100%	0,55	0,56*	0,55*	0,56*	0,56*	0,57*
ARD150%	0,56	0,53	0,54*	0,54*	0,55*	0,55*
ARD200%	0,57*	0,59*	0,58*	0,59*	0,61*	0,59*

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

Tabela 25 – Médias do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de acordo com as lâminas, dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Tratamentos	NDVI				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
AS100%	0,44	0,46	0,47	0,51	0,56
ARD50%	0,52	0,53	0,59*	0,60*	0,59
ARD100%	0,56*	0,55*	0,56*	0,58	0,61
ARD150%	0,55*	0,56*	0,59*	0,61*	0,65*
ARD200%	0,65*	0,64*	0,66*	0,66*	0,64*

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

Quando comparado os sistemas (Tabela 26), a aspersão foi superior ao gotejamento subsuperficial com as lâminas de 50% (dos 50 aos 181 DAIE) e 200% (aos 35, 50, 69 e 83 DAIE). E para o gotejamento, os maiores valores de NDVI foram observados com o tratamento ARD100% aos130 DAIE e dos 50 aos 181 DAIE, na lâmina de 150%.

A análise de regressão apresentou ajustes aos modelos linear e quadrático. Na aspersão, os ajustes obtidos foram para o modelo quadrático, com máximas variando entre 115% e 127%. Para o gotejamento, o ajuste linear ocorreu nas seguintes datas:

102, 130, 145, 162, 181 e 196 e para o modelo quadrático aos 83 e 118, com máximas de 138% e 130%, respectivamente.

O sensor portátil GreenSeeker auxilia a identificar a variabilidade espacial da produção de biomassa e atua como indicador da quantia de fertilizantes a serem aplicados em uma determinada cultura, podendo aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes, em especial, dos nitrogenados (CARNEIRO, 2018; TRIMBLE, 2016).

De acordo com Márin et al. (2020), o NDVI se correlaciona com a qualidade do gramado e pode ser utilizado como uma ferramenta adicional no manejo da irrigação, uma vez que quanto maior o índice de vegetação, melhor as condições do gramado. No entanto, valores baixos tanto podem indicar o déficit hídrico, quanto falta de nutrientes ou doenças, portanto, antes da tomada da decisão sobre a irrigação, outros fatores que interferem nas características do gramado, devem ser descartados.

Bremer et al. (2011) destacam que há a necessidade de comparar o NDVI com a densidade do gramado, estado de água na planta, ângulo das folhas e sombras no dossel. A posse destas informações, de acordo com o autor, pode auxiliar na avaliação da qualidade visual do gramado e a compreender melhor os fatores que interferem no índice de vegetação.

Tabela 26 – Análise de regressão do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
			NDVI			
			35 DAIE			
Aspersão	0,55 A	0,57 A	0,54 A	0,60 A	ns	-
Gotejamento	0,53 A	0,56 A	0,56 A	0,53 B	ns	-
			50 DAIE			
Aspersão	0,62 A	0,57 A	0,51 B	0,61 A	0,001 Q[1]	80,2
Gotejamento	0,53 B	0,56 A	0,56 A	0,56 B	ns	-
			69 DAIE			
Aspersão	0,61 A	0,56 A	0,51 B	0,61 A	0,001 Q[2]	79,4
Gotejamento	0,53 B	0,54 A	0,58 A	0,55 B	ns	-
			83 DAIE			
Aspersão	0,58 A	0,54 A	0,50 B	0,62 A	0,001 Q[3]	83,2
Gotejamento	0,51 B	0,58 A	0,5 A	0,57 B	0,03 Q[4]	94,7
			102 DAIE			
Aspersão	0,59 A	0,55 A	0,50 B	0,63 A	0,001 Q[5]	79,7
Gotejamento	0,53 B	0,56 A	0,59 A	0,58 A	0,02 L[6]	75,6
			118 DAIE			
Aspersão	0,60 A	0,56 A	0,47 B	0,62 A	0,001 Q[7]	70,0
Gotejamento	0,54 B	0,57 A	0,63 A	0,56 A	0,03 Q[8]	73,4
			130 DAIE			
Aspersão	0,57 A	0,52 B	0,47 B	0,64 A	0,001 Q[9]	81,8
Gotejamento	0,48 B	0,60 A	0,64 A	0,67 A	0,001 L[10]	89,0
			145 DAIE			
Aspersão	0,58 A	0,53 A	0,47 B	0,62 A	0,001 Q[11]	77,7
Gotejamento	0,49 B	0,57 A	0,66 A	0,67 A	0,001 L[12]	93,4
			162 DAIE			
Aspersão	0,64 A	0,54 A	0,54 B	0,64 A	0,001 Q[13]	99,7
Gotejamento	0,54 B	0,58 A	0,66 A	0,69 A	0,001 L[14]	97,1
			181 DAIE			
Aspersão	0,64 A	0,56 A	0,55 B	0,65 A	0,001 Q[15]	99,4
Gotejamento	0,56 B	0,60 A	0,68 A	0,66 A	0,001 L[16]	80,4
			196 DAIE			
Aspersão	0,59 A	0,59 A	0,63 A	0,62 A	ns	-
Gotejamento	0,59 A	0,62 A	0,67 A	0,67 A	0,001 L[17]	86,13

[1] $\hat{y}$ =0,779 - 0,0038x + 1,5E-05x^2 máx=127
[2] $\hat{y}$ =0,772 - 0,0038x + 1E-05x^2 máx=127
[3] $\hat{y}$ =0,742 - 0,0038x + 1,6E-05x^2 máx= 119
[4] $\hat{y}$ =0,42 + 0,0022x - 8E-06x^2 máx=138
[5] $\hat{y}$ =0,746 - 0,0038x + 1,6E-05x^2 máx= 119
[6] $\hat{y}$ =0,515 + 0,00041x
[7] $\hat{y}$ =0,81 1 0,0048x -2E-05x^2 máx= 120
[8] $\hat{y}$ =0,426 + 0,0026x - 1E-05x^2 máx=130
[9] $\hat{y}$ =0,784 - 0,0051x +2,2E-05x^2 máx=116
[10] $\hat{y}$ =0,445 + 0,0012x
[11] $\hat{y}$ =0,783 - 0,0048x + 2E-05x^2 máx=120
[12] $\hat{y}$ =0,439 + 0,0012x
[13] $\hat{y}$ = 0,853 - 0,0052x + 2,1E-05x^2 máx=124
[14] $\hat{y}$ =0,48 + 0,0011x
[15] $\hat{y}$ = 0,829 - 0,0046x + 2E-05x^2 máx=115
[16] $\hat{y}$ =0,529 + 0,00078
[17] $\hat{y}$ =0,572 + 0,00053x

DAIE= dias após o início do experimento; L – linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

1.3.3.3 Índice de grama (IG)

A interação entre sistema e lâmina foi observada aos 50, 69, 130, 145 e 162 DAIE. Nas demais datas houve efeito do sistema e das lâminas (Tabela 27 e 28).

Tabela 27 – Resumo da análise de variância do índice de grama (IG) dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Fator de variação	Índice de grama					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
	----------p-valor----------					
Sistema (S)	0,39	0,02	0,011	0,007	0,002	0,001
Lâmina (L)	0,36	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
SxL	0,40	0,008	0,044	0,14	0,21	0,21
CV S, (%)	7,1	8,3	8,3	10,2	7,7	6,7
CV L, (%)	6,3	7,2	6,0	7,4	7,3	7,4

DAIE= dias após o início do experimento

Tabela 28 – Resumo da análise de variância do índice de grama (IG) dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Fator de variação	Índice de grama				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
	----------p-valor----------				
Sistema (S)	0,003	0,001	0,78	0,001	0,001
Lâmina (L)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006
SxL	0,006	0,014	0,029	0,12	0,63
CV S, (%)	6,6	6,5	10,3	6,1	7,2
CV L, (%)	8,6	7,0	10,0	6,2	6,6

DAIE= dias após o início do experimento

O tratamento ARD50% se diferenciou do AS100% pelo teste de contraste somente após os 162 DAIE. Os demais tratamentos apresentaram contrastes com AS100% após a primeira data de avaliação (Tabela 29 e Tabela 30).

Tabela 29 – Média do índice de grama (IG) de acordo com as lâminas, dos 35 aos 118 dias após o início do experimento

Tratamentos	Índice de grama					
	DAIE					
	35	50	69	83	102	118
AS100%	5,6	5,0	5,2	5,1	5,3	5,4
ARD50%	5,6	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
ARD100%	5,6	5,4*	5,4	5,4*	5,7*	6,0*
ARD150%	5,9	5,8*	5,6*	5,8	6,0*	6,3*
ARD200%	6,0	5,8*	5,7*	6,0*	6,3*	6,5*

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

Tabela 30 – Média do índice de grama (IG) de acordo com as lâminas, dos 130 aos 196 dias após o início do experimento

Tratamentos	Índice de grama				
	DAIE				
	130	145	162	181	196
AS100%	5,2	5,6	5,9	5,9	6,3
ARD50%	5,4	5,8	6,6*	6,3*	6,6*
ARD100%	5,9*	5,9*	6,3*	6,3*	6,7*
ARD150%	6,3*	6,5*	6,6*	6,5*	6,7*
ARD200%	6,6*	6,6*	6,7*	6,5*	6,8*

DAIE= dias após o início do experimento; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste.

O índice de grama é uma pontuação dada para a cor e a densidade do gramado, que varia numa escala de 1 a 9, onde 1 indica um gramado com qualidade ruim, acima de 6, qualidade aceitável e 9, nota máxima, onde o gramado apresenta ótima qualidade (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011; ROCHE, 2013).

Kamimura (2019), avaliando diferentes tipos de adubação (liberação lenta, liberação controlada, fertirrigação e convencional) com dose de 90-25-45 kg ha^{-1} de N-P_2O_5-K_2O, em gramas Zoysia Zeon (*Zoysia matrella*) e Bermuda Celebration (*Cynodon dactylon*) encontrou IG variando entre 6 e 9. Os valores do índice de grama obtidos nesta pesquisa estão próximos ao aceitável, variando numa faixa de 5,0 a 6,8. Dos 35 aos 83 DAIE, o IG ficou abaixo do recomendado, após esta data, os valores aumentaram, resposta essa observada principalmente nas maiores lâminas de água residuária. As temperaturas baixas devido ao período de inverno também podem ter influenciado nos valores obtidos, que foi dos 35 até próximo aos 145 DAIE.

