

LEANDRO CANDIDO GORDIN

**SORGO SACARINO IRRIGADO COM LÂMINAS DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO
SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

RECIFE - PE
JULHO DE 2023

LEANDRO CANDIDO GORDIN

**SORGO SACARINO IRRIGADO COM LÂMINAS DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO
SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo).

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

RECIFE - PE
JULHO DE 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G662s Gordin, Leandro Candido
SORGO SACARINO IRRIGADO COM LÂMINAS DE ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA: Engenharia de Água e Solo / Leandro
Candido Gordin. - 2023.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Enio Farias de Franca e Silva.
Coorientador: Prof. Dr. Luis Fernando de Souza Magno Campeche.
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2024.

1. Reuso de água. 2. Estresse hídrico. 3. Manejo da Irrigação. 4. Manejo de Adubação. 5. Trocas gasosas. I. Silva, Prof. Dr. Enio Farias de Franca e, orient. II. Campeche, Prof. Dr. Luis Fernando de Souza Magno, coorient. III. Título

LEANDRO CANDIDO GORDIN

Engenheiro Agrícola

**SORGO SACARINO IRRIGADO COM LÂMINAS DE ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO
SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA**

Recife – PE, 31 de julho de 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva – DEAGRI/UFRPE
Presidente/Orientador

Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva – DEAGRI/UFRPE
Examinador Interno

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza – UFSCAR
Examinador Externo

Dr. Jose Nildo Tabosa – IPA
Examinador Externo

Dr. Daniel da Costa Dantas - EMATER/RN
Examinador externo

Aos meus avós paternos (*in memoriam*),
Jodocy Gordin e Zaira Almeida da Silva Gordin,
obrigado por incentivar a capacitação profissional,
e pelos bons momentos que vivemos juntos,
que Deus lhes concedam a paz de espírito.

Aos meus avós maternos,
Almiro Candido Dias e Almezira Braz Dias (Agricultores),
proporcionaram os primeiros contatos com o meio rural,
carregado de conhecimento e aventura.

Aos meus pais,
Jodocy Gordin Filho e Sônia Cândida Dias Gordin,
devido a dedicação para proporcionar a educação de qualidade,
e sempre me apoiaram minhas decisões.

*“Honrar o pai e a mãe não é somente respeitá-los,
mas também assisti-los nas suas necessidades;
proporcionar-lhes o repouso na velhice;
cercá-los de solicitude,
como eles fizeram por nós na infância.*

(Allan Kardec)

DEDICO

A todos familiares,
que contribuíram para o desenvolvimento profissional,
e também pelos momentos de felicidade compartilhado.

Aos meus amigos,
pela ajuda e apoio no decorrer da pesquisa,
foram importantes para mim

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Meu Deus, hoje meu coração exulta de gratidão e alegria por mais esta vitória alcançada. Este triunfo não é apenas meu, mas antes ele é Teu, meu Deus, pois eu sei que jamais seria possível sem a Tua ajuda e vontade divinas.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela infraestrutura oferecida e oportunidade de realizar os estudos.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) devido a oportunidade de capacitação profissional. A todos os professores que contribuíram para desenvolvimento pessoal e intelectual.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro para a execução da pesquisa.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) devido a concessão da bolsa de doutorado.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), através do Departamento de Energia Nuclear (DEN), por se disporem a disponibilizar a infraestrutura, em nome do Professor Emmanuel Damilano Dutra.

O Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em nome do Dr. José Nildo Tabosa pelo apoio fundamental a pesquisa.

A Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAI), pela receptividade do local, e por fornece auxílio para execução do projeto.

Ao Professor Ênio Farias de França e Silva, seus ensinamentos, orientação e apoio foram fundamentais para êxito do projeto. Além disso, obrigado pela confiança e amizade conquistada neste período.

Aos Professores Manasses Mesquita da Silva e José Amilton Santos Júnior Silva, pelo apoio, conhecimento e experiência partilhados durante à condução da pesquisa.

Aos meus amigos da PGEA, foi bom contar com as amizades sinceras e fraternas de vocês. Sempre levarei comigo os ensinamentos que aprendi com vocês.

A todos que não citei, mas que contribuíram de alguma forma para a concretização desta dissertação. Muito Obrigado!

*“Há algumas virtudes suas que jamais seriam
descobertas se não fossem as provações pelas quais você passa”*

Charles H. Spurgeon

*“Leve na sua memória para o resto de sua vida as coisas boas que surgiram no meio das
dificuldades. Elas serão uma prova de sua capacidade em vencer as provas e lhe darão confiança na
presença divina, que nos auxilia em qualquer situação, em qualquer tempo, diante de qualquer
obstáculo”*

Chico Xavier

BIOGRAFIA

LEANDRO CANDIDO GORDIN – filho de Jodocy Gordin Filho e Sônia Candida Dias Gordin, nasceu em Três Lagoas – Mato Grosso do Sul, em 19 de outubro de 1989. Concluiu em 2009 o ensino médio, na Escola do Sesi Três Lagoas – Santa Luiza. Em agosto de 2010, ingressou no Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Maringá, localizada em Maringá – Paraná. Posteriormente em 2012, transferiu para o Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, na cidade de Recife – Pernambuco. No decorrer da graduação foi bolsista de iniciação científica, vinculado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Em agosto de 2016 iniciou a Pós-Graduação no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal Rural de Pernambuco. Em agosto de 2018 iniciou Pós-Graduação no curso de Doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal Rural de Pernambuco. No decorrer do curso de doutorado avaliou o uso do esgoto doméstico tratado para irrigação, sob orientação do Dr. Ênio Farias de França e Silva.

Gordin, Leandro Candido. **Sorgo sacarino irrigado com lâminas de esgoto doméstico tratado sob adubação potássica**. 2023. 108p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

RESUMO GERAL

O semiárido do Nordeste brasileiro demanda alternativas agrícolas de convivência devido às características edafoclimáticas do ambiente. O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) é uma cultura tolerante aos estresses abióticos, principalmente sob impacto hídrico e salino, neste contexto, é uma alternativa para aplicar recursos de qualidade inferior. Neste contexto, o esgoto doméstico tratado torna-se uma alternativa sustentável de fonte hídrica, devido às vantagens ambientais, sociais e econômicas, dentre elas destacam-se: a reciclagem dos nutrientes, menor custo de produção e a redução da poluição, no entanto ocasiona deletérios sobre a planta e o solo devido os altos teores de sais, e uma alternativa para mitigar os efeitos da salinidade sobre as plantas e a adubação potássica. Dessa forma, esse estudo foi realizado com o objetivo de definir qual a lâmina de irrigação ótima e como também a dose ótima de potássio para a obtenção de maior rendimento de biomassa do sorgo sacarino. O experimento foi realizado na Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola de Esgoto Doméstico pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em Ibitimir, PE (Latitude: 8° 32' 29" Sul, Longitude: 37° 41' 25" Oeste). Os tratamentos adotados foram distribuídos em lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI), sendo 40, 70, 100, 130 e 160% da ETc e com a adubação potássica (K) de 0, 50, 100, 150 e 200% da recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (2008) sob a cultura do sorgo sacarino IPA – 467, para os ciclos sorgo-planta e sorgo-soca. O delineamento experimental aplicado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), compondo vinte e cinco (25) tratamentos. Foram analisadas as variáveis biométricas da planta (altura do dossel e diâmetro do colmo) em função do tempo pelo teste de Wilks. Foram determinadas as taxas de crescimento absoluto e relativo da altura do dossel e diâmetro do colmo, e a produção de massa fresca e seca foram realizadas ao final do experimento, sob avaliação de 4 repetições. Os parâmetros fisiológicos avaliados foram: taxa de assimilação líquida (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (TF) e eficiência intrínseca de uso da água calculado por (A/g), sob avaliação de 3 repetições. Conclui-se com os resultados significativos dos parâmetros biométricos e fisiológicos, é fundamental o manejo da irrigação e da adubação preciso para desenvolvimento e crescimento da cultura satisfatório. A cultura do sorgo sob lâminas de irrigação e doses de potássio responderam satisfatoriamente sob a produção é a dose de 45 kg K₂O ha⁻¹ associado à lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado de 110 %ETc em ambos os ciclos.

Palavras-Chave: Salinidade. Estresse hídrico. Manejo da Irrigação. Manejo de Adubação. Reuso de água. Trocas gasosas.

Gordin, Leandro Candido. **Sweet sorghum irrigated with treated domestic sewage under potassium fertilization**. 2023. 108p. Thesis (Ph.D. in Agricultural Engineering) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

GENERAL ABSTRACT

The semi-arid region of Northeast Brazil demands agricultural alternatives for coexistence due to the edaphoclimatic characteristics of the environment. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is a crop tolerant to abiotic stress, especially under water and saline stress, making it an alternative for applying lower quality resources. In this context, treated domestic sewage becomes a sustainable alternative for water supply due to its environmental, social, and economic advantages, including nutrient recycling, lower production costs, and pollution reduction. However, it can have deleterious effects on plants and soil due to high salt levels. One alternative to mitigate the effects of salinity on plants is potassium fertilization. Thus, this study was conducted to define the optimal irrigation depth and the optimal potassium dose to achieve the highest biomass yield of sweet sorghum. The experiment was conducted at the Pilot Unit for Hydroagricultural Reuse of Domestic Sewage belonging to the Department of Agricultural Engineering (DEAGRI) of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) in Ibimirim, PE (Latitude: 8° 32' 29" S, Longitude: 37° 41' 25" W). The treatments were distributed in irrigation depths using treated domestic sewage (LI), namely 40%, 70%, 100%, 130%, and 160% of ET_c, along with potassium fertilization (K) at 0%, 50%, 100%, 150%, and 200% of the recommendation by the Instituto Agrônômico de Pernambuco (2008) for sweet sorghum IPA-467, for both sorghum-plant and sorghum-ratoon cycles. The experimental design employed was a randomized complete block design (RCBD) in a factorial arrangement (5 x 5), resulting in twenty-five (25) treatments. Biometric variables of the plant (canopy height and stem diameter) were analyzed over time using the Wilks test. Absolute and relative growth rates of canopy height and stem diameter, as well as fresh and dry biomass production, were determined at the end of the experiment with 4 replications. Physiological parameters assessed included net assimilation rate (A), leaf transpiration (E), stomatal conductance (gs), leaf temperature (TF), and intrinsic water use efficiency calculated by (A/gs), with 3 replications. In conclusion, based on significant results of biometric and physiological parameters, precise irrigation and fertilization management are essential for satisfactory crop development and growth. Sweet sorghum under specific irrigation depths and potassium doses responded satisfactorily to production, with a potassium dose of 45 kg K₂O ha⁻¹ associated with an irrigation depth using treated domestic sewage of 110% ET_c in both cycles.

