



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES

**CONCENTRAÇÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAPIM ELEFANTE**

FORTALEZA

2021

JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES

CONCENTRAÇÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAPIM ELEFANTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

Coorientadora: Dra. Mara Suyane Marques Dantas

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F399c Fernandes, Jose Normand Vieira.
Concentrações de esgoto doméstico tratado e lâminas de irrigação no cultivo do capim elefante / Jose Normand Vieira Fernandes. – 2021.
69 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.
Coorientação: Profa. Dra. Mara Suyane Marques Dantas.
1. Manejo da irrigação. 2. Reuso de água. 3. Pennisetum purpureum. I. Título.

CDD 630

JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES

CONCENTRAÇÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DO CAPIM ELEFANTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 08 / 02 / 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Mara Suyane Marques Dantas (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Isabel Cristina Da Silva Araujo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dra. Denise Vieira Vasconcelos
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Mario De Oliveira Rebouças Neto
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Antônio Fernandes Lima Neto e Antônia Nilza Vieira Fernandes.

Aos meus irmãos, Carlos Newdmar, Ana Nathália e Maria Narcília.

Aos meus sobrinhos, Miguel Fernandes e Maria Clara.

À minha cunhada, Chrislene Nojosa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que possibilitou a realização de mais essa etapa em minha vida, me concedendo saúde, força e disposição ao longo dessa caminhada. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais Neto e Nilza que sempre foram exemplo em minha vida, não medindo esforços para tornar possível minha jornada acadêmica.

Ao meu irmão Newdmar, às minhas irmãs Nathália e Narcília e à minha cunhada Chris que sempre foram fonte de inspiração e motivação, me ajudando a vencer as dificuldades encontradas.

Aos meus avós Artur (*In memoriam*), Narcisa (*In memoriam*), Jorge (*In memoriam*) e Ana que sempre me apoiaram e contribuíram para minha formação.

Aos meus tios e tias, primos e primas, que acreditaram em mim e me incentivaram a continuar batalhando em busca dos meus objetivos, em especial meu tio Antônio Ágio Fernandes Luna (*In memoriam*).

À Universidade Federal do Ceará, por fornecer estrutura física e intelectual para o cumprimento da minha formação.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo financiamento da pesquisa: “Estratégias de irrigação com água residuária para a produção de forrageira no semiárido”.

Ao Prof. Benito, pela confiança depositada em mim para realização deste trabalho e por toda orientação, atenção, paciência e amizade ao longo deste período. Fonte constante de sabedoria e segurança, com certeza acrescentou conhecimentos e hábitos de suma importância para minha vida acadêmica e pessoal.

À Dra. Mara Suyane Marques Dantas, por toda parceria e convivência diária no decorrer da pesquisa, ao Dr. Carlos Newdmar Vieira Fernandes e ao Dr. Guilherme Vieira do Bomfim, que contribuíram de forma grandiosa para o sucesso deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos durante todo o período - Código de Financiamento 001.

Aos demais professores do PPGEA/UFC, pelos conhecimentos técnicos e de vida repassados nesse tempo.

Aos funcionários e colegas da Estação Meteorológica, pela colaboração no desenvolvimento das atividades, sugestões e horas de descontração, dentre eles o Prof. Thales Vinícius, Camila, Wesley, Keivia, Arnaldo, Everton, Crisóstenes, Krishna, Azevedo, Juarez, William e Alfredo.

Aos colegas de turma Amadeus Mozarth, Luciana Pinho, Gilbenes Rosal, Paulo Gleisson, Ivan Vieira, Iorrana Gomes, dentre outros, sempre juntos nessa caminhada dividindo momentos de aprendizado, alegria e descontração.

Aos amigos de Jucás, Ceará, que sempre me estimularam e acreditaram no meu potencial (não citarei nomes para não cometer a injustiça de esquecer algum).

A todos os demais que prestaram contribuições para o sucesso na conclusão deste curso.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.”

Nikola Tesla

RESUMO

A utilização agrícola das fontes de água de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, surge como alternativa para aumentar a oferta de água. O capim elefante é uma forrageira perene, de alto potencial de produção de fitomassa seca e verde, e bastante nutritivo, podendo ser utilizada como feno, pasto, silagem e capineira. A realização deste trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da irrigação do capim elefante com diferentes lâminas e concentrações de esgoto doméstico tratado. Foram realizados dois experimentos na área experimental da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Fortaleza, Ceará. O esgoto doméstico tratado utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da UFC. Para ambos os experimentos, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, contendo dez plantas em cada parcela. Os tratamentos do primeiro experimento consistiram em cinco combinações de aplicação do esgoto doméstico tratado (EDT) e água de poço (AP): 0% (100% AP), 25% (25% EDT + 75% AP), 50% (50% EDT + 50% AP), 75% (75% EDT + 25% AP), 100% (100% EDT) e um tratamento adicional irrigado 100% com água de poço + adubação mineral (N-P-K). Os tratamentos do segundo experimento consistiram em cinco lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado, baseadas na evapotranspiração da cultura (ETc), e uma testemunha: L1 (50% ETc); L2 (75% ETc); L3 (100% ETc); L4 (125% ETc); L5 (150% ETc); e L0 (100% ETc com AP + adubação mineral recomendada). As variáveis analisadas na planta foram: o número de folhas; diâmetro do colmo; número de perfilhos; altura da planta; área foliar; massas frescas e secas da folha e do colmo; produtividades de massas fresca e seca e o acúmulo de macronutrientes na parte aérea. No solo, foram avaliados os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N), além de pH, condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), percentagem de sódio trocável (PST) e capacidade de troca catiônica (CTC). A produção de capim elefante irrigado com combinações de água e esgoto doméstico tratado mostrou-se viável desde que haja a participação mínima de 50% do EDT. Dentre as lâminas de irrigação com EDT testadas, destacaram-se as de 125 e 150% da ETc, proporcionando as melhores respostas da cultura e igualando-se ao tratamento testemunha. O acúmulo de nutrientes na planta de capim elefante foi influenciado positivamente pela utilização do esgoto doméstico tratado (EDT) na irrigação, na forma combinada com água de poço ou somente o EDT.

Palavras-chave: manejo da irrigação; reuso de água; *Pennisetum purpureum*.

ABSTRACT

Agricultural use of lower quality water sources, such as sewage of domestic origin, comes up as alternative to increase water supply. The elephant grass is a perennial forage, of high production potential of dry and fresh phytomass, and quite nutritious, can be used as hay, pasture, silage and grassland. The accomplishment of this work had as objective evaluate the viability of elephant grass irrigation with different irrigation blades and concentrations of treated domestic sewage. Two experiments were carried out on the experimental area of the Meteorological Station of the Federal University of Ceará, *campus* of Pici, in Fortaleza, Ceará. The treated domestic sewage used it came from the sewage treatment station of UFC. For both experiments, the experimental design was that of random blocks, with six treatments and four repetitions, containing ten plants in each plot. The treatments of the first experiment consisted of five application combinations of treated domestic sewage (EDT) and well water (AP): 0% (100% AP), 25% (25% EDT + 75% AP), 50% (50% EDT + 50% AP), 75% (75% EDT + 25% AP), 100% (100% EDT) and a additional treatment irrigated 100% with well water + mineral fertilization (N-P-K). The treatments of the second experiment consisted of five irrigation blades with treated domestic sewage, based on crop evapotranspiration (ET_c), and one witness: L1 (50% ET_c); L2 (75% ET_c); L3 (100% ET_c); L4 (125% ET_c); L5 (150% ET_c); and L0 (100% ET_c with well water + mineral fertilization (N-P-K). The variables analyzed in the plant were: the number of leaves; stem diameter; number of tillers; plant height; leaf area; bulk fresh and dried of leaf and stem; productivities of bulk fresh and dried and the macronutrient content in the aerial part. On the ground, were evaluated the contents of phosphor (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and nitrogen (N), besides of pH, electric conductivity (CE), sum of bases (SB), percentage of exchangeable sodium (PST) and cation exchange capacity (CTC). The production of elephant grass irrigated with combinations of well water and treated domestic sewage proved viable as long as there is minimal participation of 50% of EDT. Among the tested irrigation blades with EDT, the highlights were 125 and 150% of the ET_c, providing the best responses from culture and equaling the witness treatment. The nutrient content in the plant of elephant grass was positively influenced by the use of treated domestic sewage (EDT) in irrigation, in the combined form with well water or just the EDT.

Keywords: irrigation management; water reuse; *Pennisetum purpureum*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Água residuária na irrigação	14
3.1.1	<i>Panorama da água</i>	14
3.1.2	<i>Reuso de água</i>	15
3.1.3	<i>Água residuária</i>	16
3.1.4	<i>Características das águas residuárias</i>	17
3.2	Cultura do capim elefante	18
3.2.1	<i>Origem e morfologia</i>	18
3.2.2	<i>Características agronômicas e manejo</i>	18
3.3	Manejo da irrigação	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1	Caracterizações da área experimental	21
4.1.1	<i>Localização da área experimental</i>	21
4.1.2	<i>Clima</i>	21
4.1.3	<i>Solo</i>	22
4.1.4	<i>Água</i>	22
4.1.5	<i>Esgoto doméstico tratado</i>	23
4.2	Cultura	24
4.3	Preparo da área	24
4.4	Sistema e manejo de irrigação	25
4.5	Plantio, tratos culturais e adubação	29

4.6	Área experimental	29
4.6.1	Experimentos	29
4.6.1.1	<i>Experimento I: Crescimento, produtividade e nutrição do capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado em diferentes combinações</i>	30
4.6.1.2	<i>Experimento II: Produtividade e nutrição do capim elefante sob diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado</i>	31
4.7	Variáveis avaliadas	32
4.8	Precipitação e evapotranspiração no período	33
4.9	Análise estatística	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	Experimento I: Crescimento, produtividade e nutrição do capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado em diferentes combinações	35
5.1.1	<i>Crescimento e produtividade</i>	35
5.1.2	<i>Teores de macronutrientes na planta</i>	43
5.1.3	<i>Solo</i>	47
5.2	Experimento II: Produtividade e nutrição do capim elefante sob diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado	49
5.2.1	<i>Crescimento e produtividade</i>	49
5.2.2	<i>Teores de macronutrientes na planta</i>	57
5.2.3	<i>Solo</i>	61
6	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (BRASIL, 2018).

Com o aumento da população mundial e, conseqüentemente, da demanda por água para consumo, faz-se necessária a implementação de tecnologias que venham a otimizar o uso desse bem da forma mais sustentável e eficiente possível. No Nordeste brasileiro, a realidade da escassez de água vem de longa data, devido às condições climáticas locais que contribuem para a elevada evapotranspiração e os baixos índices pluviométricos, além da má distribuição das precipitações durante o ano.

O setor primário, que engloba a agricultura irrigada, é a atividade que utiliza maior quantidade de água no mundo. No entanto, sua prática é essencial para produção de alimentos para o abastecimento e o consumo de homens e animais.

Uma alternativa que se mostra viável neste contexto é a utilização de águas menos nobres, como os esgotos domésticos tratados, na irrigação de culturas agrícolas. Essa prática, quando feita de forma adequada, possibilita o aumento na produção e a redução dos gastos com insumos, uma vez que os sais presentes na água de reuso contém nutrientes essenciais ao bom desenvolvimento das culturas.

A reutilização da água, além de contribuir para a economia dos recursos hídricos, pode aumentar a eficiência de uso da água, beneficiando a produção agrícola. Ademais, pode evitar a contaminação dos corpos hídricos, que não receberiam estas águas residuárias, mantendo assim a sustentabilidade e a boa qualidade das fontes.

Nativo da África Tropical, o capim elefante é uma cultura que possui inúmeras utilizações, indo desde a participação na dieta de animais (feno, silagem, pastejo, capineira, etc.) até na produção de energia.

O capim elefante possui demandas agronômicas por clima e solo presentes na maior parte do território nordestino, inclusive, no Ceará. No entanto, para otimização da sua produção, faz-se necessária a irrigação, principalmente nas estações secas, para evitar que as plantas sofram estresse por falta de água.

A água disponível no solo pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, quando presente de forma excessiva ou deficitária. Como a água residuária contém sais em níveis mais elevados, adicionando nutrientes ao solo, o manejo da lâmina de irrigação também pode

influenciar diretamente a nutrição vegetal. A concentração do esgoto, quando este é aplicado em conjunto com água de abastecimento, também poderá influenciar no aporte de nutrientes ao solo.

No atual modelo de produção agrícola, tem se tornado essencial o emprego de técnicas e recursos que possibilitem alcançar altas produtividades, para otimizar a utilização de água, reduzir os custos de produção e promover a sustentabilidade do meio ambiente.

A irrigação, principalmente no Nordeste brasileiro, em que as precipitações pluviométricas são más distribuídas ao longo do ano, é de fundamental importância para potencialização da produção agrícola. E, a utilização de águas de menor qualidade na irrigação permite a economia de recursos hídricos de maior qualidade, que poderão ser aproveitados em consumos mais nobres, como o abastecimento humano e animal.

Para comprovar a real eficácia da aplicação de águas residuárias na irrigação de culturas agrícolas, são necessários estudos que venham atestar sua capacidade de implementação produtiva e a segurança dos alimentos que poderão ser destinados ao consumo humano ou animal.

Diante do exposto, a realização deste trabalho teve como objetivo mensurar a viabilidade da utilização de esgotos domésticos tratados (EDT) na produção irrigada do capim elefante, avaliando a resposta da cultura a diferentes lâminas de irrigação e variadas concentrações de EDT.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Mensurar a viabilidade da utilização de efluentes domésticos tratados na produção irrigada do capim elefante, visando à racionalização do uso da água, o suprimento de água em períodos de escassez e a mitigação de impactos ocasionados pelo lançamento desses efluentes em cursos d'água. Assim, será apresentada uma proposta de atividade que possibilite a economia de recursos financeiros e de alimento para os animais em períodos de estiagem e, conseqüentemente, a fixação do homem nessas regiões.

2.2 Objetivos específicos

- I. Analisar a viabilidade da produção do capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado;
- II. Analisar a influência da irrigação com esgoto doméstico tratado no crescimento, na produção e nutrição do capim elefante;
- III. Avaliar o acúmulo de macronutrientes no capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado;
- IV. Estimar a melhor lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado para o cultivo do capim elefante;
- V. Avaliar a salinidade e os sólidos solúveis do solo cultivado com capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Água residuária na irrigação

3.1.1 Panorama da água

Do total de água do planeta, apenas 2,5% é água doce, e dessa água doce, quase 69% se encontra em forma de gelo. Disponível para o consumo humano está apenas 0,007% do total de água do planeta (TONELLO, 2011).

Em geral, o Brasil apresenta uma boa quantidade de água em seu território, cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. No entanto, a má distribuição natural deste recurso faz com que haja um desequilíbrio na sua repartição entre as diversas regiões do país, sendo a região Norte detentora de aproximadamente 68,5% do total de água disponível e apenas 8% da população brasileira. Enquanto que a região Sudeste detém 6,0% dos recursos hídricos do país e 42,1% da população, o Nordeste concentra 27,8% da população e apenas 3,3% do volume de água nacional (TRATA BRASIL, 2018).

Nas regiões semiáridas do Brasil, além da distribuição desuniforme, a escassez de água se agrava devido as suas características climáticas de baixos índices pluviométricos (350 a 700 mm ano⁻¹), agregadas aos elevados níveis de evapotranspiração (cerca de 2.000 mm ano⁻¹), insolação (2.800 horas ano⁻¹) e temperaturas médias mensais superiores a 25 °C (SANTOS *et al.*, 2009). Apresentando, desta forma, condições adversas para a agricultura de sequeiro e na criação de animais em determinada época do ano, devido à falta de umidade no solo e na pastagem.

O setor primário, constituído pela agricultura irrigada, é reconhecido em levantamentos feitos em todo o mundo como a atividade que utiliza maior quantidade de água, em média, 70% de todo o volume de água doce consumida (WORLD BANK GROUP, 2016; USGS, 2016). Este fato, agregado com as mudanças climáticas (USGCRP, 2017) e o com o crescimento populacional, são agravantes para a escassez de água em múltiplas regiões do mundo (SAPKOTA, 2019). Desta forma, mesmo a água sendo um recurso renovável, encontra-se escassa em algumas regiões em função de condições climáticas ou associados ao processo

de urbanização das cidades, expansão agrícola, industrialização e degradação do meio ambiente (DANTAS, 2014).

3.1.2 Reuso de água

Com o aumento da população mundial, a necessidade de supressão da crescente demanda por alimentos, reduzindo a entrada de água por unidade de área irrigada, tem se tornado o grande desafio da atual agricultura irrigada (PLAYÁN; MATEOS, 2006).

Neste cenário, a utilização agrícola das fontes de água de qualidade inferior, tais como esgotos de origem doméstica, efluentes de sistemas de tratamento de água de indústrias, água de drenagem agrícola, surge como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem, além de permitir a reutilização direta de nutrientes, melhorando o rendimento de culturas, diminuindo a carga orgânica lançada nos corpos hídricos e reduzindo o uso de fertilizantes químicos. Com isso, a reutilização pode propiciar flexibilidade suficiente para o atendimento das demandas hídricas de curto prazo, assim como assegurar o aumento da garantia no suprimento em longo prazo (CORCORAN *et al.*, 2010; HESPANHOL, 2008; LIBUTTI *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O número de países que utilizam águas residuais (tratadas e não tratadas) de alguma forma na agricultura irrigada é incerto. Apesar de haver evidências que sejam pouco acima de sessenta, é provável que este número esteja subestimado tendo em vista que os dados sobre as quantidades de água residual, tratadas e recuperadas, estão indisponíveis, parciais ou desatualizados na maioria dos países (SATO *et al.*, 2013; SCOTT *et al.*, 2004; THEBO *et al.*, 2017). Em Israel, líder mundial em reutilização de água, cerca de 86% das águas residuais domésticas passam por tratamento avançado e são recuperadas para uso na irrigação agrícola, o que equivale a 400 milhões m³ (KERSHNER, 2015).