As médias do IG de aspersão e gotejamento para as datas onde houve a interação significativa entre sistema e lâmina estão apresentadas na Tabela 31, onde se pode notar que houve diferença entre os sistemas em todas as datas, sendo o

gotejamento superior à aspersão aos 50 (150% e 200%), 69 (50%, 100% e 150%), 130 (50% e 100%) e 145 (100% e 150%) DAIE. A aspersão foi superior somente aos 162 DAIE na lâmina de 50%.

Tabela 31 – Análise de regressão do índice de grama (IG) para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
	Índice de grama					
	50 DAIE					
Aspersão	5,0 A	5,3 A	5,5 B	5,6 B	0,001 L[1]	90,5
Gotejamento	5,2 A	5,5 A	6,0 A	6,1 A	0,001 L[2]	92,4
	69 DAIE					
Aspersão	5,1 A	5,2 B	5,5 B	5,5 B	0,001 L[3]	94,8
Gotejamento	5,2 A	5,6 A	5,8 A	5,9 A	0,001 L[4]	87,5
	130 DAIE					
Aspersão	5,0 B	5,7 B	6,2 A	6,6 A	0,001 L[5]	97,8
Gotejamento	5,9 A	6,2 A	6,4 A	6,5 A	0,001 L[6]	97,0
	145 DAIE					
Aspersão	5,7 A	5,7 B	6,2 B	6,7 A	0,001 L[7]	93,9
Gotejamento	5,9 A	6,1 A	6,9 A	6,6 A	0,03 Q[8]	80,5
	162 DAIE					
Aspersão	6,9 A	6,2 A	6,4 A	6,6 A	0,04 Q[9]	84
Gotejamento	6,3 B	6,5 A	6,8 A	6,9 A	0,003 L[10]	96,9

[1] $\hat{y}$= 4,90 + 0,0035x
[2] $\hat{y}$= 4,94 + 0,006x
[3] $\hat{y}$= 4,97 + 0,005x
[4] $\hat{y}$= 5,06 + 0,003x
[5] $\hat{y}$= 4,49 + 0,011x
[6] $\hat{y}$= 5,67 + 0,0045x
[7] $\hat{y}$= 5,23 + 0,0064x
[8] $\hat{y}$= 4,98 + 0,0189x - 5E-05x² máx=189
[9] $\hat{y}$= 7,91 - 0,026 + 1E-04x² máx=130
[10] $\hat{y}$= 6,13 + 0,004x

DAIE= dias após o início do experimento; L – linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Aos 145 e 162 DAIE, as lâminas de água residuária se ajustaram ao modelo quadrático para o gotejamento e aspersão, com ponto de maior índice de grama sendo obtido com a lâmina de 189% e 130%, respectivamente. Para as demais datas, as lâminas se ajustaram ao modelo linear para os dois sistemas.

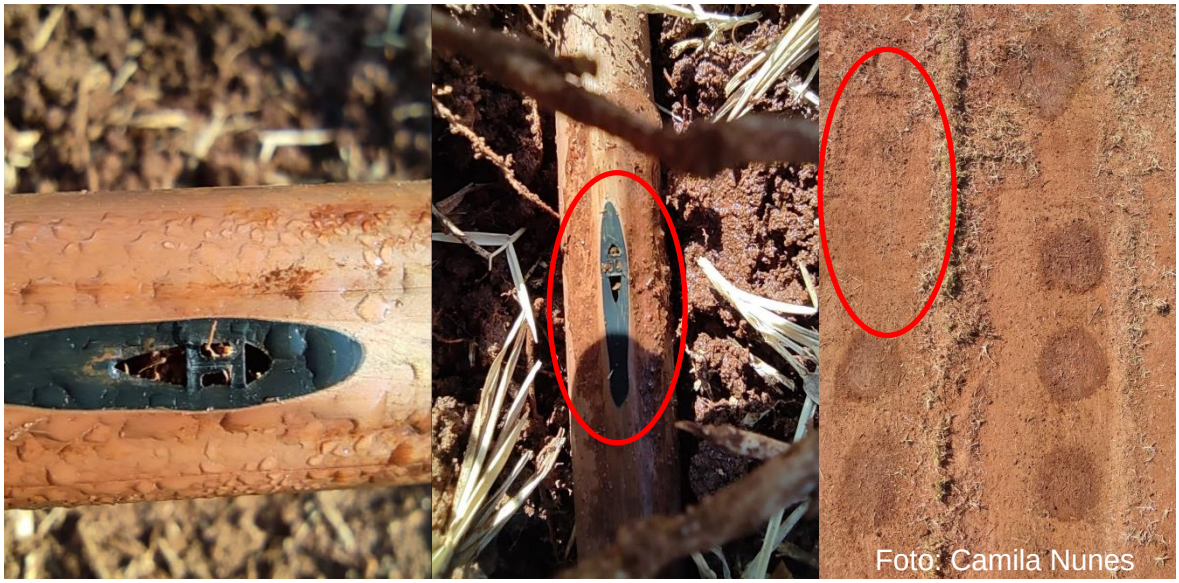
As parcelas com o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial apresentaram faixas de coloração mais intensas (Figura 13) no local onde os tubos gotejadores estavam alocados. Uma hipótese que pode auxiliar nesta explicação, é de que, houve concentração dos nutrientes na região radicular próxima ao tubo e também, o espaçamento destes (0,5 m) estava no limite da faixa recomendada pela fabricante (0,3 a 0,45 m) para solos de textura arenosa.

Figura 13 – Faixas de coloração nas subparcelas do gotejamento subsuperficial

Ao final do experimento, as linhas de gotejamento foram desenterradas, com isso foi possível observar que a profundidade que estavam enterrados variou entre 0,08 a 0,15 m (Figura 14), fazendo então com que a distribuição da água residuária e principalmente dos nutrientes, não fosse uniforme na área útil (2,25 m²) das subparcelas. Além destes fatores, os gotejadores apresentaram entupimento por raízes (Figura 15), todavia, vale ressaltar que antes do início do experimento, os dois sistemas ficaram sem operar por um longo período, o que não é indicado para que se possa manter a qualidade e eficiência dos sistemas conforme a garantia da fabricante.

Figura 14– Variação na profundidade que os tubos gotejadores estavam enterrados

Figura 15 – Entupimento dos gotejadores acarretando má distribuição de água dentro das subparcelas



1.4 CONCLUSÕES

Os sistemas de irrigação foram semelhantes em relação à qualidade do gramado, no entanto a aspersão proporcionou maior crescimento e o gotejamento, estado nutricional mais adequado na maior lâmina.

O uso de água residuária doméstica proporcionou maior qualidade do gramado do que a água fornecida pela Sabesp, utilizando a mesma lâmina (100%).

As lâminas de 150% e 200% com água residuária proporcionaram o maior crescimento, melhor qualidade e estado nutricional do gramado.

REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L. STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.

BACKES, C. et al. Efeito residual do lodo de esgoto e manejos mecanizados na produção e extração de nutrientes pela grama esmeralda. **Revista Espacios**, v. 38, n. 14, p. 3 – 14, 2017.

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

BREMER, D.J.; LEE, H.; SU, K.; KEELEY, S.J. Relationships between normalized difference vegetation index and visual quality in cool-season turfgrass: II. Factors affecting NDVI and its component reflectance. **Crop Science**, v.51, n.5, p.2219, 2011.

CARNEIRO, F. M. **Sensores de dossel no monitoramento da variabilidade temporal das culturas da soja e do amendoin**. 2018. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2018.

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

CHRISTIANS, N. E.; PATTON, A. J.; LAW, Q. D**. Fundamentals of Turfgrass Management**. 5. ed. Wiley, 2016, 480 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solo***.* 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DAL PAI, A.; DAL PAI, E.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; ESCOBEDO, J. F. Evaluation of anisotropic correction models for diffuse solar irradiance measured by MEO shadow ring method. **Journal of renewable and Sustainable Energy**, Melville - NY, v. 12, n. 6, p. 1-11, 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. Revista brasileira de biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GIACOIA NETO, J. Formas práticas de manejo de irrigação. *In:* II SIGRA – Simpósio sobre gramados - Manejo de gramas na produção e em gramados formados, 2004,

Botucatu. **Anais...** Botucatu: Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista, 2004.

GEROLINETO, E. **Desenvolvimento da grama esmeralda (zoysia japonica steud) sob dois manejos de irrigação**. 2008. 37 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L. Calagem e adubação para produção de tapetes de grama. *In:* III SIGRA – Simpósio sobre gramados, 2006. **Anais...** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2006.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L. Calagem e adubação para gramados: Como potencializar a produção e a manutenção. *In:* VILLAS BÔAS, R.L; GODOY, L.J.G.; LIMA, C.P.; BACKES, C. **Tópicos atuais em gramados. Botucatu** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2008, cap.1 p.2-19.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C.; LIMA, C.P. Doses de nitrogênio e potássio na produção de grama esmeralda. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, p.1326-1332, 2007.

GODOY, L.J.G.; VILLAS BOAS, R.L.; GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 373-380, 2003.

KAMIMURA, L. M. T. **Fertirrigação ou fertilizantes de liberação gradual no manejo de gramados esportivos**. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2019.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C; OLIVERA, S. A. Avalição do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: **Potafos**, 1997. 317 p.

MARÍN, J.; YOUSFI, S.; MAURI, P. V.; PARRA, L.; LLORET, J. RBG Vegetation indices, NDVI, and biomass as indicators do evaluate C_3 and C_4 turfgrass under different water conditions. **Sustainability**, v. 12, p. 1 – 16, 2020.

MATEUS, C. M. A.; CASTILHO, R. M. M. Adubação de manutenção em grama-esmeralda. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 6, n. 2, p. 11-16, 2012.

MENDES, W. C. et al. Lixiviação de nitrato em função de lâminas de irrigação em solos argiloso e arenoso. **Irriga**, Botucatu, Ed. Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p.47-56, 2015.

MENDONÇA, R. B. **Aplicação de água residuária doméstica pelos métodos de aspersão e gotejamento subsuperficial na grama esmeralda**. 2017. 89 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2017.

MILLS, H. A.; JONES, J. R. **Plant analysis handbook II: a practical sampling preparation, analysis and interpretation guide**. Athens, Georgia, EUA. MicroMacro Pub. Inc., 1996, 456p.

