Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* irrigado com efluente
tratado de abatedouro

Luana Carolina Menegassi

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2018

Luana Carolina Menegassi
Engenheira de Biosistemas

**Aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* irrigado com efluente tratado de
abatedouro**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:

Profa. Dra. **TAMARA MARIA GOMES**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia
de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Menegassi, Luana Carolina

Aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* irrigado com efluente tratado de abatedouro / Luana Carolina Menegassi. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

71 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Reúso da água 2. Aspersão 3. *Cynodon* 4. Adubação nitrogenada I.
Título

DEDICO

Aos meus pais JAIR e LUISA,
aos meus irmãos JOSESLAINE e ANDERSON,
pelo amor, carinho, apoio e incentivo.
MINHA GRATIDÃO E AMOR ETERNO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida.

A Profa. Dra. Tamara Maria Gomes pela orientação, constantes ensinamentos, dedicação, compreensão e confiança em meu trabalho. O meu respeito e gratidão.

Ao Prof. Fabrício Rossi e a Profa. Cristiane Titto por terem me orientado durante a graduação nos projetos de iniciação científica, os quais me despertaram o interesse pela pesquisa.

Aos meus amigos Marianna Peccinelli, Gabriela Sabbadini, Leonardo Magalhães, Letícia Missiatto, Everton Lemos, Lisiane Brichi pelo companheirismo, apoio, partilha dos conhecimentos e momentos de alegria.

Ao meu amigo e namorado José Paulo por todo o carinho, amor, apoio e paciência.

Aos professores Valdo Rodrigues Herling, Catarina Abdalla Gomide, Giovana Tommaso, Luciane Silva Martello, Lilian Elgalise Techio Pereira, Rachel Santos Bueno Carvalho, Célia Regina Montes, Francisco Antônio Monteiro.

A todos os professores que, direta ou indiretamente, auxiliaram na minha formação acadêmica e profissional desde a graduação.

A todos os funcionários da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), pelo apoio prestado.

Aos integrantes do grupo de pesquisa GEBIO pelo apoio durante a condução do experimento.

Aos colegas de trabalho Luma, Thiago, Andressa, Marcelle, Caio, Thomas, Bruna, Stefano, Lucas, Leonardo e Paulo, pela realização dos trabalhos em campo.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP) pela oportunidade de realização do curso.

A Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) e seus professores a minha formação profissional.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento do projeto de pesquisa.

As pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. ÁGUAS RESIDUÁRIAS	13
2.2. A INDÚSTRIA DE CARNES E DERIVADOS E A GERAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	14
2.3. REÚSO DE ÁGUA	17
2.4. CAPIM-COASTCROSS	18
2.5. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	20
2.6. ANÁLISE DE IMAGENS TERMOGRÁFICAS	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. LOCAL DA PESQUISA	23
3.2. SOLO E CLIMA	23
3.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.4. AVALIAÇÃO QUÍMICA DO SOLO E ADUBAÇÃO	25
3.5. TRATAMENTO DO EFLUENTE	27
3.6. AVALIAÇÃO DO EFLUENTE	29
3.7. SISTEMA DE IRRIGAÇÃO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO	30
3.8. MANEJO E AVALIAÇÃO DA FORRAGEM	31
3.9. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	33
3.10. IMAGENS TERMOGRÁFICAS	33
3.11. ANÁLISE DOS DADOS	35
4. RESULTADOS	37
4.1. CLIMA	37
4.2. MANEJO DA IRRIGAÇÃO	38
4.3. EFLUENTE	40
4.4. SOLO	43
4.5. FORRAGEM	47
4.5.1. Altura	47
4.5.2. Produção de Massa Fresca e Massa Seca	48
4.5.3. Análise química da parte aérea	50
4.5.4. Análise bromatológica	52
4.6. NDVI	54
4.7. IMAGENS TERMOGRÁFICAS	56
4.8. CORRELAÇÃO	58
5. CONCLUSÕES	61
REFERÊNCIAS	63

RESUMO

Aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* irrigado com efluente tratado de abatedouro

As indústrias de abate animal e processamento de carne geram grandes quantidades de efluentes ricos em nutrientes, que podem ser utilizados na irrigação de pastos como estratégia de reúso de água nas propriedades agrícolas. O objetivo do trabalho foi avaliar os aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* para produção de feno, pela irrigação por aspersão com efluente de abatedouro tratado por sistema anaeróbio (UASB). O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, com medidas repetidas no tempo. Os cinco tratamentos empregados foram: (i) T1 – irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada recomendada (AN); (ii) T2, T3, T4 e T5 – irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%; 66% e 100 % de AN, respectivamente. Sendo a AN 50 kg ha⁻¹ corte⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia. Os dados foram avaliados por meio da produção de massa fresca e massa seca, análise química do solo e da parte aérea, análise bromatológica, determinação do índice de vegetação normalizada (NDVI), uso de imagens termográficas no dossel da cultura, nas estações inverno-primavera (um corte) e verão (três cortes). O efluente após tratamento apresentou alta concentração de nitrogênio total (163±55 mg L⁻¹) e baixo a moderado potencial salino (CE=1,46±0,34 dS m⁻¹). No período inverno-primavera a composição química e a produção do capim-*coastcross* foram favorecidas pela irrigação com efluente, com economia de 100% da adubação nitrogenada. Ainda, nesta estação, as características químicas do solo foram alteradas pelas águas residuárias, nos teores de matéria orgânica, carbono total, fósforo, sódio e porcentagem de sódio trocável. O estado nutricional da planta forrageira foi adequado para todos os tratamentos e estação do ano. No verão, as lâminas de irrigação com efluente foram reduzidas pela ocorrência das chuvas, com menor aporte de nutrientes. A maior precipitação reduziu os teores de sais no solo. Nesse período a produção da forragem foi menor nos tratamentos irrigados com efluente de abatedouro, com exceção de T5. O acompanhamento da produção da forragem pelo NDVI e pelas imagens termográficas mostraram relação da presença do nitrogênio aplicado pelas diferentes fontes de água.

Palavras-chave: Reúso da água; Aspersão; *Cynodon*; Adubação nitrogenada

ABSTRACT

Agronomical aspects of the cultivation of coastcross grass irrigated with wastewater treated slaughterhouse

Slaughterhouses and meat processing industries produce high amounts of effluents, which can be used in forage irrigation as a water reuse strategy in agricultural properties. This work aimed at evaluating the agronomic aspects of the cultivation in *coastcross* grass to produce hay, by sprinkling irrigation with treated slaughterhouse effluent by anaerobic system (UASB). The experimental design consisted of completely randomized blocks, with four replicates, sub plots in time. The five treatments employed were: (i) T1 – irrigation with potable water plus 100% of recommended nitrogen fertilization (MNF); (ii) T2, T3, T4 and T5 – irrigation with treated slaughterhouse effluent plus 0, 33%; 66% and 100% of MNF, respectively. As MNF 50 kg ha⁻¹ cut⁻¹ nitrogen, as urea. Fresh mass and dry mass production, chemical composition of soil and leaf, normalized difference vegetation index (NDVI) and thermal imaging were determined, for the Winter-Spring (one cut) and summer (three cuts) seasons. The treated effluent showed high concentration of total nitrogen (163 ± 55 mg L⁻¹) and low to moderate degree saline ($CE = 1,46 \pm 0,34$ dS m⁻¹). Winter-spring seasons the quality and production in grass-*coastcross* were better with effluent, with economy of 100% in nitrogen fertilizer. Still this season, the chemical characteristics of the soil were altered by the wastewater waters, to the contents of organic matter, total carbon, phosphorus, sodium and a percentage of exchangeable sodium. The nutritional status of forage was similar for all treatments and season in year. Summer season the effluent irrigation was smaller by the occurrence of rainfall, with less nutrient intake. The largest precipitation decreased the degree salt in soil. During this period the production was lower to treatments irrigated with effluent, except for T5. The monitoring of the production by the NDVI and the thermal imaging showed a relation with nitrogen applied by the different sources of water.

Keywords: Water reuse; Sprinkler; *Cynodon*; Nitrogen fertilization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas básicas durante o abate de bovinos, suínos e aves.	15
Figura 2. Localização da área de estudo – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/ USP – Pirassununga/SP, 2017.....	23
Figura 3. Médias mensais de precipitação no município de Pirassununga/ SP, no período de 1947 a 2017.	24
Figura 4. Croqui da área experimental.....	24
Figura 5. Espécies e quantidades de animais abatidos no “Matadouro Escola” durante o período experimental.	28
Figura 6. Vista frontal corte do reator “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” (UASB) utilizado no tratamento de efluentes. Fonte: Ribeiro e Tommaso (não publicado).	29
Figura 7. Etapas do tratamento de efluente proveniente do “Matadouro Escola”. Pirassununga/SP.	29
Figura 8. Efluente na saída do abate, efluente pós-tratamento por UASB e água superficial, da esquerda para a direita.	30
Figura 9. Médias mensais de temperatura média do ar (TEMP MÉDIA), temperatura máxima do ar (TEMP MÁXIMA), temperatura mínima do ar (TEMP MÍNIMA) e umidade relativa do ar média (UR MÉDIA), umidade relativa do ar mínima (UR MÍNIMA), umidade relativa do ar máxima (UR MÁXIMA), durante a condução do experimento no período de maio/2017 a março/2018.	37
Figura 10. Média mensal de precipitação e evapotranspiração potencial de referência e saldo de radiação solar, durante a condução do experimento no período de maio/2017 a março/2018.....	37
Figura 11. Umidade do solo ao longo no período experimental.	39
Figura 12. Sódio (Na) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo para os tratamentos, 172 dias após a irrigação.	45
Figura 13. Potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn) e saturação por base (V) do solo para os tratamentos, 270 dias após a irrigação.	46
Figura 14. Produção de massa fresca de forragem, para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017, verão de 2018 e produção total (verão + inverno-primavera).	49
Figura 15. Porcentagem de matéria mineral em (%MS), do capim- <i>coastcross</i> , no período do verão de 2018.	53
Figura 16. Índice de vegetação por diferença normalizada do capim- <i>coastcross</i> , ao longo do tempo, no período inverno – primavera de 2017.....	54
Figura 17. Índice de vegetação por diferença normalizada, do capim- <i>coastcross</i> , para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017 e verão de 2018.	55
Figura 18. Índice de vegetação por diferença normalizada, do capim- <i>coastcross</i> , para os tratamentos, em cada corte realizado no período inverno – primavera de 2017 e verão de 2018.	56
Figura 19. Temperatura máxima (TMAX), temperatura média (TMED) e temperatura mínima (TMIN), para o dossel do capim- <i>coastcross</i> , avaliada ao longo do tempo, no período inverno – primavera de 2017.....	56
Figura 20. Temperatura média do dossel irrigado com efluente (TMED), temperatura média do ar durante o período de avaliação dos tratamentos irrigados com efluente (TAR) e temperatura média do ar durante o período de avaliação do tratamento irrigado com água superficial (TAR T1), nos cortes de avaliação da produção da forragem.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração dos parâmetros analisados nos efluentes de abatedouros sem tratamento e volume de água residuária gerada por categoria animal.....	16
Tabela 2. Parâmetros para efluentes líquidos lançados diretamente no corpo receptor.	16
Tabela 3. Características químicas do solo na instalação do experimento, na camada de 0 – 0,20 m. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), 2016.	25
Tabela 4. Características químicas do solo na instalação do experimento, na camada de 0,20 – 0,40 m. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), 2016.	25
Tabela 5. Fertilização aplicada durante o período experimental, referente aos anos de 2017 e 2018.	27
Tabela 6. Datas de corte e intervalos entre cortes, durante o período experimental.	31
Tabela 7. Interceptação luminosa média para cada tratamento antes do corte do capim- <i>coastcross</i> no período experimental.	32
Tabela 8. Parâmetros de temperatura e umidade das imagens termográficas, obtidas em dois dias, em três horários de coleta, do capim- <i>Coastcross</i>	34
Tabela 9. Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação	35
Tabela 10. Lâmina de irrigação por fonte de água e precipitação, para cada corte de avaliação.....	39
Tabela 11. Caracterização físico-química (média e desvio padrão) das fontes de água.	41
Tabela 12. Aporte de nutrientes pela aplicação das fontes de água para cada tratamento.	42
Tabela 13. Teores de nitrogênio, fósforo e potássio por irrigação, fontes de água (água superficial e efluente tratado de abatedouro) e adubação química.....	42
Tabela 14. Características químicas do solo na camada 0-0,20 m e 0,20-0,40, média das coletas de 77, 172 e 270 dias após a irrigação.	43
Tabela 15. Características químicas do solo na camada 0-0,20 m e 0,20-0,40, 77 e 172 dias após a irrigação.	44
Tabela 16. Fósforo (P) do solo para os tratamentos aos 77 e 172 dias após a irrigação.	44
Tabela 17. Altura média de corte do capim- <i>coastcross</i> para cada corte de avaliação.	48
Tabela 18. Produção acumulada de massa seca de forragem, no período do verão de 2018 e produção total de massa seca de forragem (somatório de todos os cortes), para os tratamentos.	49
Tabela 19. Teores de nutrientes na parte aérea do capim- <i>coastcross</i> , no período do inverno-primavera de 2017 e verão de 2018.	50
Tabela 20. Teores de nutrientes da parte aérea do capim- <i>coastcross</i> , para os tratamentos (média de dois cortes 1 e 3).	51
Tabela 21. Extração total de nutrientes (kg ha^{-1}) pelo capim- <i>coastcross</i>	51
Tabela 22. Massa seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), na parte aérea do capim- <i>coastcross</i> , no período do inverno-primavera de 2017 e verão de 2018.	52
Tabela 23. Porcentagem de massa seca e proteína bruta, para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017.	53
Tabela 24. Correlação de Spearman entre as leituras de NDVI e temperatura média do dossel (TMED) por imagens termográficas, com a produção de massa fresca (MF), teor de nitrogênio na parte aérea (N) e teor de proteína bruta na parte aérea (PB), do capim- <i>coastcross</i>	59

1. INTRODUÇÃO

O setor de produção de carne é uma das principais atividades da economia brasileira. No primeiro trimestre de 2018 foram abatidas 1.484.201 mil cabeças de animais, entre bovinos, suínos e aves (IBGE, 2018). Dentro deste cenário, a produção de carne de frango representou 53% da produção total, seguida da produção bovina (32%) e suína (15%) (IBGE, 2018).

As indústrias de abate de animais e processamento de carne consomem grandes volumes de água durante seus processos, sendo consideradas agroindústrias com grande hidointensidade no Brasil. Devido ao elevado consumo de água, essas agroindústrias são as principais fontes poluidoras dos recursos hídricos em decorrência da quantidade e das características dos resíduos gerados (FABBI; TOMAZELLI; FILIPINI, 2007). Esses resíduos líquidos são ricos em matéria orgânica, nutrientes e sais, que mesmo após tratamento, ainda apresentam potencial de poluição aos corpos hídricos, principalmente pela presença de fontes de nitrogênio e fósforo (DEMIREL et al., 2005).

O lançamento irregular de efluentes gerados pela agroindústria de proteína animal nos recursos hídricos altera a qualidade da água, comprometendo a disponibilidade para os seus mais diversos usos, principalmente o abastecimento humano. Práticas de uso racional da água e o estudo do reúso agrícola podem minimizar os efeitos deletérios dessa prática. As águas residuárias provenientes das estações de tratamento podem ser utilizadas na irrigação de áreas agrícolas, como estratégia de gestão sustentável da água, para garantir a segurança hídrica.

A irrigação responde por 67,2% do consumo total de água no Brasil (ANA, 2017). A utilização de água de qualidade inferior nesses sistemas irá reduzir a descarga de poluentes nos corpos receptores, evitando a eutrofização, e, quando manejada corretamente, poderá aumentar a produtividade agrícola devido à presença de nutrientes, que permitem substituir parcialmente e/ou completamente a adubação mineral nas culturas, proporcionando benefícios econômicos e ambientais.

Neste contexto, a escolha da espécie vegetal é de extrema importância para que a capacidade de depuração do sistema solo-planta seja efetiva, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Dessa forma, devem-se preferir culturas com alta capacidade de absorção e produção de massa seca, perenidade, capacidade de se desenvolver bem em vários ambientes e tolerância à salinidade e toxicidade.

As gramíneas em geral apresentam essas características, sendo o maior potencial produtivo nas épocas do ano com maior índice de luminosidade e temperatura uma vez que a produção é variável em função das condições climáticas, adubação e disponibilidade de água (BARNES et al., 2003). A irrigação de pastagens com águas residuárias permite que as plantas absorvam e exportem os nutrientes presentes nos efluentes, tais como nitrogênio, potássio e fósforo, incrementando a produtividade e qualidade dos pastos (OLIVEIRA, 2014).

Portanto, o presente trabalho testa a hipótese que é possível substituir parte da adubação de nitrogênio pela irrigação com efluente tratado de abatedouro, em pastagem de capim-*coastcross*.

A partir desta hipótese, a pesquisa teve como objetivo avaliar os aspectos agronômicos do cultivo do capim-*coastcross* para produção de feno, sob irrigação por aspersão com efluente de abatedouro tratado por sistema anaeróbio, dentre o objetivo geral estão: i) avaliação da produção e composição química da forragem; ii) comportamento das características químicas do solo e da planta, em resposta à irrigação com efluente de abatedouro; iii) determinação da porcentagem de adubação nitrogenada para o capim em diferentes estações do ano na irrigação com efluente tratado de abatedouro e iv) exploração do desenvolvimento vegetativo do capim-*coastcross* por análise de imagem termográfica e índice de vegetação por diferença normalizada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Águas residuárias

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 54/2005 estabelece que águas residuárias são: “esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não”.