Através da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, as Nações Unidas estão pressionando os países para a adoção mundial de tecnologias de dessalinização e reutilização, como uma ferramenta essencial para atingir seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Sendo que para garantir a disponibilidade de água, sustentabilidade de recursos e saneamento para todos, deve haver uma gestão integrada de recursos hídricos. Além disso, o percentual de águas residuais não tratadas deve ser reduzido pela metade até 2030, promovendo um aumento global substancial na reciclagem e reutilização segura da água residual (RICART; RICO, 2019; VANHAM *et al.*, 2018).

Quanto ao tipo de reuso, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (1973), citada por Rezende (2010), tem-se:

Reuso indireto: quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída;

Reuso direto: uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;

Reciclagem interna: é o reuso da água internamente em instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

3.1.3 Água residuária

Existem várias qualidades de água recuperada, dependendo do tipo de tratamento (primário a avançado terciário) usado para obtê-la (RAHIMI *et al.*, 2018). Expondo de forma simples, o tratamento primário representa uma redução de 30-40% da carga orgânica e patógenos, o tratamento secundário representa redução de 95% destas cargas e o tratamento terciário representa redução de quase 99% da carga orgânica sem patógenos significativos, após desinfecção, incluída nestes dois últimos níveis (MENG; FU; BUTLER, 2016).

De acordo com Tsagarakis *et al.* (2013), a água obtida com o tratamento primário pode ser utilizada na irrigação controlada de parques e florestas, contanto que sejam tomadas todas as medidas de precaução e segurança. Enquanto que a água oriunda do tratamento secundário é adequada para árvores diversas como oliveiras, vinhas, etc., sem que haja contato direto com a cultura. Já a água resultada do tratamento terciário, é apropriado para todos os tipos de culturas cultivadas.

O Artigo 2º da Resolução Nº 54/2005 do Ministério do Meio Ambiente traz as seguintes definições:

I - Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não;

II - Reuso de água: utilização de água residuária;

III - Água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

Entende-se por esgoto doméstico, o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas (ABNT, 1986). Seu uso, adequadamente planejado e administrado, promove benefícios econômicos e ambientais, tais como a diminuição do

descarte em corpos de água; a preservação de recursos subterrâneos; a preservação do solo pelo acúmulo de húmus, o aumento da resistência à erosão; a maior retenção de água no solo, através do aumento da matéria orgânica; o menor uso de energia, se comparado a outras opções de uso de água (por exemplo, dessalinização ou importação de água); e a melhora na qualidade de vida e condições sociais de populações carentes, através do aumento da produção de alimentos (ADEWUMI; ILEMOBADE; VAN ZYL, 2010; BRESSAN *et al.*, 2012).

3.1.4 Características das águas residuárias

Bressan *et al.* (2012) definem ainda que a parte líquida dos esgotos domésticos é um meio de transporte das inúmeras substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos eliminados todos os dias pelo ser humano, o que torna a sua utilização ainda mais vantajosa por ser uma forma de reaproveitar também nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e matéria orgânica, ajudando a manter a fertilidade e a produtividade do solo.

A presença de alguns sais, principalmente o sódio (Na^+), em excesso nos efluentes domésticos, é um fator limitante para a sua disposição no solo (WHO, 2004). Estudos realizados com aplicação de efluentes domésticos evidenciam atenção particular que deve ser dada ao Na^+ , devido aos incrementos que geralmente ocorrem nos teores trocáveis, solúveis, percentual de sódio trocável (PST) e também na condutividade elétrica da solução do solo (FONSECA *et al.*, 2007; GLOAGUEN *et al.*).

O acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo ou deslocamento de outros em profundidade pode ocorrer devido ao uso contínuo de água residuária em doses e frequências elevadas que superem a capacidade de absorção destes pelas plantas. Elementos mais móveis no perfil do solo, como o N, Mg e o K, podem alcançar maiores profundidades com facilidade, tornando-se um risco de contaminação do lençol freático (CERETTA *et al.*, 2003; DA ROS, 2017; STEINER *et al.*, 2011).

Rahimi *et al.* (2018), avaliando a qualidade das águas residuais tratadas para serem reutilizadas na agricultura, encontraram valores baixos e admissíveis de NO_2 e NO_3 e alto teor de NH_4 (em média 35 mg L^{-1}), excedendo o limite admissível.

O efluente como biofertilizante possui notadamente valoração econômica. Estimativas indicam, para uma população de 500 mil habitantes, que consumo diário de $200 \text{ L habitante}^{-1}$, gera cerca de 85 mil m^3 de esgotos (85% de esgoto canalizado), o que corresponde $30 \text{ milhões de m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Assim, considerando uma cultura agrícola cuja necessidade hídrica seja de 500 mm ano^{-1} , o total de efluentes produzidos seria suficiente para irrigar 6.000 ha de

lavouira. Admitindo-se que o efluente tenha, respectivamente, 50, 10 e 30 mg L⁻¹ de N, P e K, a irrigação aplicada ao solo equivaleria à adubação com 550, 640 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente (PESCOD, 1992).

3.2 Cultura do capim elefante

3.2.1 Origem e morfologia

De acordo com Tcacenco e Botrel (1997), a primeira descrição botânica foi à data de 1827, mas com o tempo sua classificação passou por diversas mudanças, e atualmente o capim elefante pertencente à família *Graminae* ou *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Paniceae*, gênero *Pennisetum*, espécie *P. purpureum*, Schumacher e seção *Penicillaria* (PEREIRA *et al.*, 2001).

Se apresenta como um dos gêneros mais representativos da família *Poaceae* e inclui cerca de 650 gêneros e 9000 espécies, ocorrendo no Brasil cerca de 180 gêneros e 1500 espécies (SOUZA; LORENZI, 2005).

É nativo de regiões da África Tropical, tendo como territórios de maior variabilidade genética as regiões de Guiné, Moçambique, Angola, Zimbábue e sul do Quênia, onde ocorrem vales férteis, com precipitação média anual entorno de 1.000 milímetros (BRUNKEN, 1977). Chegou ao Brasil por volta de 1920 e rapidamente se difundiu por conta do seu bom valor nutritivo e elevado potencial de produção (FONTANELI *et al.*, 2012).

Esta espécie é cultivada essencialmente por meio de propagação vegetativa, realizada por pedaços de colmo (OTERO, 1961). É uma gramínea tropical perene de grande importância forrageira com ampla variabilidade de características morfológicas. Apresenta colmo ereto dispostos em touceira ou não, preenchidos por um parênquima suculento, cespitosa, de porte elevado (podendo alcançar de 3 a 5 metros), com entrenós de até 20 cm e folhas invaginantes, largas e compridas (30 a 120 cm), de coloração verde claro ou escuro. Apresenta inflorescência com panículas sedosas de 15 cm de comprimento médio e abundante lançamento de perfilhos aéreos e basais (BOGDAN, 1977; JACQUES, 1994; PEREIRA *et al.*, 2001; XAVIER *et al.*, 1995).

3.2.2 Características agronômicas e manejo

Sensível ao frio e intolerante a solos com umidade elevada, o capim elefante exige solos de fertilidade média a alta (VILELA, 2009). A precipitação anual ótima requerida é entorno de 1.500 mm ano⁻¹, necessitando de boa distribuição da pluviosidade para evitar períodos de seca e/ou encharcamento do solo (FIGUEIRA, 2015). Ainda segundo Vilela (2009), a temperatura ótima para a forrageira varia entre 25 e 40 °C, enquanto que em temperaturas de 15 °C ou abaixo a planta sofre por estresse e tem seu desenvolvimento prejudicado. Já a altitude indicada é bastante ampla, indo desde o nível do mar até 2.000 m, com latitude limite de 10° N e 20° S.

Além de ser apontada como solução para uma melhor dieta animal e incremento produtivo, é uma forrageira perene, de alto potencial de produção de fitomassa seca e composição química, podendo ser utilizada como feno, pasto, silagem e capineira. Por possuir metabolismo C₄, apresenta elevada eficiência fotossintética, ou seja, maior eficiência no aproveitamento da luz e elevado potencial de produção de biomassa. No inverno, a forrageira apresenta produção de fitomassa seca de baixa digestibilidade, por conter altos níveis de fibras não digestíveis (JACQUES, 1994; LIMA *et al.*, 2010; QUESADA, 2001).

No que diz respeito a pragas e doenças, o capim elefante é uma cultura forrageira bastante resistente. No entanto, pode haver danos à cultura provocados por doença foliar, caracterizada por apresentar manchas brancas com formato oval e elíptico, causada por fungos (*Helminthosporium sacchari*), e pelo ataque da cigarrinha das pastagens (*Mahanarva liturata*), sua principal praga (AUAD *et al.*, 2006; VILELA, 2009).

Meinerz *et al.* (2011) obtiveram 12,5 toneladas de massa seca ha⁻¹ ano⁻¹, com teor de proteína de 14%, cultivando capim elefante adubado com 150 kg de N ha⁻¹, mostrando a boa produtividade da cultura, mesmo aplicando-se baixas ou moderadas quantidades de insumos.

3.3 Manejo da irrigação

Vale ressaltar que lâmina de irrigação, assim como o uso de água residuária, é um fator de grande importância para a produção otimizada da cultura. A lâmina de água pode prejudicar o desenvolvimento das plantas, quando aplicada de forma excessiva ou deficitária. Água em excesso prejudica o crescimento, a fitossanidade e a produção das culturas, além de favorecer a perda de água e nutrientes por lixiviação, elevando os custos de produção (PIRES *et al.*, 2013). Em déficit, pode provocar o fechamento de estômatos, reduzir a fotossíntese, a expansão celular e a área foliar (DUTRA *et al.*, 2012).

Como a água residuária contém sais em níveis mais elevados, adicionando nutrientes ao solo (MEDEIROS *et al.*, 2005), o manejo da lâmina de irrigação também pode influenciar diretamente a nutrição vegetal. A concentração do esgoto, quando este é aplicado em conjunto com água de abastecimento, também poderá influenciar no aporte de nutrientes ao solo. Entretanto, mesmo com todos os benefícios evidenciados, a utilização de águas residuárias requer práticas adequadas de manejo, pois o uso inadequado dessas águas pode ocasionar problemas sérios à saúde dos consumidores, dos agricultores, como também às comunidades locais, e aos equipamentos utilizados na irrigação (CARR; BLUMENTHAL; MARA, 2004). Além da presença de sais nessas águas, as condições de clima do Nordeste (altas temperaturas e baixa pluviosidade) é outro fator que pode contribuir para a salinização dos solos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2009).

A manutenção das condições ótimas de umidade do solo através da alta frequência de irrigação favorece o desenvolvimento da cultura, possibilitando uma maior produtividade, além de aumentar a eficiência de uso da água (SOUSA; COÊLHO; SOUZA, 1999).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterizações da área experimental

4.1.1 Localização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, localizada no *Campus* do Pici, em Fortaleza, Ceará, no período de setembro a dezembro de 2018. A área experimental está localizada geograficamente a 3° 44' S, 38° 33' W e 19 m acima do nível do mar.

Figura 1 – Vista aérea da área experimental e da Estação Meteorológica, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor.

4.1.2 Clima

De acordo com a classificação de Köppen (1918), a região possui clima Aw', caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e do outono.

Dados da Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, mostram que a região tem precipitação média anual de 1.593 mm, umidade relativa média anual de 77%, velocidade média do vento de 3,7 m s⁻¹, evapotranspiração média anual de 1.791 mm, temperaturas mínima, média e máxima anuais de 23,6; 26,9 e 30,5 °C, respectivamente.

4.1.3 Solo

O solo da região é classificado como um Argissolo Vermelho Amarelo de textura areia franca (EMBRAPA, 2006).

Para caracterização química do solo, antes da instalação dos experimentos, foram retiradas 8 amostras de solo na camada de 0,0 a 0,2 m, que em seguida foram homogeneizadas e levadas ao Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetal do Instituto Federal do Ceará, Campus Limoeiro do Norte, onde foram analisadas. Na Tabela 1, é possível observar o resultado da análise química do solo da área experimental.

Tabela 1 – Análise de macro e micronutrientes do solo na camada arável (0-20 cm), Fortaleza, Ceará, 2021.

Macronutrientes	(0 - 20 cm)	Micronutrientes	(0 - 20 cm)
PO ₄ ³⁻ (mg dm ⁻³)	20	Cu ²⁺ (mg dm ⁻³)	0,5
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	8,2
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,29	Mn ²⁺ (mg dm ⁻³)	4,6
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,05	Fe ²⁺ (mg dm ⁻³)	30
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,38	Bo (mg dm ⁻³)	0,76
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,91		
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	N. D.		
pH	5,7		
CE (dS m ⁻¹)	0,30		

Fonte: Laboratório de Solos, Água e Tecidos Vegetal do Instituto Federal do Ceará, Campus Limoeiro do Norte.

4.1.4 Água

A água utilizada para a irrigação do capim foi bombeada de um poço tubular de 40 m de profundidade e transferida para uma caixa d'água de polietileno próxima ao experimento.

Os resultados da análise química da água utilizada na irrigação podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas da água utilizada nos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2021.

Cátions (mmol _c L ⁻¹)	Ânions (mmol _c L ⁻¹)	pH	RAS	CE	Classif.

2,50 1,50 4,70 0,60 9,30 5,40 - 3,80 - 9,20

Fonte: Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará.

No início do experimento, uma amostra do esgoto doméstico tratado foi enviada ao Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, para estimativa da sua composição química e classificação quanto a utilização na irrigação.

4.2 Cultura

A cultura utilizada nos experimentos foi o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), a qual apresenta como principais características agronômicas: plantas com colmos eretos, dispostos em touceira ou não preenchidos por um parênquima suculento; cespitosa; de porte elevado, podendo alcançar de 3 a 5 metros; folhas invaginantes de coloração verde escuro ou claro, largas e compridas (0,30 a 1,20 m); abundante lançamento de perfilhos aéreos e basais.

4.3 Preparo da área

No preparo da área, foram realizados, com auxílio de um trator, os trabalhos de roço, aração e gradagem cruzada. Posteriormente, com uso de enxada, foram abertas as covas espaçadas de 0,50 m e com profundidade de 0,30 m.

Figura 3 - Abertura das covas para plantio do capim elefante, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Autor.

4.4 Sistema e manejo de irrigação

A irrigação da cultura foi realizada por gotejamento superficial, utilizando fitas gotejadoras ($\varnothing = 16 \text{ mm}$) com emissores autocompensantes, distanciados entre si de 0,30 m e com vazão individual de $1,6 \text{ L h}^{-1}$. As fitas gotejadoras foram distribuídas junto às fileiras de plantas, espaçadas entre si de 1,0 m.

O bombeamento do esgoto doméstico tratado e da água de poço foi realizado por uma única bomba centrífuga acoplada a um motor de 1/3 cv (Figura 4), de forma alternada, tendo em vista atender os tratamentos testados.

Figura 4 - Conjunto Motobomba, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Autor.

Objetivando um maior controle da pressão de operação do sistema de irrigação e a fim de evitar entupimento dos emissores, foi instalado um cabeçal de controle composto por um filtro e dois manômetros (Figura 5), localizado logo após o conjunto motobomba. A limpeza do filtro era feita através da sua retirada e lavagem sempre que se observava um aumento na pressão de serviço no manômetro anterior ao filtro, combinado com uma queda na pressão do manômetro posterior ao filtro. Neste caso, o sistema era desligado e somente após a limpeza do filtro era religado, sendo o tempo da operação de limpeza acrescentado ao tempo de irrigação.

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade do sistema através das medições de vazões em 16 emissores ao longo de quatro linhas gotejadoras, conforme a metodologia de Keller e Karmeli (1975), estimando o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Os valores de CUD obtidos foram de 98,5% e 83,1% para os sistemas de irrigação utilizados nos experimentos I e II, respectivamente.

Figura 5 - Cabeçal de controle com filtro, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Autor.

O manejo da irrigação foi realizado por meio da reposição da evapotranspiração da cultura (ET_c), estimada a partir da ET_o , de acordo com a Equação 1, adotando um turno de rega de um dia. Utilizando para isso, os valores de coeficiente da cultura de 0,5 (fase inicial), 0,8 (fase média) e 1,1 (fase final), conforme propostos por Ararat & Tafur (1990). Inicialmente, todos os tratamentos receberam somente água de poço e na mesma quantidade, começando a diferenciação dos tratamentos somente após a brotação das plantas.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

Em que: ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}); ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); K_c é o coeficiente da cultura (adimensional), estimado para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

A ET_{oPM} foi estimada com equação 2, de acordo com a metodologia de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998), utilizando dados meteorológicos coletados na Estação Meteorológica da UFC, Campus do Pici, instalada próxima à área experimental.

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{med} + 273,16} \cdot U_{2m} \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (2)$$

Em que: ET_{oPM} é a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, mm dia⁻¹; Δ é a declinação da curva de saturação do vapor d'água (kPa °C⁻¹); R_n - saldo de radiação, MJ m⁻² dia⁻¹; G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹; γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹; U_{2m} - velocidade média do vento a 2 m acima da superfície do solo, m s⁻¹; T_{med} - temperatura média do ar, °C; e_s - pressão de saturação de vapor, kPa. e_a - pressão atual de vapor, kPa.