PRADO, R. C. Resenha climatológica (1971 a 2006): Botucatu-SP. Disponivel em: < https://www.fca.UNESP.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/estacao-meteorologica/resenha-climatologica/ >. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

ROCHE, M. Adaptation of warm-season turf grasses for tropical Australia. **Horticulture Australia limited**, Sydney, 2013,

SPECTRUM TECHNOLOGIES. Product Manual CM1000 Chlorophyl Meter (2011). Disponível em: < https://www.specmeters.com/ >. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

TRIMBLE. Ficha técnica do GreenSeeker portátil (2016). Disponível em: < https://agriculture.trimble.com/product/greenseeker-porttil/?lang=pt-br >. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO INFLUÊNCIADOS PELA APLICAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA EM GRAMADOS

2.1 INTRODUÇÃO

O reuso da água é uma ferramenta importante para a gestão dos recursos hídricos, pois minimiza a descarga de efluentes em corpos d'água, auxiliando na preservação e conservação destes. Para a agricultura, além da água, o reuso de efluentes fornece nutrientes às plantas (BARROS et al., 2020), principalmente nitrogênio e fósforo, que apresentam concentrações médias no esgoto bruto entre 35-60 mg L^{-1} de N total e entre 4-12 mg L^{-1} de P (VON SPERLING, 2005)

Do ponto de vista agrícola, o conhecimento da qualidade da água para irrigação é essencial, podendo limitar ou conceder o uso deste recurso. Esta limitação ou permissão à sua utilização, não requer condições de caráter químico presente no laudo da análise, mas também das características físico-químicas do solo onde será aplicada, bem como as características da planta, hidráulicas do sistema e do método de irrigação. Em posse destas informações, é possível manter a capacidade produtiva do sistema solo-planta e, provavelmente, da agricultura irrigada (CORDEIRO, 2001).

Uma das principais limitações ao uso de águas residuárias é a sua composição química (total de sais dissolvidos), presença de metais pesados, excesso de sódio em relação ao cálcio e magnésio (razão de adsorção de sódio – RAS) (AYESRS; WESTCOT, 1999 *apud* ERTHAL et al., 2010) que pode ocasionar a contaminação do solo, dos produtos agrícolas e de águas superficiais. O aumento na salinidade do solo pode provocar deficiência hídrica nas plantas, ou seja, mesmo havendo água disponível no solo, as plantas não conseguem absorvê-la e o elemento sódio em excesso pode ocasionar dispersão das argilas, dificuldade de infiltração de água e formação de camadas de impedimento no perfil do solo (BARROS et al., 2020).

Embora o crescimento do reuso seja expressivo, ainda não se tem dados referentes a todos os aspectos positivos e negativos que o emprego desta alternativa, especialmente sobre as propriedades físico-químicas do solo, absorção de nutrientes pelas plantas ou sua toxidez, possa acarretar (SANDRI et al., 2006), por isso o

monitoramento das áreas que recebem este material deve ser frequente, evitando assim que haja contaminação do solo, lençol freático, produtos agrícolas e do homem.

Com o presente experimento, objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de lâminas de água residuária doméstica via aspersão ou gotejamento subsuperficial nos atributos químicos e físicos do solo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu – FCA/UNESP (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”), no Departamento Ciência Florestal, Solos e Ambiente.

As coordenadas geográficas da área são de aproximadamente: 22º50’48” de latitude sul e 48º26’07” de longitude oeste e a altitude média é de 815 m.

A classificação de Köppen define o clima de Botucatu como Cwa (Clima subtropical úmido), caracterizado por um inverno seco e temperaturas amenas, verão quente, úmido e chuvoso (DAL PAI et al., 2020). A temperatura média no mês mais quente é de 23,1ºC e no mês mais frio de 17,1ºC, em fevereiro e julho respectivamente. A temperatura média anual é de 20,3ºC e a umidade relativa média anual é de 73,9%. A precipitação média anual é de 1501,4 mm (PRADO, 2013).

Os dados de temperatura mínima, média e máxima do ar (Figura 16) precipitação (Figura 17) e evapotranspiração de referência (ETo) (Figura 18) foram obtidos diariamente da instalação até o final do experimento, da estação meteorológica da FCA/UNESP.

A temperatura média durante foi de 20,6 °C, média máxima de 26,6 °C, média mínima de 15,7 °C, precipitação de 572 mm e evapotranspiração de 716 mm durante o período do experimento.

Figura 16 – Dados climáticos de temperatura mínima (Tmín), média (Tmédia) e máxima (Tmáx) no período do experimento– Botucatu, SP, 2020

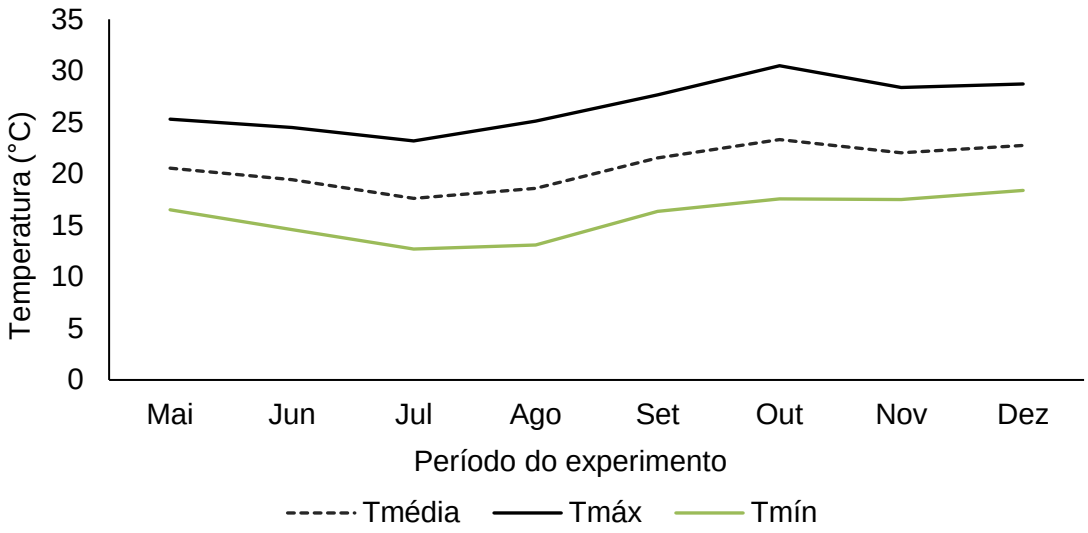


Figura 17 – Dados climáticos de evapotranspiração (ETo) no período do experimento – Botucatu, SP, 2020

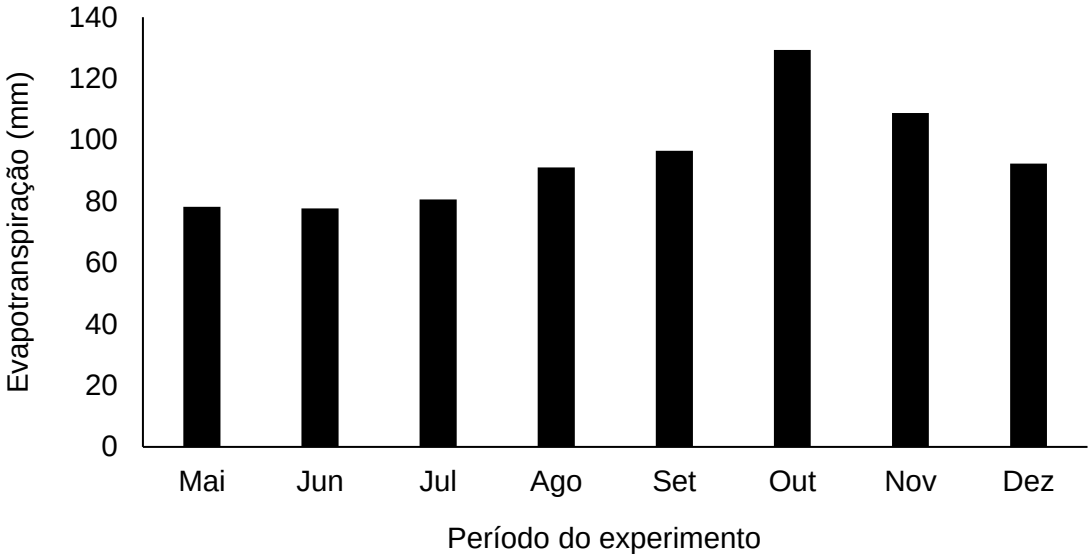
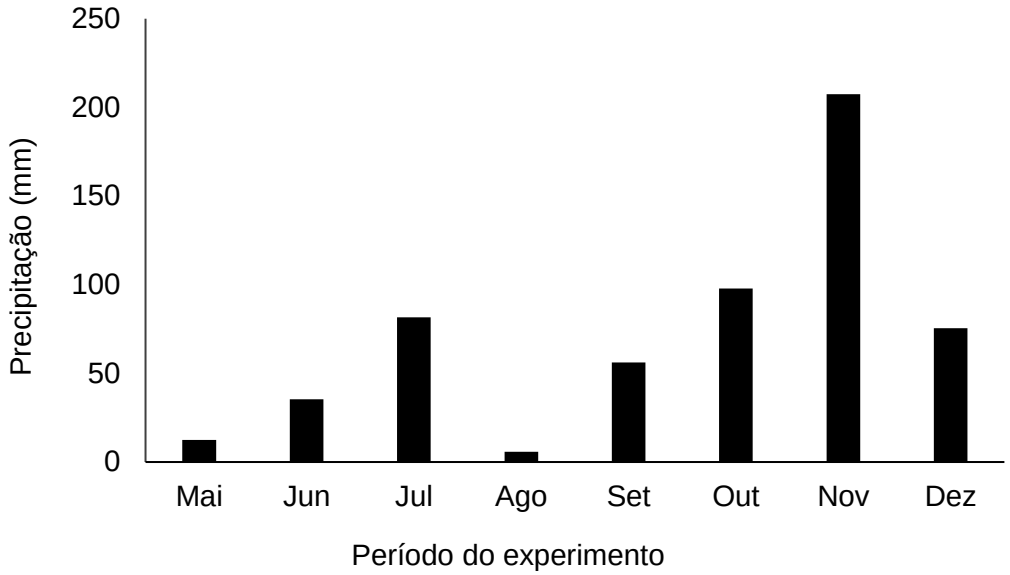


Figura 18 – Dados climáticos de precipitação no período do experimento – Botucatu, SP, 2020



2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento adotado no experimento foi inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos (Tabela 32) consistiram em dois sistemas de irrigação (aspersão e gotejamento subsuperficial), quatro lâminas com água residuária doméstica proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de Botucatu-SP, com 50% (T1), 100% (T2), 150% (T3), 200% (T4) da evapotranspiração diária e tratamento controle (T0), com água potável fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) de Botucatu, SP, repondo 100% da evapotranspiração de referência (ETo). As parcelas foram divididas em vinte subparcelas, com dimensões de 1,5 m x 1,5 m, totalizando 2,25 m², espaçamento de 0,5 m no sentido horizontal, 1,0 m no sentido vertical entre subparcelas, 1,0 m entre os dois sistemas de irrigação e 2,5 m de bordadura.