Essas águas residuárias possuem grande quantidade de materiais poluentes, que muitas vezes, após o tratamento, não atendem aos padrões de lançamentos estabelecidos pela legislação ambiental (BRASIL, 2005). Quando lançadas incorretamente, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas são alteradas, afetando a disponibilidade de água para seus diversos usos, principalmente o abastecimento urbano.

No Brasil, os efluentes urbanos, industriais e agrícolas retornam aos corpos hídricos, na maioria das vezes, apenas com tratamento primário ou secundário (ANA, 2017). A falta de tratamento e a disposição incorreta desses resíduos, seja nos recursos hídricos ou no solo, tem grande impacto na saúde pública, devido a falta de remoção e a persistência dos microrganismos patogênicos.

A falta de saneamento básico de uma região está ligada ao poder aquisitivo da população, como relatado por Segura et al. (2015), em que países de baixa renda apresentam concentrações mais altas de contaminantes em águas superficiais, devido à ausência ou tratamento limitado dos esgotos. Resultados semelhantes foram encontrados por K' oreje et al. (2016) no Quênia, em que muitas vezes as concentrações de antibióticos e antirretrovirais nos rios foram superiores as detectadas nas estações de tratamento, devido a falta de saneamento básico.

Porém, mesmo após o tratamento de esgotos domésticos e industriais, alguns elementos tóxicos não são removidos e podem ser fontes de contaminação, como por exemplo, substâncias psicoativas (NEFAU et al., 2013), fármacos (K'OREJE et al., 2016), hormônios (JAROŠOVÁ et al., 2014), produtos químicos (corantes, anticorrosivos, quelantes, inseticidas) e metais pesados (MARGOT et al., 2015).

As agroindústrias também possuem potencial de contaminação das fontes de água. Os resíduos de atividades agroindustriais apresentam, em geral, alta concentração de material orgânico, porém devido a particularidade de cada processo, a presença de elementos contaminantes é variável, como por exemplo, altas concentrações de sódio nos efluentes de laticínio (DONATTI et al., 2017) e fonte de microrganismos patogênicos nos resíduos de abatedouro (ADDY et al., 2015; KABIRU et al., 2015).

No Brasil, as indústrias de produtos alimentícios consomem 56% do total de água destinado para os setores industriais, sendo que 12,5% desse consumo são destinados para as indústrias de abate e processamento de carne, o quarto grupo industrial com maior consumo de água (ANA, 2017b). Devido à alta demanda por água, o efluente dos abatedouros possui elevada vazão e grande carga de sólidos em

suspensão, matéria orgânica, sais, além de materiais altamente putrescíveis, devido à presença de fragmentos cárneos, sangue, conteúdo intestinal e gorduras.

2.2. A indústria de carnes e derivados e a geração de águas residuárias

Os empreendimentos responsáveis pelo abate de animais podem ser classificados em abatedouro frigorífico e unidade de beneficiamento de carne e produtos cárneos, conforme definição a seguir:

Abatedouro frigorífico: o estabelecimento destinado ao abate dos animais produtores de carne, à recepção, à manipulação, ao acondicionamento, à rotulagem, à armazenagem e à expedição dos produtos oriundos do abate, dotado de instalações de frio industrial, podendo realizar o recebimento, a manipulação, a industrialização, o acondicionamento, a rotulagem, a armazenagem e a expedição de produtos comestíveis e não comestíveis;

Unidade de beneficiamento de carne e produtos cárneos: o estabelecimento destinado à recepção, à manipulação, ao acondicionamento, à rotulagem, à armazenagem e à expedição de carne e produtos cárneos, podendo realizar industrialização de produtos comestíveis e o recebimento, a manipulação, a industrialização, o acondicionamento, a rotulagem, a armazenagem e a expedição de produtos não comestíveis (BRASIL, 2017).

As etapas no processo de abate de bovinos, suínos e aves são comuns, diferenciando apenas na retirada do tipo de cobertura da pele que o animal possui, como apresentado no fluxograma abaixo (Figura 1).

Figura 1. Etapas básicas durante o abate de bovinos, suínos e aves.
 Fonte: Adaptado de PACHECO; YAMANAKA (2008) e FEAM (2010).

O consumo de água em um frigorífico é bastante variável em decorrência do tipo da planta industrial, do produto processado e da operação realizada. Grande parte desse consumo é destinado, principalmente, durante o processo de abate, que pode corresponder a 62% do consumo de água, principalmente nas etapas de escaldagem e evisceração (BARANA et al., 2014), e higienização dos equipamentos e instalações (FONSECA; PERES, 2017).

Devido ao grande consumo de água, essas agroindústrias geram grande quantidade de águas residuárias. Em geral, esses resíduos podem ser divididos em linhas de fluxo, sendo a linha verde (água de lavagem das instalações e áreas de limpeza e processamento de tripas, buchos e graxarias), linha vermelha (água oriunda do processo de abate em que o sangue é o principal elemento contaminante) e linha de esgoto sanitário (água proveniente das instalações sanitárias) (FEMA, 2010).

Diante deste cenário, os abatedouros e as unidades de beneficiamento de carne são agroindústrias altamente poluidoras (RIBEIRO; SANDRI; BOENO, 2013), devido a quantidade e as características dos resíduos gerados. Em geral, os efluentes dessas agroindústrias apresentam altas concentrações de nutrientes (sobretudo nitrogênio e fósforo), matéria orgânica, sais, além de materiais altamente putrescíveis, devido à presença de fragmentos cárneos, sangue, conteúdo intestinal e gorduras,

microrganismos patogênicos e não patogênicos e resíduos de produtos veterinários (HARRIS; MCCABE, 2015).

Na Tabela 1 estão listados os principais parâmetros na qualificação de águas residuárias, bem como o volume médio de água residuária gerada no abate de bovinos, suínos, ovinos e aves.

Tabela 1. Concentração dos parâmetros analisados nos efluentes de abatedouros sem tratamento e volume de água residuária gerada por categoria animal.

	Volume água residuária	DBO (mgL ⁻¹)	DQO (mgL ⁻¹)	SST (mgL ⁻¹)	NT (mgL ⁻¹)	PT (mgL ⁻¹)	OG (mgL ⁻¹)
Bovinos	1,62 - 9 m ³ a	2.401 - 2.649	5.577 - 6.242	3.092 - 7.528	156 - 466	28 - 42,8	120 - 2.110
Aves	5,07 - 20 L ave ⁻¹	930 - 1.903	2.490 - 3.626	835 - 1.500	86,8 ^b - 153	3,5 - 51	281
Suínos	1,6 - 8,3 m ³ a	732,7 - 2.360	912 - 5.813	362,2	96,9 - 157,5	8,8 - 11,9	2403
Ovinos	-	3.100 - 11.500	½ DBO	1.150 - 5.700	180 - 440	26,4 - 60	290 - 2.670

a: m³ por tonelada de produto processado; b: N-NH₄⁺; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; SST: sólidos suspensos totais; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; OG: óleos e graxas.

Fonte: Adaptado de WBG (2007); OLIVEIRA et al. (2012); BUSTILLO-LECOMPTE, MEHRVAR (2015); HARRIS, MCCABE (2015); PEREIRA, PAIVA, SILVA (2016); RODRIGUES et al. (2016); BAILONE, ROÇA (2017); GERBER et al. (2017); OLIVEIRA et al. (2017) e RAJAB et al. (2017).

Esses efluentes para serem lançados nos corpos receptores devem atender os padrões das legislações ambientais. A resolução CONAMA n° 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para efluentes líquidos lançados diretamente no corpo receptor.

Parâmetros	Valores permitidos
pH	5 - 9
Temperatura (°C)	< 40
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	< 1
Sólidos suspensos (mg/L)	0
Óleos e graxas (mg/L)	< 50
N amoniacal (mg/L)	< 20
Eficiência de remoção - DBO (%)	> 60

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2011.

No Brasil, estudos têm relatado a falta de comprometimento dessas agroindústrias com a legislação ambiental (DORNELES, 2009; SILVA et al., 2012; SANTOS et al., 2014). Muitas vezes essas águas residuárias são descartadas sem nenhum tratamento ou não atendendo os parâmetros. Ribeiro; Sandri; Boeno, (2013), ao avaliaram a qualidade da água de um córrego, após o lançamento de efluente tratado de uma agroindústria de abate bovino, observaram que o alumínio, manganês e DBO não atenderam à legislação para o lançamento em corpos hídricos de classe 2, e que as concentrações de amônia, condutividade elétrica, nitrato e nitrito, aumentaram nos pontos à jusante do córrego.

Os efluentes tratados devem ser lançados somente nos recursos hídricos que consigam auto depurar a carga recebida (THEBALDI et al., 2011). Um dos principais problemas causados pelo descarte dessas águas residuárias nos corpos d'água é o fenômeno de eutrofização, devido principalmente ao excesso de nitrogênio e fósforo, que causam impactos negativos ao ambiente e levam à desestabilização de ecossistemas aquáticos (MORRISON et al., 2001).

Para a reversão desse quadro, faz-se necessário o estudo de alternativas viáveis, no aspecto social, econômico e ambiental para a gestão dos recursos hídricos. É neste cenário que se busca estudar o reúso de efluentes na agricultura, como uma alternativa para controlar a poluição hídrica, além de favorecer o uso de água de qualidade inferior em outras atividades, como a irrigação de culturas agrícolas, que além de ser uma fonte de água pode vir a ser também, uma fonte de nutrientes.

2.3. Reúso de água

A Resolução CNRH nº 54/2005 define reúso da água como a utilização de água residuária. Segundo a mesma resolução, o reúso direto da água pode ser definido como a condução direta da água de reúso aos locais em que serão utilizadas, sem o lançamento ou diluição em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos. As modalidades de reúso de água que são contemplados pela resolução são:

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

Dentro da modalidade de reúso para fins agrícolas e florestais a Resolução nº 121 de 16 de dezembro de 2010, estabelece diretrizes e critérios para esta prática: “Art. 5º - A aplicação de água de reúso para fins agrícolas e florestais não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e à saúde pública.”

O reúso de água no setor agrícola é um importante fator na gestão dos recursos hídricos, uma vez que no Brasil, 67,2% da água de consumo é destinada para esse setor, sendo o maior uso para a irrigação de culturas (ANA, 2017). Dessa forma, a irrigação com águas residuárias é uma alternativa para suprir a demanda de água pelas culturas, principalmente nas estações secas e em regiões onde os recursos hídricos são escassos. Quando a irrigação é manejada corretamente, os benefícios advindos dessa técnica são de ordem ambiental, social e econômica. Essa prática poderá reduzir a pressão sobre a captação de água, além de reduzir o efeito de poluição nos corpos hídricos. Poderá favorecer a economia de fertilizantes, devido a reciclagem de nutrientes, com incremento de matéria orgânica e nutrientes no solo, que além de melhorar a fertilidade do solo (ABEGUNRIN et al., 2016), também irá favorecer a atividade

microbiana (LIU; HAYNES, 2013). Os produtores também serão capazes de atender a demanda hídrica da cultura, permitindo uma oferta regular de alimentos (BERNARDI, 2003).

Por outro lado, a viabilidade do reúso depende da combinação de diversos fatores como a proximidade entre a planta de tratamento e o local de aplicação. O reúso de água advindo de agroindústrias de pequeno e médio porte favorece essa logística, uma vez que o resíduo gerado pode ser utilizado dentro da própria propriedade como insumo de outro sistema produtivo.

Outro fator se refere a qualidade biológica e química dos efluentes utilizados na irrigação, a fim de reduzir a probabilidade de propagação de patógenos e a contaminação do solo, além de comprometer o rendimento e a qualidade das culturas (SOU DAKOURÉ et al., 2013). A irrigação com águas residuárias pode provocar sérios impactos nas propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo, que estão diretamente relacionadas à fertilidade dos solos e aos potenciais riscos à saúde humana (BECERRA-CASTRO et al., 2015).

Dessa forma, o uso de águas residuárias na irrigação de culturas agrícolas, deve considerar o tipo de solo, as características do efluente tratado, as condições climáticas da região e a cultura que será irrigada, para que os benefícios dos reúso sejam efetivos.

A escolha da espécie vegetal que será irrigada é de suma importância, para que a capacidade de depuração do sistema solo-planta seja efetiva, evitando a contaminação do solo e das águas subterrâneas. Dessa forma, devem-se preferir culturas com alta capacidade de absorção e produção de matéria seca, perenidade, capacidade de se desenvolver bem em vários ambientes e tolerância a salinidade e toxicidade.

Plantas forrageiras possuem alta produção de matéria seca, sendo o maior potencial produtivo nas épocas do ano com maior índice de luminosidade e temperatura, uma vez que a produção é variável em função das condições climáticas, adubação e disponibilidade de água (COSTA et al., 2005).

2.4. Capim-coastcross

O capim-coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) é uma espécie de crescimento prostrado, que desenvolve inúmeros estolões longos e delgados, é adaptado a ambientes com precipitações superiores a 1000 mm, solos com boa drenagem, alta fertilidade e pH variando de 5,6 a 6,5 (LEITE; MACHADO, 1999).

A temperatura ótima de crescimento para gramíneas tropicais é relatada entre 30 – 35 °C, com decréscimo da taxa fotossintética para temperaturas abaixo de 15 °C (BARNES et al., 2003; ROCHA, 1991). A temperatura mínima que limita o crescimento da planta é denominada de temperatura de base inferior (T_{bi}), sendo que, para o capim-coastcross esse valor é de 15,3 °C, quando em condições hídricas e de fertilidade não limitantes (TONATO, 2003).

As características produtivas e nutricionais da planta forrageira dependem das condições de manejo do pastejo, adubação, desfolha e fatores climáticos. As gramíneas do gênero *Cynodon* são consideradas exigentes em fertilidade do solo (RAIJ et al., 1996), podendo apresentar alta produção de

massa seca de forragem para doses de até 1.000 kg ha⁻¹ano⁻¹ de nitrogênio, de forma parcelada e irrigada (PRIMAVESI et al., 2004) e produção média de matéria seca de 17,2 t ha⁻¹ para doses de 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2011).

A época do ano influencia significativamente na produção da planta forrageira (VILELA; RESENDE; LIMA, 2005). Durante o inverno, a temperatura, a umidade e a luminosidade são sub-ótimas para se obter bom desenvolvimento das plantas forrageiras tropicais, apresentando maior acúmulo de massa seca na estação do verão, bem como, características morfológicas como a taxa de alongamento foliar e o tamanho das folhas (VILELA; RESENDE; LIMA, 2005). As exigências biometeorológicas também são variáveis que altera a produção e composição química das plantas forrageiras, como os resultados encontrados por Alvim et al. (1997), que obtiveram maiores teores de matéria seca no inverno do que no verão, 27,5% e 25,2%, respectivamente, enquanto que o teor de proteína bruta foi de 15,6% no inverno e 19,9% no verão.

No Brasil, as pastagens representam a fonte de alimento mais econômica da dieta de bovinos (PRIMAVESI et al., 2004), porém muitas vezes os índices zootécnicos são baixos, devido ao manejo inadequado dos sistemas de produção de pastos.

A adubação é um dos fatores mais importante na produção agrícola, elevando a produtividade das culturas, porém devido ao seu elevado custo, acaba muitas vezes sendo negligenciada. A irrigação com águas residuárias pode suprir parcialmente essa demanda nutricional (ERTHAL et al., 2010), com redução de 30% a 80% do fertilizante nitrogenado, sem alterar a produtividade e qualidade da forragem (FONSECA et al., 2007).

Diversos estudos de aplicação de águas residuárias em plantas forrageiras, com diversas fontes de água, diferentes plantas forrageiras, têm demonstrado os benefícios desta técnica (ERTHAL et al., 2010; VALENCIA-GICA; YOST; PORTER, 2012; GARCIA et al., 2014). No entanto, devido a presença de elementos indesejáveis, como metais pesados e microrganismos patogênicos, é necessário ponderar os riscos à saúde advinda da prática de reúso para fins agropecuários.

Fonseca et al. (2001) observaram que a irrigação com esgoto doméstico bruto favoreceu os teores de proteína bruta e fósforo na matéria seca do capim-*coastcross*, e que a quantidade de coliformes fecais – *E. coli* reduziu após paralisar a irrigação por 7 dias e após 12 dias do capim fenado. Este achado confirma o proposto por Fonseca et al. (1999), cujo prazo entre o término da irrigação da forrageira com águas residuárias e a alimentação de animais, deve ser de no mínimo duas semanas.

Bevilacqua e Bastos (2009), ao avaliarem pastagens irrigadas com esgoto sanitário para a alimentação animal, observaram que a qualidade microbiológica da carcaça dos animais não foi afetada, uma vez que os resultados para *Cistivercus bovis* foram negativos e a contagem de *Salmonella spp.* estava dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, não comprometendo a saúde dos consumidores.

2.5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por (ROUSE et al., 1973) para quantificar o crescimento vegetativo. Esse índice é dado por:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Em que:

NIR: reflectância no infravermelho próximo;

RED: reflectância no vermelho.