O tempo de irrigação foi calculado conforme a Equação 3.

$$T_i = \frac{L_i \cdot E_L \cdot E_g \cdot F_C}{E_i \cdot Q_g} \quad (3)$$

Em que: T_i é o tempo de irrigação (h); L_i é a lâmina de irrigação (mm dia⁻¹); E_L é o espaçamento entre as linhas laterais (m); E_g é o espaçamento entre gotejadores (m); F_C é o fator de cobertura do solo (adimensional); E_i é a eficiência de irrigação, sendo considerado o CUD (adimensional); Q_g é a vazão do gotejador (L h⁻¹).

Após a estimativa do tempo de irrigação (T_i) para reposição de 100% da ET_c , foram definidos os tempos necessários para aplicação de cada uma das lâminas de irrigações em cada tratamento (Ex. para 75% da ET_c , o T_i aplicado foi 75% do T_i para 100% da ET_c). A diferenciação entre esgoto doméstico tratado (EDT) e água do poço (AP) se deu a partir do tempo de irrigação com cada fonte. No tratamento com 50% de EDT e 50% de AP, por exemplo, 50% do T_i foi aplicado EDT e 50% do T_i foi aplicada AP.

A fim de controlar a lâmina de irrigação aplicada e a fonte de água utilizada (esgoto doméstico tratado - EDT e água do poço - AP) em cada tratamento, foram instalados registros de esfera nas saídas das caixas e no início de cada linha de derivação (Figura 6), os quais eram fechados à medida que se atingia o tempo necessário à reposição da lâmina de irrigação para aquele tratamento.

Figura 6. Registros utilizados no início das linhas de derivação, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Autor.

Na aplicação dos tratamentos, primeiramente era aberto o registro da caixa contendo água de poço e iniciada a aplicação em todas as parcelas que à demandavam, respeitando o tempo específico para cada tratamento. Por exemplo, se o tempo de irrigação para aplicação de 100% da ETc em determinado dia fosse 1 h, aos 15 min era fechado o registro do tratamento 75% EDT (75% de esgoto doméstico tratado + 25% água de poço), correspondendo a aplicação de 25% de AP. Após a aplicação da água de poço em todos os tratamentos, iniciava-se a aplicação do EDT para as parcelas que o demandavam, utilizando a mesma metodologia de fechamento dos registros. Para melhor compreensão, a Tabela 4 detalha os horários e os tempos de irrigação para um determinado dia.

Tabela 4 - Modelo de planilha utilizada no manejo das irrigações.

Aplicação de água de poço – AP		Desligar	
Tratamento a desligar		Horário	Tempo de irrigação
(0% EDT)		09:20:00	01:00:00
(25% EDT)		09:05:00	00:45:00
(50% EDT)		08:50:00	00:30:00
(75% EDT)		08:35:00	00:15:00
(100% EDT)		--	--
(Testemunha exp. 1) + (Testemunha exp. 2)		09:20:00	01:00:00
Hora Início =	08:20:00	100% ETc =	01:00:00

Aplicação de esgoto doméstico tratado – EDT		Desligar	
Tratamento a desligar		Horário	T. Irrigação
(0% EDT)		--	--
(25% EDT)		09:45:00	00:15:00
(50% EDT) + (L1)		10:00:00	00:30:00
(75% EDT) + (L2)		10:15:00	00:45:00

(100% EDT) + (L3)		10:30:00	01:00:00
(Testemunha exp. 1) + (Testemunha exp. 2)		--	--
(L4)		10:45:00	01:15:00
(L5)		11:00:00	01:30:00
Hora Início =	09:30:00	100% ETc =	01:00:00

Fonte: Autor.

4.5 Plantio, tratos culturais e adubação

O plantio foi feito com colmos, obtidos no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, *Campus* do Pici, sendo inseridos 2 colmos por cova, com 3 a 5 gemas cada, seguindo o espaçamento de 0,5 m entre covas e de 1,0 m entre linhas, obtendo-se um estande equivalente a 20.000 plantas ha⁻¹.

Antes do plantio, foi efetuada uma irrigação para elevar a umidade do solo até a capacidade de campo, objetivando promover uma boa brotação e garantir que as lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos repusessem, de fato, a água evapotranspirada.

No decorrer do experimento, os tratos culturais consistiram basicamente na realização de capina manual de plantas invasoras e na aplicação de formicida, quando necessárias. Também foi realizada, de forma manual, a adubação química dos principais macronutrientes (N, P e K) nas parcelas testemunhas, conforme a necessidade indicada pela análise de solo e de acordo com a marcha de absorção pela cultura, sendo o P (40 kg ha⁻¹ de P₂O₅) incorporado ao solo antes do plantio, enquanto o K (40 kg ha⁻¹ de K₂O) e N (50 kg ha⁻¹ de N) foram adicionados em sulcos ao lado das linhas após emergência das plantas. Os adubos selecionados foram o ácido fosfórico, o cloreto de potássio e a ureia, e as quantidades estão de acordo com as recomendadas por Vilela *et al.* (2002).

4.6 Área experimental

A área total utilizada nos experimentos foi o somatório de duas subáreas de 120 m² cada, totalizando 240 m².

Para ambos os experimentos, cada parcela experimental foi composta por 6 fileiras (uma de cada tratamento) de 5 m de comprimento, espaçadas em 1,0 m entre linhas. As plantas estavam espaçadas em 0,5 m, e na colheita foram desprezadas a primeira e a última planta de cada parcela. Dessa forma, a área útil por parcela totalizou 96 m².

4.6.1 Experimentos

Foram realizados dois experimentos de campo para avaliar os efeitos da irrigação com esgoto doméstico tratado na produção quantitativa e qualitativa do capim elefante (Figura 7). Ambos os experimentos tiveram início em 25/09/2018 e término em 24/12/2018 (ciclo de 90 dias).

Figura 7 - Vista lateral dos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2021.



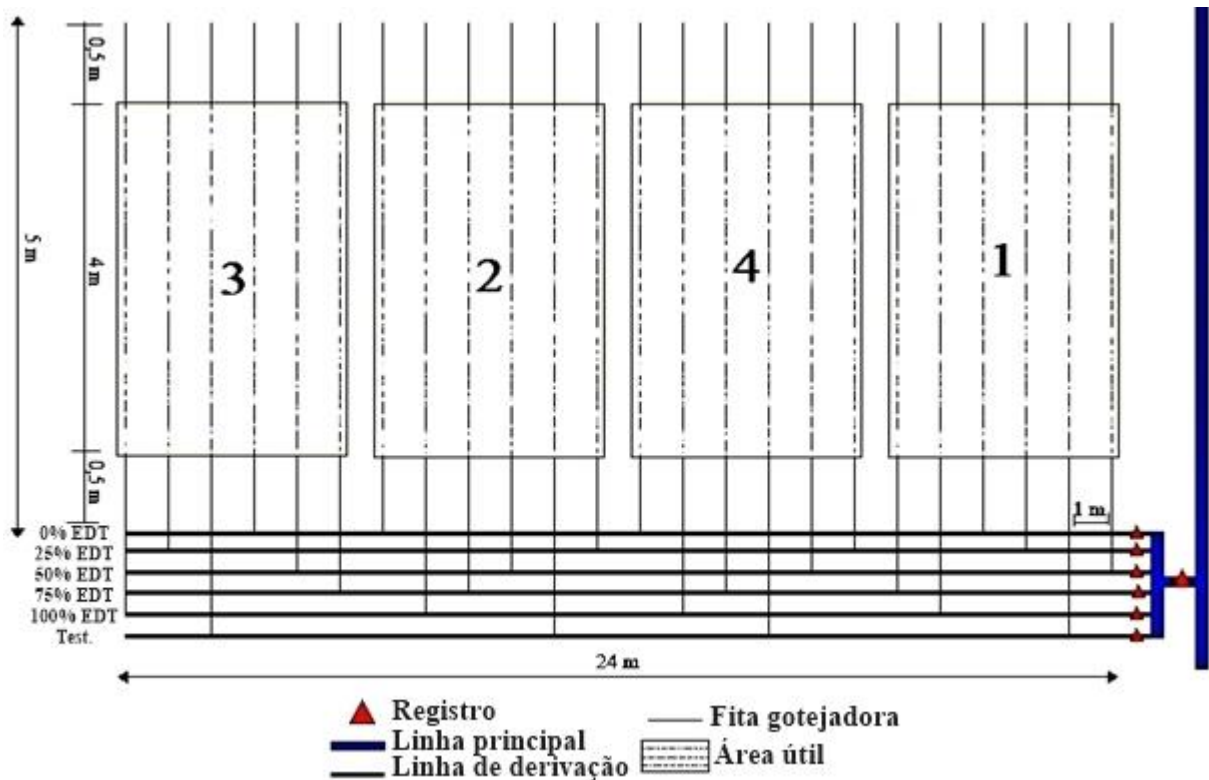
Fonte: Autor.

4.6.1.1 Experimento I: Crescimento, produtividade e nutrição do capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado em diferentes combinações

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições, contendo 10 plantas por repetição, sendo 8 delas consideradas nas avaliações.

Os seis tratamentos deste experimento consistiram em cinco combinações de aplicação do esgoto doméstico tratado (EDT) e água de poço (AP): 0% (100% AP), 25% (25% EDT + 75% AP), 50% (50% EDT + 50% AP), 75% (75% EDT + 25% AP), 100% (100% EDT) e um tratamento testemunha irrigado com água de poço (0% EDT) + adubação mineral (N-P-K).

Figura 8 - Layout do experimento detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2021.



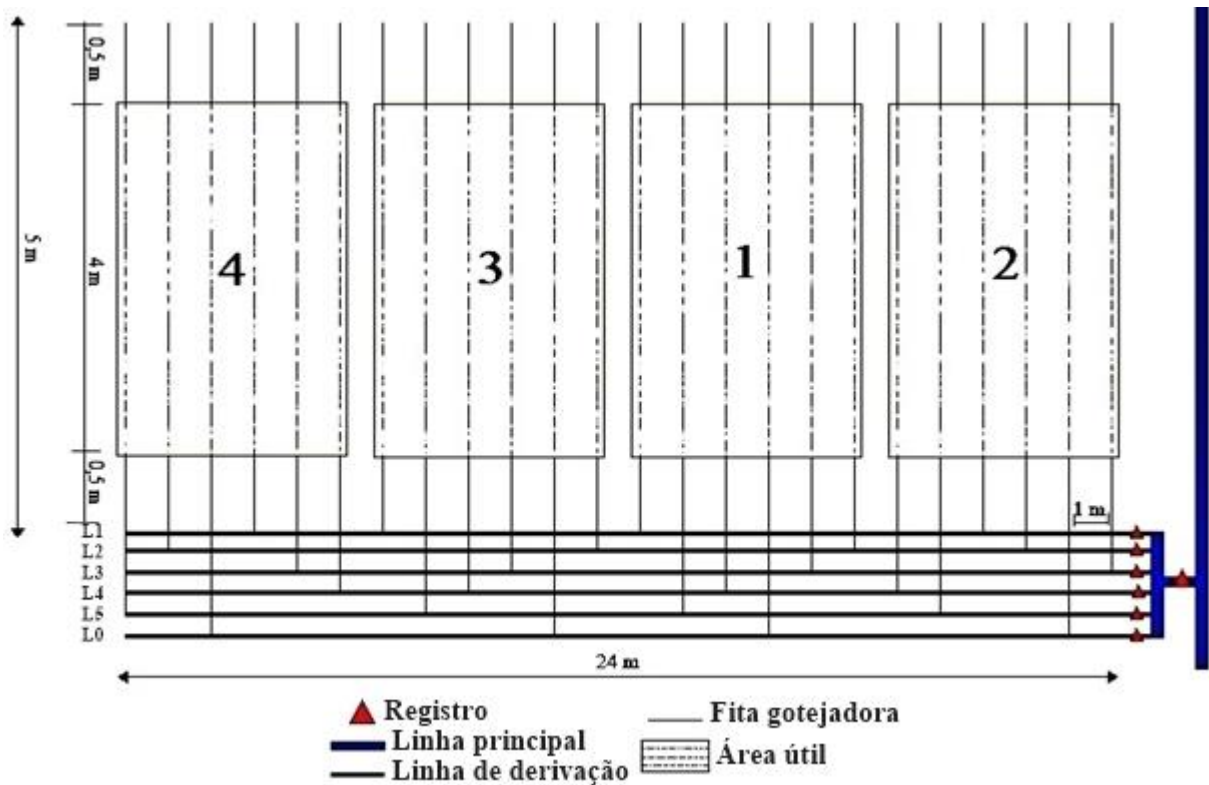
Fonte: Autor.

4.6.1.2 Experimento II: Produtividade e nutrição do capim elefante sob diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado

No experimento, foi utilizado o esgoto doméstico tratado nas irrigações, quando se testou diferentes lâminas de irrigação, tendo-se como base a evapotranspiração da cultura (ET_c). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos e quatro repetições, contendo 10 plantas por repetição, sendo 8 delas consideradas nas avaliações.

Os seis tratamentos consistiram em cinco diferentes lâminas de irrigação (L1 - 50% ET_c, L2 - 75% ET_c, L3 - 100% ET_c, L4 - 125% ET_c, L5 - 150% ET_c) com esgoto doméstico tratado e mais um tratamento controle (L0 - 100% ET_c) com água de poço e adubação mineral na dose recomendada.

Figura 9 - Layout do experimento detalhando os tratamentos e os blocos, Fortaleza, Ceará, 2021.



Fonte: Autor.

4.7 Variáveis avaliadas

As variáveis analisadas na cultura do capim elefante foram as de produtividade e o acúmulo de macronutrientes. Enquanto, no solo foram avaliados a salinidade e os elementos solúveis.

As variáveis de produtividade foram: número de perfilhos; diâmetro e comprimento do colmo; número de folhas; área foliar e massas fresca e seca da parte aérea, utilizando uma planta por repetição, colhidas ao final do período de 90 dias (idade do primeiro corte). A altura da planta foi medida com trena métrica contemplando o espaço entre o colmo a cerca de 5 cm do solo e a ponta da folha mais extrema. No momento da colheita, feita manualmente, o material foi fracionado em folhas e colmos e pesados separadamente com balança analítica, para a obtenção da relação entre folhas e colmos. Para quantificação da massa da matéria seca, o material foi secado em estufa a 65°C e posteriormente pesado.

Também, foram amostradas 5 plantas por tratamento, no momento da última coleta (90 dias após o plantio), para a obtenção do acúmulo de nutrientes. Essas amostras foram processadas em moinho tipo Willey e acondicionadas em recipientes fechados. Para a obtenção dos valores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), foi realizada a digestão via seca, e para a obtenção do nitrogênio (N), a digestão sulfúrica (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011).

A estimativa do pH, condutividade elétrica da solução do solo e dos principais cátions solúveis (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , P_2O_4^+ e Mg^{+2}) foram realizadas ao final do ciclo (90 dias após o plantio) por meio de análise de solo, conforme a metodologia proposta pela Embrapa (1997), coletando-se para isso uma amostra por repetição.

O solo utilizado neste processo foi coletado com trado do tipo cavadeira (Figura 10), tendo sido a amostra retirada do espaço entre plantas, para cada repetição, respeitando a área útil da parcela.

Figura 10 - Coleta de solo com trado tipo caixa, Fortaleza, Ceará, 2021.



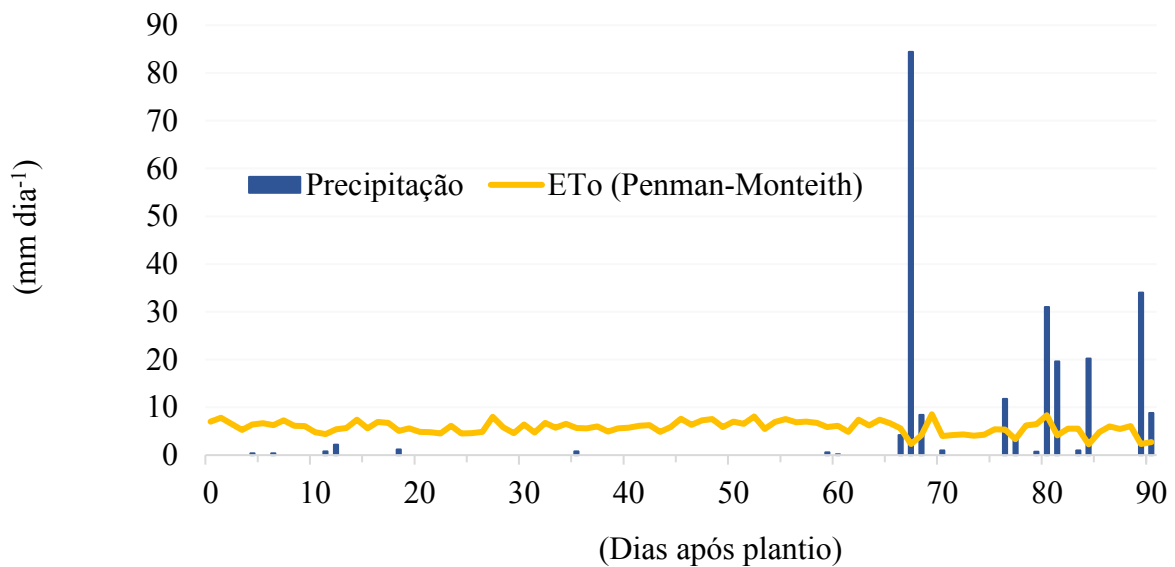
Fonte: Autor.