A água residuária doméstica utilizada no experimento foi captada com um tanque de 3.000 litros acoplado a um trator, transportada da ETE, que fica localizada na Fazenda Lageado e despejada em reservatório de 3.000 litros no Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente.

Tabela 32 - Descrição dos tratamentos para os dois sistemas de irrigação (aspersão e gotejamento subsuperficial)

Tratamento	Descrição	Lâmina de irrigação (%)
T0 (controle)	Água da Sabesp (AS100)	100%
T1	Água residuária doméstica (ARD50)	50%
T2	Água residuária doméstica (ARD100)	100%
T3	Água residuária doméstica (ARD150)	150%
T4	Água residuária doméstica (ARD200)	200%

2.2.3 Caracterização do solo

O solo da área foi classificado de acordo com a Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho Distrófico. Foram coletadas três amostras por subsuparcela para caracterização química do solo na camada de 0-0,2 m de profundidade com um trado do tipo rosca. O material foi homogeneizado e agrupado por tratamento para formar uma amostra composta a fim de verificar o estado inicial da fertilidade do solo antes do início da aplicação dos tratamentos.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas /UNESP, Botucatu-SP, para determinação das características químicas de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2011) e físicas, de acordo com a Embrapa (2011). Nas tabelas 33 e 34 abaixo estão representados os resultados das análises químicas do solo.

Para a caracterização textural do solo, foram coletadas 10 amostras em área total, que foram secas ao ar (TFSA) e enviadas ao laboratório para determinação da quantidade de argila, areia e silte (Tabela 35) conforme a metodologia da Embrapa (2011).

Tabela 33 – Resultado da análise química do solo antes do início do experimento – Botucatu, SP, 2020

Tratamentos	pH	M.O.	P_{resina}	S	Al^{3+}	H+Al	Na	K	Ca	Mg	CTC	V%
	$CaCl_2$	g dm^{-3}	-mg dm^{-3}-				mmol$_c$ dm^{-3}					
						Aspersão						
T0	5,3	20	4	5	0	20	0,3	0,8	13	7	41	50
T1	5,1	24	9	7	0	24	0,2	0,7	13	6	43	44
T2	5,5	27	7	3	0	16	0,3	0,7	15	8	39	58
T3	5,1	28	8	5	0	20	0,3	0,8	17	7	44	54
T4	5,3	25	6	6	0	23	0,3	0,6	15	7	45	49
						Gotejamento subsuperficial						
T0	5,4	19	7	4	0	16	0,2	0,6	13	7	36	56
T1	5,3	22	7	5	0	20	0,3	0,6	14	8	42	52
T2	5,1	22	6	5	0	26	0,2	0,7	13	7	46	43
T3	5,3	18	9	5	0	19	0,2	0,6	12	6	37	49
T4	5,2	19	8	5	0	22	0,2	1,0	14	6	42	49

Tabela 34 – Resultado da análise química dos micronutrientes do solo antes do início do experimento – Botucatu, SP, 2020

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----------mg dm^{-3}----------				
			Aspersão		
T0	0,34	2,1	39	5,4	0,9
T1	0,42	2,1	50	6,6	2,8
T2	0,35	2,6	45	7,4	1,7
T3	0,34	2,9	47	9,0	3,4
T4	0,41	3,1	54	10,8	0,8
			Gotejamento subsuperficial		
T0	0,34	1,2	28	3,5	0,2
T1	0,37	1,7	33	4,3	0,3
T2	0,37	2,0	33	7,0	0,4
T3	0,41	1,2	31	3,5	0,5
T4	0,35	1,4	36	3,6	0,6

Tabela 35 – Composição textural da área no início e final do experimento – Botucatu, SP, 2020

Amostra	Areia	Argila	Silte	Classificação
		g kg^{-1}		
		início		
0-0,15 m	640	97	263	Franco Arenoso
		final		
	718	79	203	

2.2.4 Análise química da água

Para a água tratada, a análise foi realizada no início (maio) e no final do experimento (dezembro). Para a água residuária doméstica, a cada reposição semanal, uma alíquota foi retirada e devidamente armazenada para compor a análise mensal de cada mês do experimento. Para ambas, o volume coletado por amostragem foi de aproximadamente 100 ml.

O material foi encaminhado ao Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas FCA/UNESP, Botucatu-SP, para a determinação da concentração de macro e micronutrientes de acordo com a metodologia modificada de Malavolta et al., (1997), pH e condutividade elétrica.

Os resultados das análises químicas da água residuária doméstica e água potável fornecida pela SABESP estão expressos nas tabelas 36 e 37 abaixo, respectivamente.

Tabela 36 – Média mensal das análises de pH, condutividade elétrica (CE), macro e micronutrientes da água residuária doméstica

Mês	pH	Ce	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	RAS
		mS cm^{-1}							mg L^{-1}						
Jun.	7,0	0,662	41	4	18	17	3	12,5	58	0,22	ND	0,40	0,06	ND	3,4
Jul.	7,0	0,602	73	2	18	15	3	12,9	49	0,26	ND	0,50	0,4	ND	3,0
Ago.	7,7	0,725	66	2	28	27	4	19,2	50	0,01	ND	0,20	0,03	ND	2,4
Set.	4,2	0,475	46	2	23	8	3	16,0	44	0,0	ND	0,02	0,0	ND	1,2
Out.	7,2	0,676	42	2	21	18	3	12,7	61	0,13	ND	0,11	0,06	ND	3,5
Nov.	8,0	0,654	49	2	25	23	3	11,0	56	0,06	ND	0,16	0,04	ND	2,9
Dez.	7,4	0,777	66	2	28	27	4	19,2	50	0,01	ND	0,15	0,03	ND	2,4
média	6,9	0,653	55	2,3	23	19	3,3	14,8	53	0,10	-	0,22	0,09	-	2,7

ND= não detectável.

Tabela 37 – Resultado das análises de pH, condutividade elétrica (CE), macro e micronutrientes da água potável

Mês	pH	CE	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	RAS
		mS cm^{-1}						mg L^{-1}							
Jun	6,6	0,035	8	0	12	6	2	7,5	0,9	ND	ND	0,13	ND	ND	0,08
Dez.	7,2	0,039	7	1	16	0	2	8,2	0,9	ND	ND	0,02	ND	ND	0,13
média	6,9	0,038	7,5	0,5	14	3	2	7,9	0,9	-	-	0,07	-	-	0,10

ND= não detectável.

A razão de adsorção de sódio – RAS foi calculada com a seguinte formula:

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\frac{Ca+Mg}{2}^{0,5}}$$

Onde RAS é a razão de adsorção de sódio; Na é sódio, em mg L^{-1}; Ca é cálcio, em mg L^{-1} e Mg é magnésio, em mg L^{-1}.

Na tabela 38 estão apresentadas a estimativa do aporte médio de macronutrientes e do elemento sódio para os dois sistemas de irrigação, com base na lâmina de água total aplicada durante o período do experimento e do teor médio dos nutrientes de acordo com o laudo da análise da água.

Tabela 38 – Estimativa do aporte médio de macronutrientes e do elemento sódio, de acordo com as lâminas e com as fontes de água para os sistemas de irrigação

Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S	Na
Tratamentos				kg ha^{-1}			
AS100%	17	1,2	32	7	4,6	18	2
ARD50%	64	2,7	28	22	3,8	17	62
ARD100%	127	5,3	53	44	7,6	34	122
ARD150%	192	8,0	80	66	11,5	52	185
ARD200%	256	10,7	107	88	15	69	247

2.2.5 Condução da área experimental

A área experimental já estava implantada com grama esmeralda e até o início do experimento, foram realizadas operações de manutenção do gramado, como corte, irrigação e controle manual de plantas invasoras. Para nivelar o terreno devido a um incidente ocorrido com um caminhão que passou sobre a área do experimento, foram realizadas duas aplicações de areia.

Não se realizou adubação no gramado, com o intuito de verificar a contribuição da carga de nutrientes presentes na água residuária doméstica.

2.2.6 Irrigação

a) Sistemas

Os sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento subsuperficial já estavam devidamente instalados em uma área de aproximadamente 175,5 m², constituindo duas parcelas principais com 87,75 m², sendo uma para cada sistema de irrigação.

Os aspersores sprays instalados foram da série 1800 com 0,15 m de altura de elevação, indicado pela fabricante para espaços verdes de tamanho reduzido, canteiros e arbustos. Cada subparcela foi constituída por quatro aspersores, com bocal 8 HE-VAN (bocal Spray de arco variável de alta eficiência) com filtro de tela acoplado, que apresenta jatos mais grossos e gotas maiores para maior resistência ao vento, ajustado para aplicar a água em um ângulo de 90°, com vazão de 0,07 m^3 h^{-1} a uma pressão de serviço de 2 bar, resultando em uma intensidade de aplicação de 124,44 mm h^{-1}

O tubo gotejador instalado foi da série XF-SDI autocompensante com gotejadores "*in-line*" de vazão 3,48 l h^{-1}, espaçados a cada 0,3048 m, com tecnologia "escudo de cobre" que impede a intrusão de raízes, indicado para irrigação subsuperficial, dispensando assim, a utilização de produtos químicos, patenteada pela Rain Bird®. O espaçamento entre tubos foi de 0,5 m e para cada subparcela, utilizou-se quatro linhas do tubo, com 1,5 m de comprimento, contendo cinco gotejadores em cada linha, totalizando vinte por subparcela, resultando em uma intensidade de

aplicação de 22,82 mm h^{-1}. O sistema foi instalado a 0,12 m de profundidade, conforme a recomendação da fabricante.

A setorização dos sistemas de irrigação instalados foi feita utilizando válvulas solenoides 100-DV, cada sistema foi constituído por cinco setores, desta forma, totalizando dez válvulas solenoides. Logo em seguida, foram instaladas válvulas anti-vácuo de ½”. Estas válvulas permitem a entrada e saída de ar das linhas de gotejo, e assim evitam o golpe de aríete e também da sucção de sujeira. Para que não houvesse oscilação foram instalados reguladores de pressão em todos os tratamentos do gotejamento, modelo PSI-M20.