O NDVI pode variar de -1 a +1, sendo que os valores negativos representam as nuvens, valores próximos de zero representam solo sem vegetação e os valores maiores que zero representam a vegetação. Quanto mais próximo de +1, maior o vigor da cultura (LIU, 2006).

Seu princípio se baseia nas características espectrais da vegetação, uma vez que folhas maduras refletem mais na faixa do NIR (700 – 1300 nm), do que na faixa do RED (480 – 680 nm), devido a camada de clorofila interceptar mais radiação do visível (LIU, 2006).

Atualmente, o NDVI vem sendo amplamente utilizado na agricultura por ser uma ferramenta que possibilita a obtenção de informações em tempo real, podendo ser associado a produtividade (GROHS et al., 2009), principalmente ao manejo da adubação nitrogenada (MOLIN et al., 2010).

Alguns estudos têm sido conduzidos na área de pastagens para avaliar o potencial da técnica como indicador de produtividade (SIMÕES et al., 2015) e qualidade de forragem (LEINAUER et al., 2014). Santos, Rosalen e Faria (2017) ao avaliarem o desenvolvimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu irrigado com esgoto doméstico obtiveram forte correlação entre o NDVI e a produção de massa seca, o teor de nitrogênio foliar e o teor de proteína bruta, demonstrando a viabilidade do uso do índice para estimar a produção e qualidade do capim.

Devido aos diversos fatores que podem afetar a produtividade da cultura, tais como, a disponibilidade de água, nutrientes, variedades, características do solo e manejo, estudos complementares são desejáveis para a aplicação correta da técnica.

Os índices de vegetação têm potencial para mapear a variabilidade espacial da produção de forragem (BERNARDI et al., 2014) e fornecer informações rápidas para as estratégias de manejo. No entanto, o uso de NDVI em sistemas irrigados com efluente carece de estudos sobre a interferência da disponibilidade de água e nutrientes aportados por esses sistemas nas respostas espectrais da planta.

2.6. Análise de imagens termográficas

A termografia é uma técnica não destrutiva utilizada para detectar a temperatura superficial de um objeto pela absorção da energia infravermelha emitida pelo mesmo, uma vez que todo corpo com temperatura acima do zero absoluto emite radiação térmica. Os sensores de infravermelho captam a

energia radiante e as transformam em sinais elétricos, proporcionais à quantidade de radiação incidente. O impulso elétrico é então enviado para uma unidade de processamento de sinal que traduz a informação em uma imagem térmica (CORTIZO; BARBOSA; SOUZA, 2008).

O uso de imagens térmicas tem sido amplamente aplicado nas mais diversas áreas, como por exemplo, engenharia civil, medicina, aeroespacial, industrial, militar, farmacêutica e veterinária. Mais recentemente, tem-se utilizado a termografia na área agrícola para detecção de pragas e doenças em culturas, estresse hídrico, estimativa do status hídrico do solo, produtividade de culturas, avaliação da maturidade de frutas e vegetais, armazenamento de grão, bem-estar animal e qualidade da carne (VADIVAMBAL; JAYAS, 2011).

Como exemplo de aplicação na área agrícola pode-se destacar os trabalhos de Berdugo et al. (2014), em que o estágio de desenvolvimento de uma doença ou o estresse afetado pela quantidade de água transpirada pode ser monitorado por meio da temperatura foliar, em que os sintomas visuais da doença são acompanhados pela temperatura superficial. Prashar et al. (2013) obtiveram correlação negativa entre a produtividade de batatas e a temperatura do dossel, e a relação entre a alta condução estomática e o elevado rendimento de genótipos, sugerindo que a termografia é uma técnica rápida e não destrutiva para avaliação da produtividade.

Esses resultados partem do princípio de que o acúmulo de calor é dissipado pelas plantas através da perda de calor sensível e perda de calor latente. A perda de calor sensível ocorre, quando a temperatura da folha é maior do que a temperatura do ar, dessa forma, haverá uma convecção de calor (transferido) da folha para o ar. A perda de calor latente ocorre com a transpiração, que retira grandes quantidades de calor com a evaporação da água, sendo nesse caso influenciado pela abertura dos estômatos. O fechamento estomático eleva a temperatura foliar e cessa a absorção de CO_2 , reduzindo a fotossíntese e consequentemente a produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O uso de imagens termográficas pode ser correlacionado com a condutância estomática de uma planta, como observado por Guo et al. (2016) para plantas de trigo. Os mesmos autores, também, observaram que a temperatura média do dossel decresceu com o fornecimento de nitrogênio para todos os estágios de desenvolvimento, e uma correlação negativa da temperatura do dossel com nitrogênio foliar, taxa fotossintética e biomassa, sugerindo que a termografia de infravermelho pode ser uma ferramenta de diagnóstico para avaliar o desenvolvimento e o estado nutricional das plantas.

Dessa forma, quando a temperatura do dossel é menor do que a temperatura do ar, temos condições favoráveis para o crescimento das plantas, enquanto que a temperatura do dossel maior do que a temperatura do ar indica condição de estresse para a cultura (COSTA; GRANT; CHAVES, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local da pesquisa

O experimento foi instalado na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA, em área de pastagem adjacente ao Abatedouro – “Matadouro Escola” do *Campus* da USP Fernando Costa, no município de Pirassununga/SP, cedida pela Prefeitura do *Campus*, conforme Figura 2. A localização geográfica é 21°59’ de latitude sul e 47°26’ de longitude oeste e altitude média de 635 metros.

Figura 2. Localização da área de estudo – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/ USP – Pirassununga/SP, 2017.

Fonte: Camargo (2017).

3.2. Solo e clima

O solo da área experimental é classificado como Latossolo vermelho eutrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

O clima da região é do tipo Cwa na classificação de Köppen; Geiger (1928), e a temperatura média anual de 20,8 °C, com precipitação pluviométrica média anual de 1298 mm.

A precipitação é concentrada em 80% nos meses mais quentes do ano, de outubro a março (Figura 3).

O estudo foi realizado no período de 10/06/2017 a 30/03/2018. Os dados climáticos durante este período foram coletados por estação meteorológica automática, marca *Davis*, modelo *Vantage Pro 2*, localizada na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos-FZEA/USP, *campus* Pirassununga.

Figura 3. Médias mensais de precipitação no município de Pirassununga/ SP, no período de 1947 a 2017.

Fonte: <http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>

3.3. Delineamento experimental

A pastagem de capim-*coastcross* (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) foi plantada na forma de mudas em março de 2012. O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso, com medidas repetidas no tempo, com quatro repetições. Na Figura 4 é possível observar a disposição dos tratamentos na área de estudo. Os cinco tratamentos empregados foram: (i) T1 – irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada recomendada (AN); (ii) T2, T3, T4 e T5 – irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%; 66% e 100% de AN, respectivamente. Sendo a AN 50 kg ha⁻¹ corte⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia.

As parcelas experimentais foram distanciadas 5 m entre si, a área total de cada parcela foi de 64 m² e a área útil considerada foi de 36 m², sendo desprezados 1,0 m de cada lado (bordadura).

Figura 4. Croqui da área experimental.

Fonte: Próprio autor

3.4. Avaliação química do solo e adubação

Em 26/08/2016 foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, em todas as parcelas experimentais, sua caracterização inicial. Os resultados para cada profundidade estão apresentados nas Tabelas 3 e 4. Para ambas as profundidades, não houve diferença estatística nas parcelas nas quais seriam aplicados os tratamentos.

Tabela 3. Características químicas do solo na instalação do experimento, na camada de 0 – 0,20 m. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), 2016.

Tratamentos	pH CaCl ₂	P resina ----- mg dm ⁻³ -----	S	K	Ca	Mg	Na	H+Al	M.O g kg ⁻¹
						mmolc dm ⁻³			
T1	5,42 a	12,25 a	8,75 a	1,45 a	32,00 a	11,00 a	0,60 a	27,17 a	25,00 ab
T2	5,32 a	17,00 a	7,75 a	1,65 a	30,00 a	11,25 a	0,22 a	32,66 a	26,25 ab
T3	5,40 a	12,00 a	10,00 a	0,83 a	32,75 a	9,75 a	0,48 a	27,25 a	26,30 ab
T4	5,40 a	11,75 a	6,25 a	1,52 a	34,25 a	11,00 a	0,60 a	28,54 a	27,60 a
T5	5,45 a	17,25 a	5,50 a	1,52 a	36,00 a	9,50 a	0,47 a	29,18 a	23,42 b
C.V. (%)	3,44	29,55	70,02	43,51	17,78	22,52	39,89	11,21	6,36
Continuação...									
Tratamentos	C.T. g kg ⁻¹	SB	CTC	V	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		----- mmolc dm ⁻³ ----		%			mg dm ⁻³		
T1	14,50 ab	45,05 a	72,50 a	61,80 a	0,39 a	4,98 a	2,30 a	11,08 a	33,00 a
T2	15,23 ab	43,13 a	76,00 a	57,28 a	0,60 a	5,85 a	2,45 a	9,55 a	37,25 a
T3	15,26 ab	43,80 a	71,00 a	61,35 a	0,33 a	4,48 a	2,27 a	10,40 a	34,75 a
T4	16,01 a	47,38 a	75,75 a	62,97 a	0,60 a	4,63 a	2,28 a	11,25 a	36,25 a
T5	13,59 b	47,49 a	76,75 a	62,05 a	0,40 a	4,17 a	1,78 a	9,48 a	35,25 a
C.V. (%)	6,35	17,50	9,38	9,72	45,11	26,05	23,40	36,00	11,22

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de NA, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Tabela 4. Características químicas do solo na instalação do experimento, na camada de 0,20 – 0,40 m. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), 2016.

Tratamentos	pH CaCl ₂	P resina ----- mg dm ⁻³ -----	S	K	Ca	Mg	Na	H+Al	M.O g kg ⁻¹
						mmolc dm ⁻³			
W100	5,17 a	7,50 a	9,00 a	0,93 a	28,25 a	7,50 a	0,65 a	29,18 a	20,45 a
E0	4,80 a	11,25 a	12,00 a	0,98 a	21,25 a	6,50 a	0,33 a	36,43 a	21,25 a
E33	5,00 a	8,50 a	11,50 a	0,45 a	24,75 a	7,00 a	0,44 a	29,82 a	20,55 a
E66	5,10 a	7,75 a	9,75 a	0,93 a	26,00 a	6,75 a	0,48 a	29,46 a	21,05 a
E100	5,05 a	10,00 a	7,75 a	0,93 a	23,25 a	7,00 a	0,50 a	33,07 a	20,73 a
C.V. (%)	4,97	32,57	53,89	48,63	24,09	19,75	53,07	11,94	8,99
Continuação...									
Tratamentos	C.T. g kg ⁻¹	SB	CTC	V	B	Cu	Zn	Mn	Fe
		----- mmolc dm ⁻³ ----		%			mg dm ⁻³		
W100	11,86 a	37,33 a	66,50 a	55,80 a	0,31 a	4,55 a	1,75 a	10,65 a	31,50 a
E0	12,33 a	29,06 a	65,50 a	44,43 a	0,27 a	3,82 a	1,33 a	5,63 a	30,25 a
E33	11,92 a	32,64 a	62,50 a	52,55 a	0,28 a	4,27 a	1,88 a	8,65 a	35,00 a
E66	12,21 a	34,15 a	63,50 a	53,70 a	0,47 a	4,18 a	1,55 a	7,20 a	35,00 a
E100	12,02 a	31,67 a	65,00 a	49,00 a	0,40 a	4,70 a	2,00 a	8,53 a	37,25 a
C.V. (%)	8,99	21,14	9,31	13,47 a	57,75	15,19	21,58	31,16 a	13,74

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de NA, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

As demais análises químicas do solo, durante a condução do experimento foram realizadas nas seguintes datas: 01/09/17, 05/12/2017 e 14/03/2018, por amostras compostas para cada tratamento, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20 – 0,40 m.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Ciências Agrárias/Solos da FZEA, para análises de macronutrientes e micronutrientes, segundo método descrito em Raij et al. (2001) e porcentagem de sódio trocável (PST), segundo a equação 02.

$$PST = \frac{Na}{(Ca+Mg+K+Na+H+Al)} * 100 \quad \text{Equação 02}$$

em que,

PST = Percentual de sódio trocável (%);

Na = Sódio (mmolc dm⁻³);

Ca = Cálcio (mmolc dm⁻³);

Mg = Magnésio (mmolc dm⁻³);

K = Potássio (mmolc dm⁻³);

H + Al = Hidróxido de alumínio (mmolc dm⁻³).

Todas as parcelas receberam inicialmente, no dia 14/06/2017, 40 kg ha⁻¹ de K₂O, sob a forma de cloreto de potássio, conforme recomendação para o capim-*Coastcross* (RAIJ et al., 1996). Os tratamentos T2, T3, T4, T5 e T1 receberam 0; 24,75; 49,5; 75 e 75 kg ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado, respectivamente, cuja fonte foi ureia. O valor estipulado para a primeira adubação nitrogenada, seguiu a dose de 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio, a ser parcelado em quatro aplicações. Essa estratégia foi modificada posteriormente, para a aplicação de 50 kg ha⁻¹ corte⁻¹ de nitrogênio, segundo recomendação de Primavesi et al. (2004).

Após 76 dias do início da irrigação com efluente, que se iniciou no dia 16/06/2017, foi procedida uma segunda amostragem de solo em 01/09/2017. A partir dos resultados, verificou-se uma porcentagem de saturação por bases média para todas as parcelas de 57%. Desta forma aplicou-se no dia 09/10/2017, 1 ton ha⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT de 70%, para elevar a saturação por bases para 70% da CTC. Posteriormente, foi realizada uma fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio (Tabela 5). As fertilizações subsequentes foram realizadas até cinco dias após o corte, aplicando-se, posteriormente, uma lâmina de 10 mm para evitar a volatilização da amônia (PRIMAVESI et al., 2001).

Tabela 5. Fertilização aplicada durante o período experimental, referente aos anos de 2017 e 2018.

Cortes da forragem	Data do corte	Data da fertilização	Nutriente		
			N ⁽¹⁾	P ₂ O ₅	K ₂ O
			-----kg ha ⁻¹ -----		
Corte de uniformização	10/06/2017	14/06/2017	75	-	40
-	-	20/10/2017	50	40	50
1	05/12/2017	08/12/2017	50	-	50
2	15/01/2018 e	16/01/2018 e	50	20	50
	18/01/2018	19/01/2018			
-	-	20/02/2018	50	-	50
3	28/02/2018,	05/03/2018,			
	06/03/2018 e	12/03/2018 e	50	-	50
	13/03/2018	14/03/2018			

Legenda: (1): Dose máxima de nitrogênio aplicado como ureia nos tratamentos T1 e T5. Os tratamentos T2, T3 e T4 no momento da instalação receberam 0; 24,75; 49,5 kg ha⁻¹, respectivamente, e posteriormente 0; 16,5 e 33 kg ha⁻¹ corte-1 de N, como ureia, respectivamente para T2, T3 e T4. T1: irrigação com água superficial, T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro. Fonte: Próprio autor.

As datas de adubação correspondente aos cortes 2 e 3 foram realizadas em dias diferentes, uma vez que o manejo de corte da forragem foi realizado, quando a média de altura do tratamento fosse 0,25 m (GUIMARÃES, 2012). Dessa forma, em decorrência dos tratamentos, as datas de corte foram diferentes, e consequentemente as datas de adubação.

No dia 11/01/2018 foi realizada uma aplicação de herbicida para controle da braquiária. Porém, o tanque de aplicação continha resíduos de glifosato prejudicando o desenvolvimento da planta, observados em campo, pelo amarelecimento do capim. Dessa forma, no dia 20/02/2018 foi realizada uma adubação para o reestabelecimento da planta, seguida da aplicação de homeopatia *Nux vômica* 12, aplicada na diluição de 0,5 mL por litro de água, três vezes por semana, durante 2 semanas.

3.5. Tratamento do efluente

O efluente utilizado na irrigação do pasto era proveniente do processo de abate do “Matadouro Escola” do *Campus* da USP “Fernando Costa”. Diferentes animais e quantidades foram abatidos no “Matadouro Escola”, como descritos na Figura 5.

MÊS	BOVINOS	SUÍNOS	OVINOS/ CAPRINOS	COELHOS	AVES
Ano 2017					
Maio	40	47	-	37	550
Junho	25	264	-	66	-
Julho	1	208	16	52	385
Agosto	110	72	11	50	-
Setembro	70	136	-	77	-
Outubro	41	139	3	15	-
Novembro	82	352	2	86	-
Dezembro	6	152	52	0	196
Ano 2018					
Janeiro	38	196	51	55	120
Fevereiro	42	89	3	65	400
TOTAL	455	1.655	138	503	1.651
Peso médio carcaça (kg/animal)	280	60	22	1,5	2
Peso total de carcaça (kg)	127.400	99.300	3.036	754,5	3.302
Representatividade por categoria animal (%)	54,5	42,5	1,3	0,3	1,4

Figura 5. Espécies e quantidades de animais abatidos no “Matadouro Escola” durante o período experimental.

Fonte: Próprio autor.

Durante a condução do experimento foram abatidos 4.402 animais. Quando se considera valores absolutos de animais abatidos, temos que a maior frequência de abate foi de suínos e aves, porém quando se faz a análise em relação ao peso de carcaça de cada espécie animal, temos que a representatividade por categoria animal, em ordem decrescente, das espécies abatidas durante a condução do experimento foram: bovinos > suínos > aves > caprinos/ovinos > coelhos.