4.8 Precipitação e evapotranspiração no período

A Figura 11 mostra os comportamentos diário da precipitação e da evapotranspiração de referência – ET_{OPM} (Penman-Monteith), observadas no decorrer do experimento, nos meses de setembro a dezembro de 2018. Nota-se que houve um aumento considerável do volume precipitado a partir do dia 01 de dezembro (67º dia de cultivo), quando se observou 84,4 mm em 24h, totalizando um acumulado de 224,7 mm até o dia da colheita (90º dia de cultivo). Importante salientar que a precipitação média histórica no local para o mês de dezembro é de 37,3 mm e, portanto, este foi um mês atípico. Já a ET_{OPM} média diária (5,7 mm dia⁻¹), manteve-se próxima da média diária histórica (5,3 mm dia⁻¹) durante todo o período.

Figura 11 - Gráfico da evapotranspiração de referência – ET_o (Penman-Monteith) e precipitação diárias durante o período do experimento (25/09/2018 a 24/12/2018), Fortaleza,

2021.



Fonte: Autor.

4.9 Análise estatística

Os dados das variáveis respostas foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o nível de significância de 5% e a 1% para o teste F. Os dados médios de ambos experimentos foram comparados através do teste de Tukey para verificar a existência de diferenças significativas entre os tratamentos.

Quando significativos pelo teste F, os dados foram submetidos à análise de regressão visando encontrar a equação que melhor represente a relação entre as variáveis analisadas e as lâminas de irrigação com EDT.

Para a realização de todas as análises estatísticas fez-se uso dos programas: Microsoft Office Excel (2019) e do software ASSISTAT Versão 7.7 (SILVA & AZEVEDO, 2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I: Crescimento, produtividade e nutrição do capim elefante irrigado com esgoto doméstico tratado em diferentes combinações

5.1.1 Crescimento e produtividade

Visando comparar o tratamento testemunha e as combinações de aplicação do esgoto doméstico tratado com água de poço (0; 25; 50; 75 e 100% de EDT; e AP + adubação mineral) na irrigação deste, aplicou-se a análise de variância nas variáveis de desenvolvimento estudadas (Tabela 5). Verifica-se que houve diferença significativa a 1% para diâmetro do colmo (DC) e área foliar (AF), a 5% para altura da planta (AP), enquanto número de folhas (NF) e número de perfilhos (NP) não demonstraram diferença significativa, para as combinações de aplicação de EDT até os 90 dias após plantio.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		NF	DC	NP	AP	AF
Tratamento	5	185,47 ^(ns)	14,15 ^{**}	3,57 ^(ns)	1.096,27 [*]	109.667.424 ^{**}
Bloco	3	1.755,22 ^{**}	14,88 ^{**}	2,94 ^(ns)	4.592,11 ^{**}	459.761.463 ^{**}
Resíduo	15	175,49	1,19	1,54	286,91	11.899.726
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	22,58	6,91	28,14	14,08	20,34

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Dentre as variáveis que apresentaram diferença estatística, destacam-se dentre os que receberam EDT os tratamentos com utilização de 75 e 100% de EDT na irrigação do capim elefante. Para diâmetro do colmo (DC) e área foliar (AF), a irrigação exclusiva com esgoto proporcionou um aumento de 36 e 135%, respectivamente, em relação as plantas irrigadas apenas com água de poço e sem adubação mineral. As médias de diâmetro observadas neste trabalho (12,87 a 17,50 mm) englobam as medidas apresentadas por Santos *et al.* (2014-A), que

estudando três genótipos de capim elefante com adubação azotada, tiveram média de 15,33 mm para o diâmetro do colmo.

Em relação à altura da planta, notou-se maiores medidas quando utilizado 75% de EDT, obtendo-se média de 1,36 m de altura. Medidas superiores de altura foram encontradas por Saraiva e Konig (2013), que cultivando o capim elefante roxo irrigado diariamente com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar, obtiveram valores entre 1,5 e 2,0 m aos 90 dias após o plantio (DAP). Os valores superiores apresentados no trabalho em questão podem estar ligados ao sistema de irrigação utilizado, o qual foi do tipo superficial através de sulcos, possibilitando um maior aporte de nutrientes ao solo e consequentemente às plantas.

Nota-se, ainda, que todos os tratamentos que receberam 50% ou mais de EDT na irrigação não diferiram estatisticamente pelo método de Tukey ($p > 0,05$) do tratamento testemunha (água de poço + adubação mineral).

Tabela 6 - Diâmetro do colmo (DC), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável		
	DC (mm)	AP (cm)	AF (cm ² planta ⁻¹)
0% EDT	12,87 c	89,00 b	9.017,25 c
25% EDT	14,18 bc	116,25 ab	13.565,75 bc
50% EDT	15,99 ab	126,25 ab	16.077,50 abc
75% EDT	17,18 a	135,75 a	18.510,75 ab
100% EDT	17,50 a	127,50 ab	21.217,25 ab
Testemunha	17,08 a	127,25 ab	23.376,25 a
Média	15,80	120,33	16.960,79

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

A fim de estimar a fração de esgoto doméstico tratado na irrigação mais satisfatória no crescimento do capim elefante, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com aplicação de esgoto doméstico tratado (EDT) na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 7, está disposta a ANOVA para as variáveis de crescimento estudadas, onde pode-se notar que houve diferença significativa para diâmetro do colmo, altura da planta e área foliar, enquanto o número de folhas e o número de perfilhos não apresentaram diferença estatística, aos 90 dias após plantio (DAP), para as diferentes combinações de aplicação do EDT e AP na irrigação.

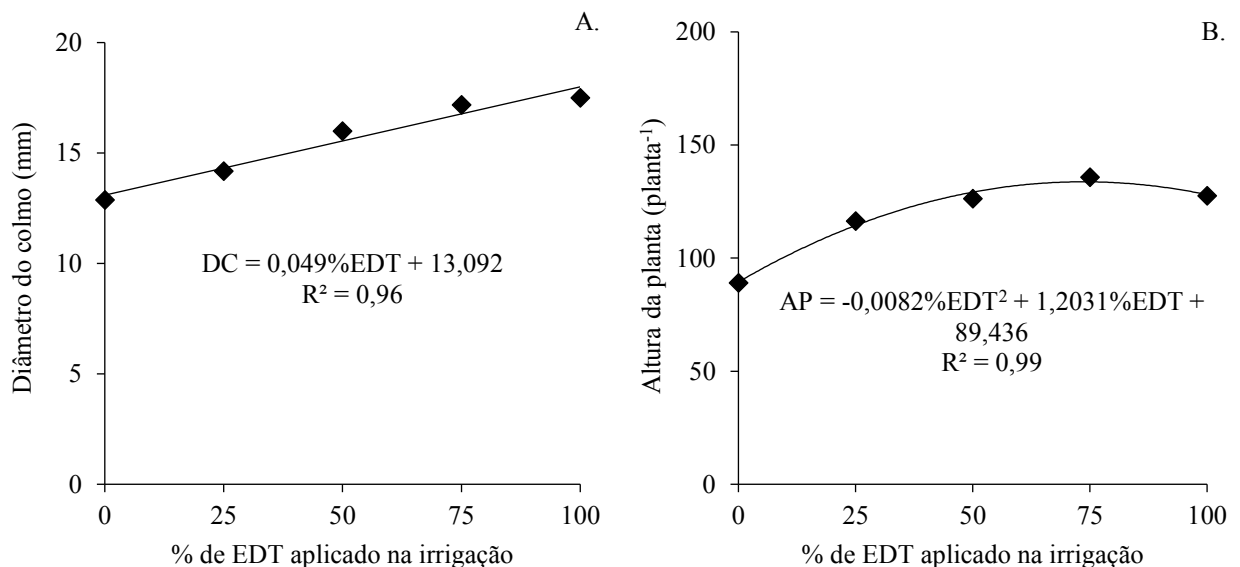
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		NF	DC	NP	AP	AF
Tratamento	4	224,82 ^(ns)	15,71**	3,45 ^(ns)	1.312,93*	87.694.553**
Bloco	3	1.773,65**	7,50**	2,80 ^(ns)	3.494,32**	317.512.250**
Resíduo	12	182,69	0,35	1,88	268,36	8.803.040
Total	19	-	-	-	-	-
CV(%)	-	22,85	3,78	29,83	13,77	18,92

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

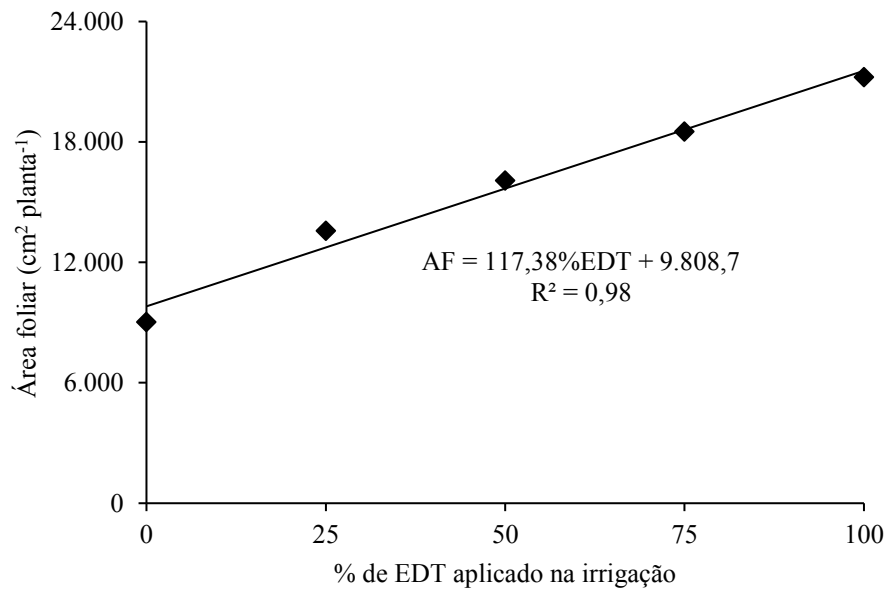
Observando o comportamento do diâmetro do colmo, observou-se, por meio das equações de regressão, desempenho linear crescente em função das combinações de aplicação de esgoto doméstico tratado e água do poço (Figura 12A), sendo o diâmetro médio máximo de 17,50 mm para o tratamento com 100% de EDT e o diâmetro médio mínimo de 12,87 mm para o tratamento sem utilização de EDT. Em relação à altura média da planta, o modelo de regressão que melhor se ajustou foi o polinomial de ordem 2 (Figura 12B), sendo o menor valor observado no tratamento com 0% de EDT (0,89 m) e o maior no tratamento com 75% de EDT (1,36 m), representando um incremento de aproximadamente 53% em relação a menor altura média. Estimando a combinação ótima através da equação, tem-se a relação de 73,36% de EDT com 26,64% de AP, para a altura de 1,34 m.

Figura 12 - Análise de regressão para as médias de diâmetro do colmo (A) e altura da planta (B) de capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



Avaliando a área foliar, observou-se valores crescentes estimados pela equação de regressão, partindo de 9.017 cm² planta⁻¹ quando da irrigação exclusiva com água de poço e atingindo 21.217 cm² planta⁻¹ para o tratamento com 100% de EDT (Figura 13). Esse aumento de área foliar pode expressar um grande potencial no uso da água de esgoto doméstico para a produção de capim elefante, gerando fitomassa para alimentação dos animais em regiões com problemas de escassez de água e/ou diminuir a pressão dos usos das águas de boa qualidade.

Figura 13 – Análise de regressão para as médias de área foliar em plantas de capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



Para as variáveis de produtividade, verificou-se que, com exceção da massa seca da folha (MSF), todas as outras responderam significativamente a influência das diferentes combinações de aplicação do esgoto doméstico tratado com água do poço na irrigação (0; 25; 50; 75 e 100% de EDT; e AP + adubação mineral) aos 90 dias após o plantio (DAP) (Tabela 8). Houve diferença significativa para massa seca do colmo (MSC) e produtividade de massa seca total (PRODMS) a 1% e para massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC) e produtividade de massa fresca total (PRODMF) a 5%.

Tabela 8 - Resumo da análise de variância para a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS), em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio
----	----	----------------

		MFF	MFC	MSF	MSC	PRODMF	PRODMS
Tratamento	5	21.468**	190.830**	1.721 ^(ns)	15.116*	129,78**	10,64*
Bloco	3	124.032**	1.512.390**	13.514**	85.440**	1.000,11**	66,33**
Resíduo	15	4.117	36.605	611	3.906	21,54	2,94
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV(%)	-	21,99	23,00	33,30	40,92	20,65	37,78

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Examinando as médias dos parâmetros de produtividade, percebe-se que os tratamentos com maiores concentrações de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação foram os que mais se aproximaram dos valores obtidos no tratamento testemunha, sendo os tratamentos com 50% ou mais de EDT estatisticamente iguais a testemunha pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

As maiores produtividades absolutas de massa fresca e de massa seca, 28,04 e 6,73 Mg ha⁻¹, respectivamente, foram provenientes do tratamento testemunha, demonstrando uma redução de 76% no peso do material após secagem. Santos *et al.* (2014-A) auferiram 51,77% de MS do capim elefante *cv.* Cameron cultivado com adubação azotada de fundação, sendo importante salientar que este segundo trabalho realizou a colheita aos 180 dias após o plantio, período em que a planta se apresenta mais lignificada e com maior acúmulo de matéria seca.

O tratamento com aplicação exclusiva de EDT na irrigação proporcionou uma produtividade de 26,83 Mg ha⁻¹ de massa fresca e 5,58 Mg ha⁻¹ de massa seca. Figueira (2015), avaliando o capim elefante *cv.* Pioneiro colhido em diferentes alturas de resíduo, obteve produção de massa fresca de 41,51 Mg ha⁻¹, quando colhido aos 3 meses de cultivo para a altura de resíduo 30 cm, valores superiores aos encontrados neste trabalho. Vale e Azevedo (2013) notaram uma redução da produtividade ao comparar o capim elefante irrigado com água de lençol freático *versus* rejeito de dessalinizador, apresentando 19,1 e 14,5 Mg ha⁻¹ de massa fresca, e 3,9 e 2,9 Mg ha⁻¹ de massa seca, para os tratamentos com água e rejeito respectivamente, valores bastante inferiores aos obtidos no experimento exposto no momento.

Em todos os tratamentos houve superioridade da massa do colmo em relação a da folha antes e após a secagem, com participação média de 74% na produtividade de massa fresca total (PRODMF) e 66% na produtividade de massa seca total (PRODMS). A menor participação no segundo caso pode ser explicada pelo fato de haver maior concentração de água no colmo em relação as folhas da planta. Ainda citando Figueira (2015), averiguando participação do colmo na produção de massa seca, encontrou 50%, em média, para as diferentes alturas de resíduo.

Para Meinerz *et al.* (2011), o valor nutritivo da forragem de capim elefante em pastejo está associado à relação lâmina foliar/colmo + bainha. A maior participação do colmo obtida neste trabalho deve-se ao fato da colheita ter sido realizada rente ao solo, compreendendo a parte mais exuberante do colmo.