Keywords: Salinity. Water stress. Irrigation management. Fertilization management. Water reuse. Gas exchange.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	IX
GENERAL ABSTRACT	IX
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL, HIPÓTESES, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA	
1. Introdução Geral	17
2. Hipóteses	18
3. Objetivos	19
3.1. Objetivo Geral	19
3.2. Objetivos Específicos	19
4. Revisão de Literatura	19
4.1. Origem e aplicações do sorgo	19
4.2. Taxonomia e morfologia do sorgo sacarino	20
4.3. Demanda hídrica e nutricional do sorgo sacarino	22
4.4. Adubação Potássica do Sorgo	23
4.5. Trocas Gasosas do Sorgo Sacarino	24
5. Manejo do esgoto doméstico na irrigação	25
5.1. Contexto mundial sobre o uso de água de esgoto doméstico na irrigação	25
5.2. Legislação brasileira para uso de água de esgoto doméstico na irrigação	27
5.3. Caracterização do uso do esgoto doméstico: aspectos importantes para as plantas	28
5.4. Caracterização do uso do esgoto doméstico: aspectos importantes para o solo	30
5.5. Caracterização do reúso do esgoto doméstico: aspectos importantes para irrigação por gotejamento	31
5.6. Uso de lâminas deficitárias de esgoto doméstico	33
6. Referências Bibliográficas	34
CAPÍTULO II: TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE SORGO SACARINO IRRIGADO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB DOSES DE POTÁSSIO	
RESUMO	44
ABSTRACT	44
1. Introdução	45
2. Material e métodos	46
2.1. Localização e caracterização da região experimental	46
2.2. Tratamentos e delineamento experimental	47
2.3. Sistema de coleta e tratamento do esgoto doméstico	48
2.4. Caracterização e manejo do sistema de irrigação	51
2.5. Manejo do sorgo sacarino IPA – 467	57

3. Resultados e discussão	62
4. Conclusões	73
5. Referências Bibliográficas	73
CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DO SORGO SACARINO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO	
RESUMO	77
SUMMARY	78
1. Introdução	79
2. Material e métodos	80
2.2. Avaliação das características biométricas e da biomassa	85
2.2.1. Análises da biometria	85
2.3. Eficiência no uso da água de esgoto doméstico tratado	86
2.4. Análises estatísticas	87
3. Resultados e Discussão	87
4. Conclusões	104
5. Referências bibliográficas	105
CAPITULO IV: CONSIDERAÇÕES FINAIS	108

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL, HIPÓTESES, OBJETIVOS E REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Tipos e características agronômicas do sorgo.....	20
Tabela 2. Limites de emissão de acordo com os padrões de qualidade legais italianos e israelenses de águas de esgoto doméstico para a irrigação.	25

CAPÍTULO II: TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE SORGO SACARINO IRRIGADO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB DOSES DE POTÁSSIO

Tabela 1. composição física e química do neossolo quartizarênico órtico típico a moderado.....	47
Tabela 2. Caracterização físico-química e biológica do esgoto doméstico tratado pelo reator UASB em Ibimirim - PE.	51
Tabela 3. Coeficiente de cultura (kc) para o sorgo e métodos para estimativas de coeficiente de localização (KLmed).....	53
Tabela 4. Valores de coeficiente de localização médio (KLmed) utilizados durante o período experimental.	53
Tabela 5. Análise de variância para a produtividade de biomassa fresca (PF), taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) e transpiração (E).....	62
Tabela 6. Análise de variância para a condutância estomática (gs), temperatura foliar (TF) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) do sorgo sacarino IPA-467, sob lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado e doses de potássio (K ₂ O).	67

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DO SORGO SACARINO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO

Tabela 1. Composição física e química do neossolo quartizarênico órtico típico a moderado.....	80
Tabela 2. Caracterização físico-química e biológica do esgoto doméstico tratado pelo reator UASB em Ibimirim - PE.	81
Tabela 3. Coeficiente de cultura (kc) para o sorgo e métodos para estimativas de coeficiente de localização (KLmed).....	82
Tabela 4. Resumo da análise do teste de wilks para as variáveis altura do dossel (ALT) e diâmetro do colmo (DC) do sorgo sacarino IPA – 467 nas fontes de variação: tempo, interação tempo:lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI), interação entre tempo:doses de potássio (K) e a interação entre Tempo:LI:K.....	88
Tabela 5. Resumo das significâncias para a taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) e taxa de crescimento absoluta do diâmetro (TAD), taxa de crescimento relativo de altura (TRA) e taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) do sorgo sacarino IPA - 467 sob os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K).	93
Tabela 6. Resumo da análise de variância para a produtividade (PF), produtividade de matéria seca (PS) e eficiência do uso da água (EUA) do sorgo sacarino IPA - 467 sob os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K).	99

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II: TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE SORGO SACARINO IRRIGADO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB DOSES DE POTÁSSIO

Figura 1. Mapa da localização do município de Ibimirim, no estado de Pernambuco – Brasil.....	46
Figura 2. Temperatura máxima, mínima e média do ar do ambiente durante o período de realização do experimento.	47
Figura 3. Delineamento experimental com distribuição dos tratamentos adotados	48
Figura 4. Detalhe da estação de tratamento do esgoto doméstico na área experimental.	48
Figura 5. (A) – Planta baixa do tratamento preliminar; (B) – Poço úmido e calha Parschall; (C) – Desarenador.....	49
Figura 6. (A) - Reator UASB no município de Ibimirim -PE; (B) - Esquema de funcionamento do reator UASB.....	50
Figura 7. (A - B) - Estrutura e impermeabilização da lagoa de polimento; (C) - Visão geral das lagoas de polimento do esgoto doméstico tratado em Ibimirim - PE.....	50
Figura 8. Sistema de irrigação por gotejamento instalado na área experimental	51
Figura 9. (A) - Pressão do sistema de irrigação; (B) - Gotejador Netafim PCJ	52
Figura 10. Valores de precipitação e evapotranspiração de cultura em Ibimirim – PE, 2020.	55
Figura 11. (A) - (B) - Tensiômetros instalados em campo.	55
Figura 12. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (0 – 20 cm).	56
Figura 13. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (20 – 40 cm). ...	56
Figura 14. Potencial matricial de água no solo para perfil de 0 - 20 cm.	57
Figura 15. Potencial matricial de água no solo para perfil de 20 - 40 cm.....	57
Figura 16. (A) - (B) - Área de plantio após calagem e preparo com a grade niveladora.....	58
Figura 17. (A) – Desbaste das plantas 15 dias após semeadura; (B) - Sorgo sacarino IPA-467 no estádio inicial.....	59
Figura 18. (A) - Remoção das plantas daninhas da área; (B) - Lagarta-do-cartucho (<i>Spodoptera fugiperda</i>) presentes na cultura do sorgo.	59
Figura 19. Sorgo Sacarino IPA – 467; (B) - Pesagem da biomassa fresca após a colheita.	60
Figura 20. Crescimento e desenvolvimento de perfilhos (sorgo-soca) do sorgo sacarino IPA - 467..	60
Figura 21. Leitura (A) e calibração (B) do IRGA realizadas no ciclo sorgo-planta.....	61
Figura 22. Superfície de resposta para a produtividade (PF) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A) e sorgo-soca(B).....	63
Figura 23. Superfície de resposta para Taxa de assimilação de CO ₂ (A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico e diferentes doses de potássio para o ciclo sorgo-planta(A) e taxa de assimilação de CO ₂ (A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico(B)e doses de potássio (C) para o ciclo sorgo-soca.	64

Figura 24. Superfície de resposta para transpiração foliar (E) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico e diferentes doses de potássio para o ciclo sorgo-planta(A) e transpiração foliar (E) do sorgo sacarino IPA- 467 em função de diferentes doses de potássio(B) e das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico(C) para o ciclo sorgo-soca.....	66
Figura 25. Condutância estomática (gs) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado para os ciclos sorgo-planta (A) e sorgo-soca (C) e condutância estomática (gs) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes doses de potássio (K) para os ciclos sorgo-planta (B) e sorgo-soca (D).....	69
Figura 26. Temperatura Foliar (TF) em do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico para o ciclo sorgo-soca (A).	71
Figura 27. Eficiência intrínseca do uso da água (A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de diferentes doses de potássio para ciclo sorgo-planta(A) e em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico para o ciclo sorgo-soca (B).....	72

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DO SORGO SACARINO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO

Figura 1. Valores de precipitação e evapotranspiração de cultura do sorgo sacarino IPA-467 ao longo do ciclo em Ibimirim – PE	82
Figura 2. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (0 – 20 cm).	83
Figura 3. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (20 – 40 cm).	83
Figura 4. Potencial matricial de água no solo para perfil de 0 - 20 cm.	84
Figura 5. Potencial matricial de água no solo para perfil de 20 - 40 cm.....	84
Figura 6. Avaliação do diâmetro do colmo do sorgo sacarino IPA - 467.....	85
Figura 07. Superfície de resposta para a Altura do Dossel do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após semeadura (DAS)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após semeadura (DAS)(B).....	89
Figura 08. Superfície de resposta para a Altura do Dossel do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após corte (DAC)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após corte (DAC)(B).....	89
Figura 09. Superfície de resposta para a Diâmetro do Colmo do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após semeadura (DAS)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após semeadura (DAS)(B).....	90
Figura 10. Superfície de resposta para a Diâmetro do Colmo do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após corte (DAC)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após corte (DAC)(B).....	91
Figura 11. Taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-planta.....	94

Figura 12. Taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-soca.	95
Figura 13. Superfície de resposta para a taxa de crescimento absoluta de diâmetro (TAD) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).	96
Figura 14. Superfície de resposta para a taxa de crescimento relativo da altura (TRA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).	96
Figura 15. Superfície de resposta para a taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).	97
Figura 16. Superfície de resposta para a produtividade (PF) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A) e sorgo-soca(B).	100
Figura 16. Produtividade de matéria seca (PS) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-planta.....	101
Figura 17. Superfície de resposta para a produtividade de matéria seca (PS) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-soca(A).	102
Figura 18. Superfície de resposta para a eficiência do uso da água (EUA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-soca (A) e ciclo sorgo-soca (B).....	104

INTRODUÇÃO GERAL, OBJETIVOS, HIPÓTESES E REVISÃO DE LITERATURA

CAPÍTULO I

1. Introdução Geral

A escassez e a poluição dos recursos hídricos relacionam-se com alto crescimento populacional, principalmente com a expansão urbanização, que em 2014 representava 54% da população mundial, com o setor doméstico consumindo 11% toda a água potável disponível no mundo, além disso há descargas de água de esgoto doméstico tratado no ambiente, provocando impactos significativos sobre a qualidade da água, principalmente devido a concentração de nitrogênio e potássio, as quais ocasionam a eutrofização dos corpos hídricos (BAIOUI et al., 2017; ZHANG; SHEN, 2019).

A água é um elemento vital para sobrevivência de seres humanos, animais e vegetais. Neste contexto, a agricultura é uma atividade que demanda recursos hídricos em diversos processos e etapas, destaque para a irrigação, a qual é essencial para a produção de alimento. No entanto, é fundamental realizar o manejo da irrigação de forma sustentável, ou seja, aplicar a lâmina de irrigação que proporciona as condições ideais de umidade do solo, favorecendo o desenvolvimento das culturas e não promover impactos socioambientais (GAVA et al., 2016).

Uma peculiaridade da irrigação é a alta demanda de água para a sua operação, é esse fator, limita a expansão da técnica em regiões áridas e semiáridas, pois são áreas de escassez hídrica. Dessa forma, não é possível realizar o manejo adequado, proporcionando o déficit hídrico as plantas, e assim reduzindo a produtividade. E neste contexto, surge a necessidade de buscar fontes hídricas alternativas para fins agrícolas (GUIMARÃES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016; LIRA et al., 2017)

Uma opção é o uso de Esgoto Doméstico Tratado (EDT), devido a sustentabilidade da atividade, proporcionando a conservação dos recursos naturais, além disso, na área agrícola tem a capacidade de suprir as necessidades hídricas das culturas, além disso, contribuir para maior aporte de nutrientes no solo e para a planta. No entanto, o EDT pode promover danos no solo e nas plantas, devido a presença de íons tóxicos. Além disso, apresenta risco a saúde humana e ao ecossistema devido a presença de patógenos (BAIOUI et al., 2017; SANDRI; ROSA, 2017; ALVES et al., 2019).