Os efluentes provenientes dos processos de abate foram armazenados em uma caixa de separação de sólidos, localizada na entrada da área experimental. Após a remoção dos sólidos por sistema manual, o efluente foi bombeado para o poço de sucção, que na sequência foi bombeado para o reator UASB (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket”), com volume total de 13 m³ e volume útil de 8,7 m³, com taxa de aplicação variando de 2 a 4 Kg de DQOm³ e tempo de detenção variando de 24 a 48 horas (Figura 6). O reator UASB foi inoculado no dia 17/05/2017 com lodo proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) doméstico, do município de Pirassununga

Figura 6. Vista frontal corte do reator “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” (UASB) utilizado no tratamento de efluentes. Fonte: Ribeiro e Tommaso (não publicado).

Após ascensão no reator, o efluente já tratado foi armazenado em reservatório de 5.000 L e posteriormente destinado à irrigação do pasto nos tratamentos específicos. A fonte de água para a irrigação do tratamento testemunha era proveniente do canal superficial localizado na proximidade da área experimental, e armazenada em reservatório de 3000 L (Figura 7).

Figura 7. Etapas do tratamento de efluente proveniente do “Matadouro Escola”. Pirassununga/SP. Fonte: Camargo (2017).

3.6. Avaliação do Efluente

A caracterização físico-química das fontes de água (efluente e água) ocorreu com frequência semanal. As coletas das amostras foram realizadas conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras de água (CETESB/ANA, 2011) e analisadas segundo APHA/AWWA/WEF (2012), no laboratório de Biotecnologia Ambiental/Departamento de Engenharia de Alimentos/FZEA/USP e no laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento CENA/USP.

Os parâmetros analisados nas fontes de água foram: condutividade elétrica (CE), pH, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), série nitrogenada (NTK, NH_4^+ , Norg, NO_3^- , NO_2^- , N_T), fósforo (P), potássio (K), sulfato (SO_4), cálcio (Ca),

magnésio (Mg) e sódio (Na), os três últimos foram utilizados para a determinação da razão de adsorção de sódio (RAS), pela equação descrita por Ayers e Westcot (1999).

Na Figura 8 observa-se o efluente não tratado, o efluente tratado e a água superficial do canal, respectivamente.

Figura 8. Efluente na saída do abate, efluente pós-tratamento por UASB e água superficial, da esquerda para a direita.
Fonte: ANSANTE, 2017.

3.7. Sistema de Irrigação e manejo de irrigação

A irrigação foi realizada por meio do sistema de aspersão. Os aspersores foram instalados em duas extremidades das parcelas experimentais, com ângulo de operação de 90°, e altura de 1,0 m. O aspersor escolhido foi de impacto setorial regulável, com um bocal, vazão 0,50 m³ h⁻¹ e pressão de serviço de 25 m.c.a modelo 3123-1PC, marca “Senninger”, cada aspersor foi instalado com regulador de pressão de 25 m.c.a. Os tratamentos foram individualizados por válvulas solenóides, uma para cada tratamento, operadas por painel controlador modelo Pro-C, marca Hunter®, moto-bomba centrífuga de rotor semi-aberto e tubos de PVC para o escoamento da água até o sistema de aspersão. Na saída de cada bomba foi utilizado um filtro de disco, para retenção de impurezas, e manômetros, para controle da pressão.

Antes do início do experimento, foram retiradas amostras indeformadas de solo, referentes aos tratamentos T1 e T5, em duas profundidades (0-0,20 m e 0,20-0,40 m), para elaboração da curva característica de retenção de água no solo, nas tensões 0; 6; 10; 33 e 1500 kPa e determinada a densidade do solo, os resultados foram utilizados para condução do manejo da irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado pelo sensor FDR – Reflectância no Domínio da Frequência, marca Sentek, modelo Diviner 2000. O equipamento é composto por um sensor capacitivo acoplado a uma haste de 1,6 m que faz conexão com um coletor de dados. A leitura foi realizada através dos tubos de acesso instalados até a profundidade de 0,50 m, em três repetições por tratamento (blocos 1, 2 e 4). O processo de calibração foi realizado em campo, em três diferentes dias, nos quais foram retiradas amostras de solo nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para determinação de umidade pelo método gravimétrico, que foram comparadas com as leituras do equipamento, realizadas nas mesmas profundidades. A partir dos resultados, foram geradas curvas de calibração para cada tratamento.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) do sistema de irrigação foram determinados através do teste de uniformidade, para cada tratamento, cujos valores foram: T1 = 83%; T2 = 85%; T3 = 83%; T4 = 85%; T5 = 84%. Com posse dos dados foi construída uma planilha de manejo da irrigação, com a finalidade de manter a umidade entre a faixa de capacidade de campo e crítica para a cultura, 10 kPa e 60 kPa, respectivamente.

O manejo da irrigação foi realizado com turno de rega de dois dias, para a camada de 0 a 0,20 m, considerada a profundidade efetiva do sistema radicular, segundo Ribeiro et al. (2011).

3.8. Manejo e avaliação da forragem

A área experimental estava infestada com *Brachiaria decumbens*, antes da instalação do experimento, a qual foi controlada por meio da aplicação dos herbicidas Diuron e MSMA na dose de 1120 + 2880 g ha⁻¹ (CARVALHO, WERLANG, PARO e NETO, 2005), de forma localizada, sendo as aplicações realizadas nos dias: 22/12/2016, 27/03/2017, 30/05/2017 e 11/01/18.

No dia 10/06/2017 foi realizado o corte de uniformização da área e os demais cortes estão listados na Tabela 6.

Tabela 6. Datas de corte e intervalos entre cortes, durante o período experimental.

CORTE	ESTAÇÃO DO ANO	DATA	TRATAMENTO	INTERVALO (DIAS)
0	Inverno - primavera	10/06/2017	Todos	-
1		05/12/2017	Todos	177
2	Verão	15/01/2018	T1 e T5	40
		18/01/2018	T2, T3 e T4	43
28/02/2018		T1	43	
06/03/2018		T3, T4 e T5	T3 e T4 = 46; T5 = 48	
13/03/2018		T2	52	
13/03/2018		T1	12	
4		22/03/2018	T3, T4 e T5	16
		27/03/2018	T2	21
		27/03/2018	T1	15

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

O corte foi realizado manualmente com o auxílio de uma moldura de 0,25 m², com suportes que o mantinham a 0,10 m de altura, em relação ao solo. A moldura foi alocada quatro vezes dentro da parcela, totalizando uma amostra de 1 m². Após cada corte de avaliação, foi realizado o corte de uniformização de toda a área experimental, sendo retirado da área o resíduo resultante dessa uniformização.

O corte 1 corresponde ao período inverno – primavera e os cortes 2, 3 e 4 correspondem ao período de verão. O intervalo entre o corte 0 e o corte 1 foi ocasionado principalmente pelas condições climáticas do período e a sazonalidade da geração de efluente. Nos intervalos referentes ao corte 2 e corte 3, tem-se que a altura de resíduo durante o corte da parcela experimental, após o corte de avaliação, ficou abaixo de 10 cm, e aliado a isso, no corte 3 ocorreu a fitotoxidez com a aplicação do herbicida. No corte 3

a altura de resíduo alvo (10 cm) foi atingida durante o corte de uniformização, refletindo um menor intervalo, no corte 4.

Antes de cada corte das parcelas foi determinada a interceptação luminosa nas parcelas, com um analisador de dossel modelo LAI 2200C, marca LI-COR, nas quais foram coletados 10 pontos representativos da média do dossel em cada parcela, na proporção de uma medida acima para cinco medidas abaixo do dossel em duas repetições, sempre no início da manhã. Valores de interceptação luminosa entre 85% e 95% foram indicativos do momento do corte (Tabela 7).

Tabela 7. Interceptação luminosa média para cada tratamento antes do corte do capim-coastcross no período experimental.

CORTE	INTERCEPTAÇÃO				
	T1	T2	T3	T4	T5
	-----%				
1	83,64a	84,02a	85,52a	86,17a	87,47a
2	86,64a	84,98a	86,73a	87,02a	92,39a
3	86,81a	83,10a	78,20a	82,80a	83,99a
4	85,33a	79,48a	83,19a	84,42a	83,35a

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados para a variável interceptação luminosa. Guimarães (2012), ao avaliar a interceptação luminosa para dois cultivares do gênero *Cynodon*, sob a estratégia de manejo de corte do pasto com 0,25 m de altura, obteve o valor médio de 63,86%, abaixo dos valores encontrados no presente experimento.

A altura do dossel foi determinada em 32 repetições por parcela, medindo a altura média do dossel a partir do nível do solo.

A produção da forragem foi avaliada por meio da massa fresca (MF) e massa seca (MS). O material coletado no campo foi acondicionado em saco plástico, identificado e enviado ao Laboratório de Biosistemas/FZEA/USP, onde foi pesado para determinação da massa fresca e, posteriormente, foi retirada uma amostra representativa da forragem, que foi colocada em estufa de ventilação forçada de ar, com temperatura entre 65°C, até massa constante, para determinação da matéria seca. A produção de massa fresca e de massa seca de forragem foram obtidas com os dados do peso da forragem da área cortada, transformado em kg ha⁻¹.

Após a secagem, as amostras destinadas a análise química foliar e análise bromatológica foram moídas em moinho do tipo Willey, com peneira de 1 mm, armazenadas em sacos plásticos e identificadas. Tanto a análise química foliar, como a análise bromatológica, foram realizadas no primeiro e terceiro corte do período experimental, na parte aérea inteira da planta.

Na análise química foliar foram determinadas as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), sódio (Na), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), ferro (Fe), molibdênio (Mo) e silício (Si), de acordo com o método descrito por Malavolta et al. (1997), pelo Laboratório de Ciências Agrárias/Solos da FZEA/USP. Os teores de nutrientes foram

comparados com valores sugeridos por Werner et al. (1996). As análises bromatológicas foram realizadas no Laboratório de Bromatologia /FZEA/USP, que consistiram na determinação de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e hemicelulose (HEMIC), segundo AOAC (2016) e Silva e Queiroz (2002).

3.9. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Foi utilizado o sensor GreenSeeker®, portátil, marca Trimble, para determinação do NDVI. Seu princípio de funcionamento consiste na emissão de radiação nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo, medindo em seguida a quantidade de cada tipo de luz refletida. Esses valores de reflectância são utilizados no cálculo do NDVI, que pode ser visualizado na tela do sensor (TRIMBLE, 2018).

A coleta de dados foi realizada manualmente, com a passagem do equipamento paralelamente a planta forrageira à uma altura de 1 m em relação ao solo (TRIMBLE, 2018), avaliando sempre a parte central nos quatros lados de cada parcela. Dessa forma, foram geradas 20 medições de NDVI por tratamento.

As análises dos dados foram separadas em três avaliações. A “Avaliação 1” correspondem ao período inverno-primavera, cuja frequência de coleta foi semanal, no período de 14/07/2017 a 05/12/2017. Neste período, devido ao lento desenvolvimento da planta forrageira, os dados foram analisados mediante a média dos dados no intervalo de 28 dias, uma vez que não houve diferença estatística dentro de cada intervalo. Os dados na “Avaliação 2” e “Avaliação 3” foram coletados antes de cada corte de avaliação da planta forrageira. A “Avaliação 2” correspondem a comparação entre os dados da “Avaliação 1”, representativo da produção total durante o período inverno – primavera, e a média dos dados referente aos cortes 2, 3 e 4, em sua totalidade, representativos do período do verão. A “Avaliação 3” correspondem a análise separada para cada corte de avaliação (cortes 1, 2, 3 e 4).

3.10. Imagens termográficas

As imagens termográficas para determinação de umidade e temperatura do dossel foram realizadas pela câmera termográfica modelo 875-2, marca TESTO, com resolução infravermelho de 160 x 120 pixels, 32° x 23° de campo de visão e distância mínima de foco de 0,1 m. A sensibilidade térmica da câmera é menor que 50 mK em temperatura ambiente de 30 °C. O processamento das imagens foi realizado utilizando o programa computacional IIRSoft®.

No início das coletas foi realizado um teste preliminar, em dois dias diferentes (26/06/2017 e 07/07/2017), em três horários (9 horas, 13 horas e 15 horas) (Tabela 8). As imagens foram obtidas com o auxílio de uma moldura de 0,25 m², em quatro repetições por parcela. A emissividade da câmera foi ajustada para 0,98 (GLENN, 2012) e a altura de captura foi de 1,0 m a partir do solo. As variáveis

analisadas foram: temperatura mínima (TMIN), temperatura máxima (TMAX), temperatura média (TMED), umidade mínima (UMIN), umidade máxima (UMAX) e umidade média (UMED).

Parâmetros de temperatura e umidade das imagens termográficas, obtidas em dois dias, em três horários de coleta, do capim-*Coastcroos*.

DIA 26/06/2017							
	10 horas		13 horas		15 horas		CV (%)
TEMP. AR (°C)	19,9		24,4		25,4		-
UR. AR (%)	76		58		57		-
TMIN (°C)	26,6265	b	28,1965	a	26,2695	b	3,79
TMAX (°C)	48,8210	b	52,4840	a	42,6320	c	4,99
TMED (°C)	35,3180	b	36,9870	a	31,9410	c	3,85
UMIN (%)	15,1880	b	12,1350	c	20,9250	a	13,31
URMAX (%)	50,0905	a	43,7750	b	51,2680	a	5,83
UMED (%)	31,2415	b	27,3550	c	37,3485	a	7,73
DIA 07/07/2017							
	9 horas		13 horas		15 horas		CV (%)
TEMP. AR (°C)	17,2		22,9		22,2		-
UMID. AR (%)	77		50		51		-
TMIN (°C)	23,1500	b	28,1605	a	20,7770	b	13,50
TMAX (°C)	38,2760	a	48,6380	a	25,1230	b	35,11
TMED (°C)	28,7590	b	34,9275	a	22,5710	c	21,55
UMIN (%)	24,8295	ab	11,8870	b	36,8575	a	75,08
UMAX (%)	51,7335	a	34,8250	b	47,9305	a	23,72
UMED (%)	38,5550	a	24,3695	b	42,9455	a	41,24

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos, devido às fotos serem capturadas no início da aplicação dos tratamentos.

As variáveis de temperatura e umidade observadas diferiram entre os horários propostos. Com base nos dados apresentados foi possível observar que às 13 horas, para os dois dias analisados, os parâmetros de temperatura foram superiores em relação ao demais horários, e os parâmetros de umidade foram inferiores em relação ao demais horários. Dessa forma, a coleta de dados foi realizada às 13 horas, com o objetivo de identificar a influência dos tratamentos, no período do dia que poderia causar maior estresse para a planta.

A avaliação das imagens foi realizada nos mesmos dias de avaliação do NDVI. Nos dias e horários para cada coleta foram mensurados os parâmetros de temperatura do ar e umidade relativa do ar, pela estação meteorológica localizada no campus.

No programa IIRSoft, as imagens foram analisadas para obter a temperatura média do dossel (TMED), temperatura mínima (TMIN) e temperatura máxima (TMAX), por meio da geração de histograma. Para a análise, primeiramente inseriu-se os parâmetros de temperatura e umidade relativa do ar. Após a imagem foi dividida em várias áreas proporcionais, em que foi selecionada uma matriz de 3 x 3, para padronização da área avaliada, gerada pelo histograma.

A análise dos dados foi separada em duas avaliações. A “Avaliação 1” correspondem a avaliação ao longo do período inverno-primavera, cujo intervalo de tempo foi de 14/07/2017 a 05/12/2017. Neste período, devido ao lento desenvolvimento da planta forrageira, os dados foram analisados mediante a média dos dados no intervalo de 28 dias. Foram avaliados a temperatura mínima, temperatura média e temperatura máxima do dossel. A “Avaliação 2” correspondem a análise da temperatura média do dossel, antes de cada corte de avaliação, comparada com a temperatura do ar, separada para cada corte de avaliação (cortes 1, 3 e 4), exceto para o corte 2, no qual não foi possível realizar a coleta dos dados por indisponibilidade do equipamento.

3.11. Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise da variância, comparando os tratamentos entre si e no tempo. Nas situações que foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) foram realizadas comparações de médias entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e quando pertinente foi aplicado regressão para as médias dos tratamentos com efluente (T2, T3, T4 e T5). Na regressão, a comparação entre os tratamentos com efluente e o tratamento com água superficial (T1) foi realizado contraste pelo Teste de Scheffé ($p < 0,05$). Foi utilizado o programa SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

Os valores de NDVI e temperatura média do dossel foram correlacionados com a produção de massa fresca, o teor de N foliar e teor de proteína bruta, por meio do coeficiente de Spearman (r), pelo software Minitab.

Utilizou-se a interpretação de correlação entre variáveis proposta por Callegari-Jacques (2003) (Tabela 9).

Tabela 8. Intervalos de coeficientes de correlação e interpretação

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

4. RESULTADOS

4.1. Clima

Os dados meteorológicos durante a condução do experimento em campo foram coletados em estação meteorológica da USP, *campus* da USP “Fernando Costa” em Pirassununga e estão apresentados nas Figuras 9 e 10.

Figura 9. Médias mensais de temperatura média do ar (TEMP MÉDIA), temperatura máxima do ar (TEMP MÁXIMA), temperatura mínima do ar (TEMP MÍNIMA) e umidade relativa do ar média (UR MÉDIA), umidade relativa do ar mínima (UR MÍNIMA), umidade relativa do ar máxima (UR MÁXIMA), durante a condução do experimento no período de maio/2017 a março/2018.