Tabela 9 - Médias de massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS), em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável				
	MFF (g planta ⁻¹)	MFC (g planta ⁻¹)	MSC (g planta ⁻¹)	PRODMF (Mg ha ⁻¹)	PRODMS (Mg ha ⁻¹)
0% EDT	146,58 b	485,61 b	74,49 b	12,64 b	2,43 b
25% EDT	290,69 ab	768,17 ab	93,36 b	21,18 ab	2,93 ab
50% EDT	311,55 a	714,19 ab	151,13 ab	20,51 ab	4,44 ab
75% EDT	336,29 a	946,21 a	170,61 ab	25,65 a	5,13 ab
100% EDT	333,48 a	1.008,19 a	185,68 ab	26,83 a	5,58 ab
Testemunha	332,28 a	1.069,73 a	241,28 a	28,04 a	6,73 a
Média	291,81	832,02	152,75	22,48	4,54

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

A fim de estimar a fração de esgoto doméstico tratado (EDT) mais satisfatória no cultivo do capim elefante, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com percentagem de EDT na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 10, está disposta a ANOVA para as variáveis de produtividade estudadas, onde é possível notar que dentre elas, apenas a massa seca da folha (MSF) não apresentou diferença significativa. A massa fresca da folha (MFF) apresentou significância à 1%, enquanto as demais variáveis diferiram à 5% pelo teste F, aos 90 dias após o plantio (DAP), para as diferentes combinações de aplicação do esgoto na irrigação.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância para a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca (PRODMF) e produtividade de massa seca (PRODMS), em plantas de capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

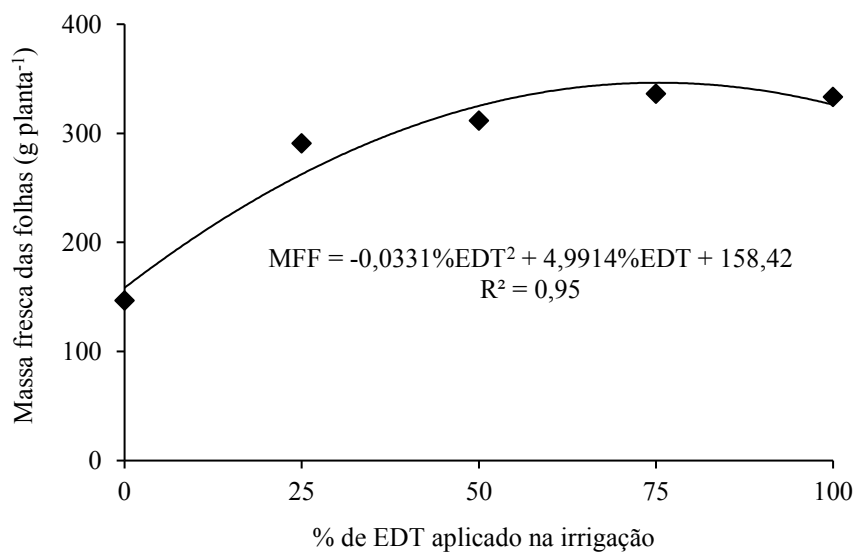
FV	GL	Quadrado Médio					
		MFF	MFC	MSF	MSC	PRODMF	PRODMS
Tratamento	4	24.871**	170.729*	1.614 ^(ns)	9.492*	125*	7,53*
Bloco	3	102.076**	1.198.629**	8.872**	51.609**	797**	41,06**
Resíduo	12	4.257	41.232	540	2.465	25	2,05
Total	19	-	-	-	-	-	-

CV(%)	-	23,00	25,88	33,21	36,76	23,44	34,91
-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

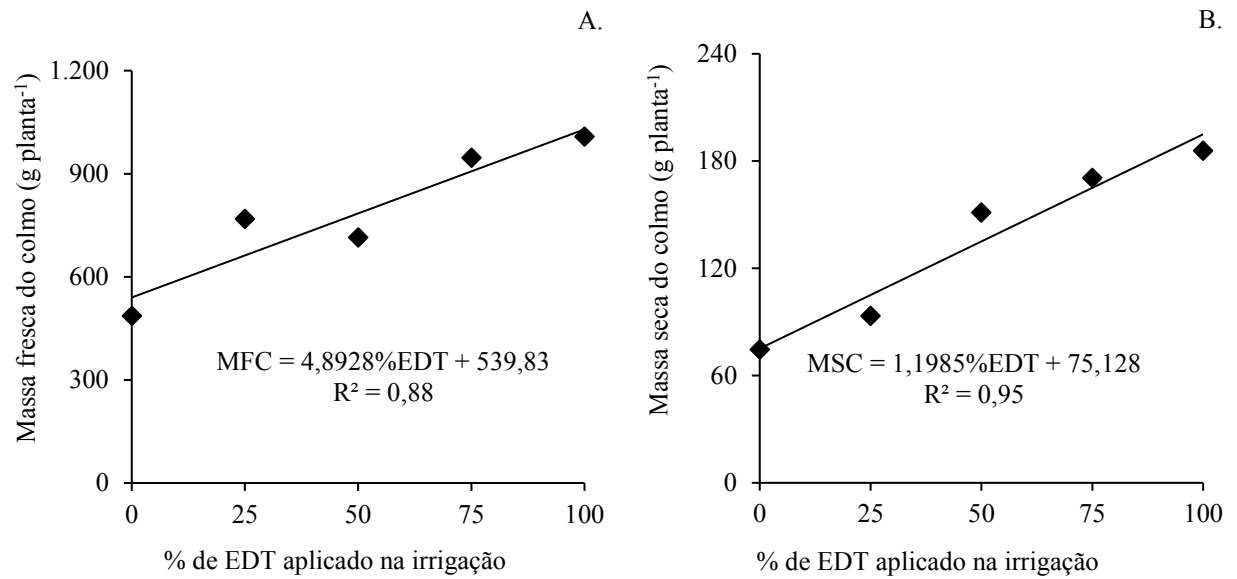
Na análise de regressão, a partir do modelo encontrado para as combinações de aplicação de esgoto doméstico tratado (EDT) na irrigação, verificou-se que houve um aumento linear de massa fresca do colmo (MFC), massa seca do colmo MSC, produtividade de massa fresca (PRODMF) e produtividade de massa seca (PRODMS) do capim elefante aos 90 dias após plantio (DAP) em função do aumento da dose de EDT (Figuras 15 e 16), sendo exceção a variável massa fresca da folha (MFF), à qual se ajustou melhor o modelo polinomial de ordem 2 (Figura 14). Ainda no tocante à MFF, foi possível estimar que o ponto de máxima produção correspondeu a aplicação de 75,4% de EDT e 24,6% de água de poço (AP), representando 346,59 g planta⁻¹ de massa fresca da folha.

Figura 14 - Análise de regressão para as médias de massa fresca da folha em plantas de capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



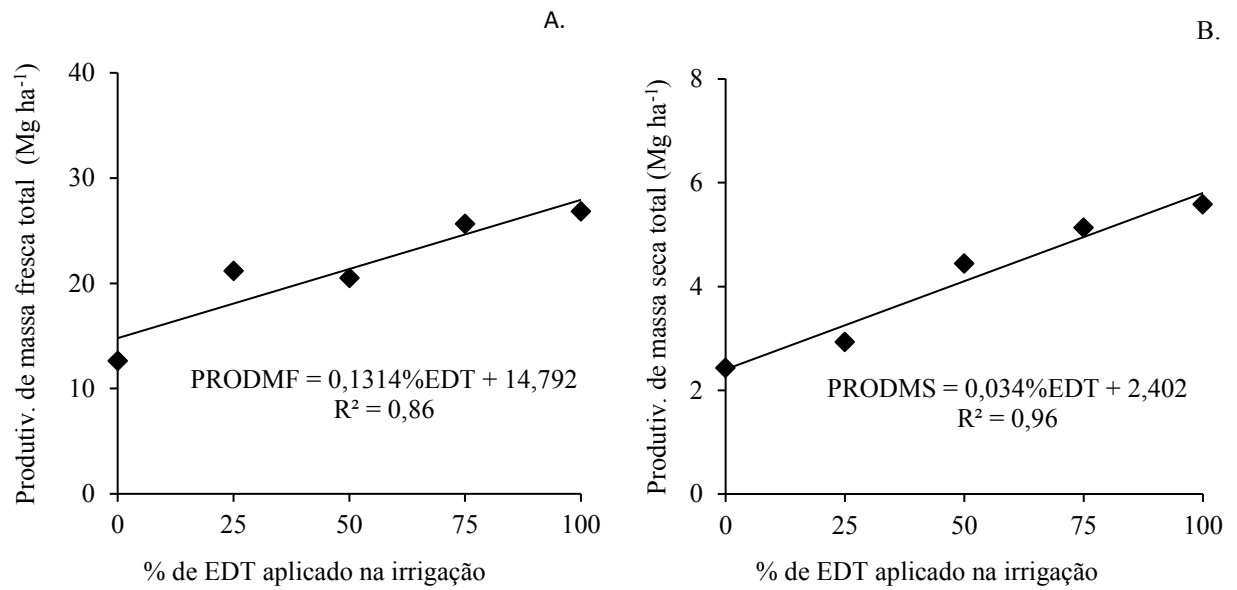
As maiores produtividades de massa fresca (Figura 15A) e seca (Figura 15B) do colmo foram de 1.008,19 e 185,68 g planta⁻¹, respectivamente, ambas para o tratamento com 100% de EDT. Enquanto, os menores valores foram observados na ausência de EDT, 485,61 e 74,49 g planta⁻¹ de MFC e MSC, respectivamente.

Figura 15 - Análise de regressão para as médias de massas fresca (A) e seca (B) do colmo em plantas de capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



O efeito da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) sobre a produtividade de massa fresca total (PRODMF) do capim elefante pode ser descrito pela equação $PRODMF = 0,1314 \%EDT + 14,792$ ($R^2 = 0,86$) e o da produtividade de massa seca total (PRODMS) pode ser descrito pela equação $PRODMS = 0,034 \%EDT + 2,402$, com $R^2 = 0,96$ (Figuras 16A e 16B, respectivamente). A maior produtividade de massa seca total alcançada neste trabalho ($5,58 \text{ Mg ha}^{-1}$), obtida quando da irrigação exclusiva com EDT, mostrou-se ligeiramente superior aos resultados encontrados por Meinerz *et al.* (2011) ao estudar o cultivo convencional e agroecológico do capim elefante ($4,71$ e $2,63 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente), aos 3 meses após início do estudo.

Figura 16 - Análise de regressão para as médias de produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS) do capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



5.1.2 Teores de macronutrientes na planta

Na Tabela 11, são apresentados os resultados da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante aos 90 dias após plantio (DAP), em função do tratamento testemunha e das combinações de aplicação de esgoto doméstico tratado e água de poço (0; 25; 50; 75 e 100% de EDT; e AP + adubação mineral) na irrigação deste. Pelos resultados apresentados, verificou-se que as diferentes quantidades de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação promoveram efeito significativo sobre os teores de potássio (K), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) ao nível de 1% e sobre o fósforo (P) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, enquanto o acúmulo de cálcio (Ca) não diferiu estatisticamente.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função dos tratamentos testados, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	N
Tratamento	5	37,11*	188,43**	56,75**	1,65 ^(ns)	19,02**
Bloco	3	15,41 ^(ns)	107,48**	72,69**	40,43**	38,17**
Resíduo	15	11,49	18,91	6,14	5,41	2,06
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	29,15	9,84	14,06	21,15	5,06

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Observando os teores de macronutrientes na planta de capim elefante (Tabela 12), pode-se perceber que, assim como nas variáveis de produtividade, os tratamentos com maiores quantidades de EDT aplicadas na irrigação foram os que mais se aproximaram dos valores obtidos no tratamento testemunha, sendo os tratamentos com 50% ou mais de EDT estatisticamente iguais a testemunha pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O nutriente encontrado de forma mais abundante no capim foi o K, atingindo 5,19% da composição do material quando do tratamento testemunha. Em seguida apresenta-se o N, compondo em 3,06% o material vegetal obtido neste mesmo tratamento.

Quanto ao Mg, os valores encontrados neste estudo estão de acordo com os expostos por Andrade *et al.* (2000), que avaliando a adubação potássica e nitrogenada do capim elefante obtiveram teores médios entre 10 e 20 g kg⁻¹. Ao avaliar a exportação desses macronutrientes pela colheita, que é dependente dos teores dos mesmos na parte aérea da planta e da produtividade de matéria seca, nota-se que a quantidade de macronutrientes exportados segue o seguinte comportamento: potássio > nitrogênio > magnésio > cálcio > fósforo. Este comportamento dos nutrientes na planta pode estar ligado a disponibilidade de cada nutriente no solo após as irrigações, tendo em vista a grande participação de potássio (K) e nitrogênio (N) na composição química dos efluentes domésticos, que em geral são ricos nesses nutrientes (BRESSAN *et al.*, 2012).

Os valores de fósforo (P) encontrados neste estudo estão de acordo com os apresentados por Moreira *et al.* (2006), que avaliando a adubação fosfatada e suas formas de aplicação, encontraram valores entre 7,0 e 17,0 g kg⁻¹ de matéria seca (MS). Estes ainda inferem que, quanto maior o volume de raízes em contato com o solo fertilizado, melhor o aproveitamento do P disponível, corroborando com a modalidade de aplicação de fertilizante (esgoto doméstico tratado – EDT) utilizada neste experimento.

Tabela 12 - Médias dos teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável			
	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	N (g kg ⁻¹)
0% EDT	8,53 b	33,72 c	12,71 c	24,45 b
25% EDT	9,22 ab	38,47 bc	14,30 bc	27,83 a
50% EDT	10,34 ab	44,47 ab	16,32 abc	28,33 a
75% EDT	11,71 ab	47,72 ab	19,33 ab	28,73 a
100% EDT	13,13 ab	48,73 a	21,71 a	30,08 a
Testemunha	16,83 a	51,93 a	21,42 a	30,63 a

Média	11,63	44,17	17,63	28,34
-------	-------	-------	-------	-------

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

A fim de melhor avaliar o comportamento dos teores de macronutrientes na parte aérea do capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com percentagem de EDT na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 13, está disposta a ANOVA para os teores de macronutrientes, onde pode-se notar que, com exceção do cálcio (que não mostrou diferença significativa), todos os outros macronutrientes responderam significativamente ($P < 0,01$) a fração de EDT aplicada na irrigação, aos 90 dias após o plantio (DAP).

Tabela 13 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	N
Tratamento	4	13,90**	163,28**	53,71**	2,06 ^(ns)	17,50**
Bloco	3	5,19*	95,69*	55,48**	44,85**	38,70**
Resíduo	12	1,41	23,24	6,17	3,84	1,92
Total	19	-	-	-	-	-
CV(%)	-	11,20	11,31	14,72	17,82	4,96

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Para os teores de fósforo, potássio, magnésio e nitrogênio na parte aérea do capim elefante, em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicada na irrigação, aos 90 dias após o plantio, constatou-se por meio da análise de regressão que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o linear. Em todos os casos, a irrigação exclusiva com esgoto doméstico tratado (EDT) representou um incremento de pelo menos 20% no acúmulo dos nutrientes em comparação com o tratamento que recebeu apenas água de poço.

Os teores de potássio encontrados neste trabalho são bastante superiores aos apresentados por Santos *et al.* (2012) para três variedades de capim elefante, na presença e ausência de gesso. No entanto, a idade de corte no experimento citado foi de 213 dias após o plantio (DAP), enquanto neste foi de 90 DAP, período em que a planta ainda está em desenvolvimento e apresentando maior taxa de absorção de nutrientes.

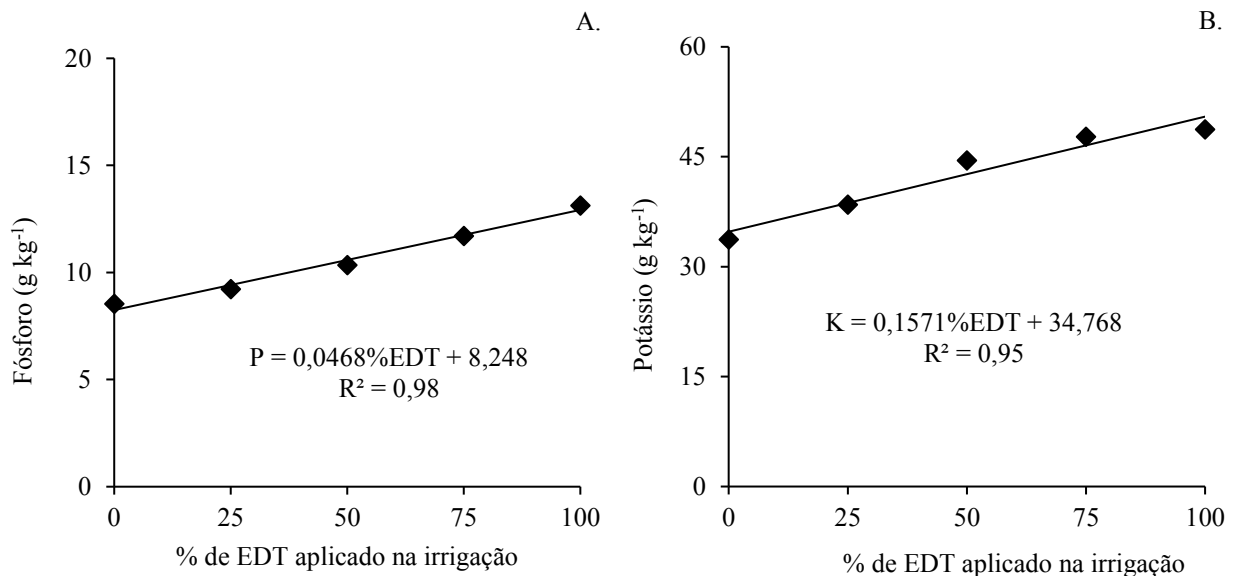
Os elevados valores de fósforo observados neste trabalho podem ser explicados pela sua comum abundância em efluentes domésticos e à sua característica de pouca mobilidade no

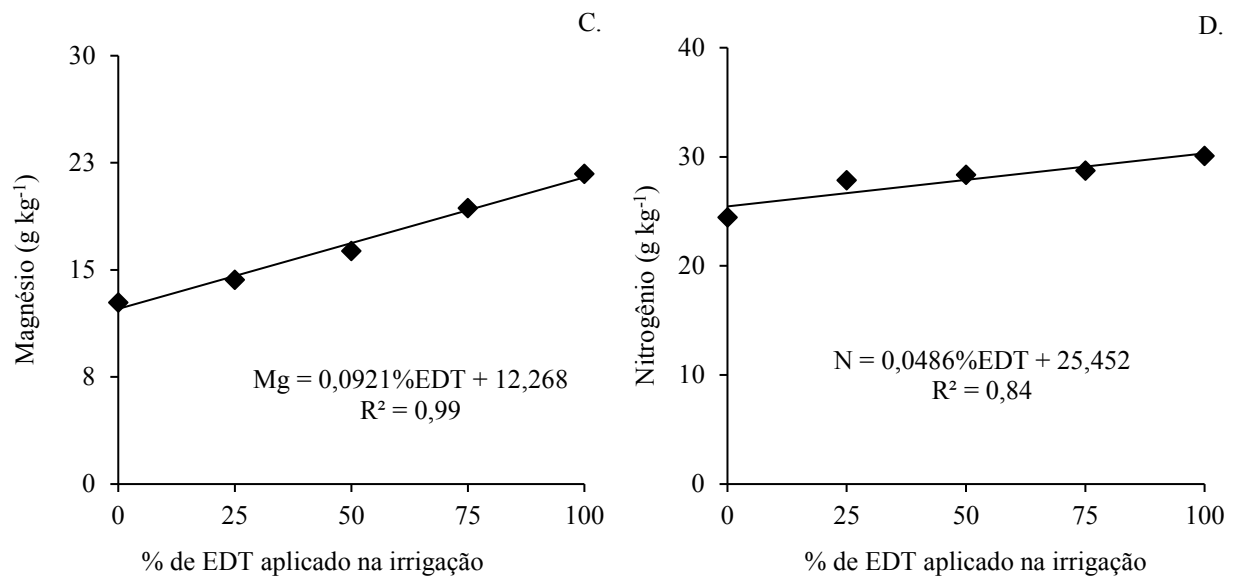
solo, tornando-se disponível para a planta pela mineralização da matéria orgânica presente no esgoto aplicado ao solo.