O filtro utilizado para água residuária foi do tipo cesto de 200 mesh com um indicador na tampa de coloração verde que mudava para vermelho quando necessário efetuar manutenção e um manômetro para o controle da pressão de serviço. O sistema de filtragem para a água da sabesp foi composto por um filtro de disco com 100 mesh.

O sistema de bombeamento da água foi composto por dois conjuntos de motobomba afogada, um para cada fonte de água, com potência de 0,5 cv, pressão de trabalho de 26 metros de coluna d’água e vazão de 2,7 m^3 h^{-1}.

Para a automação foram utilizados dois controladores ESP-me, sendo um para a irrigação com água residuária doméstica e outro para a água potável. Os equipamentos de irrigação, automação e sensores, foram fornecidos pela empresa Rain Bird®.

b) Manejo da irrigação

O manejo da irrigação adotado nesta pesquisa foi realizado via clima, de acordo com os dados da evapotranspiração obtidos da estação meteorológica da FCA/UNESP, adotando o coeficiente de cultivo para a grama esmeralda (kc) = 1,0. Em períodos com a precipitação igual ou superior a 5,0 mm dia^{-1}, não foi realizada a irrigação. A lâmina total aplicada durante o período do experimento de acordo com os tratamentos pode ser observada na Tabela 39.

Tabela 39 – Lâmina total de irrigação aplicada durante período do experimento

Lâmina total (mm)	Tratamentos			
	50%	100%	150%	200%
Aspersão	1047,7	2083,8	3143,2	4190,9
Gotejamento subsuperficial	1049,7	2099,5	3149,2	4198,9

2.2.7 Avaliações realizadas no solo

2.2.7.1 Atributos químicos

a) Para fins de fertilidade

Para a realização da caracterização química do solo, as amostras foram coletadas com um trado do tipo rosca na camada de 0-0,2 m quatro meses após o início, no mês de setembro e ao término do experimento, no mês de dezembro. Na área central de cada subparcela (para o gotejamento, as amostras foram coletadas no espaçamento entre os tubos gotejadores para não danificar o sistema), que foram homogeneizadas para formar amostras compostas e levadas a estufa a temperatura de 65 ºC para a secagem do material.

Finalizada a secagem, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Botucatu/SP, para a realização das análises de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2011).

b) Metais pesados

Foram coletadas amostras de solo ao término do experimento com um trado do tipo rosca na camada de 0-0,2 m de profundidade dos tratamentos com água da Sabesp (AS100%) e água residuária (ARD100% e ARD200%). Na área central de cada subparcela foram coletadas seis subamostras, que foram homogeneizadas para formar amostras compostas e levadas a estufa a temperatura de 65 ºC para a secagem do material.

Posteriormente, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Metais Pesados do Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Botucatu/SP para a determinação dos teores de metais pesados (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Cu, Co, Hg, Mo, Ni, Se e Zn) de acordo com o método EPA 3051A (EPA, 2007).

2.2.7.2 Atributos físicos

Foram coletados monólitos de solo na área central das subparcelas com o auxílio de um enxadão, nas camadas de 0-0,10 m de profundidade, no início do experimento, antes da aplicação dos tratamentos com água residuária e ao final do experimento, para verificar a influência da água residuária nos atributos físicos do solo. Foram coletadas duas amostras por tratamento.

O material foi seco ao ar (TFSA), destorroado manualmente observando os pontos de fraqueza de modo a preservar os agregados. Após a secagem, o solo foi transpassado em peneira de 4 mm e 2 mm. O solo retido na peneira de 2 mm foi encaminhado para análise de estabilidade de agregados (diâmetro médio geométrico – DMG e diâmetro médio ponderado – DMP), já o solo que passou pela peneira de 2 mm e ficou retido no fundo, foi separado e encaminhado para análise de argila total, argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)

As análises foram realizadas conforme a metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, através do Centro Nacional de Pesquisa em solos – EMBRAPA SOLOS (2011).

2.2.8 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade e regressões linear e quadrática, sendo adotada a de maior coeficiente de determinação quando ambas significativas.

As medias dos tratamentos com água residuária foram agrupados, dentro de cada lâmina, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As médias do tratamento com água da Sabesp foram comparadas com as médias dos tratamentos com água residuária, pelo teste de contraste, a 5% de probabilidade.

A análise estatística foi realizada no software *Sisvar* versão 5.6 (FERREIRA, 2019).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.3.1 Atributos químicos

a) Para fins de fertilidade

Nas tabelas 40, 41 e 42 estão expressos os níveis descritivos para os fatores de variação sistema, lâmina e interação entre sistema e lâmina para os atributos químicos do solo, em duas épocas de avaliação meio (m) e fim (f) do experimento.

O teor de alumínio no solo para todos os tratamentos neste experimento, foi próximo a zero, não sendo, portanto, apresentado e discutido nas tabelas abaixo.

Para o fator sistema, foram encontradas diferenças significativas para pH, Na, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn e para a lâmina, pH, M.O, Na, Ca, S, CTC, Cu, Mn e Zn.

Tabela 40 – Resumo da análise de variância de pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P), acidez potencial do solo (H+Al) e sódio (NA) no solo no meio (m) e no fim (F) do experimento

Elementos	pH		M.O		P_{resina}		H+Al		Na	
Fator de	----------p-valor----------									
variação	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Sistema(S)	0,26	0,03	0,32	0,97	0,47	0,34	0,82	0,10	0,025	0,02
Lâmina (L)	0,04	0,44	0,001	0,65	0,50	0,43	0,81	0,97	0,112	0,001
SxL	0,001	0,46	0,009	0,47	0,18	0,76	0,67	0,67	0,011	0,001
CV S, (%)	4,6	4,3	10,6	16,1	36,1	49,7	18,7	18,5	43,9	32,1
CV L, (%)	2,3	3,4	6,7	12,6	34,2	39,3	12,1	16,0	33,4	27,4

M= meio do experimento; F= final do experimento

A interação entre sistema e lâmina não foi significativa para P, H+Al, K, Mg, CTC e B em nenhuma época de avaliação. Os demais atributos apresentaram significância somente para a análise realizada no período do meio do experimento, exceto para o Na, que foi significativo nos dois períodos.

Tabela 41 – Resumo da análise de variância de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e soma de bases (V%) no solo no meio (m) e no fim (F) do experimento

Elementos	K		Ca		Mg		S		CTC		V%	
Fator de	----------p-valor----------											
variação	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Sistema (S)	0,48	0,37	0,009	0,51	0,46	0,02	0,08	0,17	0,39	0,27	0,36	0,26
Lâmina (L)	0,42	0,71	0,001	0,29	0,07	0,21	0,04	0,30	0,02	0,67	0,06	0,36
SxL	0,34	0,87	0,002	0,57	0,11	0,60	0,01	0,50	0,42	0,57	0,01	0,69
CV S, (%)	55,9	47,9	11,4	25,1	11,5	23,1	19,3	24,4	14,1	11,9	6,9	17,4
CV L, (%)	48,2	31,5	10,8	19,5	14,9	18,4	20,3	26,0	8,4	13,1	7,8	10,6

M= meio do experimento; F= final do experimento

Tabela 42 – Resumo da análise de variância para os micronutrientes do solo no meio (m) e no fim (F) do experimento

Elementos	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
Fator de	----------p-valor----------									
variação	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Sistema (S)	0,16	0,08	0,001	0,06	0,002	0,01	0,005	0,54	0,001	0,13
Lâmina (L)	0,13	0,94	0,03	0,79	0,52	0,84	0,001	0,66	0,001	0,01
SxL	0,20	0,12	0,02	0,62	0,02	0,93	0,001	0,24	0,001	0,21
CV S, (%)	18,9	21,5	21,9	59,5	13,7	36,4	31,7	84,9	27,4	39,8
CV L, (%)	18,2	15,5	18,4	54,8	11,9	26,5	18,9	83,9	25,9	25,6

M= meio do experimento; F= final do experimento

A comparação das médias das lâminas de ARD com AS100% pelo teste de contraste evidenciou diferenças significativas para os atributos químicos do solo, que podem ser observadas nas tabelas 43, 44 e 45. Para M.O (100% e 200%), Na (100%, 150% e 200%), Ca (200%), V% (200%), CTC (200%), B (100%) e Zn (150%, 50%), apenas. O aumento do sódio com o aumento das lâminas está relacionado à sua alta concentração na água residuária doméstica, com teor médio de 53 mg L^{-1} (Tabela 36).

Tabela 43 – Média de pH, matéria orgânica (M.O), fósforo (P), acidez potencial do solo (H+Al) e sódio (NA) no solo acordo com as lâminas aplicadas, no meio e ao final do experimento

Tratamentos	pH		M.O		P_{resina}		H+Al		Na	
	$CaCl_2$		g dm^{-3}		mg dm^{-3}		-------$mmol_c$ dm^{-3}-------			
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
AS100%	5,3	5,2	18,0	22,1	7,3	10,7	24,5	25,2	0,69	0,33
ARD50%	5,1	5,2	19,2	24,0	7,0	9,1	24,2	26,0	0,74	0,50
ARD100%	5,3	5,3	21,2*	24,1	8,8	7,8	24,5	25,6	0,97	0,63*
ARD150%	5,3	5,3	19,4	23,8	7,3	8,0	24,3	24,6	0,98	0,73*
ARD200%	5,2	5,3	20,0*	23,9	8,8	8,4	25,8	24,9	0,99	0,83*

M= meio, F= final * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste;

Tabela 44 – Média de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), capacidade de troca de cátions (CTC) e soma de bases (V%) no solo acordo com as lâminas aplicadas, no meio e ao final do experimento

Tratamentos	K		Ca		Mg		S		CTC		V%	
	----------$mmol_c$ dm^{-3}----------						mg dm^{-3}		$mmol_c$ dm^{-3}		-	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
AS100%	1,0	1,2	12,7	14,8	6,7	7,1	4,6	5,8	45,0	48,2	45,5	47,7
ARD50%	0,9	1,2	12,5	16,5	6,2	7,4	4,8	6,9	43,8	51,1	44,6	49,0
ARD100%	1,0	1,0	14,6	17,6	7,4	8,5	5,1	5,7	47,4	53,3	48,4	52,1
ARD150%	1,0	1,1	14,8	17,7	7,5	8,3	5,2	7,2	47,6	51,6	49,1	52,3
ARD200%	1,3	1,2	16,0*	18,2	7,5	7,3	6,3	6,7	50,7*	51,1	49,1	51,1*

M= meio, F= final; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste;

Tabela 45 – Média do teor de micronutrientes no solo no meio e ao final do experimento acordo com as lâminas aplicadas, no meio e ao final do experimento

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	----------mg dm^{-3}----------									
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
AS100%	0,53	0,29	2,2	2,1	38,0	50,2	4,7	3,9	0,56	0,74
ARD50%	0,44	0,29	1,9	2,7	40,5	51,8	3,8	5,1	0,79	1,11 *
ARD100%	0,42*	0,29	2,1	3,0	37,7	48,6	4,8	7,3	1,04	0,97
ARD150%	0,47	0,30	2,6	2,5	41,0	46,4	6,0	6,3	1,10*	0,80
ARD200%	0,45	0,30	2,4	2,6	39,9	46,2	6,2	5,2	0,76	0,75

M= meio, F= final; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste;

Na tabela 46 estão apresentados as médias e a análise de regressão das lâminas de água residuária para os dois sistemas de irrigação nos quais a interação entre sistema e lâmina apresentou significância.