Dessa forma, é fundamental estabelecer critérios para o uso do EDT via irrigação, o qual é obtido através de pesquisas, com o objetivo de determinar o manejo do EDT de forma sustentável. E para alcançar esse padrão, é essencial verificar a interação do EDT com os seguintes parâmetros: solo, cultura e clima (BAIOUI et al., 2017; LIRA et al., 2017; SANDRI; ROSA, 2017; ZHANG; SHEN, 2019).

Os principais danos da aplicação do EDT via irrigação, são oriundos das altas concentrações de sódio e cloro, os quais promovem alterações nas características físicas e químicas do solo e ocasionam a toxicidade as plantas. Atualmente a diversas técnicas que apresentam potencial para minimizar os efeitos da salinidade ou da sodicidade no sistema solo-planta, destaque para a adubação potássica, devido auxilia de forma direta na regulação osmótica das plantas sob estresse salino. No entanto a eficiência da adubação de potássio está relacionada com a tolerância da cultura aos sais (DIAS et al., 2016).

O sorgo é uma cultivar de destaque para a irrigação com EDT, e tem grande potencial para expansão de cultivo, em zonas tradicionais do setor sucroalcooleiro devido as possibilidades de produção de etanol utilizando como matéria prima na entressafra da cana-de-açúcar, sendo uma alternativa para complementar a produção de etanol, e essa decisão contribui para mitigar os riscos de falta de etanol, ajudar na estabilização dos preços desse produto e reduzir a importação de etanol (DURÃES, 2011; GIACOMINI et al., 2013; MIRANDA; MAY et al., 2016). Sob outra perspectiva, nos últimos anos, na região Nordeste, empresas públicas e privadas têm realizado avaliações agroindústrias do sorgo sacarino para produção bioenergética, dando maior ênfase às regiões fora do domínio da zona canavieira, no entanto, os resultados são preliminares ou não publicados (DUTRA et al., 2013; TABOSA et al., 2013; CÂMARA et al., 2018).

O entendimento e mensuração adequada dos riscos envolvidos, assim como o estabelecimento de estratégias específicas de manejo para o uso o EDT, objetivando a minimização de possíveis efeitos deletérios a qualidade do solo e a estabilidade da produtividade dos cultivos, tornarão esta prática promissora e sustentável para fins agrícolas.

2. Hipóteses

O desempenho agrônômico e as trocas gasosas do sorgo sacarino são afetadas pelas lâminas de águas de EDT e as diferentes doses de potássio, sendo suas respostas diferentes de acordo com as variações da lâmina de irrigação. A adubação potássica no cultivo do sorgo sacarino reduz os efeitos da salinidade sob as variáveis agrônômicas e fisiológicas com o uso da de EDT via irrigação com nível salino acima da salinidade limiar tolerada pela cultura.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito da aplicação de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado, e doses de potássio, no cultivo do sorgo sacarino na região do Sertão Pernambucano, averiguando os aspectos produtivos e fisiológicos.

3.2. Objetivos Específicos

Determinar o desempenho (altura do dossel, diâmetro do colmo, massa fresca e massa seca e a produtividade) do sorgo sacarino em função da aplicação de cinco lâminas de irrigação com água de esgoto tratado e cinco doses de potássio.

Avaliar as trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO_2 , temperatura foliar, eficiência instantânea do uso de água, eficiência intrínseca do uso de água, eficiência instantânea de carboxilação e concentração intercelular de CO_2 /concentração de CO_2 externa atual) do sorgo sob irrigação de EDT e adubação potássica.

4. Revisão de Literatura

4.1. Origem e aplicações do sorgo

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.), pertencente à família *Poaceae*, é originária da África e da Índia, atualmente é cultivada em todos os continentes, sendo o quinto maior cereal do mundo em termos de produção e área colhida, além disso, existem diversas variedades de sorgo, os quais são utilizados para diferentes fins (Tabela 1) (HARIPRASANNA; PATIL, 2015; ÉDER-SILVA et al., 2016; SANTOS et al., 2016).

Tabela 1. Tipos e características agronômicas do sorgo

Tipos de Sorgo	Características	Produto	Utilização
Granífero	baixo (híbridos e variedades), adaptado à colheita mecânica.	Grão	Substituto do milho na ração animal (bovinos, suínos e aves). Alimentação humana (farinha). Industrialização de produtos: amido, cera, cerveja, óleo, etc.
Sacarino	Porte alto (híbridos e variedades), acumulam sacarose no colmo.	Colmo e grão	Utilizado na produção de xaropes que substituí o açúcar como adoçante na indústria; produção de etanol e alimentação animal.
Forrageiro	Variedades de capim sudão ou híbridos (<i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i>).	Alto teor de fibra	Apropriado para confecção de silagem, pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta.
Vassoura	Possui panículas com fibras longas.	Panícula	Uso restrito: vassouras, escovas e ornamentação.
Energia	Porte alto (até seis metros porte), rápido crescimento e alto potencial produtivo	Biomassa	Cogeração de energia.
Duplo propósito	Porte alto e fibroso, contém sacarose no colmo	Colmo e fibra	Forragem e produção etanol.

Fonte: Hariprasanna; Patil, 2015; Éder-silva et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Santos et al., 2016; Martins et al., 2017; Lara et al 2018.

Os países desenvolvidos são responsáveis por 33% do sorgo produzido no mundo, na Europa, a Itália, Ucrânia e França são os principais produtores, enquanto na Oceania, a Austrália é o único produtor. O Estados Unidos é o maior produtor mundial e representa 16% de toda a produção. Na Ásia, os principais produtores são China e Índia, produzindo anualmente 5,5 Mt com uma área de 5,8 milhões de hectares. O México representa 94% da produção de sorgo na região da América Central, enquanto na América do Sul, Argentine e Brasil são os principais produtores (VELMURUGAN et al., 2020).

No Brasil não há controle e avaliação dos dados sobre a produção de sorgo sacarino. Por outro lado, a produção de sorgo granífero é monitorada desde da década de 90, a maior produção foi registrada em 2014 (2,3 Mt), e a menor, em 1990 (2,4 Mt). A região Centro-Oeste é a maior produtora do país, com produção anual de 1,3 Mt no período de 2010 a 2014 (LADAU et al., 2020).

4.2. Taxonomia e morfologia do sorgo sacarino

O sorgo sacarino é uma cultura de porte alto, com 3 a 5 m de altura, o colmo é composto por séries de nós e internódios alternados, com diâmetro de 5 a 8 cm e apresenta folhas em toda a sua

estrutura. As folhas do sorgo sacarino são lanceoladas, com 1 metro de comprimento e estreitas com 10 a 12 cm de largura, quando novas são eretas, enquanto folhas mais velhas tendem a horizontalidade, apresentam uma nervura central e as demais nervuras paralelas a principal, e os estômatos estão localizados em ambas as superfícies das folhas (PARRELLA, 2011; HARIPRASANNA; PATIL, 2015; OGTR, 2017).

O sorgo apresenta raízes primárias e secundárias, o primeiro sistema é pouco ramificado, ocorre apenas no estágio inicial da cultura e morrem após o desenvolvimento do sistema principal. O sistema secundário é extenso e ramificado, com profundidade de 100 cm, no entanto 80% das raízes estão concentradas nos primeiros 30 cm de profundidade, além disso, apresentam pelos absorventes com altos índices de lignificação do periciclo (MAGALHÃES et al., 2008; HARIPRASANNA; PATIL, 2015).

A inflorescência ocorre por meio de uma panícula, a qual apresenta de 10 a 40 cm de comprimento, é composta por ramos primários e secundários portadores de espiguetas, e essas estruturas apresentam as flores, que ocorrem de duas formas, a bissexual e a estéril. A Fertilização ocorre no ápice da panícula por um período de 4 a 5 dias, há uma predominância de autofecundação, com taxa de fecundação cruzada oscilando de 2 a 10% (MAGALHÃES et al., 2008; OGTR, 2017).

O ciclo fenológico do sorgo (CF) é dividido em nove fases: CF 1 (emergência), da sementeira ao desenvolvimento do coleóptilo na superfície do solo, período de 4 a 10 dias, oscilando de acordo com as condições climáticas do local; CF 2, nesta fase é possível visualizar o colar de cinco folhas, ocorre aproximadamente de 20 a 30 dias após a emergência; CF 3, diferenciação do ponto de crescimento, nesse período a planta apresenta aproximadamente sete a dez folhas desenvolvidas e ocorre um alongamento rápido do colmo, aproximadamente de 30 a 40 dias após a emergência; CF 4, nesse período, todas as folhas estão desenvolvidas, com exceção das últimas três ou quatro; CF 5, estágio de emborrachamento, cultura com máxima área foliar e a panícula alcança seu comprimento máximo dentro da bainha da folha bandeira; CF 6, denomina-se 50% da floração, período ocorre em aproximadamente 60 - 90 dias; CF 7, grão leitoso, cerca de 50% da matéria seca dos grãos foram acumuladas; CF 8, grão pastoso, cerca de $\frac{3}{4}$ da matéria seca dos grãos já foram acumuladas, ocorre aproximadamente com 85 - 120 dias; CF 9, maturação fisiológica, estágio onde inicia-se uma rápida transferência de nutrientes acumulados nas folhas e nos colmos para as panículas, os grãos apresentam umidade de 22 a 23% (MAGALHÃES et al., 2008).

Dentre as diversas fases no ciclo do sorgo, o estágio de transição de grão leitoso para grão pastoso proporciona o maior acúmulo de açúcares nos colmos, então, este é o período ideal para

utilizar a cultura como matéria prima para a produção de biocombustível (MAY et al., 2013; PEREIRA; RODRIGUES, 2015).

4.3. Demanda hídrica e nutricional do sorgo sacarino

A cultura do sorgo sacarino apresenta características hídricas diferentes dos demais cereais, pelo motivo de adaptar-se a diferentes teores de água no solo, pois se desenvolvem em ambientes com excesso de umidade no solo ou em condições de déficit hídrico. Além disso, tem a capacidade de sustentar o desenvolvimento e a produção mesmo após longos períodos de insuficiência hídrica (RAMOS et al., 2012; ELIAS et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016).

A demanda hídrica da cultura do sorgo sacarino é da ordem de 360 a 450 mm, oscilando de acordo com época de colheita, com as condições edafoclimáticas do local e do sistema de irrigação empregado (RAMOS et al., 2012). Em termos agroindustriais, a demanda hídrica é de 400 mm para ciclo de 120 dias, e poderá produzir em média de 35 a 45 Mg ha⁻¹ de colmos. Nessas condições a cana-de-açúcar para produzir 75 Mg ha⁻¹ de colmos, apresenta demanda hídrica de 3600 mm de água em ciclo de 365 dias, dessa forma, a demanda hídrica do sorgo sacarino é quatro vezes menor em relação a cana-de-açúcar (REDDY et al., 2005; REDDY et al., 2006; TABOSA et al., 2008; ALMODARES; HADI, 2009).

Outra característica hídrica do sorgo sacarino é a tolerância às águas salobras, devido ao fato da cultura apresentar importantes mecanismos bioquímicos e morfológicos que lhe conferem adaptação ao estresse salino, toxicidade de íons e deficiência de minerais, em consequência da presença de sais na água de irrigação. No entanto, para o sistema de defesa do sorgo apresentar respostas significativas, é essencial a adubação nutricional (NETONDO et al., 2004; RAMOS et al., 2012).