O aumento linear do acúmulo médio de potássio não prejudicou o aumento do acúmulo médio de magnésio, que esteve acima daqueles expostos por Oliveira *et al.* (2011). A proporção inversa destes dois elementos é algo recorrente nas culturas devido a absorção competitiva destes dois elementos e observado em outros estudos (ANDRADE *et al.*, 2000; PAULA *et al.*, 2011).

O acúmulo médio de nitrogênio na parte aérea da planta apresentou comportamento linear crescente, onde a menor concentração foi observada no tratamento sem aplicação de esgoto doméstico tratado (EDT) e a maior concentração foi obtida no tratamento com aplicação exclusiva de EDT (24,45 e 30,08 g kg⁻¹, respectivamente). Valores máximos superiores a esses foram observados por Xu *et al.* (2015), investigando o potencial do capim elefante em extrair nutrientes de águas oriundas de esgotos domésticos, que apontaram um acúmulo máximo de 57,01 g kg⁻¹ na parte aérea da planta.

Figura 17 - Análise de regressão para os teores médios de fósforo (A), potássio (B), magnésio (C) e nitrogênio (D) na parte aérea do capim elefante em função da fração de esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.





5.1.3 Solo

Na Tabela 14, está disposta a ANOVA para os teores de macronutrientes do solo ao final do experimento. Observa-se que não houve diferenciação significativa entre os tratamentos trabalhados para nenhuma das variáveis analisadas, demonstrando uma igualdade estatística para estes parâmetros.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) no solo cultivado com capim elefante em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	Na
Tratamento	5	248,78 ^(ns)	0,15 ^(ns)	13,18 ^(ns)	14,78 ^(ns)	0,34 ^(ns)
Bloco	3	7.412,78**	0,27 ^(ns)	8,71 ^(ns)	20,04 ^(ns)	0,58 ^(ns)
Resíduo	15	362,88	0,10	43,51	26,78	0,43
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	31,48	32,91	39,09	41,81	29,46

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Não foram encontradas diferenças estatísticas para as características químicas do solo cultivado com capim elefante e irrigado com diferentes combinações de esgoto doméstico tratado e água do poço durante 90 dias. Na Tabela 15, dispõe-se da ANOVA para as variáveis potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), potencial de sódio trocável (PST) e capacidade de troca catiônica (CTC).

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para as variáveis potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), potencial de sódio trocável (PST) e capacidade de troca catiônica (CTC) no solo cultivado com capim elefante em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		pH	CE	SB	PST	CTC
Tratamento	5	0,045 ^(ns)	0,0004 ^(ns)	13,993 ^(ns)	4,008 ^(ns)	13,993 ^(ns)
Bloco	3	0,064 ^(ns)	0,0003 ^(ns)	6,812 ^(ns)	3,947 ^(ns)	6,812 ^(ns)
Resíduo	15	0,096	0,0005	15,515	4,572	15,515
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	4,26	24,88	12,14	9,54	12,14

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
 FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

5.2 Experimento II: Produtividade e nutrição do capim elefante sob diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado

5.2.1 Crescimento e produtividade

Na Tabela 16, estão dispostas as lâminas de irrigação que foram aplicadas para cada tratamento, que foram correspondentes as estimativas da evapotranspiração da cultura tendo como base a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith.

Tabela 16 - Lâmina de irrigação aplicada na cultura do capim elefante, para cada tratamento, Fortaleza, Ceará, 2021.

	Tratamento (% ETc)				
	50	75	100	125	150
Lâmina aplicada (mm)	217,83	326,75	435,67	544,59	653,51

Com relação às variáveis de crescimento da cultura do capim elefante irrigado com diferentes lâminas (50; 75; 100; 125; e 150% da ETc com EDT; e AP 100% da ETc + adubação mineral), observando o resultado da análise de variância, verifica-se que houve influência significativa dos tratamentos, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F para as variáveis: número de folhas, diâmetro do colmo e altura da planta, e a nível de 5% para área foliar, enquanto que o número de perfilhos não sofreu influência das lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação aplicada, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		NF	DC	NP	AP	AF
Tratamento	5	810,10**	0,86**	1,08 ^(ns)	1.355,54**	67.387.810*
Bloco	3	1.127,17**	11,94 ^(ns)	0,93 ^(ns)	643,49*	172.059.592**
Resíduo	15	160,97	14,05	0,90	169,59	15.020.048
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	21,78	23,06	20,48	9,54	26,25

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Em todas as variáveis que demonstraram influência significativa para a lâmina de irrigação aplicada, as maiores médias foram observadas quando se aplicou 100% ou mais da ETc, seja irrigando exclusivamente com o esgoto doméstico tratado (EDT) ou com água de poço (AP) e promovendo adubação química (Tabela 18).

Em relação aos tratamentos que receberam irrigação com déficit (L1 – 50% ETc e L2 – 75% ETc), nota-se (Tabela 18) que atingiram médias inferiores aos tratamentos que supriram pelo menos 100% da ETc (L3 – 100% ETc, L4 – 125% ETc, L5 – 150% ETc e L0 – 100% ETc) para todas as variáveis de crescimento avaliadas. Isso confirma a necessidade de reposição total da água utilizada pela planta em seu desenvolvimento para que não haja perda de produtividade.

Quanto ao número de folhas por planta (Tabela 18) houve um aumento de 80,62% e 88,13% respectivamente, para os tratamentos com 150% da ETc irrigado com esgoto doméstico tratado (EDT) e a testemunha (100% da ETc com água de poço + adubação química) em relação ao tratamento com menor aporte de irrigação (50% da ETc com EDT). Aumento maior que este pode ser visto na variável área foliar, onde os tratamentos com 150% da ETc irrigado com EDT e a testemunha proporcionaram um incremento de 91 e 100%, respectivamente, em relação ao tratamento com a menor lâmina de irrigação (50% da ETc com EDT).

O diâmetro do colmo, dentre todas as variáveis, foi a que menos variou em relação aos tratamentos testados, não diferindo entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Santos *et al.* (2014-B), testando doses de nitrogênio no cultivo de três espécies de capim elefante, também não observou diferença estatística entre as doses (0; 500; 1.000; 1.500 e 2.000 kg ha⁻¹) para nenhuma das cultivares. No entanto, as medidas apresentadas por estes autores estão em conformidade com as obtidas no presente trabalho.

A máxima altura média de planta observada neste experimento foi de 1,55 m para o tratamento testemunha, seguido do tratamento L4 (125% da ETc irrigado com esgoto doméstico), que apresentou média de 1,53 m de altura da planta aos 3 meses após o plantio. Salazar-Zeledón *et al.* (2020), ao estudarem o desenvolvimento do capim elefante na Costa Rica, observaram altura média máxima de aproximadamente 3,4 m aos 12 meses após o plantio, evidenciando o potencial de crescimento da cultura.

Tabela 18 - Médias de número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação aplicada, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável			
	NF	DC (mm)	AP (cm)	AF (cm ² planta ⁻¹)
L1 (50% ETc)	40,00 c	15,96 a	114,75 b	9.490,25 b
L2 (75% ETc)	45,75 bc	15,81 a	113,25 b	9.980,00 b
L3 (100% ETc)	53,75 abc	15,86 a	137,75 ab	15.301,75 a
L4 (125% ETc)	62,50 abc	16,43 a	152,50 a	16.596,00 a
L5 (150% ETc)	72,25 ab	17,00 a	145,50 a	18.140,75 a
L0 (Testemunha)	75,25 a	16,46 a	155,00 a	19.063,75 a
Média	58,25	16,25	136,46	14.762,08

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

A fim de estimar a lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) mais satisfatória no crescimento do capim elefante, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com aplicação de EDT na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 19, está disposta a ANOVA para as variáveis de crescimento estudadas, onde nota-se que houve interação significativa para todas, com exceção do número de perfilhos, aos 90 dias após plantio (DAP).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), diâmetro do colmo (DC), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e área foliar (AF), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação aplicada, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		NF	DC	NP	AP	AF
Tratamento	4	665,83**	1,02*	0,88 ^(ns)	1.281,87**	62.029.559*
Bloco	3	477,38**	13,59 ^(ns)	0,20 ^(ns)	420,18 ^(ns)	113.314.221**
Resíduo	12	76,59	16,86	1,08	180,64	14.092.224
Total	19	-	-	-	-	-
CV(%)	-	15,96	25,33	23,04	10,12	27,00

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

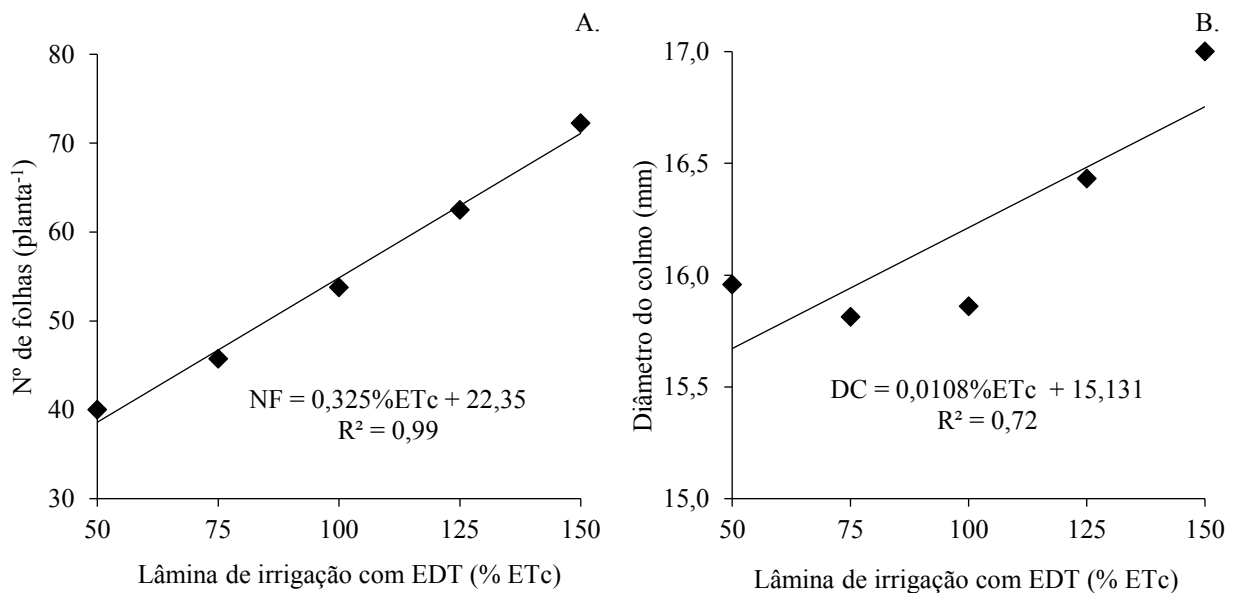
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

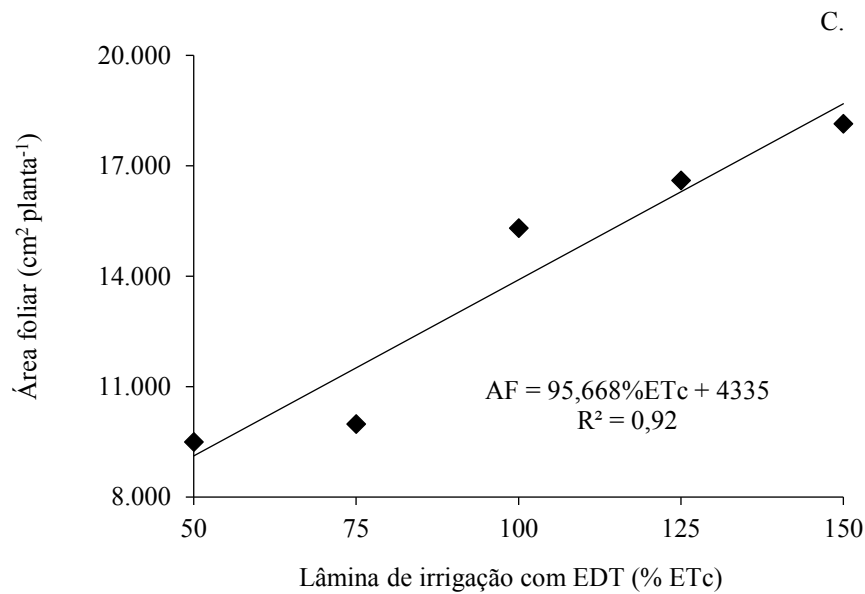
Por meio da análise de regressão, observou-se desempenho linear crescente em função do aumento da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) (Figura 18) para todas as variáveis de crescimento (número de folhas, diâmetro do colmo e área foliar), com exceção da variável altura da planta (AP), à qual se ajustou melhor o modelo polinomial de ordem 2 (Figura 19). As variáveis número de folhas e área foliar foram as que melhor

responderam ao aumento da lâmina de irrigação (Figura 18A e 18C), podendo este fato estar ligado a característica geral dos efluentes domésticos em concentrar várias substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos eliminados todos os dias pelo ser humano, o que torna a sua utilização mais vantajosa por ser uma forma de reaproveitar também nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e matéria orgânica, ajudando a manter a fertilidade e a produtividade do solo (BRESSAN *et al.*; 2012). Portanto, quanto maior for a lâmina, maior será o aporte dessas substâncias no solo.

A média geral de diâmetro do colmo observada neste trabalho (16,25 mm), apesar de não apresentar diferença estatística entre si, está de acordo com as medidas apresentadas por Saraiva *et al.* (2013), que estudando o desenvolvimento do capim elefante irrigado por sulco com esgoto doméstico tratado (EDT), apontaram médias entre 16 e 18 mm por colmo em diferentes épocas do ano.

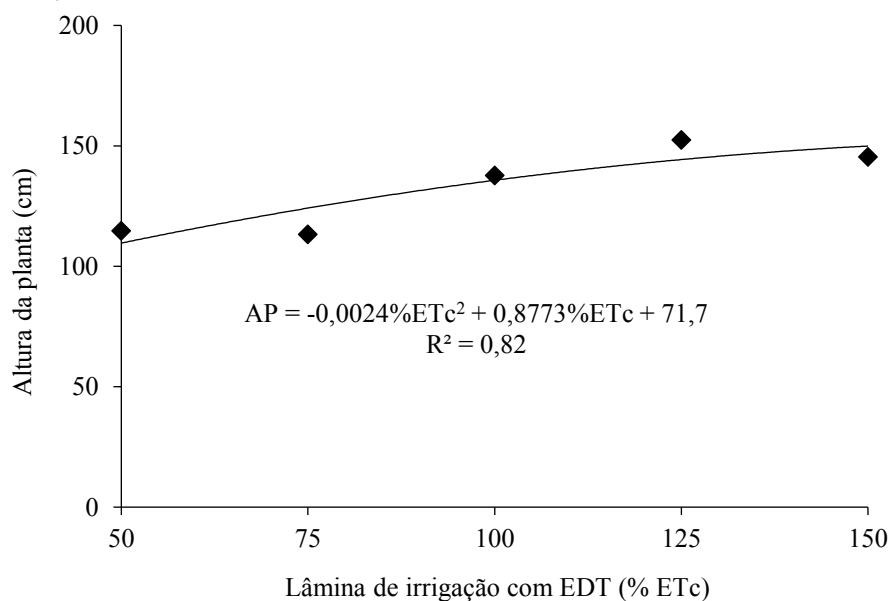
Figura 18 - Análise de regressão para as médias de número de folhas (A), diâmetro do colmo (B) e área foliar (C) de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.





O fato de a variável altura da planta não apresentar comportamento linear, como as demais testadas, pode ter ocorrido devido a forma de coleta aleatória dos dados dentro das parcelas. Porém, é sabido que o excesso de nutrientes pode ser prejudicial à cultura, interferindo em seu crescimento, situação essa que pode ter ocorrido no tratamento com maior aporte de esgoto doméstico tratado (L5 – 150% da ETc com EDT) e consequentemente, maior aporte de nutrientes.

Figura 19 - Análise de regressão para as médias de altura da planta (AP) de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



Na Tabela 20, são apresentados os resultados da análise de variância para a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS) em plantas de capim elefante aos 90 dias após o plantio (DAP), em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação (50; 75; 100; 125; e 150% da ETc com EDT) e do tratamento testemunha (100% da ETc com água de poço + adubação mineral). Pelos resultados apresentados, verificou-se que as diferentes lâminas aplicadas na irrigação promoveram efeito significativo sobre massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF) e produtividade de massa fresca total (PRODMF) ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F, enquanto a massa seca do colmo (MSC) e a produtividade de massa seca total (PRODMS) não diferiram estatisticamente.