Fonte: <http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>

Figura 10. Média mensal de precipitação e evapotranspiração potencial de referência e saldo de radiação solar, durante a condução do experimento no período de maio/2017 a março/2018.

Fonte: <http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>

No período do inverno-primavera e no período do verão a temperatura média foi de 20,88 °C e 24,29 °C, com médias das máximas de 29,01°C e 31,47°C e a média das mínimas de 14,52°C e 19,80°C, respectivamente. Nos mesmos períodos a umidade relativa do ar média foi de 57,19% e 59,48%, com médias das máximas de 76,74% e 76,69% e a média das mínimas de 23,52% e 23,78%, respectivamente. A precipitação foi concentrada nos meses mais quentes do ano, com maior ocorrência no período de outubro a março. A precipitação nos períodos do inverno – primavera e verão foi de 423,20 mm e 444,20 mm e a evapotranspiração potencial foi 1114,03 mm e 485,05 mm, respectivamente. Houve maior intensidade de radiação solar nos meses de setembro de 2017 a março de 2018.

Os processos metabólicos das plantas, como fotossíntese e respiração, e os processos de crescimento, como a divisão e a expansão celular, são catalizados por enzimas, cujas reações são fortemente influenciadas pela temperatura que a planta é exposta (TAIZ & ZEIGER, 2013). As baixas temperaturas reduzem a atividade enzimática afetando o metabolismo. A translocação de fotossintatos a partir do cloroplasto e das células do mesófilo (fontes) para meristemas (drenos) requer energia metabólica para o carregamento de açúcares pelo floema. Uma planta C4 submetida a baixas temperaturas durante a noite diminui a translocação de fotossintatos a partir das folhas. O amido retido no cloroplasto reduz a fotossíntese no dia seguinte, mesmo que a temperatura durante o dia esteja próxima do ótimo (BARNES et al., 2003).

4.2. Manejo da Irrigação

Na Figura 11 são apresentados os valores da umidade do solo durante a condução do experimento, medidos pela sonda de FDR, na camada de 0-0,20 m, para todos os tratamentos. O comportamento da umidade é representado por picos diários, referente à reposição da umidade no solo e o consumo da água pela planta.

Os valores de umidade do solo foram mantidos dentro da faixa de manejo adotada, capacidade de campo e umidade crítica para cultura, na maior parte do tempo. Os períodos nos quais as umidades atingiram valores abaixo do considerado crítico para o desenvolvimento da cultura, com demora no restabelecimento, estão concentrados nos meses de setembro e outubro. Nesse período pode ser observado aumento nos valores de evapotranspiração e baixa intensidade pluviométrica (Figura 10).

O decréscimo da umidade para além da tensão crítica gerou lâminas de irrigação elevadas, ultrapassando a capacidade de geração e armazenamento de efluente. A sazonalidade na produção do abatedouro refletiu diretamente na geração do efluente, que foi insuficiente para suprir toda a demanda hídrica da cultura neste período. As estratégias adotadas nestas situações foram o parcelamento da irrigação em dois dias e a irrigação com água nos tratamentos, cuja fonte de água era o efluente, mas nem sempre a capacidade de armazenamento de água foi suficiente para atender toda a necessidade.

Figura 11. Umidade do solo ao longo no período experimental.

CC: umidade na capacidade de campo; U crit: umidade crítica; T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 10 são apresentados os valores das lâminas de irrigação para as fontes de água aplicadas em cada tratamento. A lâmina de irrigação do tratamento T1, irrigado com a água superficial foi de 546 mm. Para a fonte de água efluente, os tratamentos que receberam a maior lâmina, em ordem decrescente foram: T5 > T4 > T3 > T2. Ao analisar a quantidade total de água recebida pelos tratamentos (irrigação com as fontes de água mais precipitação), em ordem decrescente tem-se: T1 > T4 > T3 > T5 > T2.

Como relatado anteriormente, nos tratamentos irrigados com efluente foram aplicadas lâminas de água, cuja demanda foi maior para o tratamento T4 e menor para o tratamento T5, e, semelhantes para os tratamentos T2 e T3.

Tabela 9. Lâmina de irrigação por fonte de água e precipitação, para cada corte de avaliação.

	T1			T2				T3			
	A	P	SOMA	A	E	P	SOMA	A	E	P	SOMA
CORTE 1	492	370	862	120	333	370	823	120	340	370	830
CORTE 2	5	296	301		5	296	301		5	296	301
CORTE 3	36	221	257		24	290	314		27	247	274
CORTE 4	13	203	216		8	65	73		9	177	186
TOTAL	546	1090	1636	120	369	1021	1510	120	380	1090	1590

Continuação..

	T4				T5			
	A	E	P	SOMA	A	E	P	SOMA
CORTE 1	129	355	370	855	97	375	370	841
CORTE 2		5	296	301		3	296	299
CORTE 3		23	247	270		18	247	265
CORTE 4		5	177	182		4	177	181
TOTAL	129	389	1090	1608	97	400	1090	1587

A= lâmina de água (mm); E= lâmina de efluente (mm); P= precipitação (mm); SOMA= A+E+P. T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

4.3. Efluente

Na Tabela 11 são apresentados os valores de caracterização das fontes de água empregada na irrigação do pasto. As concentrações de nitrogênio observadas, predominantemente na forma amoniacal, apresentam valores elevados ($135,91 \pm 47,27 \text{ mg L}^{-1}$), inadequado para o lançamento nos corpos hídricos, segundo padrão estabelecido (20 mg L^{-1}) pela legislação ambiental (CONAMA nº430, 2011), sendo necessário tratamento posterior para a remoção do nitrogênio. Neste efluente, a forma amoniacal representa 86% da concentração total de nitrogênio, que corrobora os resultados que reportam que o nitrogênio amoniacal corresponde de 65% a 95% do total de nitrogênio presente no efluente tratado por sistema biológico anaeróbio (PEREIRA et al., 2011).

Em relação aos elementos P, Ca, Mg, K e S (Tabela 11), considerados macronutrientes às plantas, observa-se, como o nitrogênio, embora em menor concentração, possibilidade de aporte de nutrientes pelo efluente, com potencial de redução dos fertilizantes minerais.

As concentrações de sódio e cloreto estão relacionadas à salinidade e podem gerar certa restrição ao uso do efluente em longos períodos de aplicação. O valor observado para sódio (Tabela 11) foi próximo da concentração máxima para aplicação em culturas (69 mg L^{-1}), segundo orientação proposta pela CETESB (2006). Os valores de cloreto, manganês e ferro (Tabela 11) não apresentaram restrição quanto ao uso do efluente em cultura, visto que os valores encontrados no efluente tratado são inferiores as concentrações máximas indicadas de $106,5 \text{ mg L}^{-1}$ para Cl, $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ para Mn e 5 mg L^{-1} para Fe (CETESB, 2006).

A CETESB (2006) preconiza valores de condutividade elétrica variando de $1,2 - 2,9 \text{ dS m}^{-1}$ para a faixa de razão de adsorção de sódio (RAS) entre 3 - 6. O efluente tratado de abatedouro atendeu a sugestão, uma vez que os valores de CE e RAS foram $1,46 \text{ dS m}^{-1}$ e $3,70 \text{ mmol L}^{-1} \text{ }^{-0,5}$, respectivamente (Tabela 10). Ayers e Westcot (1999) apontam diretrizes para avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação referente a salinidade, cuja faixa de CE entre $0,7 - 3,0 \text{ dS m}^{-1}$, apresenta restrição ao uso de baixa a moderado. Segundo os mesmos autores, o *capim-coastcross* é considerado uma cultura tolerante a salinidade, com potencial de produtividade máxima, quando a fonte de água utilizada na irrigação apresenta CE menor ou igual a $4,6 \text{ dS m}^{-1}$, valor bem acima do que foi determinado para o efluente tratado de abatedouro ($1,46 \pm 0,34 \text{ dS m}^{-1}$).

O pH apresentado na Tabela 11 ficou próximo da neutralidade, fato esse que seria benéfico para aplicação em solos tropicais que são em sua maioria ácidos, favorecendo a disponibilidade de nutrientes às plantas (PEREIRA et al., 2011).

Tabela 10. Caracterização físico-química (média e desvio padrão) das fontes de água.

Parâmetro	Efluente	Água	Literatura ¹
N-NTK (mg L ⁻¹)	201,90 ± 65,70	6,20 ± 6,70	39,40 - 157,50
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	135,91 ± 47,27	0,27 ± 0,44	20 - 152
N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	0,59 ± 0,61	0,28 ± 0,18	0,08 - 4,11
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,16 ± 0,17	0,00 ± 0,00	0,05 - 0,23
N-N _T (mg L ⁻¹)	162,66 ± 55,50	5,27 ± 5,83	-
P-PO ₄ ⁻ (mg L ⁻¹)	1,88 ± 0,88	0,06 ± 0,05	3,60 - 12,35
K ⁺ (mg L ⁻¹)	23,91 ± 8,81	2,42 ± 0,65	76,40
Ca ⁺² (mg L ⁻¹)	15,90 ± 3,23	2,21 ± 0,26	-
Mg ⁺² (mg L ⁻¹)	3,96 ± 2,35	1,60 ± 0,56	-
Na ⁺ (mg L ⁻¹)	63,00 ± 30,37	3,61 ± 1,75	197,50
S-SO ₄ (mg L ⁻¹)	14,00 ± 14,35	1,30 ± 1,37	< 0,10
Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	56,90 ± 29,16	1,90 ± 0,43	1,84 - 411,60
Fe (mg L ⁻¹)	0,12 ± 0,04	0,05 ± 0,01	0,03 - 2,48
Mn (mg L ⁻¹)	0,07 ± 0,02	0 ± 0	0,40 - 1,91
SST (mg L ⁻¹)	69,31 ± 35,78	17,33 ± 10,40	3,10 - 198
SDT (mg L ⁻¹)	382,95 ± 145,10	105,13 ± 64,46	-
DQO (mg L ⁻¹)	260,42 ± 90,00	32,45 ± 70,77	104 - 782
RAS (mmol/L) ^{-1/2}	3,70 ± 1,30	0,45 ± 0,22	-
CE (dS m ⁻¹)	1,46 ± 0,34	0,04 ± 0,003	1,33 - 3,2
pH	7,37 ± 0,35	7,10 ± 0,26	6,81 - 7,70

NTK=nitrogênio total Kjeldahl; NT: nitrogênio total; SST: sólidos suspensos totais; SDT: sólidos dissolvidos totais; DQO: demanda química de oxigênio; RAS: razão de adsorção de sódio; CE: condutividade elétrica. ¹: Oliveira et al. (2012); Basílico, De Cabo e Faggi (2013); Ribeiro, Sandri e Boeno (2013); Rodrigues et al. (2016); Gerber et al. (2017). Fonte: Próprio autor.

Os valores médios encontrados para a Demanda Química de Oxigênio (DQO) na saída do abatedouro (260,42 ± 90,00 mg L⁻¹) são representativos da grande quantidade de resíduos orgânicos presentes nesses tipos de efluentes, como sangue, vísceras e gorduras. Durante o período experimental, a eficiência média de remoção de matéria orgânica do reator foi de 84%, valor acima do que encontrado por Rodrigues et al. (2016), cuja eficiência média foi de 56%, para efluente de aves tratado por reator UASB.

Ao comparar os resultados com os relatados na literatura é possível observar que a maioria dos elementos analisados estão dentro do intervalo. A amplitude das concentrações se deve a variação dos processos nas instalações, produtos utilizados e sistemas de tratamento (Tabela 11).

A Tabela 12 apresenta o aporte de nutrientes pela irrigação nas diferentes fontes de água, pelos tratamentos propostos. A ordem decrescente de aporte dos nutrientes pela irrigação com efluente de abatedouro foi: nitrogênio total (N –NT) > Na > Cl > K > Ca > S > Mg > P-PO₄ > Fe > Mn. O aporte realizado está próximo das proporções dos macronutrientes requerido pela forragem (N > K > Ca > Mg > P > S) (BARNES et al., 2003), exceto pelas altas quantidade de Na e Cl. As altas quantidades de Na e Cl aplicadas no solo podem provocar desbalanço nutricional na cultura, além de alterar as propriedades

físico-químicas do solo. Porém, o efluente também favoreceu o aporte de outros nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, sugerindo não só redução de fertilizantes nitrogenados, mas também de outras fontes de fertilizantes químicos.

Os tratamentos com maiores aportes de nutrientes foram em ordem decrescente T5, T4, T3, T2, em decorrência das maiores lâminas de irrigação aplicadas, com efluente tratado de abatedouro (Tabela 10).

Tabela 11. Aporte de nutrientes pela aplicação das fontes de água para cada tratamento.

	N - N _T	P- PO ₄	K	Mg	Ca	S	Na	Cl	Fe	Mn
	----- (kg ha ⁻¹) -----									
T1	29,80	0,34	13,68	9,05	12,50	7,35	20,41	10,74	0,28	0,00
T2	628,32	7,26	94,34	17,07	63,46	55,10	245,24	219,86	0,52	0,27
T3	662,22	7,65	99,32	17,89	66,77	58,01	258,37	231,72	0,54	0,28
T4	674,77	7,80	101,31	18,33	68,15	59,17	263,37	236,11	0,56	0,29
T5	713,66	8,25	106,49	18,80	71,40	62,24	277,92	249,70	0,57	0,30

NT: nitrogênio total. T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 13 são apresentados os teores de nitrogênio, fósforo e potássio aplicados durante a condução do experimento, por irrigação e adubação química. O aporte de nutrientes via irrigação corresponde ao período do início da irrigação até o mês de dezembro.

É possível observar que todos os tratamentos irrigados com efluente apresentaram quantidades totais superiores de nutrientes, do que o tratamento irrigado com água superficial, devido o aporte apresentado na Tabela 12. Entre os tratamentos irrigados com efluente (T2, T3, T4 e T5), não houve grandes variações, exceto para o nitrogênio, devido a aporte via adubação.

Tabela 12. Teores de nitrogênio, fósforo e potássio por irrigação, fontes de água (água superficial e efluente tratado de abatedouro) e adubação química.

TRATAMENTO	IRRIGAÇÃO	ADUBO	TOTAL	IRRIGAÇÃO	ADUBO	TOTAL	IRRIGAÇÃO	ADUBO	TOTAL
	-----N - NT (kg ha ⁻¹)-----			-----P- PO ₄ (kg ha ⁻¹)-----			-----K (kg ha ⁻¹)-----		
T1	29,80	325,00	354,80	0,34	60,00	60,34	13,68	290,00	303,68
T2	628,32	0,00	628,32	7,26	60,00	67,26	94,34	290,00	384,34
T3	662,22	107,25	769,47	7,65	60,00	67,65	99,32	290,00	389,32
T4	674,77	214,50	889,27	7,80	60,00	67,80	101,31	290,00	391,31
T5	713,66	325,00	1038,66	8,25	60,00	68,25	106,49	290,00	396,49

NT: nitrogênio total. T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

4.4. Solo

O solo das parcelas experimentais, após o início da irrigação, foi analisado quimicamente em três momentos, nos meses de setembro/2017, dezembro/2017 e março/2018, aos 77, 172 e 270 dias, após o início da irrigação, respectivamente, nas camadas de 0 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m. Os resultados a seguir são aqueles que apresentaram diferenças estatísticas pela aplicação dos tratamentos.

Quando avaliada a concentração dos elementos químicos no perfil do solo foi observado, em todo o período de condução do experimento, maiores valores na camada superficial (0-0,20 m), confirmando a disponibilidade dos nutrientes às plantas pelo manejo adotado, sem risco de lixiviação, exceto para o enxofre e alumínio (Tabela 14).

Tabela 13. Características químicas do solo na camada 0-0,20 m e 0,20-0,40, média das coletas de 77, 172 e 270 dias após a irrigação.

Profundidade	pH CaCl ₂	P resina ----mg dm ⁻³ ----	S -----mmolc dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg	Al	MO ----g kg ⁻¹ ----	CT
0-0,20m	5,42a	18,91a	7,06b	1,90a	32,08a	9,87a	0,16b	27,26a	15,81a
0,20-0,40m	5,08b	13,10b	8,39a	1,34b	24,57b	6,78b	1,02a	25,21b	14,70b
CV (%)	3,04	18,42	22,81	20,54	8,66	12,58	94,10	6,24	5,14
Continuação...									
Profundidade	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn	SB ----- mmolc dm ⁻³ -----	CTC	V (%)	
0-0,20m	0,31a	4,65a	29,99a	14,72a	1,85a	45,02a	71,77a	60,97a	
0,20-0,40m	0,23b	3,98b	19,83b	8,07b	0,67b	33,09b	63,81b	50,35b	
CV (%)	55,38	35,33	45,41	20,05	74,10	6,68	9,37	5,33	

CV: coeficiente de variação; MO: matéria orgânica; CT: carbono total; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Ao analisar o solo separadamente nos tempos de coletas, após 77 e 172 dias do início da irrigação, correspondente ao período inverno-primavera, foi verificada interação entre profundidades e tratamentos para matéria orgânica (MO), carbono total (CT) e soma de bases (SB), e, após 172 dias do início da irrigação para MO e CT (Tabela 15).

Tabela 14. Características químicas do solo na camada 0-0,20 m e 0,20-0,40, 77 e 172 dias após a irrigação.