Tabela 46 – Análise de regressão dos atributos químicos do solo ao meio e ao fim do experimento para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
			Nutrientes			
			pH – M			
Aspersão	4,9 B	5,4 A	5,3 A	5,3 A	0,001 Q[1]	86,1
Gotejamento	5,3 A	5,2 A	5,2 A	5,2 A	ns	-
			M.O (g dm^{-3})$^{-}$ – M			
Aspersão	19,9 A	21,1 A	20,1 A	21,4 A	ns	-
Gotejamento	18,5 A	21,2 A	18,7 A	18,6 B	0,02 Q[2]	42,7
			Na ($mmol_c$ dm^{-3}) - M			
Aspersão	0,76 A	1,26 A	1,33 A	1,34 A	0,02 L[3]	73,3
Gotejamento	0,72 A	0,70 B	0,67 B	0,60 B	ns	-
			Na ($mmol_c$ dm^{-3}) – F			
Aspersão	0,51 A	0,62 A	1,03 A	1,07 A	0,001 L[4]	90,4
Gotejamento	0,48 A	0,64 A	0,44 B	0,59 B	ns	-
			Ca ($mmol_c$ dm^{-3}) – M			
Aspersão	11,7 A	16,4 A	15,9 A	18,5 A	0,001 L[5]	81,1
Gotejamento	13,3 A	12,7 B	13,8 A	13,5 B	ns	-
			Mg ($mmol_c$ dm^{-3}) – M			
Aspersão	5,4 B	7,7 A	7,2 A	8,1 A	0,005 L[6]	68,5
Gotejamento	7,0 A	7,1 A	7,8 A	7,0 A	ns	-
			S (mg dm^{-3}) - M			
Aspersão	5,0 A	5,7 A	6,0 A	7,4 A	0,04 L[7]	91,6
Gotejamento	4,7 A	4,5 A	4,4 A	5,2 B	0,04 Q[8]	94
			V% - M			
Aspersão	41,2 B	51,1 A	48,9 A	51,8 A	0,04 Q[9]	79
Gotejamento	48,0 A	45,7 B	49,2 A	46,4 B	ns	-
			Cu (mg dm^{-3}) – M			
Aspersão	2,3 A	2,6 A	3,6 A	3,0 A	0,02 L[10]	48,1
Gotejamento	1,5 B	1,7 B	1,5 B	1,9 B	ns	-
			Fe (mg dm^{-3}) – M			
Aspersão	50,1 A	44,7 A	50,9 A	43,5 A	ns	-
Gotejamento	31,0 B	30,7 B	31,1 B	36,4 A	ns	-
			Mn (mg dm^{-3}) - M			
Aspersão	4,5 A	5,6 A	8,4 A	8,0 A	0,001 L[11]	82,2
Gotejamento	3,1 A	3,6 A	4,0 B	4,4 B	ns	-
			Zn (mg dm^{-3}) – M			
Aspersão	1,1 A	1,6 A	1,7 A	0,8 A	0,001 Q[12]	94,2
Gotejamento	0,5 B	0,5 B	0,4 B	0,7 A	ns	-

[1] $\hat{y} = 4,48 + 0,013x – 5E-05x^2$ máx=130
[2] $\hat{y} = 16,23 + 0,07x -0,00029x^2$ máx=121
[3] $\hat{y}= 0,707 + 0,0037x$
[4] $\hat{y} = 0,285 + 0,004x$
[5] $\hat{y} = 10,66 + 0,0395x$
[6] $\hat{y} = 5,22 + 0,015x$
[7] $\hat{y}= 4,14 + 0,0146x$
[8] $\hat{y}= 5,62 – 0,022x + 0,0001x^2$ máx=110
[9] $\hat{y}= 31,98 + 0,024x – 0,00007x^2$ máx=171
[10] $\hat{y}= 2,12 + 0,0059x$
[11] $\hat{y}= 3,33 + 0,0262x$
[12] $\hat{y}= -0,34 + 0,035x – 0,00014x^2$ máx=125

M= meio, F= final; L – linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

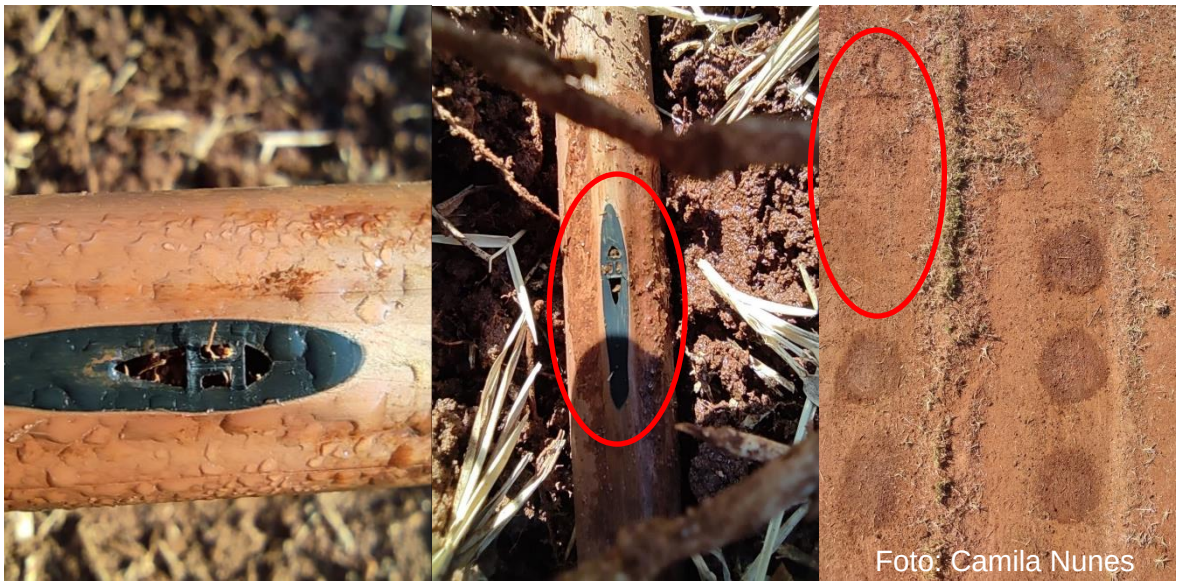
Dos doze ajustes obtidos para os atributos na análise de regressão, cinco foram para o modelo quadrático, sendo: pH, V% e Zn na aspersão e M.O e S via gotejamento subsuperficial com pontos de máximo com as respectivas lâminas 130%, 125%, 171%, 121 e 110%.

Das diferenças encontradas entre os sistemas de irrigação, o gotejamento subsuperficial diferiu da aspersão somente na lâmina com 50% da evapotranspiração diária, para pH, Mg e V%, nas demais diferenças, a aspersão foi responsável pela obtenção dos maiores valores encontrados. A hipótese que pode auxiliar na explicação destes resultados é de que, a aspersão favoreceu a distribuição dos nutrientes via água de irrigação de maneira mais uniforme que o gotejamento, uma vez que o espaçamento entre os tubos gotejadores (0,5 m) estava próximo ao limite recomendado (0,35 a 0,45 m) pelo fabricante para solos arenosos, o que explica também o não fechamento das subparcelas do gotejo, deixando faixas de coloração de verde mais intensas (Figura 19). Além disso, a coleta de solo foi realizada no espaçamento entre as faixas, o que também pode ter influenciado nos menores valores para os atributos químicos encontrados neste sistema.

Figura 19 – Faixas de coloração nas subparcelas do gotejamento subsuperficial

Além do espaçamento, a profundidade que os tubos estavam instalados variou de 0,08 a 0,015 m entre as subparcelas e os gotejadores apresentaram entupimento (Figura 20), no entanto, antes do início do experimento, os sistemas ficaram sem operar por um longo período, o que não é recomendado para manter a qualidade e eficiência conforme a garantia da fabricante.

Figura 20 – Entupimento dos gotejadores acarretando má distribuição de água dentro das subparcelas



b) Metais pesados

Diferenças significativas foram encontradas somente no fator sistema exceto para Cr (Tabela 47).

Para os elementos Cd, Pd, Co, Hg, Mo, e Se, não foi possível detectar a presença nas amostras, desta forma, não serão expressos e discutidos nas tabelas a seguir.

Tabela 47 – Resumo da análise de variância para arsênio (As), bário (Ba), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn)

Elementos	As	Ba	Cu	Cr	Ni	Zn
Fator de variação	----------	----------	p-valor	----------	----------	----------
Sistema (S)	0,001	0,04	0,04	0,38	0,04	0,04
Lâmina (L)	0,80	0,44	0,48	0,43	0,43	0,39
SXL	0,50	0,42	0,52	0,44	0,62	0,49
CV S, (%)	9,1	20,7	37,6	14,4	25,0	23,0
CV L, (%)	24,2	33,3	60,7	19,0	43,9	39,0

Não houve diferença significativa entre os sistemas de irrigação para Ba e Cr (Tabela 48), para As e Cu, os maiores teores foram encontrados no sistema via gotejamento e para Ni e Zn, na aspersão. A tecnologia “escudo de cobre” presente no gotejador com a função de evitar a intrusão radicular, pode ter influenciado para os

maiores teores desse micronutriente terem sido encontrados no sistema por gotejamento.