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio (N) e potássio (K) demandam atenção, devido esses elementos serem absorvidos em maiores quantidades pelas plantas de sorgo, além disso, estão associados a produtividade (SANTOS et al., 2016). Franco (2011), quantificou a extração e exportação dos nutrientes para produção de uma tonelada de matéria seca do sorgo sacarino e verificaram que o potássio foi o elemento de maior demanda, e obtiveram os seguintes valores para os macronutrientes 331 de K; 289 de N; 104 de Ca; 49 de P; 34 de Mg e 20 de S Kg t⁻¹. Cavalcante et al., (2018) também verificou que o elemento K foi absorvido em maior quantidade pelo sorgo sacarino.

4.4. Adubação potássica do sorgo

O potássio (K) tem relação com diferentes processos fisiológicos e bioquímicos da planta, principalmente com o crescimento das raízes, absorção e eficiência do uso da água, produção e translocação de carboidratos, síntese de proteínas e aminoácidos, ativação enzimática, processos relacionados com a produção, maior lignificação da parede celular e maior espessamento da cutícula (SANTOS et al., 2016).

A adubação potássica destaca-se devido ao potencial de mitigar os estresses hídrico ou salino sobre o sorgo, o nutriente atua sobre os seguintes processos: o sistema fotossintético, a translocação de fotoassimilados, a síntese de proteínas, movimentos estomáticos, manutenção de turgescência celular, ativação de enzimas, redução absorção excessiva de Na e Fe e auxilia o mecanismo de osmorregulação (ROHBAKSH, 2013; HUANG, 2018).

A osmorregulação é o principal mecanismo adaptativo aos estresses abióticos, e ocorre por meio de respostas fisiológicas e moleculares, esses processos permitem ao sorgo a habilidade de ajustar osmoticamente suas células durante o período de estresse. O ajuste osmótico é realizado através do acúmulo de açúcares, ácidos orgânicos e íons, os quais são acumulados no citosol para diminuir o potencial osmótico, e dessa forma manter a expansão dos tecidos total ou parcial, e com isso o potencial hídrico e o turgor de suas células permanecem próximo do nível adequado, então realizam os processos como condutância estomática e taxa de assimilação de CO₂ (HUANG, 2018). O papel protetor do K em plantas que sofrem com déficit hídrico também está associado à manutenção de um pH elevado no estroma e contra os danos foto-oxidativo nos cloroplastos. No entanto para garantir a eficiência desses processos é essencial determinar a quantidade e a composição do fertilizante a ser aplicada adequadamente (ROHBAKSH, 2013).

Uma alternativa como fonte de K para as plantas é o cloreto de potássio, no entanto o uso deste produto deve seguir rigorosamente as normas técnicas para recomendar a adubação potássica, pois são fertilizantes com alto índice de salinidade. O qual influencia no crescimento e na distribuição das raízes e também reduz o potencial osmótico próximo a rizosfera, dessa forma, pode limitar a absorção de íons e água pelas plantas (SILVA et al., 2008).

As aplicações de superdosagens e contínuas de KCl no solo podem proporcionar o maior conteúdo de cloreto na planta, e assim proporcionando clorose e necrose nas folhas, consequentemente reduzir a produtividade. Segundo Malavolta et al., (1997), o cloro não entra na constituição de compostos orgânicos, sendo necessário para a fotólise da água, durante a fotossíntese e o transporte eletrônico, que leva a redução de oxidantes deletéreos produzidos fotoquimicamente. Por outro lado, a deficiência de K inibe o crescimento das plantas, e em níveis críticos provoca

clorose e necrose, neste estágio ocorre a degradação da clorofila, reduzindo a fotossíntese e aumentando a transpiração, dessa forma reduz a eficiência do uso da água na planta (SANTOS et al., 2016).

4.5. Trocas Gasosas do Sorgo Sacarino

Para potencializar a produção agrícola mediante novas tecnológicas, sob condições edafoclimáticas do semiárido é essencial a compreensão dos processos fisiológicos da cultura. Dessa forma, o monitoramento das trocas gasosas foliares para desenvolver estratégias de manejos de água e nutrientes, devido esses processos estarem relacionados os processos abióticos (GUIMARÃES et al., 2022).

Neste contexto, a utilização do esgoto doméstico tratado apresenta alto nível de salinidade e causar impactos negativos sobre a produção. Nessas situações, os efeitos sais nas plantas ocasionam restrições na condutância estomática, consequentemente reduz a assimilação de CO₂, transpiração foliar, entre outras alterações metabólicas (ZHANG et al., 2019; ZHU et al., 2020; GANO et al., 2020; ÁVILA et al., 2022; GUIMARÃES et al., 2022; WANG; WEI, 2022).

A fotossíntese é afetada devido à limitação da difusão de CO₂, esse processo ocorre devido à redução da abertura estomática, ou por efeitos nas reações associadas aos cloroplastos. A transpiração também é afetada sob estresse salino ou hídrico, pois está auxiliada na translocação de compostos dentro da célula. E esses processos reduzem o crescimento e o desenvolvimento da planta, consequentemente a redução de produtividade (ZHANG et al., 2019; ZHU et al., 2020; GANO et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2022; WANG; WEI, 2022).

Em relação à salinidade Rhoades et al. (2000), afirmam que o sorgo tem sua salinidade limiar em torno de 6,8 dS m⁻¹, dessa forma, é classificado como tolerante à salinidade, no entanto, as diversas cultivares desenvolvidas nos últimos anos apresentam respostas distintas a salinidade, podendo variar em função das cultivares, idade de planta, condições ambientais, tempo de exposição, concentração salina, manejo da irrigação, fertilidade do solo, dentre outras, dessa forma cada planta será adaptável de forma diferente ao ambiente (ZHANG et al., 2019; ZHU et al., 2020; GANO et al., 2020; ÁVILA et al., 2022; WANG; WEI, 2022). A compreensão dos mecanismos fisiológicos sob estresses, é essencial para possibilitar uma seleção genética de cultivares e expandir a capacidade de cultivo em diferentes condições ambientais, com a qualidade de água inferior (MUNNS, 2011).

5. Manejo do esgoto doméstico na irrigação

5.1. Contexto mundial sobre o uso de água de esgoto doméstico na irrigação

A redução da disponibilidade dos recursos hídricos proporciona impactos significativos no setor agrícola, principalmente na irrigação, no entanto, há grande volume de esgoto doméstico descartado, causando impactos ao meio ambiente, devido às altas concentrações de fósforo e nitrogênio, contudo, essas características fazem com que os resíduos tornem-se uma alternativa para a fertirrigação.

A regulamentação do uso da água de esgoto doméstico para a irrigação é fundamental para a sustentabilidade da atividade, para garantir a conservação dos recursos naturais e não promover impactos sociais e ambientais. A gestão dessa atividade refere-se sobre o monitoramento aos parâmetros que promovem impactos socioambientais e econômicos, e devem ser estabelecidas por meio de políticas públicas (Di MARIA et al., 2020).

No contexto mundial, diversos países apresentam legislação para a aplicação do uso do EDT na irrigação. A gestão é baseada em avaliar aspectos sociais, ambientais e econômicos associado às consequências da atividade sobre os diferentes cenários existentes. É uma atividade que deve ser realizada de forma integrada, e a qualidade de esgoto e efluentes tratados são medidos em termos concentração de matéria orgânica, compostos tóxicos, patógenos e sais (Di MARIA et al., 2020).

Israel e Itália estabeleceram normas para o emprego do EDT para na irrigação, abrangendo 36 parâmetros (Tabela 2), levando em consideração a saúde pública, solo, hidrologia e flora, dessa forma conseguem desenvolver a atividade de forma segura, tornando-se um exemplo para todo o mundo.

Tabela 2. Limites de emissão de acordo com os padrões de qualidade legais italianos e israelenses de águas de esgoto doméstico para a irrigação.

Parâmetros	Unidade	Itália	Israel
pH	-	6 – 9,5	6,5 – 8,5
RAS ⁽¹⁾	0,5 mmol L ⁻¹	10	5
Na	mg L ⁻¹	-	150
SST ⁽²⁾	mg L ⁻¹	10	10
Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	-	0,5
DBO ⁽³⁾	mg O ₂ L ⁻¹	20	10
DQO ⁽⁴⁾	mg O ₂ L ⁻¹	100	100
Total P	mg P L ⁻¹	2	5
Total N	Mg N L ⁻¹	15	25
N-NH ₄ ⁺	mgNH ₄ ⁺ L ⁻¹	2	20
CE ⁽⁵⁾	µS cm ⁻¹	3000	1400

Al	mg L ⁻¹	1	5
As	mg L ⁻¹	0,02	0,1
Ba	mg L ⁻¹	10	-
Be	mg L ⁻¹	0,1	0,1
B	mg L ⁻¹	1,0	0,4
Cd	mg L ⁻¹	0,005	0,01
Co	mg L ⁻¹	0,05	0,05
Cr	mg L ⁻¹	0,1	0,1
Cr ⁺⁶	mg L ⁻¹	0,005	-
Fe	mg L ⁻¹	2	2
Mn	mg L ⁻¹	0,2	0,2
Hg	mg L ⁻¹	0,001	0,002
Ni	mg L ⁻¹	0,2	0,2
Pb	mg L ⁻¹	0,1	0,1
Cu	mg L ⁻¹	1	0,2
Se	mg L ⁻¹	0,01	0,02
Sn	mg L ⁻¹	3,0	-
Tl	mg L ⁻¹	0,001	-
V	mg L ⁻¹	0,1	0,1
Zn	mg L ⁻¹	0,5	2
Mo	mg L ⁻¹	-	0,01
Li	mg L ⁻¹	-	2,5
Cianeto	mg L ⁻¹	0,05	0,1
Sulfeto	mg H ₂ S L ⁻¹	0,5	-
Sulfito	mg SO ₃ L ⁻¹	0,5	-
Sulfato	mg SO ₄ L ⁻¹	500	-
Cl	mg L ⁻¹	0,2	1
Cloreto	mg Cl L ⁻¹	250	250
Fluoreto	mg F L ⁻¹	1,5	2
Óleo Animal	mg L ⁻¹	10	-
Óleo Vegetal	mg L ⁻¹	0,05	-
Fenóis Totais	mg L ⁻¹	0,1	-
Penta Cloro	mg L ⁻¹	0,003	-
Aldeídos Totais	mg L ⁻¹	0,5	-
Tricloroetileno	mg L ⁻¹	0,01	-
Solventes Clorado	mg L ⁻¹	0,04	-
Trihalometanos	mg L ⁻¹	0,03	-
Solventes Aromáticos	mg L ⁻¹	0,01	-
Benzeno	mg L ⁻¹	0,001	-
Benzo(a)pireno	mg L ⁻¹	0,00001	-
Solventes de nitrogênio orgânico	mg L ⁻¹	0,01	-
Tensoativos Totais	mg L ⁻¹	0,5	-
Pesticidas Clorados	mg L ⁻¹	0,0001	-
Pesticidas Fosforados	mg L ⁻¹	0,0001	-
Outros Pesticidas Totais	mg L ⁻¹	0,05	-
Detergente Aniônico	mg L ⁻¹	-	2
Coliformes Termotolerantes	UFC 100ml ⁻¹	100	10

(¹) Razão Adsorção de Sódio; (²) Sólidos Suspensos Totais; (³) Demanda Bioquímica de Oxigênio; (⁴) Demanda Química de Oxigênio; (⁵) Condutividade Elétrica

Fonte: Adaptado Di Maria, et al. 2020.