Tratamento	MO (77 DAI)		MO (172 DAI)		CT (77 DAI)		CT (172 DAI)		SB (77 DAI)	
	-----g kg ⁻¹ -----								- mmolc dm ⁻³ -	
	Profundidade (m)		Profundidade (m)		Profundidade (m)		Profundidade (m)		Profundidade (m)	
	0-0,20	0,20-0,40	0-0,20	0,20-0,40	0-0,20	0,20-0,40	0-0,20	0,20-0,40	0-0,20	0,20-0,40
T1	26,95 Bb	32,67 Aab	27,45Ab	21,68Bb	15,63 Bc	21,58 Aa	15,93 Ab	12,57 Bb	39,59 Aa	33,07 Ba
T2	27,37 Bb	35,53 Aa	27,08Ab	24,45Ba	15,88 Bbc	20,61 Aa	15,71 Ab	14,18 Ba	38,70 Aa	28,62 Ba
T3	33,08 Aa	34,90 Aa	25,68Ac	22,03Bb	19,18 Aa	18,75 Ab	14,89 Ac	12,78 Bb	37,65 Aa	31,28 Ba
T4	30,00 Aab	30,70 Ab	29,70Aa	23,00Bb	17,40 Ab	17,81 Ab	17,23 Aa	13,34 Bb	44,01 Aa	25,94 Ba
T5	28,56 Bb	32,07 Aab	28,35Aab	22,50Bb	16,58 Bbc	18,60 Ab	16,45 Aab	13,05 Bb	42,77 Aa	27,71 Ba
CV (%) Profundidade	3,41		1,45		2,50		1,46		5,84	
CV (%) Tratamento	8,37		9,09		14,29		9,09		18,12	

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. DAI: dias após a irrigação; CV(%): coeficiente de variação; MO: matéria orgânica; CT: carbono total; SB: soma de bases. Média seguidas de letras maiúsculas diferem na linha, para cada parâmetro e data, e médias seguidas de letras minúsculas diferem na coluna, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

A matéria orgânica e o carbono total aos 77 DAI estavam presentes em maior quantidade na camada de 0,20-0,40 m, exceto para os tratamentos T3 e T4. Após 172 dias, foi verificado acúmulo de MO e CT na profundidade 0-0,20 m, em todos os tratamentos, os maiores valores ocorreram nos tratamentos com efluente e 66% da adubação nitrogenada (T4). Os resultados referentes a soma de bases (SB) não apresentaram interação profundidade e tratamento aos 172 DAI. Na avaliação aos 77 DAI a SB estava concentrada na camada mais superficial (0-0,20 m), sem apresentar diferença entre os tratamentos (Tabela 15).

Na Tabela 16, aos 77 DAI foi observado que o teor de fósforo para o tratamento T5 foi superior a T3 e T4, sem diferir de T1 e T2. Aos 172 dias, com o aumento da lâmina de irrigação, os teores de fósforo no solo foram maiores para os tratamentos irrigados com efluente, porém com diferença para os tratamentos T1 e T5.

Tabela 15. Fósforo (P) do solo para os tratamentos aos 77 e 172 dias após a irrigação.

Tratamento	P (77 DAI)	P (172 DAI)
	-----mg dm ⁻³ -----	
T1	14,30 abc	13,29 b
T2	15,75 ab	17,00 ab
T3	12,96 bc	15,88 ab
T4	12,75 c	15,88 ab
T5	15,96 a	18,75 a
CV(%)	24,70	21,44

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. DAI: dias após a irrigação; CV(%): coeficiente de variação. Média seguidas de letras minúsculas diferem na coluna, pelo teste de Tukey a ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Na Figura 12 é apresentado o comportamento do solo em relação aos parâmetros relacionados à salinidade (sódio e PST), após 172 dias de irrigação. Os teores de sódio e a relação desse cátion com a

CTC, representada pelos valores de PST, foram incrementados pela aplicação de efluente de abatedouro, em todas as doses de AN, em relação a irrigação com água superficial.

Miranda et al. (2010), ao irrigar capim *Panicum maximum* Tanzânia e Mombaça, com efluente de carcinicultura, observaram incremento significativo nos teores de sódio, CE e PST do solo. Os estudos de Silva (2013) e Fonseca (2007) também relatam incrementos nos teores de sódio em solos irrigados com esgoto doméstico tratado.

Figura 12. Sódio (Na) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo para os tratamentos, 172 dias após a irrigação. T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

A partir do corte 1 (dezembro) até o final de avaliação do experimento, a irrigação praticamente não ocorreu, devido a ocorrência de precipitações (Tabela 10). O sódio aportado pela água residuária foi eliminado no período do verão, quando a irrigação foi reduzida pelas chuvas, não apresentando diferença estatística aos 270 DAI. Em regiões onde as precipitações são concentradas em períodos do ano, a salinidade presente nos efluentes não é limitante para o reúso agrícola. Este comportamento pode estar associado a duas situações: primeiro, a lixiviação do elemento no período das chuvas, que concordaria com os resultados encontrados por Mancino e Pepper (1992), cuja concentração de sódio no solo incrementou com o tempo, ao irrigar capim Bermuda com esgoto tratado, mas diminuíram com as chuvas. Pereira et al. (2011) e Fonseca (2007) também obtiveram resultados semelhantes, e segundo Fonseca (2007) é difícil prever a dinâmica do sódio nos sistemas água-solo-planta; segundo, por meio da extração do elemento pela forragem. Tais fatos justificam a concentração de sódio no solo serem semelhantes antes (0,47) e após (0,57) o período experimental.

A ausência de lâminas com efluente refletiu no comportamento dos teores de K, Mn, Ca e na porcentagem de saturação por bases ($V^0\%$), cujos valores médios entre as duas camadas analisadas estão apresentados na Figura 13. De modo geral, o tratamento T1 apresentou teores superiores para as variáveis analisadas, em relação aos tratamentos irrigados com efluente de abatedouro. Os tratamentos T2 e T3 apresentaram os menores teores de K, enquanto que o tratamento T5 teve o menor teor de Ca no solo, refletindo em uma menor porcentagem de saturação por bases para os tratamentos T3 e T5. Em relação ao Mn, todos os tratamentos irrigados com efluente apresentaram teores inferiores ao tratamento T1.

Figura 13. Potássio (K), cálcio (Ca), manganês (Mn) e saturação por base (V) do solo para os tratamentos, 270 dias após a irrigação.

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

A redução de K para os tratamentos com efluente, em relação a T1 (Figura 13) é diferente daquele encontrado por Silva (2013), cujo teor foi superior. Porém, foram semelhantes aos encontrados por Fonseca (2007) e Pereira et al. (2011). Tal fato pode estar associado pela substituição do K por outros cátions. O excesso de nitrogênio amoniacal ($N-NH_4^+$) aplicado ao solo pelos tratamentos com efluente, no período inverno-primavera, pode ter causado uma competição na adsorção desses elementos no solo, uma vez que os mesmos apresentam forças de adsorção semelhantes, pela monovalência (força de adsorção: $Al^{3+} = H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na$) (Epstein e Bloom, 2006).

O menor teor de Ca no solo para o tratamento T5 está associado a maior extração deste nutriente pela forragem (Tabela 21). A produção de massa seca do tratamento T5 nos cortes 2 e 3, foi superior aos demais tratamentos (Tabela 18), aliado a concentração do elemento na cultura (Tabela 20).

4.5. Forragem

4.5.1. Altura

O crescimento do capim-*coastcross* pela sua altura, ao longo do tempo, foi observado um lento crescimento no período de maio a novembro de 2017. Diversos fatores podem ter contribuído para tal comportamento durante este período, dentre eles, a temperatura do ar que foi inferior aquela considerada ideal para o desenvolvimento da planta forrageira, o estresse hídrico sofrido pela cultura, decorrente da sazonalidade do sistema de abate, alta demanda hídrica e baixa intensidade pluviométrica, e o período de adaptação às novas condições de manejo. Carvalho (2017), ao trabalhar com amendoim forrageiro, relata que as respostas aos tratamentos durante seu primeiro ciclo de avaliação (verão) e o período de adaptação da planta forrageira (60 a 90 dias antes) foram similares. Segundo o autor, nessas épocas a massa de forragem e a taxa de acúmulo de estolões foram maiores, em decorrência do comportamento de espécies estoloníferas alongar estolões nas fases iniciais, como uma estratégia de colonização. Este comportamento elucidaria o lento desenvolvimento da forragem no presente experimento, uma vez que a área antes do início dos tratamentos, estava infestada por *Brachiária decumbens*.

As condições climáticas predominantes, após o corte de uniformização, com decréscimo da temperatura mínima do ar, para valores abaixo da temperatura basal inferior do capim-*coastcross* interferiram na produção do capim. Muller et al., (2002) encontraram uma relação positiva entre o aumento da produção de forragem, com o aumento do nível da lâmina de água diária e a da temperatura mínima do ar. Esse fato elucidou a sazonalidade na produção de forragem, em que, mesmo sob condições hídricas favoráveis no período do inverno, por meio de sistemas irrigados, não reverte em ganhos de produção significativa.

O aumento da temperatura do ar a partir do mês de setembro (Figura 9) elevou a demanda de água pela cultura, como observado pelo incremento das lâminas de irrigação neste período (Figura 11). Nesta fase, era esperado a retomada do crescimento da forragem, entretanto a sazonalidade na geração de efluentes pelo abatedouro, provocou déficit hídrico no solo nos meses de setembro e outubro.

A partir do mês de outubro, o reestabelecimento da umidade do solo para valores próximos a capacidade de campo e o incremento na temperatura do ar, refletiram no desenvolvimento da forragem, com o aumento da altura do dossel.

Na Tabela 17 são apresentados os valores de altura média para cada corte, durante o período experimental. É possível observar no primeiro corte uma altura inferior aos demais, uma vez que a decisão do corte não foi quando a altura de cada tratamento atingisse uma média de 25 cm, e sim, uma decisão estratégica, pelo longo intervalo a partir do início da irrigação. Os cortes 2, 3 e 4 não diferiam estatisticamente, devido ao manejo adotado, porém a média de corte foi um pouco acima dos 25 cm como inicialmente proposto.

Tabela 16. Altura média de corte do capim-*coastcross* para cada corte de avaliação.

CORTES	ALTURA (cm)
1	22,23 b
2	27,06 ab
3	27,74 a
4	27,71 a
CV (%)	8,86

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

4.5.2. Produção de Massa Fresca e Massa Seca

Durante o período de inverno-primavera foi realizado apenas um corte de avaliação da forragem (corte 1). Nesta avaliação, a regressão foi significativa para a produção de massa fresca, com contraste entre T1 e T5 (Figura 14). A capacidade produtiva da forragem nos tratamentos propostos refletiu diretamente a demanda hídrica da cultura (Tabela 10), e, conseqüentemente o aporte de nutrientes (Tabela 12). O tratamento irrigado com efluente e adição de 100% da adubação nitrogenada (T5) teve a maior lâmina de água aplicada, devido a sua maior produção no corte 1 (período do inverno-primavera). O mesmo comportamento se justifica para o tratamento irrigado com água superficial e adição de 100% da adubação nitrogenada (T1), no período do verão (Tabela 10), em que a demanda de água foi superior aos demais tratamentos.

O maior incremento de produção no tratamento T5 está relacionado ao aporte do nitrogênio pela irrigação com efluente tratado de abatedouro. Entretanto, é possível observar que entre os tratamentos T1 e T2 não houve diferença significativa, sugerindo que a irrigação do pasto apenas com efluente seria capaz de suprir a demanda de suplementação nitrogenada, para este valor de produção.

A quantidade de nitrogênio aportada pelos tratamentos irrigados com efluentes evidência o potencial de reúso dessa fonte de água, na irrigação de culturas agrícolas, como observado por alguns estudos (FONSECA et al., 2007; GOMES et al., 2009; GOMES et al., 2015; LEAL et al., 2009), que encontraram reduções significativas na adubação nitrogenada, com a aplicação de águas residuárias na irrigação dos cultivos.

Durante o período do verão foram realizados 3 cortes para avaliação da produção (corte 2, corte 3 e corte 4). Ao avaliar a produção total neste período, é possível observar que o tratamento T1 teve a maior produção de massa fresca, com contraste com todos os tratamentos irrigados com efluente. A produção total de massa fresca de forragem (somatório de todos os cortes) foi superior para o tratamento T1, apresentando contraste com os tratamentos T2, T3 e T4 (Figura 14), sem diferença com o tratamento T5.

Figura 14. Produção de massa fresca de forragem, para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017, verão de 2018 e produção total (verão + inverno-primavera).

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

A produção de massa seca não foi significativa pelo teste de médias, para o período de inverno-primavera, cujo valor médio de massa seca foi de 1.932 kg ha⁻¹. A produção de massa seca no período do verão e a produção total de massa seca (somatório de todos os cortes) foram significativas, sendo a produção do tratamento T1 superior aos demais tratamentos (Tabela 18).

Os valores de produção de massa seca encontrados no presente trabalho estão dentro daqueles relatados na literatura, levando em consideração que estes valores se referem a 4 ciclos de corte da cultura. Tonato (2003) obteve acúmulo de forragem de 15.500 kg MS ha⁻¹ no período do verão (7 cortes) e 6.300 kg MS ha⁻¹ no período do inverno (6 cortes), para o capim-*coastcross*, aplicando 400 kg de N ha⁻¹. Outros autores, obtiveram produções de 25.00 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ (VILLELA; ALVIM, 1998), 20.000 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ (ALVIM et al., 1996); 5.400 a 16.000 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2011).

Tabela 17. Produção acumulada de massa seca de forragem, no período do verão de 2018 e produção total de massa seca de forragem (somatório de todos os cortes), para os tratamentos.

Tratamentos	Verão 2018	Produção total
	-----MS (kg ha ⁻¹)-----	
T1	7321,30 a	9163,80 a
T2	5061,65 b	6953,02 b
T3	4641,55 b	6501,86 b
T4	4623,65 b	6373,61 b
T5	5351,85 b	7669,41 b
CV (%)	7,58	8,97

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

4.5.3. Análise química da parte aérea

Os teores de nutrientes na parte aérea do capim-*coastcross* foram analisados em dois momentos durante a pesquisa, ao final do período inverno-primavera/2017 e ao final do período verão/2018 (Tabela 19). Os elementos N, K, Ca, Mg e S apresentaram os maiores teores no período do verão, e os demais (P, Na, Mn e Zn) foram superiores no inverno-primavera. Nesta estação, para P e Na, o incremento nos teores está associado a maior disponibilidade no solo (Figuras 12 e Tabela 16).

As plantas, no período inverno-primavera, também, apresentaram um comportamento de colonização, como já citado anteriormente (item 4.5.1), com maior demanda por fósforo, para as funções de armazenamento e transferência de energia, durante a fotossíntese, respiração e síntese de proteínas (MALAVOLTA, 2006), acelerando a formação de raízes e aumentando o seu perfilhamento (LOPES et al., 2011).

Os teores de nutrientes na parte aérea da planta forrageira, durante a condução do experimento, foram adequados segundo a literatura, para quase todos os elementos, com exceção do magnésio, sódio e boro. No caso do sódio, os teores foram acima do relatado na literatura (Tabela 19).

A deficiência no primeiro corte para magnésio está associada à competição desse elemento com o nitrogênio (Batista e Monteiro, 2010). Da mesma forma, o boro foi reduzido na folha, segundo Malavolta (2006) por inibição não-competitiva.

Tabela 18. Teores de nutrientes na parte aérea do capim-*coastcross*, no período do inverno-primavera de 2017 e verão de 2018.

Referência	15-25	1,5-3	15-30	3,0-8,0	2,0-4,0	1,0-3,0	158@	10,0-25	50-200	40-200	30-50
	-----g kg ⁻¹ -----							-----mg kg ⁻¹ -----			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Fe	Mn	Zn
Inverno - primavera	22,34 b	2,66 a	19,72 b	3,99 b	1,47 b	1,41 b	1310 a	5,90 b	101,71 b	62,76 a	41,70 a
Verão	25,69 a	1,48 b	21,08 a	4,46 a	2,22 a	2,05 a	820 b	7,08 a	106,80 a	57,74 b	40,45 b
CV (%)	0,01	12,44	0,12	0,59	0,14	1,34	15,25	6,37	2,33	1,55	0,79

Referência: Werner et al. (1996); @: Malavolta (2006). CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 20 são apresentados os resultados médios dos cortes 1 e 3 para os tratamentos. Os tratamentos irrigados com efluente apresentaram maiores teores de nitrogênio na folha. Todavia, o tratamento com água apresentou maior teor de magnésio e enxofre, este último, não diferindo do tratamento T2.

O aporte de nitrogênio pelo efluente, além de outros cátions, pode ter ocasionado uma competição com o Mg, que justifica os seus maiores teores no tratamento irrigado com água superficial (T1). Esse comportamento sugere que ao irrigar com efluente de abatedouro é necessário suplementação com magnésio.

O teor de enxofre nas folhas reflete o potencial produtivo deste tratamento, uma vez que o enxofre eleva a síntese de proteínas e consequentemente a produção da forragem (BONFIM-SILVA; MONTEIRO, 2010).