Tabela 48 – Média dos teores de arsênio (As), bário (Ba), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) e zinco (Zn) para os sistemas de irrigação

Elementos	As	Ba	Cu	Cr	Ni	Zn
Sistemas	----------mg kg^{-1}----------					
Aspersão	1,6 B	9,3 A	17,0 B	2,7 A	3,5 A	16,4 A
Gotejamento	2,3 A	12,3 A	28,8 A	2,9 A	2,5 B	12,0 B

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na colune não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade

O esgoto industrial descartado junto ao esgoto doméstico, pode carregar junto metais pesados e ocasionar a contaminação do solo, produtos agrícolas e águas subsuperficiais, embora na maior parte dos casos, os teores totais desses elementos possam ser considerados baixos. As aplicações contínuas associadas a incorporação de matéria orgânica de rápida degradação e pouco estabilizada, podem promover o seu acúmulo no solo, de acordo com Bertoncini (2008). Silva (2017) também afirma que o acúmulo destes elementos tóxicos ao sistema água-solo-planta, pode ser observado após aplicações de efluente doméstico.

De acordo com Tonani (2008), os principais elementos químicos enquadrados na categoria de “metais pesados” são: Prata (Ag), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Antimônio (Sb), Selênio (Se), Ferro (Fe) e Zinco (Zn), contudo, alguns destes são necessários aos organismos vivos, como As, Co, Cr, Cu, Se, Zn, porém em baixas quantidades, caso contrário, o efeito gerado será considerado tóxico.

Os teores de metais pesado no solo encontrados nesta pesquisa, estão abaixo dos limites de referência de qualidade estabelecidos pela CETESB (2005), que são de: 3,5, 75, 35, 40;13 e 60 mg kg^{-1} para As, Ba, Cu, Cr, Ni e Zn, respectivamente. Indicando que não houve acúmulo destes elementos pela aplicação de água residuária doméstica em função das lâminas durante o período do experimento.

A absorção de metais pesados pelas plantas pode acarretar fitotoxicidade e redução no potencial produtivo, já no organismo humano, estes metais são cumulativos e podem ocasionar doenças (BERTONCINI, 2008). Embora a grama não seja uma cultura alimentícia e desta forma, não haja o risco de contaminação por ingestão, a irrigação com água residuária deve ser realizada de maneira criteriosa,

para que o solo e as águas subterrâneas sejam preservados e mantenham sua qualidade.

O custo com produtos para tratamento de água é elevado, mas há alternativas sustentáveis e que proporcionam bons resultados que podem cumprir o mesmo papel, como o uso de sementes de Moringa (*Moringa oleifera*) que de acordo com pesquisas recentes, mostraram potencial para a remediação de águas e efluentes contaminados com metais (Kumari et al., 2006; MENEGHEL, 2012).

2.3.2 Atributos físicos

Para o sistema não houve significância para ADA (%) e GF (%) (Tabela 49). Para a lâmina, somente o GF foi significativo. Já para o fator período (início e fim do experimento), todos os atributos físicos foram significativos. Houve interação para o GF somente entre sistema e o período. Para DMG e DMP, a interações significativas foram encontradas entre sistema e período e sistema e lâmina.

Tabela 49 – Resumo da análise de variância para argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado do solo

Fator de variação	ADA (%)	GF (%)	DMG	DMP
	----------p-valor----------			
Sistema (S)	0,09	0,87	0,001	0,02
Lâmina (L)	0,21	0,003	0,89	0,66
Período (P)	0,001	0,001	0,001	0,001
SxP	0,64	0,009	0,001	0,001
SxL	0,15	0,09	0,002	0,02
LxP	0,42	0,24	0,35	0,06
CV S, (%)	12,2	12,0	5,85	5,96
CV L, (%)	17,7	5,5	5,2	5,5

A comparação pelo teste de contraste das lâminas de ARD com AS100% evidenciou diferenças somente para o GF, no início com ARD200% e ao fim com ARD100% (Tabela 50).

As lâminas de ARD apresentaram menor quantidade de ADA (%) no fim do experimento. Um fator importante que pode ser considerado para essa redução de argila foi a aplicação de areia no início do experimento para o nivelamento da área, aumentando assim o teor de areia na camada superficial do solo. A aplicação de água da SABESP não diferiu entre seu início e fim em quantidade de ADA, mas difere das

lâminas de ARD ao final, apresentando maior dispersão de argilas. Para o diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado, não houve diferença entre as lâminas aplicadas, mas a comparação entre os períodos evidenciou aumento destes dois atributos ao final do experimento.

Tabela 50 – Média da argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) do solo de acordo com as lâminas aplicadas, ao início e fim do experimento

Tratamento	ADA (%)		GF (%)		DMG		DMP	
	I	F	I	F	I	F	I	F
AS100%	4,7 a	4,2 a	51 a	58 a	2,10 b	2,67 a	5,16 b	11,59 a
ARD50%	5,7 a	2,7 b	45 b	64 a	2,32 b	2,61 a	5,35 b	11,40 a
ARD100%	4,9 a	2,1 b	49 b	71 a*	2,25 b	2,74 a	5,28 b	11,64 a
ARD150%	4,9 a	2,6 b	51 b	67 a	2,24 b	2,71 a	5,21 b	11,71 a
ARD200%	5,1 a	3,1 b	43 b*	66 a	2,20 b	2,70 a	5,13 b	11,63 a

I= início, F= fim; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de contraste; medias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na tabela 51 é possível observar o comportamento dos atributos físicos do solo quando analisada as lâminas dentro de cada método, onde se pode observar que na aspersão, os maiores valores no início foram obtidos para as lâminas de 100%, 150% e 200%, para ADA, DMG e DMP e ao final apenas em DMG e DMP, com 150% e 50%, respectivamente. Para o gotejamento no início, as lâminas que proporcionaram maiores valores dos atributos foram 50%, 100% para ADA e 150% para GF, e ao final, 100% e 150% para ADA e 100% para DMG.

Foram obtidos ajustes aos modelos linear e quadrático na análise de regressão dos atributos físicos em resposta às lâminas aplicadas, para ambos os métodos. Os ajustes ao modelo quadrático na aspersão foram encontrados em todos os atributos avaliados ao final do experimento, com lâminas de 106%, 130%, 124% e 130% da evapotranspiração diária, nesta ordem. E no gotejamento, em ADA (I), GF (I) e DMP (F), com pontos de máxima com lâminas de149%, 127% e 140%.

A água residuária utilizada apresentou uma média de condutividade elétrica (CE) 0,65 mS cm^{-1} e RAS de 2,7 (Tabela 36), CE alta quando comparado com a qualidade de água para irrigação indicada por Almeida (2010), em que CE varia entre 0 a 0,03 mS cm^{-1} e a RAS de 0 -15. A RAS e a condutividade elétrica da água têm forte influência na argila dispersa em água (AYERS; WESTCOT, 1991), contrapondo

Freire (2001), a ADA aumenta com o incremento da RAS, sem apresentar diferenças marcantes com relação à CE.

Tabela 51 – Análise de regressão argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) para as lâminas de água residuária doméstica em função dos sistemas de irrigação

Sistemas	Lâminas de irrigação (%)				Regressão	R^2(%)
	50	100	150	200		
			ADA (%) – i			
Aspersão	4,7 B	4,2 B	5,6 A	5,2 A	0,03	40,5 L[1]
Gotejamento	6,7 A	5,6 A	4,2 B	4,9 A	0,004	90,8 Q[2]
			ADA (%) – F			
Aspersão	2,9 A	1,37 B	1,93 B	3,0 A	0,009	92,8 Q[3]
Gotejamento	2,4 A	2,9 A	3,3 A	3,3 A	0,04	87,8 L[4]
			GF (%) – I			
Aspersão	44 A	50 A	47 B	43 A	ns	-
Gotejamento	46 A	49 A	55 A	44 A	0,006	71,6 Q[5]
			GF (%) – F			
Aspersão	63 A	76 A	71 A	66 A	0,04	85 Q[6]
Gotejamento	67 A	66 B	63 A	65 A	ns	-
			DMG – I			
Aspersão	2,32 A	2,32 A	2,59 A	2,67 A	0,001	86,7 L[7]
Gotejamento	2,31 A	2,20 B	1,90 B	1,73 B	0,001	97,5 L[8]
			DMG – F			
Aspersão	2,58 A	2,70 B	2,76 A	2,69 A	0,003	98,9 Q[9]
Gotejamento	2,63 A	2,77 A	2,66 B	2,72 A	ns	-
			DMP – I			
Aspersão	5,36 A	5,31 A	5,56 A	5,70 A	0,01	82,9 L[10]
Gotejamento	5,35 A	5,25 A	4,86 B	4,58 B	0,001	96 L[11]
			DMP – F			
Aspersão	11,5 A	11,6 A	11,63 A	11,71 A	0,008	98,5 Q[12]
Gotejamento	11,4 B	11,7 A	11,63 A	11,70 A	0,003	98,7 Q[13]

[1] $\hat{y}$= 4,185 + 0,0059x
[2] $\hat{y}$= 9,3025 - 0,0597x + 0,0002x² máx=149
[3] $\hat{y}$= 5,3763 - 0,0637x + 0,0003x² máx=106
[4] $\hat{y}$= 2,18 + 0,006x
[5] $\hat{y}$= 32,17 + 0,3311 - 0,0013x² máx=127
[6] $\hat{y}$= 45,22 + 0,468x – 0,0018x² máx=130
[7] $\hat{y}$= 2,145 + 0,0026x
[8] $\hat{y}$ = 2,54- 0,0041x
[9] $\hat{y}$= 3,6 - 0,0223x + 9E-05x² máx=124
[10] $\hat{y}$= 5,035 + 0,0043x
[11] $\hat{y}$= 5,685 - 0,0054x
[12] $\hat{y}$= 11,145 + 0,0072x - 2E-05x² máx=180
[13] $\hat{y}$= 10,894 + 0,0112x + 4E-05x² máx=140

L – Linear, Q – quadrático, ns – não significativo; médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O GF é a relação entre a ADA do solo e a quantidade de argila total. Logo, quanto menor a ADA, maior o GF. Solos com maior estabilidade de agregados apresentam maior GF. Nos resultados obtidos houve a redução da argila dispersa em

água e aumento do DMG, que é parâmetro principal para a avaliação de estabilidade de agregados.