5.2. Legislação brasileira para uso de água de esgoto doméstico na irrigação

Em 2018, os municípios brasileiros com atendimento a saneamento básico produziram 4,30 bilhões de m³ de esgoto doméstico tratado, atendendo 105,5 milhões de habitantes urbanos. Este volume representa 46,33% para estimativa de todo esgoto produzido no país e 74,5% para os esgotos que são coletados (BRASIL, 2018). Embora haja uma oferta significativa de esgoto doméstico, a utilização deste produto como matéria prima para a agricultura irrigada é limitada, devido não haver critérios técnicos e legislação pertinente para esse tipo de atividade.

O Brasil necessita solucionar entraves básicos para o emprego do esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola, entre os quais se destacam: legislação incompleta; dificuldades de técnicas para implantação de rotinas de estudos epidemiológicos; gestão inadequada dos aspectos sociais relacionados com a prática; falta de convergência de interesses e informações entre cientistas e formuladores de políticas (ambiental, sanitária e de recursos hídricos) (SCHAER-BARBOSA et al., 2014).

Dessa forma, os sistemas de uso de água de EDT para irrigação adotam os padrões internacionais ou orientações técnicas de instituições públicas ou privadas, no entanto, para que essa técnica seja desenvolvida de forma sustentável, é necessário a criação de uma legislação federal específica e eficiente, com normas e diretrizes que definam os conceitos, parâmetros e restrições para irrigação com água de EDT (ARAÚJO et al., 2017).

Contudo, há duas resoluções pertinentes ao assunto, destacando-se a constituição 1988, compete à União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e definir critérios para a outorga de direitos de seus usos; bem como instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, incluindo o saneamento básico regulamentada no inciso XIX do art. 21 (BRASIL, 1997).

A Lei Federal nº 9.433, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) baseada nos seguintes princípios: a água é um bem de domínio público; é limitada e dotada de valor econômico; os usos prioritários são para o consumo humano e animal; a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas; a gestão descentralizada e integralizada (DANTAS; SALES, 2009; PORTO; SCHOENHALS, 2013).

Em 17 de março foi publicada resolução do CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento. E em 24 de novembro de 2005 o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) publicou a resolução Nº. 54/2005, que estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direito de água não

potável, dessa forma estabeleceu padrões de classificação de água, e normas para o lançamento de efluentes e restrições de utilização (CAPRA; SCICOLONE, 2004; DANTAS; SALES, 2009).

A Lei Federal nº 14.016/2020, regulamentou normas de saneamento básico infranacionais (municipais, intermunicipais, distrital e estaduais), dessa forma, tornou-se possível avaliar, monitorar e estabelecer as normas de controle sobre a operação, técnicas e as metas dos sistemas de saneamento básico. Diversas Leis pertinentes a qualidade dos recursos hídricos e saneamento básico, com intuito de promover a disponibilidade e a qualidade da água, e esse objetivo será através do reuso do esgoto doméstico aplicado em diversas atividades realizadas pela sociedade.

5.3. Caracterização do uso do esgoto doméstico: aspectos importantes para as plantas

O EDT via irrigação proporciona maiores disponibilidades de nutrientes às culturas, sendo: de macronutrientes, como o fósforo, nitrogênio, magnésio, potássio e cálcio, e quanto aos micronutrientes, a uma contribuição significativa para absorção de cobre, zinco, manganês, cobre e ferro. Dessa forma, a água de EDT aplicada via irrigação promove aumento da produtividade e da qualidade de produção, além disso, reduz significativamente o uso de adubos minerais aplicados, e conseqüentemente os custos de produtividade (MALAFAIA et al., 2016; ANDRADE et al., 2017; MARQUES et al., 2017; LEMOS et al., 2018; ALVES et al., 2019; AZEVEDO et al., 2019).

Guimarães et al., (2018), avaliaram a produção de biomassa de diferentes variedades de sorgo com EDT e constataram o aumento significativo na produção. Além disso, o efeito fertilizante do EDT também foi verificado por Malafaia et al., (2016) no milho, por Marques et al., (2017) em capim elefante e Freitas et al., (2018) em cana-de-açúcar.

O EDT apresenta a composição química, biológica e física diferente das características da água padrão FAO, dessa forma a evapotranspiração da cultura pode apresentar valores diferentes dos padrões estabelecidos. E associado ao manejo inadequado do EDT na irrigação, proporciona o acúmulo de íons tóxicos às plantas, sendo os principais elementos: sódio, cloro ou boro, e esses íons em altas concentrações ocasionam danos ao desenvolvimento e à produtividade das plantas. A tolerância e a sensibilidade das plantas à salinidade estão relacionadas com características da cultura, dos sais em atividade, do manejo da irrigação e as condições climáticas (DUARTE et al., 2015; DIAS et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2019).

As tolerâncias das plantas a salinização são classificadas em duas categorias, sendo: as halófitas e as glicófitas. A primeira classe é composta pelos genótipos tolerantes a salinidade, e apresentam s seguintes mecanismos: 1 – Seletividade em absorção de nutrientes pelas células das raízes; 2 – Deslocamento do xilema com concentrações de K^+ superiores a Na^+ ; 3 – As parte

superiores das raízes, caule, pecíolo e bainha foliares realizam a remoção de sal; 4 – Na⁺ e Cl⁻ são redirecionados para o floema, dessa forma, não há translocação para tecidos da parte área em crescimento; 5 – Glândulas excretoras ou pelos vesiculares realizam a excreção de sais. O segundo grupo as culturas são denominadas de sensíveis ou hipersensíveis, devido a não adaptarem a solos com altas concentrações de sais (DUARTE et al., 2015; DIAS et al., 2016; MUNNS et al., 2002).

As culturas exploradas de forma comercial são dominantes do gênero glicófitas, as quais são suscetíveis a salinização do solo. Os efeitos da salinidade nas plantas são divididos em dois grupos: o componente osmótico e o componente iônico (MUNNS et al., 2002; DUARTE et al., 2015; DIAS et al., 2016).

O componente osmótico ocorre da seguinte forma, os solos salinos aumentam a retenção de água devido ao efeito osmótico, limitando a disponibilidade hídrica para as plantas. O mecanismo de defesa das culturas para esse efeito é através da alteração do próprio potencial osmótico, este processo ocorre através da concentração de solutos, orgânicos e inorgânicos no interior da planta, dessa forma mantém o equilíbrio com o potencial osmótico do solo, conseqüentemente tem a capacidade de absorção de água e nutrientes (PEDROTTI et al., 2015; DIAS et al., 2016).

O desequilíbrio nutricional está relacionado com a concentração de Na e Cl na solução do solo, a qual inibe a absorção de K e Ca pelo sistema radicular, dessa forma, alterar as funções fisiológicas das plantas. Outra relação é a interação NO₃ com Cl, o qual reduz os teores de nitrogênio das plantas, esse processo ocorre de duas formas, sendo: interação NO₃ e Cl nos sítios de absorção ou a despolarização da membrana pelo Na. Há também deficiência de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (PEDROTTI et al., 2015; DIAS et al., 2016).

Os processos de adaptação das plantas à salinidade têm impacto significativo sobre os processos fisiológico e da biologia molecular, com risco de impactar o crescimento e desenvolvimento da cultura. Além disso, as espécies apresentam limites aos sais, e os danos ocorrem após o acúmulo de sais em seu interior da planta ultrapassar a capacidade do vacúolo, conseqüentemente, aumenta os níveis de sais no citoplasma e bloqueia o movimento de enzimas de rotas metabólicas. Os efeitos da salinidade nas plantas são: o desbalanço nutricional, toxicidade de íons, desequilíbrio hormonal, redução da plasticidade da célula, reduz a permeabilidade da membrana citoplásmica, altera os processos fotossintéticos e afeta a clorofila da planta (MUNNS et al., 2002; PEDROTTI et al., 2015; DIAS et al., 2016)

Os elementos que promovem maior toxicidade às plantas, são: sódio e cloreto. O sódio em altas concentrações promove danos nos processos fisiológicos, são eles: deficiência nutricional e desenvolvimento de estresse hídrico e promove desequilíbrio nas células devido aos processos

reativos de oxigênio. Os sintomas de toxicidade pelo sódio são queimaduras e necroses das folhas velhas, com decorrer do tempo, expandindo para internervural, até atingir o centro da folha. O cloro, limita a absorção de nitrogênio e o transporte de ácidos orgânicos dentro e entre células. Os danos são observados nas queimas das pontas das folhas, expandindo pela borda, além disso ocorre a desfolhação prematura e o amarelamento (DUARTE et al., 2015; DIAS et al., 2016; MAGALHÃES et al., 2019). Outro parâmetro é a concentração de matéria orgânica na solução do solo, expressa por demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Os valores de 100 mg L⁻¹ 6,0 e 8,5, para DQO e DBO, respectivamente, são estabelecidas como limites para não afetar a absorção de água pelas raízes (HESPANOL, 2003).

5.4. Caracterização do uso do esgoto doméstico: aspectos importantes para o solo

O EDT tem características que diferem da água padrão FAO, destacando-se a alta condutividade elétrica, o elevado teor de sólidos totais dissolvidos e a maiores concentrações de íons. Dessa forma o uso agrícola requer planejamento e manejo adequados, e por meio desses mecanismos é possível contribuir para melhorar a fertilidade do solo, e não promover efeitos deletérios nas características físico-químicas e biológicas do solo (ANDRADE et al., 2017; MARQUES et al., 2018; ALVES et al., 2019).

Por outro lado, as áreas irrigadas com EDT estão suscetíveis a salinização, principalmente em regiões com alta evapotranspiração e baixa precipitação. Esse processo ocorre devido a remoção de nutrientes menos solúveis e a manutenção dos mais solúveis, como o cloro, sódio, etc. (MARQUES et al., 2018). A sodificação do solo proporciona a dispersão de argila no solo, conseqüentemente reduz a condutividade hidráulica, de forma que produz camadas impermeáveis, limitando o fluxo de ar e de água no solo. Também aumenta a condutividade elétrica do solo, aumentou teor de Na⁺ e a porcentagem de sódio trocável (PST). Os solos salinos acumulam diversos sais, sendo os principais: sódio, magnésio, cloreto, sulfato, carbonato, borato e nitrato. Essas características proporcionam mudanças sobre o potencial osmótico, dessa forma reduz o potencial total de água no solo. Esse processo influencia a absorção de água pela planta (DUARTE et al., 2015; DIAS et al., 2016; DANTAS et al. 2018; FREITAS et al., 2020; GAO et al., 2021).

O EDT apresenta altas concentrações de compostos orgânicos, os quais tem o potencial de danificar as características físicas e químicas do solo. O excesso de matéria orgânica no solo promove a imobilização de nutrientes e causar anoxia temporária no solo, dessa forma pode limitar o desenvolvimento das plantas (CUNHA et al., 2015; CAVALCANTE et al. 2016).