Tabela 20 - Resumo da análise de variância para a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		MFF	MFC	MSF	MSC	PRODMF	PRODMS
Tratamento	5	36.111*	262.636*	2.522**	16.025 ^(ns)	194*	6,94 ^(ns)
Bloco	3	67.563**	374.073**	3.613**	7.396 ^(ns)	299**	1,72 ^(ns)
Resíduo	15	8.861	65.426	333	6.971	45	3,31
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV(%)	-	27,92	31,00	23,53	43,04	28,97	33,52

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Ao observar as variáveis de produtividade, pode-se perceber que os tratamentos que receberam no mínimo 100% da ETc, incluindo o tratamento testemunha, se mostraram estatisticamente iguais entre si (pelo teste de Tukey $P < 0,05$) para todas as variáveis, com exceção da massa seca da folha. Isso demonstra a capacidade do uso do esgoto doméstico tratado em suprir a necessidade de nutrientes da cultura, tendo em vista que os tratamentos irrigados exclusivamente com esgoto doméstico tratado (EDT) produziram de forma igualitária ao tratamento com água de poço e adubação química, desde que o fornecimento de água atenda pelo menos 100% da ETc, ou seja, sem que a planta sofra déficit hídrico (Tabela 21).

A maior produtividade absoluta de massa fresca para as condições deste experimento foi oriunda do tratamento testemunha e do irrigado com 150% da ETc utilizando esgoto doméstico tratado (EDT), os quais proporcionaram produtividades de 29,96 e 29,94 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 21). Em contrapartida, os tratamentos com menor produtividade de massa fresca total foram os que receberam as menores lâminas irrigação com 75 e 50% da ETc, para uma produtividade de 14,24 e 16,08 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 21 - Médias da massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF) e produtividade de massa fresca total (PRODMF) em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável			
	MFF (g planta ⁻¹)	MFC (g planta ⁻¹)	MSF (g planta ⁻¹)	PRODMF (Mg ha ⁻¹)
L1 (50% ETc)	244,31 ab	559,45 a	48,37 c	16,08 ab
L2 (75% ETc)	219,52 b	492,56 a	56,14 c	14,24 b
L3 (100% ETc)	314,13 ab	769,90 a	67,37 bc	21,68 ab
L4 (125% ETc)	364,69 ab	1014,66 a	81,75 abc	27,59 ab
L5 (150% ETc)	429,27 ab	1067,67 a	98,60 ab	29,94 a
L0 (Testemunha)	450,77 a	1047,18 a	113,32 a	29,96 a
Média	337,11	825,24	77,59	23,25

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, p<0,05.

A fim de estimar a lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) mais satisfatória no cultivo do capim elefante, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com aplicação de EDT na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 22, está disposta a ANOVA para as variáveis de produtividade estudadas, onde é possível notar que dentre as variáveis, apenas a massa seca do colmo (MSC) e a produtividade de massa seca total (PRODMS) não apresentaram diferença significativa. A massa fresca da folha (MFF) e a massa seca da folha (MSF) apresentaram significância à 5%, enquanto que a massa fresca do colmo (MFC) e a produtividade de massa fresca total (PRODMF) diferiram à 1% pelo teste F, aos 90 dias após o plantio (DAP), em função da lâmina de irrigação aplicada com EDT.

Tabela 22 - Resumo da análise de variância para a massa fresca da folha (MFF), massa fresca do colmo (MFC), massa seca da folha (MSF), massa seca do colmo (MSC), produtividade de massa fresca total (PRODMF) e produtividade de massa seca total (PRODMS), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio					
		MFF	MFC	MSF	MSC	PRODMF	PRODMS

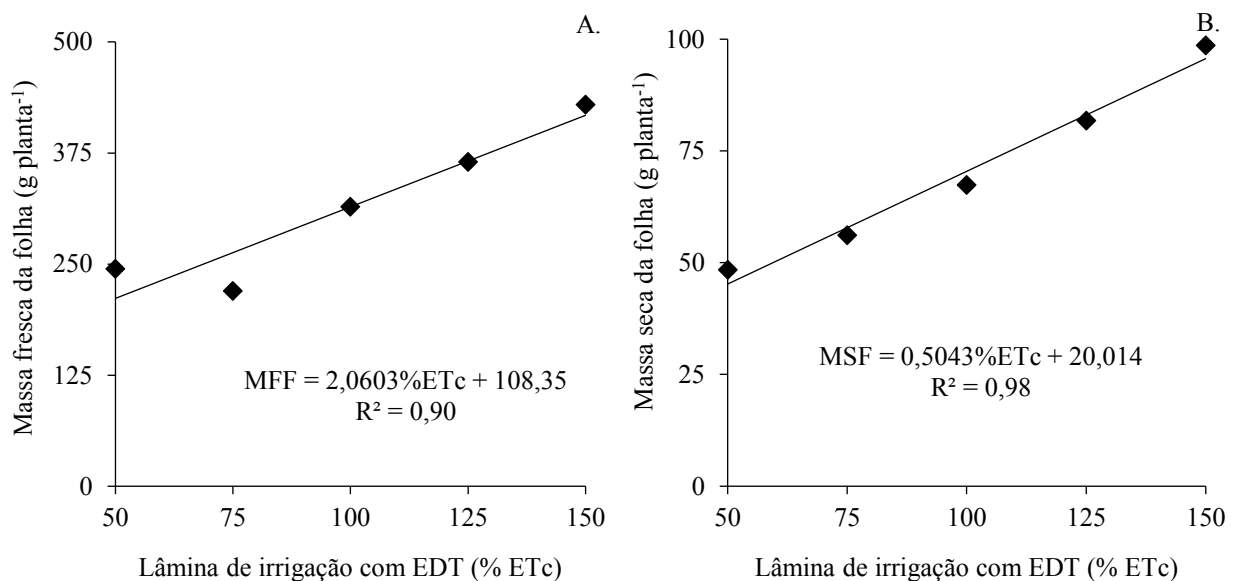
Tratamento	4	29.637*	269.184**	1.622*	19.908 ^(ns)	189,59**	7,67 ^(ns)
Bloco	3	32.746*	160.866*	2.697**	6.551 ^(ns)	134,94*	1,11 ^(ns)
Resíduo	12	6.145	41.902	357	8.436	29,88	4,00
Total	19	-	-	-	-	-	-
CV(%)	-	24,94	26,22	26,83	47,85	24,96	38,11

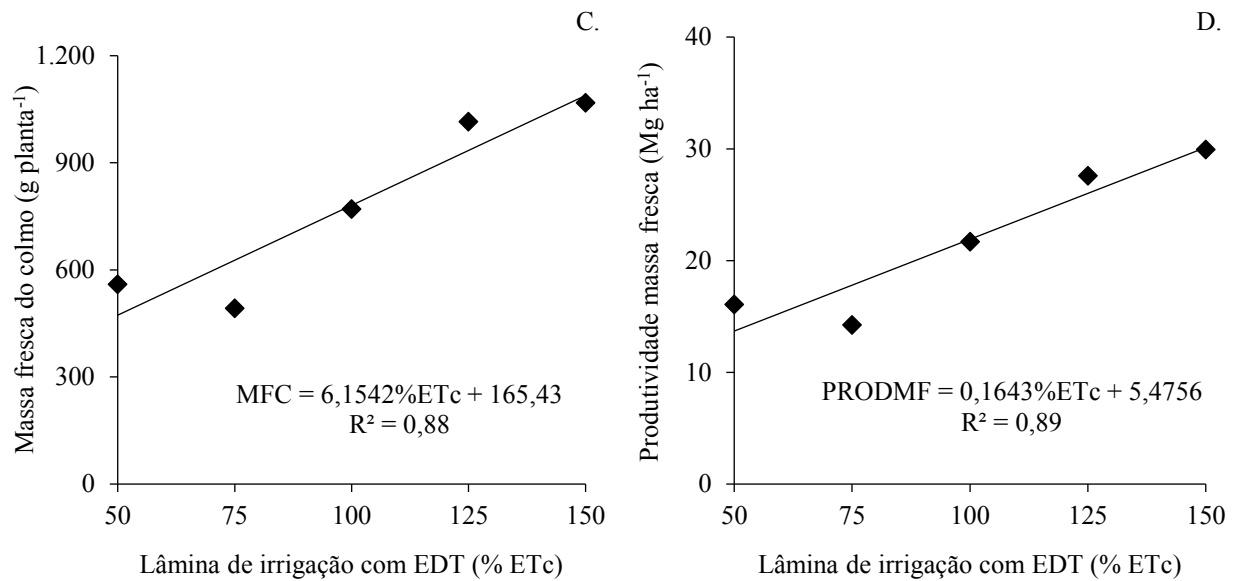
** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.
 FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Na análise de regressão, a partir do modelo encontrado para os tratamentos, verificou-se que todas as variáveis reagiram de forma linear crescente ao aumento da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) (Figura 20). Com isso, podemos afirmar que a cultura reagiu de forma bastante positiva a aplicação do EDT, exibindo os melhores resultados para todos os parâmetros de produtividade estudados quando da irrigação com 150% da ETC utilizando-se de EDT, enquanto que os menores valores foram vistos quando da irrigação com as menores lâminas (50 e 75% da ETC).

Resultados semelhantes foram encontrados por Garcia *et al.* (2016), que estudando o comportamento da biomassa e da proteína bruta de duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado, concluíram que o aumento das doses de EDT aplicadas promoveu o aumento linear positivo na produtividade, matéria seca e teor de proteína em Tifton 85 e capim marandu.

Figura 20 - Análise de regressão para a massa fresca da folha (A), massa seca da folha (B), massa fresca do colmo (C) e produtividade de massa fresca (D), em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.





5.2.2 Teores de macronutrientes na planta

Na Tabela 23 estão expostos os resultados da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante aos 90 dias após o plantio (DAP), em função das lâminas de irrigação com EDT (50; 75; 100; 125; e 150% da ETc com EDT) e do tratamento testemunha (100% da ETc com água de poço + adubação mineral). Pelos resultados apresentados (Tabela 23), verificou-se que os diferentes tratamentos testados promoveram efeito significativo sobre os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, enquanto que o acúmulo de magnésio (Mg) não diferiu estatisticamente.

Tabela 23 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	N
Tratamento	5	19,38**	20,60**	14,29 ^(ns)	32,68**	125,67**
Bloco	3	3,36 ^(ns)	4,14 ^(ns)	57,57**	129,98**	65,68*
Resíduo	15	1,46	1,56	5,07	5,29	12,74
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	9,66	8,82	14,65	18,93	12,98

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Observando os teores de macronutrientes na planta de capim elefante (Tabela 24), percebe-se que, assim como nas variáveis de produtividade, os tratamentos com aplicação das maiores lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) foram os que mais se aproximaram dos valores obtidos no tratamento testemunha, sendo os tratamentos que receberam no mínimo 100% da ETc, incluindo o tratamento testemunha, estatisticamente iguais entre si (pelo teste de Tukey $P < 0,05$) para todas as variáveis, com exceção do acúmulo de potássio.

O nutriente encontrado de forma mais abundante no capim foi o nitrogênio (N), com participação de 3,28% da composição do material quando irrigado com esgoto doméstico tratado (EDT) a uma lâmina de 150% da ETc (Tabela 24). Isso pode ser explicado pelo fato de as águas residuais tratadas possuírem alto teor de amônio – NH_4 (em média 35 mg L^{-1}) (RAHIMI *et al.*, 2018) e este tratamento haver recebido a maior quantidade de EDT.

Quanto ao potássio (K), os valores encontrados neste estudo se mostraram inferiores aos apresentados por Oliveira *et al.* (2011), que avaliando a composição químico-bromatológica do capim elefante submetido à adubação química e orgânica obteve teores médios entre $20,1$ e $23,8 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

O maior acúmulo de fósforo (P) na parte aérea da planta ($14,49 \text{ g kg}^{-1}$) foi promovido pelo cultivo com adubação química, mas não diferiu estatisticamente dos tratamentos com uso exclusivo de esgoto doméstico tratado (EDT) na irrigação, desde que aplicada uma lâmina de irrigação de pelo menos 75% da ETc (Tabela 24). Já para o cálcio (Ca), o maior acúmulo na parte aérea ($15,65 \text{ g kg}^{-1}$) foi proporcionado pelo tratamento com aplicação de 150% da ETc utilizando-se exclusivamente de esgoto doméstico tratado, seguido do tratamento testemunha que apresentou $14,16 \text{ g kg}^{-1}$ de cálcio na parte aérea do capim elefante. Porém, não diferiram dos tratamentos com reposição de 100% ou mais da ETc.

Tabela 24 - Médias dos teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

Tratamento	Variável			
	P (g kg^{-1})	K (g kg^{-1})	Ca (g kg^{-1})	N (g kg^{-1})
L1 (50% ETc)	8,26 b	11,16 c	7,81 c	17,70 b
L2 (75% ETc)	12,17 a	12,43 bc	10,00 bc	25,08 ab
L3 (100% ETc)	13,23 a	13,17 bc	12,10 abc	27,83 a
L4 (125% ETc)	13,31 a	14,79 ab	13,21 ab	29,23 a
L5 (150% ETc)	13,49 a	16,33 a	15,65 a	32,78 a
L0 (Testemunha)	14,49 a	16,93 a	14,16 ab	32,43 a
Média	14,14	12,49	12,16	27,50

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

A fim de estimar a lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) mais satisfatória no acúmulo de macronutrientes na parte aérea do capim elefante, realizou-se a análise de variância apenas para os tratamentos com aplicação de EDT na irrigação, excluindo-se o tratamento testemunha. Na Tabela 25, a seguir, está disposta a ANOVA para os teores dos nutrientes avaliados, onde podemos notar que todos apresentaram significância pelo teste F, aos 90 dias após o plantio (DAP), para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas com EDT.

Tabela 25 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	N
Tratamento	4	19,43**	16,36**	10,07*	36,01**	128,03**
Bloco	3	1,26 ^(ns)	2,80 ^(ns)	42,98**	126,35**	81,84**
Resíduo	12	0,56	1,89	2,05	2,38	8,62
Total	19	-	-	-	-	-
CV(%)	-	6,17	10,13	9,63	13,12	11,07

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F.

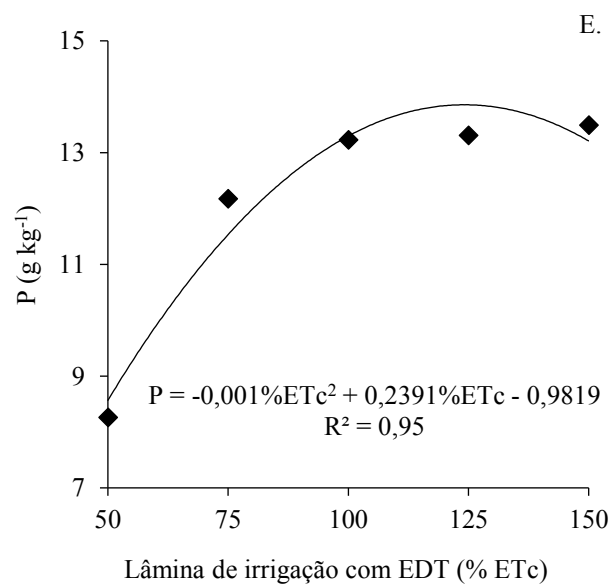
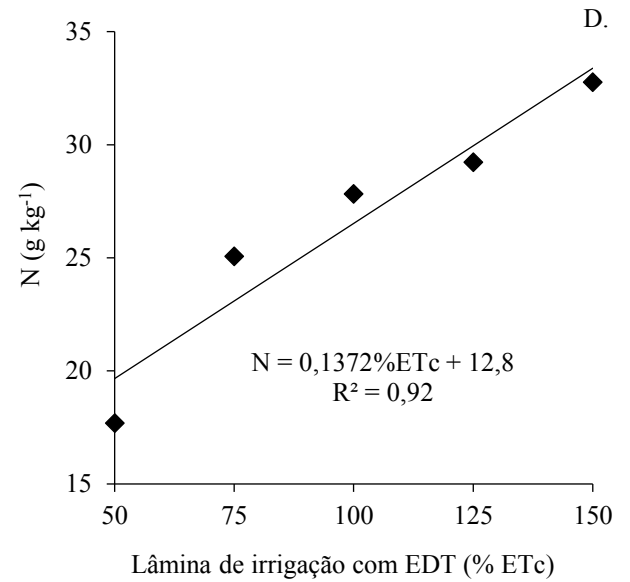
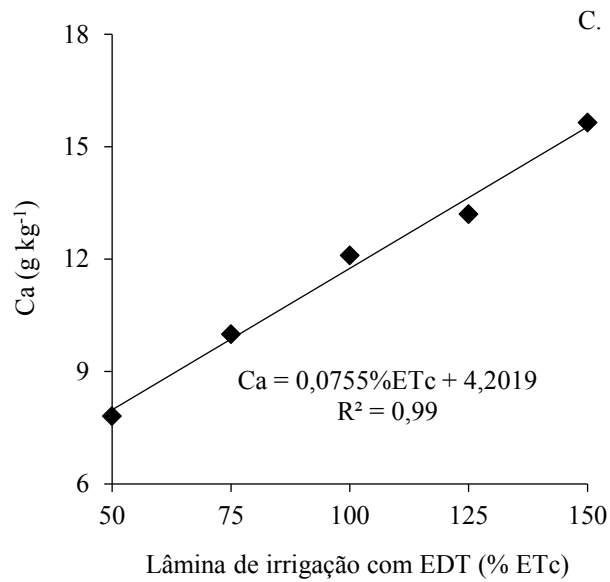
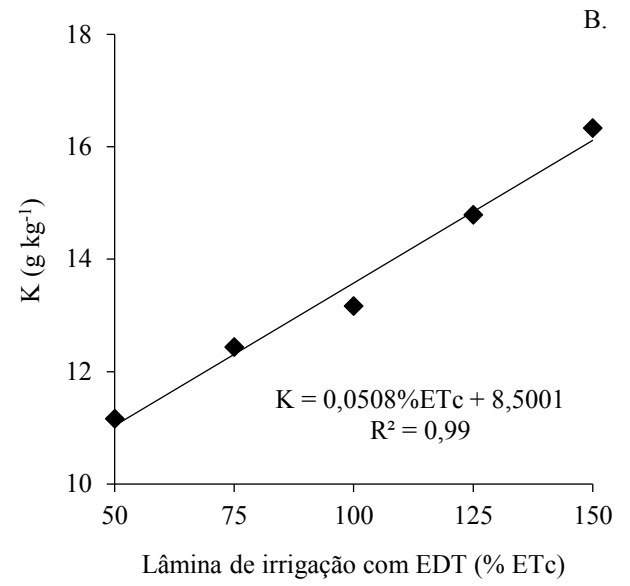
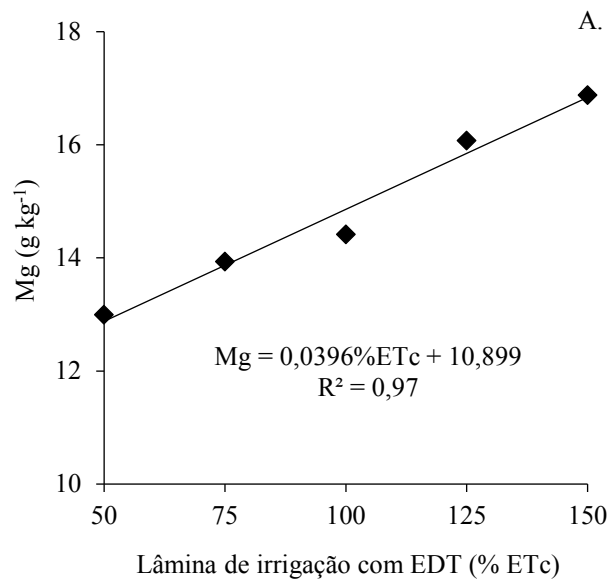
FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Para os teores de potássio (K), magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e nitrogênio (N) na parte aérea do capim elefante, em função da quantidade de esgoto doméstico tratado aplicado na irrigação, aos 90 dias após o plantio (DAP), constatou-se por meio da análise de regressão que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o linear (Figura 21).