Embora em menor concentração no solo, não foi observada deficiência de K na forragem. Os maiores teores de potássio nas folhas ocorreram nos tratamentos T5 e T1, respectivamente, ambos com as maiores produções de massa fresca (Figura 14). O potássio tem influência direta no metabolismo do nitrogênio nas plantas, incrementando a atividade da enzima redutase do nitrato (MEGDA; MONTEIRO, 2010), responsável pela absorção do nitrogênio, necessário na síntese de aminoácidos e proteínas (SILVA et al., 2011).

Tabela 19. Teores de nutrientes da parte aérea do capim-*coastcross*, para os tratamentos (média de dois cortes 1 e 3).

Referência	15-25	15-30	3,0-8,0	2,0-4,0	1,0-3,0	50-200	40-200	30-50
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----		
Tratamentos	N	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn
T1	21,40 e	21,04 b	4,22 c	2,07 a	1,87 a	114,85 a	80,97 a	48,49 a
T2	24,76 b	19,31 d	3,95 d	1,93 b	1,81 ab	105,17 b	51,98 c	40,75 c
T3	21,71 d	19,80 c	4,18 c	1,52 e	1,68 c	100,58 bc	55,17 b	37,06 d
T4	23,94 c	19,09 e	4,43 a	1,90 c	1,53 d	94,89 c	57,45 b	35,12 e
T5	28,27 a	22,77 a	4,33 b	1,82 d	1,77 b	105,81 b	57,46 b	43,98 b
CV (%)	14,81	10,45	9,8	29,29	16,83	24,53	17,44	28,9

Referência: Werner et al. (1996); T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Próprio autor.

A extração de nitrogênio pelo capim-*coastcross* (Tabela 21) foram superiores para os tratamentos T5 e T1, que receberam a maior dose de adubação nitrogenada. O tratamento T2 que não recebeu adubação nitrogenada apresentou maior extração de nitrogênio, do que os tratamentos T3 e T4. Dessa forma, é possível observar o decréscimo na recuperação do nitrogênio pela planta forrageira, submetida a altas doses de adubação nitrogenada, que reduz a eficiência na produção de matéria seca (Primavesi et al., 2000).

A extração de potássio, cálcio e magnésio pelas plantas (Tabela 21) foram maiores para os tratamentos com maiores produções (Tabela 18).

Tabela 20. Extração total de nutrientes (kg ha⁻¹) pelo capim-*coastcross*.

Tratamentos	Extração de N	Extração de K	Extração de Ca	Extração de Mg
	-----Kg ha ⁻¹ -----			
T1	196,11	192,81	38,67	18,97
T2	172,16	146,29	29,34	14,39
T3	141,16	136,80	27,44	13,46
T4	152,58	134,10	26,90	13,19
T5	216,81	161,36	32,36	15,88

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. Fonte: Próprio autor.

4.5.4. Análise bromatológica

As análises bromatológicas foram realizadas ao final do período inverno-primavera e ao final do período de verão. A Tabela 22 apresentam os valores de massa seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). A qualidade da forragem foi influenciada pela época do ano, sendo superior para o verão. Os maiores teores de proteína bruta no período do verão, quando comparado com o período do inverno, estão de acordo com Oliveira et al. (2011), que encontraram teores maiores de proteína bruta no *capim-coastcross*, com intervalo de corte menores, para doses mais altas de nitrogênio.

A redução do teor proteico no período do inverno-primavera, pode ser justificada pela menor relação entre folha e colmo em idade mais avançada, bem como pelo efeito de diluição na massa de forragem produzida (OLIVEIRA et al, 2000).

A matéria mineral fornece indicação da concentração dos nutrientes minerais da forragem. Segundo Edwards e Bogdan, citado por Alcântara (1951), a porcentagem de matéria mineral no *capim-coastcross* com idade de 21 dias foi de 10,4%. Já Nogales, citado pelo mesmo autor, encontrou valores de 9,4% para forragem colhida aos 40 dias e 7,02% para forragem colhida aos 60 dias, que corrobora com os resultados do presente experimento, no período do verão, com intervalos menores de corte, o teor de matéria mineral foi maior. Outro fator, decorre da maior disponibilidade de água no solo que incrementa a absorção de nutrientes pela planta.

Os valores de FDN apresentados estão dentro dos valores médios relatados para as gramíneas tropicais, que possui uma variação de 81,2 a 74,5% (OLIVEIRA et al., 2011), porém superiores aos relatados por Alvim et al. (1997), cujos valores na época da seca e da chuva foram de 60,7% e 53,1%, respectivamente, e inferiores aos relatados por Quaresma et al. (2011). Manno et al. (2000) e Ítavo et al. (1999) encontraram valores de 36,70% e 38,83%, respectivamente, de FDA para o *capim-coastcross*.

Tabela 21. Massa seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), na parte aérea do *capim-coastcross*, no período do inverno-primavera de 2017 e verão de 2018.

	MS	MM	PB	FDA	FDN
	-----% na MS-----				
Inverno - primavera	92,45 b	6,68 b	12,96 b	43,59 a	76,74 a
Verão	95,53 a	7,82 a	18,82 a	36,50 b	70,21 b
CV(%)	0,73	4,07	14,8	4,33	3,26

CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na linha, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

O corte realizado na época de inverno-primavera apresentou diferença estatística apenas para a porcentagem de massa seca e proteína bruta (Tabela 23), com contraste entre T1 e T5 para ambas as variáveis analisadas. Entre os tratamentos irrigados com efluente, não houve diferenças para o teor de MS e PB. Sohm et al. (2014) observaram comportamento semelhante, com incremento no teor de PB, para taxas de nitrogênio entre 200 e 672 kg ha⁻¹. ALVIM; VILELA; LOPES, (1997) encontraram 15,6% de PB

no capim-*coastcross* e Tonato (2009) encontrou valores de 10,8% e 13,9%, para manejo de corte de quatro e seis semanas, respectivamente, no período do inverno.

Embora os tratamentos T1 e T5 tenham recebido a mesma dose de fertilizante nitrogenado, o maior teor de proteína bruta no tratamento T5, demonstra que o efluente refletiu em melhor qualidade de forragem. O que corrobora com os valores obtidos para os tratamentos T1 e T2, em que a irrigação só com efluente foi igual a irrigação com água superficial e 100% da AN.

Tabela 22. Porcentagem de massa seca e proteína bruta, para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017.

	MS (%)	PB em % MS
T1	93,47 a	11,57 b
T2	92,09 ab	13,57 ab
T3	92,41 ab	11,93 ab
T4	92,71 ab	12,73 ab
T5	91,57 b	15,01 a
CV (%)	0,80	11,79

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas de letras diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

Durante o período do inverno-primavera a irrigação com efluente, sem a adição de adubação nitrogenada (T2) foi suficiente para manter a produtividade (Figura 14) e a composição química e bromatológica do capim, com valores adequados (Tabela 20 e Tabela 23), uma vez que não houve diferença com o tratamento irrigado com água superficial, refletindo na economia do uso do fertilizante nitrogenado.

Para a época do verão houve diferença estatística para a variável matéria mineral (Figura 15), porém não apresentou diferença com o tratamento irrigado com água superficial, que reflete a maior absorção de nutrientes durante este período, observados nos teores foliares.

Figura 15. Porcentagem de matéria mineral em (%MS), do capim-*coastcross*, no período do verão de 2018.

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

A composição bromatológica do capim foi superior no verão, em relação ao período do inverno-primavera. No entanto, o valor nutritivo da forragem, durante as duas estações, está dentro dos intervalos esperados para a produção de feno (EMBRAPA, 2000).

4.6. NDVI

Na Figura 16 é possível observar o aumento do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com o desenvolvimento da planta forrageira ao longo do tempo. O aumento da produção de fitomassa, teve relação direta com o NDVI, que se mostrou bom indicador de produtividade (SIMÕES et al., 2015).

Figura 16. Índice de vegetação por diferença normalizada do capim-coastcross, ao longo do tempo, no período inverno – primavera de 2017.

Fonte: Próprio autor.

Na Figura 17 é possível observar maiores índices no período do verão, quando comparado com o inverno. Tal fato pode estar associado a fatores fisiológicos, como maior presença de pigmentos e água nas folhas, devido ser uma estação chuvosa, que aumenta a reflectância na faixa do NIR. Outro fator, se deve ao intervalo de corte maior no inverno e a concentração de sódio mais altas nesse período, que reduz a reflectância (LIU, 2006).

No período do inverno-primavera o tratamento irrigado com água superficial apresentou os menores índices, em decorrência do menor aporte de nitrogênio. Já no período do verão, o maior índice de NDVI foi para o tratamento T4. O tratamento T4 teve o segundo maior aporte de nitrogênio (680 kg ha⁻¹) via irrigação com efluente, porém a extração de nitrogênio não foi tão significativa, comparada aos demais tratamentos, refletindo no NDVI. O maior teor de nitrogênio nas folhas elevou o índice, como observado por Molin et al. (2010), em que o NDVI diferenciou as doses de nitrogênio aplicadas na cultura da cana.

Figura 17. Índice de vegetação por diferença normalizada, do capim-coastcross, para os tratamentos, no período de inverno – primavera de 2017 e verão de 2018.

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$).
 Fonte: Próprio autor.

Na Figura 18 é possível observar o valor de NDVI para cada corte de avaliação (Avaliação 3) durante a condução do experimento. No corte 1 o valor mais alto de NDVI para o tratamento T5, reflete a produção de massa fresca e massa seca relatada naquele tratamento. No corte 2, os altos índices para os tratamentos T3 e T4 está relacionado ao aporte de nitrogênio pela irrigação com efluente, aliado ao fato de que nesses tratamentos, a extração de nitrogênio, foi menor. No corte 3 não há diferença entre os tratamentos irrigados com efluente e o tratamento irrigado com água. No corte 4, o tratamento T2 apresenta o menor índice e o tratamento T4 o maior índice, respectivamente, quando comparados com a testemunha. Bauer et al. (2015), ao avaliarem as respostas do NDVI para o capim Tifton 85, sob déficit de água e doses de nitrogênio, observaram que a similaridade de resposta das plantas ao déficit hídrico e a adubação nitrogenada, reduz a sensibilidade do NDVI, quando estas duas variáveis estão correlacionadas. Esse fato pode estar relacionado ao comportamento observado no corte 3, em que as precipitações aumentaram e foi realizada uma adubação para reestabelecimento da planta forrageira. Os mesmos autores também relataram que o NDVI foi maior para os meses com maiores aplicações de água e que foi sensível as maiores e menores taxas de aplicação de nitrogênio, porém não foi sensível as taxas próximas, fato este, que pode ser observado, no período do inverno.

Figura 18. Índice de vegetação por diferença normalizada, do capim-coastcross, para os tratamentos, em cada corte realizado no período inverno – primavera de 2017 e verão de 2018.

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$).
Fonte: Próprio autor.

4.7. Imagens termográficas

Na Figura 19 é possível observar, que com o desenvolvimento da planta forrageira ao longo do período inverno – primavera (Avaliação 1), a temperatura do dossel foi reduzindo. Resultados semelhantes foram observados por Prashar et al. (2013), na cultura da batata, que encontraram correlação negativa entre a temperatura do dossel e a altura das plantas.

Figura 19. Temperatura máxima (TMAX), temperatura média (TMED) e temperatura mínima (TMIN), para o dossel do capim-coastcross, avaliada ao longo do tempo, no período inverno – primavera de 2017.

Fonte: Próprio autor.

Os tratamentos T4 e T5 apresentaram temperatura do dossel inferiores a temperatura do ar (Figura 20). A diferença de temperatura entre a planta e o ar, conhecida como “grau de estresse diário, pode ser utilizada para expressar o potencial produtivo da cultura, em condições ambientais adversas (IDSO; JACKSON; REGINATO, 1977). Assim, é possível observar o efeito da irrigação com efluente, como fonte de água e nutriente para as culturas, durante o período de inverno-primavera, que proporcionou uma redução na temperatura do dossel, cujos resultados semelhantes foram observados por Guo et al. (2016).

No corte 3 (período verão) é possível observar um cenário oposto ao corte 1, em que apenas o tratamento irrigado com água superficial, estava em condições favoráveis de produção. Tal fato, está mais associado as questões climáticas do dia do corte (temperatura média do ar de 25°C e umidade relativa do ar média de 75%), do que a resposta do tratamento, uma vez que no corte 4, todos os tratamentos, apresentaram condições de estresse, para temperatura do ar acima de 30°C.

Ao comparar os tratamentos T1 e T5, no corte 4, é possível observar que sob as mesmas condições de adubação nitrogenada (100%), ambos apresentaram condições de estresse. Porém esse comportamento foi diferente do observado no corte 1, em que o aporte de nutrientes pela irrigação com efluente, proporcionou ao tratamento T5 uma condição favorável de desenvolvimento, sob altas temperaturas.

A maior produção de forragem no período do verão pelo tratamento irrigado com água superficial e adição de 100% da adubação nitrogenada, não refletiu em menor temperatura do dossel da forragem, ao contrário do que foi observado, para o tratamento irrigado com efluente de abatedouro na mesma dose de fertilizante nitrogenado no período do inverno-primavera. Tais resultados indicam que o aporte de nutrientes via irrigação com efluente, foram essenciais para manter o estado nutricional das plantas adequados, para expressarem o seu potencial produtivo.

Figura 20. Temperatura média do dossel irrigado com efluente (TMED), temperatura média do ar durante o período de avaliação dos tratamentos irrigados com efluente (TAR) e temperatura média do ar durante o período de avaliação do tratamento irrigado com água superficial (TAR T1), nos cortes de avaliação da produção da forragem.

T1: irrigação com água superficial e adição de 100% de adubação nitrogenada (AN). T2, T3, T4 e T5: irrigação com efluente tratado de abatedouro e adição de 0, 33%, 66% e 100% de AN. # difere da testemunha (T1) pelo teste de Scheffé ($p < 0,05$). Fonte: Próprio autor.

4.8. Correlação

O NDVI foi adequado para estimar a produção e o teor de nitrogênio foliar no capim-*coastcross* irrigado entre as diferentes fontes de água (efluente de abatedouro e água superficial), com correlação moderada entre as variáveis (Tabela 24). Entre o NDVI e o teor de proteína bruta observa-se uma correlação forte entre os dados (Tabela 24). Todavia, mais estudos são necessários para identificar quais faixas do índice refletem uma condição adequada da produção e estado nutricional, sob a interação do fornecimento de água e nutrientes, pelos sistemas irrigados com efluente.

O uso de imagens termográficas requer maiores estudos que correlacionem as respostas fisiológicas das plantas, em sistemas de produção de forragem, irrigados com efluente tratado de abatedouro. Porém, as imagens também foram úteis para avaliar a produção de massa fresca de forragem, de forma não destrutiva, com correlação moderada entre as variáveis (Tabela 24).

Tabela 23. Correlação de Spearman entre as leituras de NDVI e temperatura média do dossel (TMED) por imagens termográficas, com a produção de massa fresca (MF), teor de nitrogênio na parte aérea (N) e teor de proteína bruta na parte aérea (PB), do capim-*coastcross*.

	NDVI	TMED
MF	0,32*	-0,36*
N	0,45*	-0,24 ^{ns}
PB	0,71*	-0,21 ^{ns}

*Significativo a 1% de probabilidade. ^{ns}: não-significativo. Fonte: próprio autor.

5. CONCLUSÕES

O efluente de abatedouro tratado por sistema anaeróbio garantiu a produção e a qualidade do capim-*coastcross*, para a produção de feno. A composição química da forragem no verão foi superior ao período inverno-primavera.

Foi possível substituir 100% da adubação nitrogenada pelo efluente de abatedouro no período inverno-primavera, mantendo a produção e composição química do capim-*coastcross*, quando comparado com o tratamento controle (água superficial com 100% da adubação nitrogenada).

A produção da forragem no verão foi superior nos tratamentos com 100% da adubação nitrogenada, em ambas as fontes de água (efluente e água superficial).

O estado nutricional da forrageira foi adequado, inclusive para os tratamentos com efluente tratado de abatedouro, no período com baixo volume de irrigação (verão). O maior aporte de nitrogênio pelas águas residuárias de abatedouro reduziu a absorção de magnésio pelas plantas, sugerindo suplementação desse elemento, quando houver esse tipo de irrigação.

O reúso agrícola no período inverno-primavera aumentou os teores de matéria orgânica, fósforo e sódio no solo. A precipitação ocorrida no verão reduziu a salinidade do solo, nos tratamentos com efluente. Ainda no verão, foi observado antagonismo entre potássio e o nitrogênio na forma amoniacal.

A avaliação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) refletiu a produção da planta forrageira no tempo, para os tratamentos. Quando aplicado entre as diferentes fontes de água, o índice correlacionou-se com o teor de proteína bruta, entretanto não fez diferença entre as doses de nitrogênio nos tratamentos com efluente.

As imagens termográficas relacionaram a diminuição da temperatura do dossel com o aumento da produção do capim.