Outras alterações bioquímicas que ocorrem devido a aplicação de EDT via irrigação foi a redução do pH do solo devido a produção de ácidos orgânicos, além disso, estudos relataram que esgoto doméstico tem carga de poluentes orgânicos, como os agrotóxicos; poluentes inorgânicos, como os metais pesados e antibióticos (LIRA et al., 2017; DANTAS et al., 2018; BARBOSA et al., 2018; LI et al., 2018; MARQUES et al., 2018; ALVES et al., 2019; VISWANATHAN, et al., 2019; SANTOS et al., 2019)

As transmissões de doenças estão associadas ao manejo de irrigação inadequado, proporcionando a lixiviação de esgoto domésticos para lençol freático. Os agentes etiológicos foram classificados de acordo do risco, sendo: (I) alto - helmintos; (II) médio - bactérias e protozoários; (III) baixo - vírus. De acordo com OMS, os padrões bacteriológicos e parasitológicos para irrigação irrestrita são de 10^3 CF/100 mL e 1 ovo de helmintos /L (USEPA, 1992; SOUZA et al., 2011)

O manejo inadequado da irrigação com EDT tem potencial para promover impactos negativos sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo. Desse modo, se faz necessário a caracterização EDT utilizado para irrigação, e também o monitoramento das parâmetros químicos e biológicos do solo, em porte desses resultados, é possível estabelecer um manejo adequado de irrigação com água de EDT e dessa forma reduzir e/ou evitar os impactos negativos sobre o solo (DANTAS et al. 2018; ALVES et al., 2019; VISWANATHAN, et al., 2019; SANTOS et al., 2019; FREITAS et al., 2020; GAO et al., 2021).

5.5. Caracterização do reúso do esgoto doméstico: aspectos importantes para irrigação por gotejamento

No método de irrigação por gotejamento a água é aplicada sobre a área radicular da planta, com pequena intensidade e alta frequência, por meio dos gotejadores. Entre as diversas vantagens desta técnica, destaca-se: aumento da eficiência no uso de água e da adubação, maior produtividade, adapta-se a diferentes tipos de solo e topografia e maior controle fitossanitários, no entanto a desvantagem deste sistema está relacionada ao entupimento dos emissores (MANTOVANI et al., 2007).

O EDT associado ao sistema de irrigação por gotejamento, apresenta maior sustentabilidade em relação aos demais sistemas, devido reduzir o contato do agricultor com efluente e não há riscos da distribuição de patógenos por via aérea, dessa forma promove maior segurança a saúde pública. Além disso proporciona maior sanidade a planta, devido desenvolver um microclima de alta umidade e rica em nutrientes na área da planta, dessa forma inibe o desenvolvimento de pragas e doenças,

outro benefício é minimizar os riscos de contaminação com o produto comercializado (SADOVSKI et al., 1978; NAJAFI et al., 2010)

O nitrato é elemento de alta concentração no esgoto doméstico, o qual é facilmente lixiviado do solo, promovendo a contaminação do lençol freático, dessa forma proporciona perigo a saúde humana. Nesse contexto, é fundamental o manejo adequado da irrigação, além disso o sistema por gotejamento reduz em até 70% da taxa de lixiviação de nitrato em relação as outras técnicas de irrigação (TRIPATHI et al., 2016).

A qualidade da EDT utilizada no sistema por gotejamento reflete diretamente no processo de entupimento dos emissores, dessa forma a água de EDT ganha evidência, devido às características físicas, químicas e biológicas influenciarem no grau de obstrução dos gotejadores (CARARO et al., 2006; BATISTA et al., 2010; SILVA et al., 2012; SZEKUT et al., 2015).

Do ponto de vista biológico a alta concentração de matéria orgânica no EDT é o principal fator no processo de entupimento de emissores, por meio da formação de biofilme através de algas e zooplânctons. A DBO e DQO são os parâmetros que indicam a concentração de matéria orgânica na água de EDT. Os valores de 30 a 120 mg L⁻¹ e 10 e 24 mg L⁻¹ para DBO e DQO, respectivamente, e com alta concentração de bactérias abaixo de >10000 ml⁻¹ o EDT pode ser utilizado via irrigação sem restrições para o impacto citado (CARARO, 2006).

O entupimento físico é por meio das partículas sólidas que não foram retiradas pelo sistema de filtragem ou oriundas da precipitação química dentro da tubulação do sistema (CARARO et al., 2006; BATISTA et al., 2010). A formação química de precipitados está relacionada com a alcalinidade do esgoto doméstico tratado, que apresenta pH entre 6,5 e 8,5, devido a presença de bicarbonatos (HCO₃). De acordo com Ayres; Westcot (1991), a concentração de bicarbonato acima de 305 mg L⁻¹ provoca problemas graves relacionados a precipitados no sistema de irrigação. Há também precipitados poucos solúveis formados através de reações químicas, as quais estão associadas à presença de carbonato (CO₃), sulfato de cálcio ou magnésio (CaSO₄; MgSO₄) e os óxidos de ferro (FeO e Fe₂O₃).

Outro fator relevante é a alta concentração de sal do esgoto doméstico, principalmente o sódio, cloreto e boro, e esses sais proporcionam a corrosão dos equipamentos do sistema de irrigação, dessa forma ocorre o aumento dos custos de manutenção e reparos (AYERS; WESTCOT, 1991).

Avaliar o desempenho do sistema por gotejamento utilizando água de EDT é fundamental para verificar os seus efeitos sobre a eficiência do sistema, a qual é realizada por meio os seguintes parâmetros: variação de vazão do gotejador, coeficiente de uniformidade de estatístico (CUE),

coeficiente de variação de vazão (CVQ), vazão relativa (Qr) e o grau de entupimento (GE) do sistema (CARARO et al., 2006; BATISTA et al., 2010, SILVA et al., 2012; DALRI et al., 2014; SZEKUT et al., 2015).

Diversos autores verificaram alterações de vazão nos emissores, sendo Szekut et al., (2015), observaram a redução de 15% da vazão dos emissores, Cararo et al., (2006) verificaram a restrição de 5 a 28% nos valores de coeficiente de variação de vazão para 15 tipos de gotejadores analisados. Silva et al., (2012) avaliando o desempenho de por um período de 120 horas, verificaram os declínios 4,49 e 10,58% nos valores do CUC e do CUD, respectivamente.

5.6. Uso de lâminas deficitárias de esgoto doméstico

Para ampliar as fronteiras agrícolas em regiões semiáridas, é fundamental elevar a eficiência do uso da água. Sob essa perspectiva, a irrigação deficitária é uma alternativa para reduzir consumo de água, apresenta menores custos de operação e rentabilidade viável. No entanto, o manejo em déficit de forma inadequada pode proporcionar perdas significativas na produtividade, devido ao estresse hídrico imposto a cultura (ROCATELIA et al., 2012; COSTA et al., 2017).

Dessa forma é necessário determinar o consumo de água da cultivar sob estresse hídrico, de forma que não afete a produção de maneira significativa, ou seja, aumentar a eficiência do uso da água (EUA; biomassa produzida por unidade de água evapotranspirada) (JIN; YOUNG, 2001; ZEGADA-LIZARAZU et al., 2012).

Pesquisas (SEPASKHAH et al., 2003; FARRÉ; FACI, 2006; NASIDI et al., 2010; ROCATELIA et al., 2012; ZEGADA-LIZARAZU et al., 2012) demonstram que o sorgo sacarino apresenta maior EUA em relação a outras culturas C4, como a cana-de-açúcar e o milho, no entanto a tolerância a seca é de acordo com os mecanismo fenológicos, morfológicos e fisiológicos de cada genótipo, e recentemente foram desenvolvidas diversas cultivares de sorgo sacarino, as quais, não apresentam informações sobre o seu desenvolvimento em déficits. As respostas ao estresse hídrico nas cultivares mudam de acordo com tempo de exposição, a intensidade e as condições do estresse imposto, nesse contexto o uso da água de EDT para a irrigação ganha destaque devido a suas concentrações de sais. A irrigação deficitária e a salinidade da água de esgoto doméstico influenciam o decréscimo na assimilação fotossintética de CO₂, conseqüentemente diminuem o crescimento e produtividade das plantas. E ocorre também a redução dos níveis de sacarose, por outro lado há aumento de açúcares redutores.

Avaliando a viabilidade econômica da irrigação deficitária, observa-se que a cultura do sorgo sacarino IPA 467 com lâmina de irrigação que fornece 50% da ET_c proporcionou uma redução de 17% de biomassa fresca e de 23% de biomassa seca quando comparada às produções obtidas com a lâmina de 100% da ET_c (COSTA et al., 2017). Em relação a tolerância aos sais no solo e na água, o sorgo tem a salinidade limiar de $6,8 \text{ dS.m}^{-1}$ para a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e de $4,5 \text{ dS.m}^{-1}$ para condutividade elétrica da água de irrigação (RHOADES et al., 2000). Esses resultados demonstram que o sorgo sacarino apresenta mecanismos que contribuem para tolerância ao déficit hídrico e salino, desse modo justifica combinar esses caracteres para verificar a adaptabilidade da cultura.

A eficiência de um sistema do esgoto doméstico tratado na irrigação, requer a adoção de planejamento e manejo adequados. Por meio desses mecanismos é possível contribuir para melhorar a fertilidade do solo, a produção agrícola e não promover efeitos deletérios nas características físico-químicas do solo ou sob os recursos hídricos, contudo, é pertinente avaliar a resposta de cada cultivar, devido a qualidade inferior da água de esgoto doméstico tratado.

6. Referências Bibliográficas

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, New Ogorode Road, v. 4, n. 9, p. 772 – 780, 2009.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R. dos; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F.; PORTUGAL, A. F. Soil chemical properties in banana crops fertigated with treated wastewater, **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 234 – 242, 2019.

ANDRADE, L. O.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; NOBRE, R. G.; DIAS, E. M. S. Teor de macronutrientes em girassol ornamental sob doses de esterco e efluente doméstico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.12, nº 3, p. 607 – 611, 2017.

ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOUZA, F. P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Perspectiva Online: exatas e engenharia**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n. 7, p. 51 – 61, 2017.

ÁVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; SILVA, E. M. de; ALVARENGA, A. A. de; REIS, C. O. dos; CUSTÓDIO, A. M.; JAKELAITIS, A.; SOUZA, T. C. Foliar application of potassium nitrate induces tolerance to water deficit in pre-flowering sorghum plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 44, n. 1, p. e53069, 2021. doi.org/10.4025/actasciagron. v44i1.53069

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. S. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985, 174p. (Irrigation and Drainage Paper, 29).

AZEVEDO, M. S.; FERREIRA, M.; MEDEIROS, J. F.; SÁ, F. V. S.; LIMA, Y. B.; LEMOS, M. Produtividade e teor de nutrientes em palma forrageira irrigada com efluente de esgoto doméstico. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 830 – 842, 2019.

BAIOUI, R.; GHNAYA, T.; WALI, M; ZAIER1, H.; GHABRICHE, R.; MNASRI, M.; LUTTS, S.; ZORRIG1, W.; ABDELLY1, C.; Agricultural valorization of domestic sewage sludge: impact on growth, photosynthesis, nutrition and toxic metal accumulation in *Medicago sativa*. **Agrochimica**, Pisa, v. 61, n. 1, 2017.

BARBOSA, E. A. A.; MATSURA, E. E.; SANTOS, L. S. L.; NAZÁRIO, A. A.; GONÇALVES, I. Z.; FEITOSA, D. R. C. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 2, p. 137 – 142, 2018.

BATISTA, R. O.; SOUZA, J. A. R.; FERREIRA, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 18 – 22, 2010.