Em todos os casos os menores teores de nutrientes foram resultado da irrigação com déficit (L1 e L2), enquanto que as maiores médias foram oriundas do tratamento com maior aporte de esgoto doméstico tratado (EDT) pela irrigação, aplicando-se 150% da ETc (Figura 21).

Para o acúmulo de fósforo (P), a análise de regressão revelou que o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial de ordem 2 (Figura 21E). Com isso, foi possível estimar que o ponto com média máxima de fósforo na planta correspondeu a irrigação com lâmina de 119,55% da ETc, representando 15,27 g kg⁻¹ de massa seca.

Figura 21 - Análise de regressão para os teores de magnésio (A), potássio (B), cálcio (C) e nitrogênio (D) em plantas de capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.



5.2.3 Solo

Na Tabela 26, a seguir, está disposta a ANOVA para os teores de macronutrientes do solo ao final do experimento. Observa-se que não houve diferenciação significativa entre os tratamentos trabalhados para nenhuma das variáveis analisadas, demonstrando uma igualdade estatística para estes parâmetros.

Tabela 26 - Resumo da análise de variância para os teores de fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) no solo cultivado com capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Mg	Ca	Na
Tratamento	5	382 ^(ns)	0,10 ^(ns)	17,97 ^(ns)	14,67 ^(ns)	0,87 ^(ns)
Bloco	3	5.793**	1,40**	18,00 ^(ns)	91,67 ^(ns)	2,76*
Resíduo	15	380	0,11	36,23	31,13	0,61
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	34,19	28,72	45,72	34,16	30,23

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Também não houve diferença significativa para as características químicas do solo cultivado com capim elefante, em função das lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) (50; 75; 100; 125; e 150% da ETc com EDT) e do tratamento testemunha (água de poço + adubação mineral) pelo período de 90 dias. A seguir (Tabela 27), dispõe-se o quadro da ANOVA para as variáveis potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), potencial de sódio trocável (PST) e capacidade de troca catiônica (CTC).

Tabela 27 - Resumo da análise de variância para as variáveis potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), soma de bases (SB), potencial de sódio trocável (PST) e capacidade de troca catiônica (CTC) no solo cultivado com capim elefante em função da lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (EDT) aplicado na irrigação, Fortaleza, Ceará, 2021.

FV	GL	Quadrado Médio				
		pH	CE	SB	PST	CTC
Tratamento	5	0,043 ^(ns)	0,0003 ^(ns)	13,344 ^(ns)	10,487 ^(ns)	13,344 ^(ns)
Bloco	3	0,825**	0,0010*	26,500 ^(ns)	36,326*	26,500 ^(ns)
Resíduo	15	0,083	0,0003	25,034	7,939	25,034
Total	23	-	-	-	-	-
CV(%)	-	3,94	15,69	15,04	35,51	15,04

** significativo a 1% pelo teste F; * significativo a 5% pelo teste F; ^(ns) não significativo pelo teste F. FV - Fonte de variação; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação.

Importante citar que a não diferenciação estatística para os parâmetros do solo neste experimento pode ter ocorrido devido ao forte volume pluviométrico ocorrido no último mês de cultivo, onde observou-se um total acumulado de 224,7 mm até o dia da coleta, com um evento de 84,4 mm em 24h no dia 1 de dezembro, o que gerou escoamento superficial e possível homogeneização da camada superior do solo, implicando assim nas amostras coletadas ao final do ciclo.

6 CONCLUSÕES

A produção de capim elefante irrigado com combinações de água e esgoto doméstico tratado mostrou-se viável, desde que haja a participação mínima de 50% do EDT, uma vez que para esta condição a produtividade e o acúmulo de macronutrientes na planta foram estatisticamente iguais aos obtidos no tratamento testemunha.

O aumento das lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado interferiu positivamente no crescimento, na produção e nutrição do capim elefante, destacando-se as lâminas que repuseram 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc), proporcionando as melhores respostas da cultura juntamente com o tratamento testemunha.

O acúmulo de nutrientes na planta de capim elefante foi influenciado positivamente pela utilização do esgoto doméstico tratado (EDT) na irrigação, na forma combinada com água de poço ou somente o EDT.

A utilização do esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes, mostrou-se como uma alternativa viável para a produção do capim elefante, possibilitando a manutenção de alimento de qualidade mesmo em períodos de estiagem, a preservação das águas de melhor qualidade para fins mais nobres e economia com fertilizantes químicos.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 9648 – **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** – Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ADEWUMI, J. R.; ILEMOBADE, A. A.; VAN ZYL, J. E. Treated wastewater reuse in South Africa: Overview, potential and challenges. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 2, p. 221-231, 2010.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56. **Crop Evapotranspiration (guidelines for computation crop water requirements)**, Roma: FAO, 1998.
- ANDRADE, A. C. *et al.* Elephant grass Napier cv. mass production and nutritive value under increasing levels of nitrogen and potassium fertilizers. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 6, p. 1589-1595, 2000.
- ARARAT, E.; TAFUR, H. Efectos de la interaccion riego-fertilizacion sobre la produccion de forraje em tres pastos de corte. **Acta Agronomica**, v. 40, n. 1/2, p. 158-161, 1990.
- AUAD, A.M. *et al.* **Flutuação populacional de Deoisschach (Fabricus, 1787) em pastagens de Brachiaria brizantaha**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. Anais...João Pessoa: SBZ, UFPB, 2006.
- BARRETO, L. P.; BEZERRA NETO, E. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: UFRPE, 267p. 2011.
- BOGDAN, A. V. Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes). **Tropical Agricultural Series**, London. 241p., 1977.
- BRASIL. Ministério da Educação. Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Portaria nº 206, de 4 de setembro de 2018. **Diário Oficial da União**, Brasília, nº 172, 5 set. 2018. Seção 1, p. 22. Disponível em: http://www.imprensa nacional.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/39729251/do1-2018-09-05-portaria-n-206-de-4-de-setembro-de-2018-39729135. Acesso em: 19 out. 2018.
- BRESSAN, D. F. *et al.* O reuso de água da agricultura: teorias e práticas. In: OLIVEIRA, E. L. **Manual de utilização de águas residuárias em irrigação**. 1. ed. Botucatu: Fepaf, 2012. cap. 1, p. 13-87.
- BRUNKEM, J.N. A systematic study of Pennisetum sect. Pennisetum (Graminae). **American Journal of Botany**, v.64, n.2, p.161-176, 1977.
- CARR, R. M.; BLUMENTHAL, V. J.; MARA, D. D. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. **Water Science and Technology**, v.50, p.31-38, 2004.
- CERETTA, C. A. *et al.* Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 729-735, 2003.

CORCORAN, E. *et al.* **Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment.** United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. 2010.

DA ROS, C. O. *et al.* Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p.35-44, 2017.

DANTAS, D. C. **Produção e desenvolvimento de girassol irrigado com esgoto doméstico tratado.** 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

DUTRA, C. C. *et al.* Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina**, v.33, suplemento 1, p.2657-2668, 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: EMBRAPA, 370p, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 306 p. 2006.

FIGUEIRA, D. N. *et al.* Forage yield and quality in elephant grass cv. Pioneiro harvested at different cutting height and times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 1017-1027, 2016.

FIGUEIRÊDO, V. B.; *et al.* Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2009.

FONSECA, A. F. *et al.* Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, v.64, p.194-209, 2007.

FONTANELI, R. S. *et al.* Gramíneas forrageiras perenes de verão. In: FONTANELI, R. S. *et al.* **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira.** 2. ed. Brasília: Embrapa, cap. 8, p.265-269, 2012.

GARCIA, G. O. *et al.* Biomass and crude protein of two forages fertigated with treated domestic sewage. **Revista engenharia na agricultura-reveng**, v. 24, n. 4, p. 326-337, 2016.

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

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, p. 131-158, 2008.

JACQUES, A.V.A. Caracteres morfo-fisiológicos e suas aplicações como manejo. In: CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F. (Eds.) **Capim elefante: produção e utilização.** Coronel Pacheco: Embrapa-Gado de Leite, p.31-47. 1994.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation desing. **Glendora: Rain Bird Sprinklers manufacturing CORP.** 133p. 1975.

KERSHNER, I. Aided by the Sea, Israel Overcomes An Old Foe: Drought. The New York Times, New York, NY, May 29. 2015. Disponível em:

<https://www.nytimes.com/2015/05/30/world/middleeast/water-revolution-in-israelovercomes-any-threat-of-drought.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

KÖPPEN, W. Klassifikation der klimate nach temperatur, niederschlag und jahreslauf. **Petermanns Geographische Mitteilungen**, v. 64, p.193-203, 1918.

LIBUTTI, A. *et al.* Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 196, p.1-14, 2018.

LIMA, E.S. *et al.* Característica agronômicas e nutritivas das principais cultivares de Capim-Elefante do Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu. v.17, n.3, p.324-334, 2010.

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

MEINERZ, G. R. *et al.* Produção e valor nutritivo de capim elefante em dois sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.12, p.2673-2680, 2011.

MENG, F.; FU, G.; BUTLER, D. Water quality permitting: From end-of-pipe to operational strategies. **Water Research**, v. 101, p.114-126, 2016.

MOREIRA, L. D. M. *et al.* Absorção e Níveis Críticos de Fósforo na parte aérea para manutenção da produtividade do Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum cv. Napier*). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1170-1176, 2006.

OLIVEIRA, P. G. F. *et al.* Eficiência de uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reuso. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.2, p.153–158, 2012.

OLIVEIRA, T. S. D. *et al.* Composição químico-bromatológica do capim-elefante submetido à adubação química e orgânica. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 1, 2011.

OTERO, J. R. **Informações sobre algumas plantas forrageiras**. 2. ed. Rio de Janeiro, SIA, 334p, 1961.

PAULA, L. *et al.* Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.9, p.931–939, 2011.

PEREIRA, A. V. *et al.* Melhoramento de forrageiras tropicais. In: Nass, L. L. *et al.* **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis, p.549 – 602, 2001.

PESCOD, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO, **Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n. 47, p. 118, 1992.

PIRES, M. M. M. L. *et al.* Produção do meloeiro submetido a diferentes manejos de água com o uso de manta de tecido não tecido. **Horticultura Brasileira**, v.31, n. 2, p.304-310, 2013.

PLAYÁN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, v.80, p.100-116, 2006.

- QUESADA, D.M. **Seleção de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum schum.*) para alta produção de biomassa e eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN)**. Seropédica, RJ. Dissertação (Mestrado) 140p, 2001.
- RAHIMI, M. H. *et al.* Quality assessment of treated wastewater to be reused in agriculture. **Global Journal Of Environmental Science And Management**, v. 4, n. 2, p.217-230, 2018.
- REZENDE, C. C. S. **Reuso potável de esgoto sanitário: possibilidades e riscos**. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- RICART, S.; RICO, A. M. Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. **Agricultural Water Management**, v. 217, p.426-439, 2019.
- SALAZAR-ZELEDÓN, E.; GAITÁN-ALVAREZ, J.; MOYA, R. Production and Characteristics of Biomass for Arundo donax, *Pennisetum purpureum*, and *P. purpureum* x *P. glaucum* in a Short-Rotation Crop System in Humid Tropical Conditions in Costa Rica. **Transactions of the ASABE**, v. 63, n. 2, p. 295-304, 2020.
- SANTOS, M. M. P. *et al.* Respostas do capim-elefante sob doses de adubação azotada de cobertura para fins energéticos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, p. 100-108, 2014-A.
- SANTOS, M. M. P. *et al.* Características produtivas de capim-elefante sob doses de fósforo e nitrogênio para fins energéticos. **Científica**, v.42, n.4, p.354–365, 2014-B.
- SANTOS, O. O. *et al.* **Ácidos orgânicos em silagens de erva-sal com diferentes proporções de capim-elefante**. In: 46ª Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, Maringá. 2009.
- SANTOS, R. L. *et al.* Extração e eficiência de uso de nutrientes em capim-elefante na presença de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 497-505, 2012.
- SAPKOTA, A. R. Water reuse, food production and public health: Adopting transdisciplinary, systems-based approaches to achieve water and food security in a changing climate. **Environmental Research**, v. 171, p.576-580, 2019.
- SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **Holos**, v. 1, p. 28-46, 2013.
- SATO, T. *et al.* Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. **Agricultural Water Management**, v. 130, p.1-13, 2013.
- SCOTT, C. A.; FARUQUI, N. I.; RASCHID-SALLY, L.; Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities. **CAB International**, Cambridge, MA. 2004.
- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
- SOUSA, V. F.; COÊLHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. de. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 659-664, 1999.

- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas de flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 2005.
- STEINER, F. *et al.* Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 4, n. 1, p. 16-28, 2011.
- TCACENCO, F.A.; BOTREL, M.A. Identificação e avaliação de acessos e cultivares de capim-elefante. In: CARVALHO, M.M.; ALVIN, M.J.; XAVIER, D.F. **Capim elefante: produção e utilização**. 2ª ed., revisada. Brasília: Embrapa-SPI e Juiz de Fora: Embrapa-Gado de Leite, p.1- 30, 1997.
- THEBO, A. L. *et al.* A global, spatially-explicit assessment of irrigated croplands influenced by urban wastewater flows. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 7, p.1-12, 2017.
- TONELLO, Kelly Cristina. **Gestão e planejamento de recursos hídricos no Brasil: conceitos, legislações e aplicações**. 2011.
- TRATA BRASIL. **Acesso à água nas regiões Norte e Nordeste do Brasil: desafios e perspectivas**. Instituto Trata Brasil – saneamento é saúde, p. 187, 2018.
- TSAGARAKIS, K. P. *et al.* Safety alerts reduce willingness to visit parks irrigated with recycled water. **Journal Of Risk Research**, v. 16, n. 2, p.133-144, 2013.
- USGCRP. **Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment**. Volume 1. Washington, D.C. USA. 2017.
- USGS. **How Much Water is there on, in and Above the Earth?** U.S. Department of the interior. U.S. Geological Survey. Washington, D.C. USA. 2016.
- VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Holos**, v. 3, p. 181-195, 2013.
- VANHAM, D. *et al.* Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: An evaluation of indicator 6.4.2 “Level of water stress”. **Science Of The Total Environment**, v. 613-614, p.218-232, 2018.
- VILELA, H.; **Série gramíneas tropicais – gênero Pennisetum (*Pennisetum purpureum*), 2009**. Disponível em: http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_pennisetum_purpureum.htm Acesso em: 10 abr. 2019.
- VILELA, L. *et al.* Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2002. p. 367-382.
- WHO - World Health Organization. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. **Technical Report Series**. Geneva: WHO, 74p. 2004.
- WORLD BANK GROUP. **Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal)**. The World Bank Group, Washington, D.C. 2016. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.fwag.zs>. Acesso em: 02 abr. 2019.

XAVIER, D. F. *et al.* Caracterização Morfológica e Agronômica de Algumas Cultivares de Capim-Elefante. Embrapa-CNPGL. 1995.

XU, Q. *et al.* *Pennisetum sinense* Roxb and *Pennisetum purpureum* Schum. as vertical-flow constructed wetland vegetation for removal of N and P from domestic sewage. **Ecological Engineering**, v. 83, p. 120-124, 2015.