REFERÊNCIAS

- ABEGUNRIN, T. P.; et al. Catena Impact of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties , growth and water use pattern of two indigenous vegetables in southwest Nigeria. **Catena**, v. 139, p. 167–178, 2016.
- ACUNHA, J. B. V.; COELHO, R.W. Efeito da altura e intervalo de corte do capim-elefante-anão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n. 1, p. 117-122, 1997.
- ADDY, V. J. et al. Microbiological Assessment of Abattoir Effluent on Water Quality of River Katsina-Ala, Nigeria. **International Letters of Natural Sciences**, v. 39, p. 73–79, 2015.
- ALCÂNTARA, P. B.; BUFARAH, G. Plantas forrageiras: Gramíneas e Leguminosas. São Paulo: Nobel, 1988. 347p.
- ALVIM, M. J. et al. In: WORKSHOP SOBRE POTENCIAL FORRAGEIRO DO *CYNODON*, 1996. Juiz de Fora, MG. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1996. 181 p.
- ALVIM, M.J.; VILELA, D.; LOPES, R.S. Efeitos de dois níveis de concentrado sobre a produção de leite de vacas da raça Holandesa em pastagem de coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 26, n.5 p. 967-975.1997.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017.
- ANA. **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos** / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2017b. 37p.
- APHA/AWWA/WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION/ WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 22. ed. Washington, 2012, 1496p.
- ASSOCIATION OF OFFICIALANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 20 ed. Arlington: AOAC, 2016. 3100 p.
- AYRES, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno., v. 29 revisado 1 (FAO).
- BAILONE, R. L.; ROÇA, R. O. Tendências no processamento de frangos de corte: uso racional da água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 65–72, 2017.
- BARANA, A. C. et al. Rational use of water in a poultry slaughterhouse in the state of Paraná, Brazil: a case study. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 171–178, 2014.
- BARNES, R.F; et al. – **Forages – An introduction to grassland agriculture**. 6 ed. Iowa:Blackwell Publishing, 2003.
- BASÍLICO, G.; DE CABO, L.; FAGGI, A. Impacts of composite wastewater on a Pampean stream (Argentina) and phytoremediation alternative with *Spirodela intermedia* Koch (Lemnaceae) growing in batch reactors. **Journal of Environmental Management**, v. 115, p. 53–59, 2013.

- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 2010, vol.34, n.1, p.151-161.
- BAUER, P. J. et al. Water Deficit and Nitrogen Fertilizer Effects on NDVI of “Tifton 85” Bermudagrass during Regrowth. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 31, n. 1, p. 97–102, 2015.
- BECERRA-CASTRO, C. et al. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, p. 117–135, 2015.
- BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Utilização de esgotos sanitários para produção de alimentos para animais: aspectos sanitários e produtivos. **Revista Ceres**, Viçosa. v. 56, p. 480 - 487, 2009.
- BERDUGO, C. A. et al. Fusion of sensor data for the detection and differentiation of plant diseases in cucumber. **Plant Pathology**, v. 63, n. 6, p. 1344–1356, 2014.
- BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação**. 2003. 63f. Monografia, SEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL. Brasília. 2003.
- BERNARDI, a C. D. C. et al. Variabilidade espacial de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intensivo. **Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, p. 513–522, 2014.
- BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim- braquiária em degradação. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1641–1649, 2010. Disponível em: <www.sbz.org.br>. Acesso em: 12 maio. 2018.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no **Diário Oficial**.
- BRASIL. Resolução n. 121, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Publicado no **Diário Oficial**.
- BRASIL. Decreto n. 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal. **Lex:** Coletânea de Legislação e Jurisprudência, Brasília, 29 de março de 2017.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 287–302, 2015.
- CALLEGARI-JACQUES SM (2003) Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre, Artemed. 255p.
- CARVALHO, J. A. de et al. Controle químico de *Brachiaria decumbens* em pastagem de *Cynodon dactylon* híbridos Coast-cross e Tifton 85. **Rev. Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 1, p. 105–111, 2005.

- CARVALHO, L. R. **Respostas agronômicas, reservas orgânicas e fixação biológica de N em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* Krapovickas & Gregory cv. Belmonte) sob pastejo.** Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 05/05/2018.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - CETESB/ANA. **Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras de água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas.** Org. Carlos Jesus Brandrão et al. São Paulo: CETESB, Brasília: ANA, 2011. 326 p.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura.** CETESB, 2006. 11 p.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 16 mai. 2011. n. 92, p. 89.
- CORTIZO, E. C.; BARBOSA, M. P.; SOUZA, L. A. C. Estado da arte da termografia. **Forum Patrimônio: ambiente construído e patrimônio sustentável**, v. 2, p. 158–193, 2008.
- COSTA, K. A. P. et al. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**. V.6, p. 187-193, jul/set. 2005.
- COSTA, J. M.; GRANT, O. M.; CHAVES, M. M. Thermography to explore plant – environment interactions. v. 64, n. 13, p. 3937–3949, 2013.
- DEMIREL, B., YENIGUN, O., ONAY, T.T. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review. **Process Biochemistry**. v. 40, p. 2583–2595, 2005.
- DONATTI, R. N. et al. Sodium phytoremediation by green manure growing in soil irrigated with wastewater of dairy industry. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 4, p. 665-675, Aug. 2017
- DORNELLES, F. **Análise da gestão dos tratamentos dos efluentes gerados nos abatedouros de bovinos de São Luiz Gonzaga.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/8115?show=full>>. Acesso em: 01/05/2018.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Qualidade do feno. Embrapa Gado de Leite, 2000. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_330_217200392414.html>. Acesso em: 10/05/2018.

- ERTHAL, V. J. T. et al. de. Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 458–466, 2010.
- FABBI, L. M.; TOMAZELLI, I. B.; FILIPINI, T. A. Monitoramento de efluentes em agroindústrias de Chapecó, Santa Catarina. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 67–82, 2007.
- FERREIRA, D. F. (2011) Sisvar: **A computer statistical analysis system**. *Ciência e Agrotecnologia* 35:1039-1042.
- FONSECA, S. P. P. et al. Avaliação preliminar do tratamento de esgoto doméstico bruto pelo método do escoamento superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 1999, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas, 1999.
- FONSECA, S. P. P. et al. Avaliação do valor nutritivo e contaminação fecal do capim-coastcross cultivado nas faixas de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial. **Rev. Engenharia Agrícola**, v. 21, n. 3, p. 293-301, 2001.
- FONSECA, A. F. **Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistemas solo-pastagem. Tese Doutor em Solos e Nutrição de Plantas** - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 01/04/2018.
- FONSECA, A. F. et al. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v. 87, n. 3, p. 328–336, 2007.
- FONSECA, J. M.; PERES, A. P. Aplicação das ferramentas produção mais limpa e análise de modos de efeitos e falha em abatedouro-frigorífico de suínos. **Boletim Indústria Animal**, v. 74, n. 2, p. 105–115, 2017.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEMA). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Diagnóstico ambiental das indústrias de abate do Estado de Minas Gerais: atualização**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 122 p. Disponível em: < <http://www.feam.br/noticias/1/1286-diagnostico-ambiental-das-industrias-de-abate-do-estado-de-minas-gerais>>. Acesso em: 17 abr. 2018.
- GARCIA, G. de O. et al. Massa seca e extração de nutrientes por duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, 2014.
- GENUCHTEN, M.T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.
- GERBER, M. D. et al. Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 86–90, 2017.
- GLENN, D. M. Infrared and Chlorophyll Fluorescence Imaging Methods for stress evaluation. **Hort. Science**, v. 47, 2012.
- GROHS, D. S. et al. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n.1, p.101-112, 2009.

- GOMES, T. M. et al. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. **Revista DAE**, São Paulo, v. 57, n. 180, p. 1-7, 2009.
- GOMES, T. M. Treated dairy wastewater effect on the yield and quality of drip irrigated table beet. **Applied Engineering In Agriculture**, St Joseph, p. 255-260, 2015.
- GUIMARÃES, M. S. **Desempenho produtivo, análise de crescimento e características estruturais do dossel de dois capins do gênero *Cynodon* sob duas estratégias de pastejo intermitente**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 01/05/2018.
- GUO, J. et al. Evaluation of the grain yield and nitrogen nutrient status of wheat (*Triticum aestivum* L.) using thermal imaging. **Field Crops Research**, v. 196, p. 463–472, 2016.
- HARRIS, P. W.; MCCABE, B. K. Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. **Applied Energy**, v. 155, p. 560–575, out. 2015.
- _____. IBGE. Pesquisa Trimestral do abate de animais. IBGE, 2018. Disponível em< <https://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02/05/2018.
- IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, R. J. Remote-sensing of crop yields. **Science (New York, N.Y.)**, v. 196, n. 4285, p. 19–25, 1977.
- ÍTAVO, L.C.V.; GOMES, L.I.; JOBIM, C.C. et al., Composição e parâmetros de fermentação de silagens de gramíneas do gênero *Cynodon*. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 36, 1999. Porto Alegre – RS. **Anais..** Porto Alegre:SBZ, 1999.
- JAROŠOVÁ, B. et al. Europe-wide survey of estrogenicity in wastewater treatment plant effluents: the need for the effect-based monitoring. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 18, p. 10970–10982, 2014.
- KARLEN, D.L.; VITOSH, M.L.; KUNZE, R.J. Irrigation of corn with simulated municipal sewage effluent. **Journal os Environmental Quality**, v.5, p. 269-273, 1976.
- K'OREJE, K. O.; et al. Occurrence patterns of pharmaceutical residues in wastewater , surface water and groundwater of Nairobi and Kisumu city , Kenya. **Chemosphere**, v. 149, p. 238–244, 2016.
- KABIRU, L. M.; et al. Detection of pathogenic *Escherichia coli* in samples collected at an abattoir in Zaria, Nigeria and at different points in the surrounding environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 1, p. 679–691, 2015.
- LEAL, R. M. P. et al. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 242-249, 2009.
- LEINAUER, B. et al. Digital image analysis and spectral reflectance to determine turfgrass quality. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 5, p. 1787–1794, 2014.
- LEITE, G.G.; MACHADO, F.O.C. Capim “Coast-cross” (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). **Comunicado técnico**. EMBRAPA. n. 1, p.6, 1999.

- LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006.
- LIU, Y. Y.; HAYNES, R. J. Effect of disposal of effluent and paunch from a meat processing factory on soil chemical and microbial properties. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 224, n. 9, 2013.
- LOPES, J. et al. Doses de fósforo no estabelecimento de capim-xaraés e estilosantes Mineirão em consórcio. 2011. Disponível em: <www.sbz.org.br>. Acesso em: 12 maio. 2018.
- MACHADO, J. Cenário carnes 2014/2015. Brasília: Associação Brasileira de Proteína Animal, 2015. 21 slides. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/aves-e-suinos/anos-anteriores/cenario-carnes-2014-2015.pdf/view>. Acesso em: 10 maio. 2018.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 319p., 1997.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 638p
- MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. **Agronomy Journal**. v.84, p.650-654, 1992.
- MANNO, M.C.; PEREIRA, O.G.; MARTINS, F.H. et al. Composição bromatológica de silagens de capim coast-cross, com e sem inoculante. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 40, 2003. Santa Maria – RS. **Anais..** Santa Maria:SBZ, 2003.
- MARGOT, J.; et al. A review of the fate of micropollutants in wastewater treatment plants. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 5, p. 457–487, 2015.
- MEGDA, M. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 39, n. 8, p. 1666–1675, 2010. Disponível em: <www.sbz.org.br>. Acesso em: 13 maio. 2018.
- MIRANDA, F. R. et al. Uso de efluentes da carcinicultura na irrigação de *Panicum maximum* cvs. Tanzânia e Mombasa. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 41, n. 1, p. 46–52, 2010.
- MOLIN, J. P. et al. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1345–1349, 2010.
- MORRISON, G. et al. Assessment of the impact of point source pollution from the Keiskammahoe Sewage Treatment Plant on the Keiskamma River – pH, electrical conductivity, oxygen demanding substance (COD) and nutrients. **Water SA**, v.27, p.475-480, 2001.
- NEFAU, T.; et al. Presence of illicit drugs and metabolites in influents and effluents of 25 sewage water treatment plants and map of drug consumption in France. **Science of the Total Environment**, v. 461–462, p. 712–722, 2013.
- OLIVEIRA, M.A. et al. Rendimento e valor nutritivo do capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. Ver. **Bras. Zootec.**, v.29, p.1949-1960. 2000.
- OLIVEIRA, M. A. et al. Produção e valor nutritivo do capim-coastcross sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.63, n.3, p.694-703, 2011.
- OLIVEIRA, A. B. de M. et al. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690–700, 2012.

- OLIVEIRA, M. C. **Efeito da aplicação de água residuária de graxaria em elementos químicos do solo e na produção e composição mineral de duas espécies forrageiras**. Jaboticabal, São Paulo. 2014. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.
- OLIVEIRA, J. F. et al. Percolate quality in soil cultivated with application of wastewater from swine slaughterhouse and dairy products. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 6, p. 1222–1235, 2017.
- PACHECO, J.W.; YAMANAKA, H.T. **Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno)**. São Paulo: CETESB, 2008. 95p.
- PEREIRA, B. F. F. et al. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 1, p. 54–61, 2011.
- PEREIRA, E. L.; PAIVA, T. C. B.; SILVA, F. T. Physico-chemical and Ecotoxicological Characterization of Slaughterhouse Wastewater Resulting from Green Line Slaughter. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 6, p. 199, 25 jun. 2016.
- PRASHAR, A. et al. Infra-red Thermography for High Throughput Field Phenotyping in *Solanum tuberosum*. **PLOS ONE**, v. 8, n. 6, p. 1–10, 2013.
- PRIMAVESI, A. C. et al. Adubação Nitrogenada em Capim- Coastcross: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 68–78, 2004.
- PRIMAVESI, O. et al. Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv . Coastcross sob manejo rotacionado : Eficiência e perdas. **Embrapa Pecuária Sudeste - Circular Técnica**, v. 30, p. 43, 2001.
- QUARESMA, J. P. et al. Produção e composição bromatológica do capim-Tifton 85 (*Cynodon spp.*) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 33, n. 2, p. 145–150, 2011.
- RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAJAB, A. R. et al. Performance of integrated anaerobic/aerobic sequencing batch reactor treating poultry slaughterhouse wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 967–974, 2017.
- RIBEIRO, O. L. et al. Biomassa radicular e reservas orgânicas em coastcross consorciada ou não com “*Arachis pintoi*”, com e sem nitrogênio, sob pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 2, p. 318-328, jun. 2011.
- RIBEIRO, E. A.; SANDRI, D.; BOENO, J. A. Qualidade da água de córrego em função do lançamento de efluente de abate de bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 425, 2013.
- ROCHA, G. L. da. **Ecosistemas de pastagens** - aspectos dinâmicos. Piracicaba: FEALQ, 1991. 391 p.

- RODRIGUES, L. S. et al. Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, v. 68, n. 1, p. 97–103, 2016.
- ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) symposium**, v. 1, p. 309–317, 1973.
- SANTOS, J. J. N. et al. Desafios de adequação à questão ambiental em frigoríficos na cidade de São Luís, Maranhão: diagnóstico de situação. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 4, p. 315–321, 2014.
- SANTOS, G. O.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. de. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated *Brachiaria* with treated sewage. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 1213–1221, 2017.
- MÜLLER, M. S. et al. Produtividade do *Panicum maximum* cv. Mombaça irrigado, sob pastejo rotacionado. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 427–433, 2002.
- SEGURA, P. A. et al. Global occurrence of anti-infectives in contaminated surface waters: Impact of income inequality between countries. **Environment International**, v. 80, p. 89–97, 2015.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa: UFV. 2002. 235 p.
- SILVA, S. M. et al. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 1931–1937, 28 out. 2011.
- SILVA, G. N. et al. Matadouros públicos e saúde ambiental em Sergipe. **Saude e Sociedade**, v. 21, n. 4, p. 1013–1021, 2012.
- SILVA, A. G. B. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto rico em sódio em propriedades químicas e físico-hídricas de um Argissolo e produtividade de capim Tifton 85 no município de Lins**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 01/05/2018.
- SIMÕES, C. R. et al. Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim “Tifton 85”, sob adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 697–703, 2015.
- SOHM, G. et al. Yield and quality of irrigated bermudagrass as a function of nitrogen rate. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 4, p. 1489–1496, 2014.
- SOU DAKOURÉ, M. Y. et al. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. **Geoderma**, v. 200–201, p. 31–39, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.
- TRIMBLE (2017). Disponível em: <http://www.trimble.com.br/Agriculture/greenseeker.aspx>. Acesso em: 30/01/2018.
- THEBALDI, M. S. et al. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 302–309, 2011.

- TONATO, F. **Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de *Cynodon* spp. Em função de variáveis climáticas.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <www.teses.usp.br>. Acesso em: 01/05/2018.
- VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Applications of Thermal Imaging in Agriculture and Food Industry-A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, n. 2, p. 186–199, 2011.
- VALENCIA-GICA, R. B.; YOST, R. S.; PORTER, G. Biomass production and nutrient removal by tropical grasses subsurface drip-irrigated with dairy effluent. **Grass and Forage Science**, v. 67, n. 3, p. 337–349, 2012.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.
- VILELA, D.; ALVIM, M.J. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., Piracicaba, 1998. Anais. Piracicaba: FEALQ, 1998. P. 23-54.
- VILELA, D.; RESENDE, J.C.; LIMA, J. *Cynodon*: **Forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira.** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 250 p.
- WERNER, J. C. et al. Forrageiras. In: RAIJ, B. van. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Fundação IAC, 1996. p. 263-274 (IAC. Boletim Técnico, 100).
- WORLD BANK GROUP. Environmental , Health and Safety Guidelines for Meat Processing. **General EHS Guidelines: Environmental Wastewater and Ambient Water Quality**, p. 1–16, 2007. Disponível em: <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/topics_ext_content/ifc_external_corporate_site/sustainability-at-ifc/policies-standards/ehs-guidelines>. Acesso em: 03/04/2017.