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

BRASIL. Lei n. 9.433, de 08 de jan. de 1997. **LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997**: Lei de Gestão de Recursos Hídricos; Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos; Lei das Águas. Diário Oficial da União – Seção 1 – 9/1/1997, v. 1, p. 470, jan. 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CÂMARA, T. M. M.; PARRELLA, A. da C.; SILVA, H. de E. Qualidade industrial e rendimento de etanol de genótipos de sorgo sacarino em planta e rebrota. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 2, p. 216 – 228, 2018.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 68, n. 2, p. 135 – 149, 2004.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Josep, v. 22, n. 2, p. 251 – 257, 2006.

CAVALCANTE, K. L.; DEON, M. D.; SILVA, H. K. P. Acidez e matéria orgânica de solo irrigado com efluente de estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE. **Revista Semiárido De Visu**, Petrolina, v. 4, n. 3, p. 181 – 189, 2016.

CAVALCANTE, T. J.; CASTOLDI, G.; RODRIGUES, C. R.; NOGUEIRA, M. M.; ALBERT, A. M. Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 4, p. 364 – 373, 2018.

COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; NUVES, R. M. de A.; CAVALCANTE, E. G.; LIRA, J. F. B. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 449 – 459, 2017.

CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo**. cap. 9, p. 273 – 293. In: NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. (Org.). Recurso solo: propriedades e usos. São Carlos: Cubo, 2015.

CUTZ, L.; SANCHEZ-DELGADO, S.; RUIZ-RIVAS, U.; SANTANA, D. Bioenergy production in Central America: Integration of sweet sorghum into sugar mills. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 25, p. 529 – 542, 2013.

DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, R. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T.; DANTAS, D. da C.; SIVA, E. F. de F.; DANTAS, M. S. M.; SILVA, G. F.; SANTOS, A. N.; ROLIM, M. M. Cultivation of sunflower irrigated with domestic sewage treated in Quartzarenic Neosol. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Ribeirão Preto, v. 13, n. 2, p. 1 – 7, 2018.

DANTAS, D. L.; SALES, A. W. C. Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do reuso da água. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, Recife, v. 3, n. 3, p. 4 – 19, 2009.

Di MARIA, F.; SISANI, F.; CONTINI, S.; GHOSH, K.; MERESKY, R. L. Is the policy of the European Union in waste management sustainable? An assessment of the Italian context. **Waste Management**, v. 103, p. 437– 448, 2020.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J.F. da S.; SOUSA, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade, cap. 11. Em: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de; Gomes Filho, E. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza - CE, INCTSal, 2016. 504p

DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; MIRANDA, J. H.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R. Fundamentos de drenagem agrícola. Fortaleza – CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Salinidade, 2015. 356p.

DURÃES, F. O. M. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 6 – 7, 2011.

ÉDER-SILVA, E.; SILVA, R. C.; ARAÚJO, D. R.; FIGUEIREDO, P. I. DE; LIMA, F. DE S.; Sistemas de captação de água *in situ* sobre o crescimento e rendimento do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Revista Acta Kariri**, Crato, v. 1, n. 1, p. 48 – 58, 2016.

ELIAS, O. F. A. e S.; LEITE, M. L. de M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. de S.; NASCIMENTO, G. F. do; SIMPLÍCIO, J. B. Características agrônômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 14, n. 1, p. 29 – 36, 2016.

FARRÉ, I.; FACI, J. A. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 83, n. 1 – 2, p. 135 – 79, 2006.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 47p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

FREITAS, C. A. S.; BEZERRA, F. M. L.; ALBIERO, D.; NASCIMENTO, J. A. M. Energy analysis of ethanol from sugarcane irrigated with treated domestic sewage. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 3, p. 389 – 398, 2018.

FREITAS, C. A. S.; LIMA, J. C.; BEZERRA, F. M. L.; CUNHA, L. S.; OLIVEIRA, F. F.; SARAIVA, K. R. Potencial produtivo do maracujazeiro amarelo irrigado com esgoto doméstico tratado. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 9, p. 1 – 24, 2020.

GANO, B.; DEMBELE, J. S.; TOVIGNAN, T. K.; SINE, B.; VADEZ, V.; DIOUF, D.; AUDEBERT, A. Adaptation responses to early drought stress of West Africa sorghum varieties. *Journals Agronomy*, v. 11, n. 3, p. 443, 2021. doi.org/10.3390/agronomy11030443

GAO, Y.; SHAO, G.; WU, S.; XIAOJUN, W.; LU, J.; CUI, J. Changes in soil salinity under treated wastewater irrigation: A meta-analysis. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 255, 2021.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; de ALMEIDA, B. M.; FRETIAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 10, n. 3, p. 305 – 315, 2016.

GIACOMINI, I.; PEDROZA, M. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n.3, p. 73 – 81, 2013.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; BARROS, J. R. A.; ALBERTO, K. da C.; WILLADINO, L. G. Parâmetros bioquímicos, fisiológicos e produtividade de sorgo granífero irrigado com água salina. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 7, n. 3, p. 159-168, 2022. doi.org/10.24221/jeap.7.3.2022.4692.159-168

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E. dos; WILLADINO, L. Cultivo de variedades de sorgo forrageiro irrigado com efluente salino da piscicultura sob condições semiáridas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 5, 2016.

GUIMARÃES, T. R. F. da C. S.; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F. Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 7, n.1, p.01 – 07, 2018.

HARIPRASANNA, K.; PATIL, J.V. Sorghum: Origin, Classification, Biology and Improvement. in MADHUSUDHANA, R.; RAJENDRA KUMAR, P.; PATIL, J.V. **Sorghum Molecular Breeding**, Berlin, p. 3 – 20, 2015.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água. Barueri: Manole, 2003. p.37 – 96.

JIN, L.; YOUNG, W. Water use in agriculture in China: importance, challenges, and implications for policy. **Water Policy**, v. 3, n. 3, p. 215 – 228, 2001.

LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: sistemas agrícolas, paisagem natural e análise integrada do espaço rural. **EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. cap. 38, p. 1246 –1270, 2020.

LARA, J. de P.; BORGES, I. D.; SANTOS, F. C. dos; PARRELLA, R. A. Desempenho agroindustrial do sorgo sacarino submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.17, n.3, p. 474 – 489, 2018.

LEMONS, M.; FERREIRA, M.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; SILVA, E. F. F.; LIRA, R. B. Nutritional evaluation of forage cactus fertigated with domestic sewage effluent. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 476 – 486, 2018.

LI, J.; DONG, Y.; HU, F.; WANG, J. Occurrence of antibiotics in water in xiaodian sewage irrigation area, Northern China. **Earth and Environmental Science**, Xiamen, v. 146, n.1, p. 12 – 28, 2018.

LIRA, R. B. de; FERREIRA NETO, M.; MEDEIROS, J. F. de; DIAS, N. da S; BRITO, R. F. de; OLIVEIRA, L. L. de P. Atributos químicos de um cambissolo háplico fertirrigado com efluente doméstico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 6, p. 1845 – 1853, 2017.

MAGALHÃES, A. G.; MARTINS, E. L.; MEDEIROS, S. S. Análise do crescimento de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. irrigada com água residuária em região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 5, n. 12, p. 28334 – 28342, 2019.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivo do sorgo – Ecofisiologia. Sistema de Produção, 2 (9º ed.). **Embrapa Milho e Sorgo**. ISSN 1679-012X, Versão Eletrônica, 2008.

MALAFAIA, G.; ARAÚJO, F. G.; MOZENA, W. L.; RODRIGUES, A. S. L. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. **Revista Ambiente Água**, Taubaté, v. 11, n. 4, p. 709 – 809, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. Ed., Editora UFV. Viçosa. 358 p. 2007.

MARQUES, M. V. A.; MATOS, A. T.; PERREIRA, M.; SILVÉRIO, T. H. R.; PENIDO, D. L. A.; COSTA, M. T. M.; SILVA, D. A. P. Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente de tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **Holos**, Natal, v. 2, n. 33, p. 52 – 64, 2017.

MARQUES, M. V. A.; MATOS, A. T.; SILVA, D. A. P.; SILVÉRIO, T. H. R. Sodicidade e salinidade de solo submetido à fertirrigação com esgoto bruto aplicado em sulcos fechados. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 464 – 472, 2018.

MARTINS, A. M.; PARRELLA, R. A. da C.; LOPES, D. de C. L.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, N. N. L.; NEVES, W. dos S.; SILVA, A. P. C. M. Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n. 2, p. 217 – 231, 2017.

MAY, A.; MENDES, S. M.; SILVA, D. D.; PARRELLA, R. A.C.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; PACHECO, T. F.; AQUINO, L. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; KARAM, D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 186).

MIRANDA, R. A.; MAY, A. **Análise dos custos de produção do sorgo biomassa para a geração de energia elétrica e sorgo sacarino para a produção de etanol e energia**. Circular Técnica 216, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, 12 p., 2016.

MUNNS, R. Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. *Advances in Botanical Research*, v.57, p. 1-32, 2011.

MUNNS, R.; HUSAIN, S. RIVELLI, A. R.; RICHARD, A. J.; CONDON, A. G.; MEGAN, P. L.; EVANS, S. L.; SCHACHTMAN, D. P.; HARE, R.A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. **Plant and Soil**, New York, v. 247, p. 93 – 105, 2002.

NAJAFI, P.; TABATABAEI, S. H.; ASGARI, K. Evaluation of filtration and SDI application effects on treated wastewater quality index. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, p. 1250 – 1255, 2010.

NASIDI, M.; AKUNNA, J.; DEENI, Y; BLACKWOODA, D.; WALKER, G. Bioethanol in Nigeria: comparative analysis of sugarcane and sweet sorghum as feedstock sources. **Energy Environmental Science**, n. 3, 1447 – 1457, 2010.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and Salinity - Crop Physiology & Metabolism. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 3, p. 797 – 805, 2004.

OGTR – Office of the Gene Technology Regulator. **The Biologu of Sorghum Bicolor (L.) Moench subsp. Bicolor (Sorghum)**. Department of Health, 79 p., Version 1.1, 2017.

OLIVEIRA, A. R. de; MELO, R. F. de; SANTOS, J. M. R. dos; TARDIN, F. D. Desempenho produtivo de sorgo sacarino cultivado em barragem subterrânea. **Revista Científica Intelletto**, Venda Nova do Imigrante, v.2, n.1, p. 103 – 111, 2016.

OLIVEIRA, P. C. P.; GLOAGUEN, T. V.; GONÇALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 8, p. 480 – 486, 2013.

PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 8 – 9, 2011.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão**,

Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308 – 1324, 2015.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** - (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Brasília, DF: Embrapa, 2015. 327 p.

PORTO, A. E. B.; SCHOENHALS, M. Tratamento de efluentes, reúso de água e legislação aplicada em lavanderia têxtil industrial. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal v. 10, n. 2, p. 68 – 80, 2013.

RAMOS, T. B.; ŠIMŮNEK, J.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PRAZERES, A.; PEREIRA, L. S. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. **Agricultural Water Management**, Amsterdã, v. 11, p. 87 – 104, 2012.

REDDY, B. V. S.; RAMESH, S.; REDDY, P. S.; ASHOK KUMAR, A.; SHARMA, K. K.; CHETTY, S. M. K.; PALANISWAMY, A. R. Sweet sorghum: food, feed, fodder and fuel crop. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**, India. 2006, 24p.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. de.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande UFPB, 2000.

ROCATELIA, A. C.; RAPERBK, R. L.; BALKCOMC, S.; ARRIAGAC, F. J.; BRANSBYD, D. I. Biomass sorghum production and components under different irrigation/tillage systems for the southeastern U. S. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 589 – 598, 2012.