A mineralização da matéria orgânica presente na água de reuso pode ter influenciado nas atividades dos agentes biológicos do solo (WHO,1989), que são representados por exsudatos microbianos e radiculares secretados por microrganismos como fungos e bactérias (GARCIA-FRANCO et al., 2015). Em solos arenosos, onde há escassa presença de argila a agregação de partículas do solo é quase inteiramente dependente de processos biológicos como hifas de fungos, raízes finas e dos produtos derivados de síntese microbiana que causam efeitos cimentantes (BRADY; WEIL, 2013). Segundo REGELINK et al., (2015) silte e areia, principalmente derivados de quartzo, são pouco eficientes na formação de agregados, porém, esses podem se associar a óxidos de ferro, que ao revestir tais partículas, proporcionam a elas sítios para interação com partículas orgânicas.

2.4 CONCLUSÕES

O sistema de irrigação por aspersão proporcionou os maiores teores dos atributos químicos e atributos físicos (DMG e DMP) do solo.

O teor de sódio no solo aumentou conforme as lâminas de água residuária no final do experimento.

A argila dispersa em água apresentou decréscimo para as lâminas de água residuária e aumento no grau de floculação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1991. 218 p.

BARROS, J. C. S. M.; RÊGO FILHO, L. M.; CELESTINO, R. C.; PROHMANN, L. L. Águas de reuso para irrigação de pomar de lima ácida 'Tahiti' (*citrus latifólia* Tanaka). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1224-1239, 2020.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, p. 162-163, 2008.

BRADY N. C.; WEIL R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª Ed., 2013. 716 p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Portaria nº 195 de novembro de 2005. São Paulo: CETESB, 2005. p.1-4

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001, 32 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

ERTHAL, V. J. T; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

EPA. METHOD 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Revision 1. Disponível em: < https://www.epa.gov/sites/production /files/2015-12/documents/3051a.pdf > Acesso em: 18 de novembro de 2020.

DAL PAI, A.; DAL PAI, E.; SARNIGHAUSEN, V. C. R.; ESCOBEDO, J. F. Evaluation of anisotropic correction models for diffuse solar irradiance measured by MEO shadow ring method. **Journal of renewable and Sustainable Energy**, Melville - NY, v. 12, n. 6, p. 1-11, 2020.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS**. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FREIRE, M. B. G. S. **Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco**. 2001. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GARCIA-FRANCO, N.; ALBALADEJO, J.; ALMAGRO, M.; MARTÍNEZ-MENA M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. **Soil e Tillage Research**, v. 153, p. 66-75, 2015

GRAMA LEGAL. **Manual para aquisição e instalação de gramados**. jan, 2014.

KUMARI, P.; SHARMA, P.; SRIVASTAVA, S; SRIVASTAVA. M.M. Biosorption studies on shelled *Moringa oleifera* Lamarck seed powder: Removal and recovery of arsenic from aqueous system. **International Journal of Processing**, v.78, p.131 139, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C; OLIVERA, S. A. Avalição do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: **Potafos**, 1997. 317 p.

MENEGHEL, A. P. **Remediação de águas contaminadas por metais (Cd, Pb e Cr) utilizando torta de sementes de *Moringa oleifera* Lam. como adsorvente**. 2012. 165 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2012.

PRADO, R. C. Resenha climatológica (1971 a 2006): Botucatu-SP. Disponivel em: < https://www.fca.UNESP.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/estacao-meteorologica/resenha-climatologica/ >. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p

REGELINK, I. C.; STOOF, C. R.; ROUSSEVA, S.; WENG, L.; LAIR, G. J.; KRAM, P.; NIKOLAIDIS, N. P. KERCHEVA, M. BANWART, S.; COMANS, R. N. J. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, v. 247, p. 24- 37, 2015.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, 2006.

SILVA, J. G. D. **Biotecnologia do uso de água residuária doméstica em solo do cerrado no cultivo do capim *Brachiaria brizantha* cv Marandu**. 2017. 100 f. Tese (Doutorado – Biotecnologia e Biodiversidade) – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, 2017

TONANI, K. A. A. **Identificação e quantificação de metais pesados, parasitas e bactérias em esgoto bruto e tratado da Estação de Tratamento de Esgoto de Ribeirão Preto-SP**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem – Saúde

Pública). Universidade de São Paulo: Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto-SP, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Geras, 2005.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva: World Health Organization (Technical Report series n. 776), 1989

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, os sistemas de irrigação apresentaram comportamento semelhantes entre si.

A água residuária apresentou maiores vantagens no uso em relação a água da Sabesp.

As lâminas de irrigação com 150% e 200% da evapotranspiração de referência diária com água residuária proporcionaram melhores condições ao gramado, no entanto, o uso de lâminas altas requer atenção, tanto por conta do desperdício deste recurso hídrico, quanto da lixiviação de nutrientes que poderá ocorrer.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA (Brasil). **ATLAS IRRIGAÇÃO**: Uso da água na agricultura irrigada., Brasília: ANA, 2017, 86 p.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ANTONIOLLI, D. Produção, regularização e conquistas do mercado de gramas cultivadas no Brasil. *In:* MATEUS, C.M.D.; VILLAS BÔAS, R.L.; ANDRADE, T.F.; OLIVEIRA, M.R.; BACKES, C.; SANTOS, A.J.M.; GODOY, L.J.G. (Org.) **Tópicos atuais em gramados IV. Botucatu**: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, FEPAF/UNESP/FCA, 2015, p. 9-22

BACKES, C. et al. Efeito residual do lodo de esgoto e manejos mecanizados na produção e extração de nutrientes pela grama esmeralda. **Revista Espacios**, v. 38, n. 14, p. 3 – 14, 2017.

BARRETO FILHO, A. A.; DANTAS NETO, J.; MATOS, J. A.; GOMES, E. M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, n. 3, p. 309-314, 2000.

BARROS, J. C. S. M.; RÊGO FILHO, L. M.; CELESTINO, R. C.; PROHMANN, L. L. Águas de reuso para irrigação de pomar de lima ácida 'Tahiti' (*citrus latifólia* Tanaka). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1224-1239, 2020.

BARROSO, A. A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. O.; PALÁCIO, H. A. Q.; LIMA, C. A. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 6, p. 588-593, 2011.

BATISTA, R. O.; BATISTA, R. O.; FIA, R.; SILVA, D. F. Qualidade das águas residuárias para irrigação**. Boletim Técnico**, Lavras-MG, n. 99, p.1-31, 2014.

BRASIL. Congresso. Senado. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf >. Acesso em: 13 de agosto de 2019.

CAOVILLA, F. A. et al. Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9 (suplemento), p. 283-287, 2005.

CARRIBEIRO, L. S**. Potencial de água no solo e níveis de compactação para o cultivo de grama esmeralda**. 2010. 94 p. Dissertação (Mestrado em

Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu-SP, 2010.

CASTRO, E.; MAÑAS, M. P.; DE LAS HERAS, J. Effects of wastewater irrigation on soil properties and turfgrass growth. **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 63, p.1678-1688, 2011.

CHRISTIANS, N. E.; PATTON, A. J.; LAW, Q. D**. Fundamentals of Turfgrass Management**. 5. ed. Wiley, 2016, 480 p.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, set. 2005.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Águas interiores: reuso de água**. Disponível em: < https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/ >. Acesso em: 16 de setembro de 2020.

DRUGOWICH, M. I.; M. G. D. P. M. D'AURIA, coordenadores e outros. **A ÁGUA NA AGRICULTURA.** Campinas, CATI 2017. 44p.

DUBLE, R. L. Water management on Turfgrasses. Disponível em: < https://aggie-horticulture.tamu.edu/plantanswers/turf/publications/water.html >. Acesso em 16 de setembro de 2020.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 2, n. 1, p. 187-190, 2009.

GIACOIA NETO, J. Sistemas de irrigação para gramados. *In*: I SIGRA – Simpósio Sobre Gramados – "Produção, Implantação e Manutenção", 2003, Botucatu. **Anais... ...** Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2003.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Tecnologias para auxiliar o manejo da adubação na produção de gramas *In:* SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 5.,2010, Botucatu. Tópicos atuais em gramados II: **Anais**... Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2010. p. 92- 102

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. I**rrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa-MG: UFV, 2009, 355 p.

MENDONÇA, R. B. **Aplicação de água residuária doméstica pelos métodos de aspersão e gotejamento subsuperficial na grama esmeralda**. 2017. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu-SP, 2017.

METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

MOTA, F. D.; VILLAS BÔAS, R. L.; MATEUS, C. M. D.; SILVA, T. B. G. Composto de lodo de esgoto na produção de grama zoysia. **Revista Ambiente & Água**, v.14, n.1, e2301, 2019.

MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, 428 p.

PIVELI, R. P.; FILHO, B. C.; MONTES, C. R.; NASCIMENTO, C. W. A.; MOTA, S.; JÚNIOR, J. M.; OLIVEIRA, O.; STEFANUTTI, R.; BOTELHO, S. Utilização de esgoto tratado na agricultura: aporte de água e nutrientes. *In:* MOTA, F. S. B.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p. 52-117.

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. D. S.; GONZAGA, M. D. S.; GHEYI, H. R. & SOUSA NETO, O. D. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, 23, p. 97-102, 2010.

SAAD, J. C.C.; SILVA, M. A. de A.; AZEVEDO, L. P. de. Economia de água em gramados: controle da irrigação. *In:* **Tópicos atuais em gramados**. 1ª ed. Botucatu-SP:FEPAF, 2008. p. 56-74.

SANCHES, L. V. C. Irrigação em gramados ornamentais.*In*: Backes, C. et al.**Tópicos atuais em gramados III**. Botucatu, FEPAF, 2012, p. 185-191.

SANTOS, A. J. M. **Características físicas do solo e produção de tapetes de grama esmeralda em função de manejos mecanizados**. 2012. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012.

SANTOS, P. L. F.; CASTILHO, R. M. M. Resposta da grama esmeralda em função de diferentes fertilizantes e substratos. **Cultura Agronômica**, v.27, n.3, p.354-365, 2018a.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS (Brasil). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2017. Brasília: SN/MDR, 2019, 226 p.

TAMU – Texas AM University. Turfgrass. Departament os Soil and Crop Sciences. Disponível em: < http://soilcrop.tamu.edu/program/turfgrass/ >. Acesso em: 23 de setembro de 2020.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Mudanças nas características físico-químicas de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reuso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 271-279, 2012.

WINTERS, G. Uso de gramados no paisagismo. *In:* BACKES, C.; GODOY, L. J. G.; MATEUS, C. M. D.; SANTOS, A. J. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; OLIVEIRA, M. R. **Tópicos atuais em gramados III**: Botucatu/SP: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2012. p. 201-208.