ROHBAKHS, H. Alleviating adverse effects of water stress on growth and yield of forage sorghum by potassium application. **Advances in Environmental Biology**, Amsterdã, v. 7, n. 1, p. 40 – 46, 2013.

RUBIN, E. M. Genomics of cellulosic biofuels. **Nature**, Cambridge, v. 454, p. 841 - 845, 2008.
SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial Contamination of Vegetables Irrigated with Sewage Effluent by the Drip Method. **Journal of Food Protection**, v. 41, n. 5, p. 336 – 340, 1978.

SANDRI, D.; ROSA, R. de R. B. Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 18 – 33, 2017.

SANTOS, A. C.; BOECHAT, C. L.; SARAIVA, P. C., ARAUCO, A. M. S.; ROCHA, F. A.; PINTO, M. F. S. Application of treated domestic sewage effluent on the quality indicators of an Oxisol cultivated with castor bean. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n.2, p. 077 – 084, 2019.

SANTOS, F. C.; PASSOS, A. M. A.; RESENDE, A. V. de; ALBUQUERQUER, M. R.; MAY, A.; PARRELLA, R. A.C.; JÚLIO, G. M. F.; NOGUEIRA, D. R. **Manejo de nitrogênio e potássio na adubação de cobertura para sorgo energia em solos argilosos da região central de minas gerais**. Sete Lagoas – MG: EMBRAPA, 2016. 19p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica 226).

SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-deaçúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial 01, p. 62 – 71, 2014.

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

SEPASKHAH, A. R.; KANOONI, A.; MGHASEMI, M. Estimating water table contributions to corn and sorghum water use. **Agricultural Water Management**, v. 58, n. 1, p. 67 – 79, 2003.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 480 – 486, 2012.

SILVA, M. A. G. DA; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, em *Capsicum annum L.*, em ambiente protegido. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, p. 1085 – 1089, 2008.

SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 5 – 8, 2011.

SZEKUT, F. D.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V.; KLEIN, M. R.; RIBEIRO, M. D.; MEDEIROS, S. S. Emitter clogging in drip irrigation using treated domestic wastewater. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.13, n. 3 – 4, p. 60 – 66. 2015.

TABOSA, J. N.; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo do sorgo no semiárido brasileiro: potencialidades e utilizações. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, D. M. P.; TABOSA, J. N.; BRITO, B. J. Z.; FRANÇA, J. G. E.; WANDERLEY, M. B.; SANTOS FILHO, A. S. dos; GOMES, E. W. F.; LOPES, G. M. B.; OLIVEIRA, J. P.; SANTIAGO, A.D.; SILVA, F. G.; PACHECO, M. I. N.; SILVA, C. C. F. (Org.). **Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável**. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2013. p. 133 – 162.

TABOSA, J. N.; SIMPLÍCIO, J. B.; NASCIMENTO, M. M. A. do; REIS, O. V. dos; SILVA, F. G. da; LIMA, J. M. P. de. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes do Semi-Árido nordestino. IN: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27, Londrina, PR, 2008. Resumos Expandidos, CD ROM.

TRIPATHI, V. K.; RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 396 – 406, 2016.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for water reuse. Technical Report EPA/625/R92/004. USEPA ,1992, Washington, D.C.

VELMURUGAN, B.; NARRA, M.; RUDAKIYA, D. M.; & MADAMWAR, D. in: Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts Technology, Advances, Life Cycle Assessment, and Economics. Chapter: 10: Sweet sorghum: a potential resource for bioenergy production. **Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts**. Edition: Elsevier, p. 215 – 242, 2020.

VISWANATHAN, D.; SIVARAMAN, R.; PERUMAL, S. Effect of domestic sewage wastewater irrigation on nutritional and nutraceutical perspectives of eleusine coracana and zea mays (raw and

processed) from selected semi-urban and rural areas of Coimbatore, Tamil Nadu. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, Londres, v. 25, n. 8, p. 1335 – 1341 2019.

WANG, Z.; WEI, Y. Physiological and transcriptomic analysis of antioxidant mechanisms in sweet sorghum seedling leaves in response to single and combined drought and salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, v. 17, n. 1, p. 1006–1016, 2022. doi.org/10.1080/17429145.2022.2146771

WANG, Z.; WEI, Y. Physiological and transcriptomic analysis of antioxidant mechanisms in sweet sorghum seedling leaves in response to single and combined drought and salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, v. 17, n. 1, p. 1006–1016, 2022. doi.org/10.1080/17429145.2022.2146771

ZEGADA-LIZARAZU, W.; ZATTA, A; MONTI, A. Water uptake efficiency and above- and belowground biomass development of sweet sorghum and maize under different water regimes. **Plant and Soil**, v. 351, p. 47 – 60, 2012.

ZHANG, R. D.; ZHOU, Y. F.; YUE, Z. X.; CHEN, X. F.; CAO, X.; XU, X. X.; XING, Y. F.; JIANG, B.; AI, X. Y.; HUANG, R. D. Changes in photosynthesis, chloroplast ultrastructure, and antioxidant metabolism in leaves of sorghum under waterlogging stress. *Photosynthetica*, v. 57, n. 4, p. 1076-1083, 2019. doi.org/10.32615/ps.2019.124

ZHANG, Y.; SHEN, Y. Wastewater irrigation: past, present, and future. **WIREs: Water**, New Jersey, v. 6, n. 3, p. 1 – 6, 2019.

ZHU, L.; CRESNUSAK, L. A.; SONG, X. Dynamic responses of gas exchange and photochemistry to heat interference during drought in wheat and sorghum. *Functional Plant Biology*, v. 47, n. 7, p. 611-627, 2020. doi.org/10.1071/FP19242

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R. de; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000.

**TROCAS GASOSAS EM PLANTAS DE SORGO SACARINO IRRIGADO
COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO SOB DOSES DE POTÁSSIO**

CAPÍTULO II

RESUMO

O sorgo sacarino tem expressiva importância para expansão dos biocombustíveis, embora a produção seja baixa no Brasil, a cultura tem potencial de ampliar a produção devido às suas características edafoclimáticas de adaptação às regiões semiáridas, podendo promover o desenvolvimento socioeconômico da região. Objetivou-se, neste estudo, avaliar as trocas gasosas e produção do sorgo sacarino IPA – 467 cultivado no semiárido pernambucano. Os tratamentos consistiram da combinação de cinco lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (0, 70, 100, 130 e 160% ETc) e doses de potássico (0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹), aplicadas na adubação de fundação. O delineamento experimental utilizado foi o de bloco casualizados, em fatorial 5 x 5, com três repetições. As variáveis analisadas foram: produtividade de biomassa fresca, taxa de assimilação líquida de CO₂, transpiração, condutância estomática, temperatura foliar e a eficiência intrínseca do uso da água. Neste contexto, as maiores produtividades de biomassa fresca foram encontradas com as lâminas de irrigação (108 e 120% da ETc) e doses de potássio (38,53 e 46,30 kg ha⁻¹), para os ciclos sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente. O manejo de irrigação preciso (110 %ETc) e adubação precisa (40 kg K₂O ha⁻¹) são essenciais para garantir os processos fisiológicos satisfatórios, dessa forma proporcionar o crescimento e desenvolvimento vegetal, consequentemente induzir uma produtividade significativa. Além disso, o estudo revela que o uso de água de esgoto doméstico é uma alternativa para a irrigação na cultura do sorgo, proporcionando o desenvolvimento adequado, possibilitando economia de água de abastecimento urbano.

Palavras-chave: Trocas gasosas. Adubação potássica. Reúso de água. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

ABSTRACT

Sorghum saccharatum has significant importance for the expansion of biofuels, although production is low in Brazil, the crop has the potential to increase production due to its edaphoclimatic characteristics of adaptation to semi-arid regions, which can promote socio-economic development in the region. The objective of this study was to evaluate gas exchange and biomass production of sorghum saccharatum IPA-467 cultivated in the semi-arid region of Pernambuco. The treatments consisted of the combination of five irrigation depths with treated domestic sewage water (0, 70, 100, 130, and 160% ETc) and potassium doses (0, 20, 40, 60, and 80 kg ha⁻¹) applied as foundation fertilization. The experimental design used was randomized blocks in a 5 x 5 factorial arrangement, with three replications. The variables analyzed were fresh biomass productivity, net CO₂ assimilation rate, transpiration, stomatal conductance, leaf temperature, and intrinsic water use efficiency. In this context, the highest fresh biomass productivities were found with irrigation depths (108 and 120% of ETc) and potassium doses (38.53 and 46.30 kg ha⁻¹) for the sorghum-plant and ratoon sorghum cycles, respectively. Precise irrigation management (110% ETc) and precise fertilization (40 kg K₂O ha⁻¹) are essential to ensure satisfactory physiological processes, thus promoting plant growth and development, consequently inducing significant productivity. Furthermore, the study reveals that the use of treated domestic sewage water is an alternative for irrigation in sorghum cultivation, providing adequate development and enabling savings in urban water supply.

Keywords: Gas exchange. Potassium fertilization. Water reuse. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

1. Introdução

A crescente procura por fontes de energia renováveis, como os biocombustíveis, é uma demanda global (OCDE/FAO 2021), devido a diversos fatores relacionadas aos combustíveis fósseis como aumento nos preços e exauribilidade, e relacionados também ao uso de biomassa para geração de energia que reduz significativamente as emissões de dióxido de carbono, sendo uma alternativa competitiva para a geração de energia convencional (HARVRYSH et al. 2022).

O sorgo é uma cultura de importância mundial, explorada para a ração animal, segurança alimentar e biocombustível. Tem uma área cultivada estimada em 501.000 km² (3% da área global cultivada), no entanto, não é explorada em regiões áridas e semiáridas (DENG et al., 2019). Essas regiões apresentam condições edafoclimáticas, com o potencial de promover dados negativos no crescimento, desenvolvido, produção e qualidade do sorgo. Outra desvantagem é a ausência fonte hídrica de qualidade (GUIMARÃES et al., 2022).

O esgoto doméstico tratado torna-se uma alternativa sustentável socioeconômica e ambiental, dos sistemas agrícolas, destaca-se devido as altas concentrações de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg) e matéria orgânica, que incrementa a fertilidade do solo. No entanto, o manejo desse efluente na irrigação requer planejamento a curto e longo prazo, para controlar os níveis de sais e contaminação do solo e da planta. A salinidade promove danos significativos às plantas. Destaca-se as alterações agrônômicas: na altura de planta, área foliar e produção de biomassa; bioquímicas: concentração de osmorreguladores e enzimas antioxidantes; os fisiológicos: taxa de assimilação de CO₂ (A), transpiração foliar (TF) e a condutância estomática (gs). Uma alternativa para reduzir os efeitos dos sais sob o sorgo é adubação potássica, esse nutriente está relacionado ao potencial osmótico da planta, influenciando a expansão celular e transporte de íons, no controle estomático e maior eficiência do uso da água (GUIMARÃES et al., 2022; FERNANDES et al., 2023).

Dessa forma, o monitoramento dessas variáveis é fundamental para verificar os efeitos dos estresses hídricos e salinos sob as plantas. Diversos trabalhos demonstram a influência dos estresses abióticos sob a planta do sorgo (Zhang et al., 2019; Zhu et al., 2020; Gano et al., 2020; Ávila et al., 2022; Wang; Wei, 2022). Dourado et al., (2022) analisou a influência da salinidade sob as trocas gasosas do sorgo, e verificou que a A, TF e gs reduziram em 0,204 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, 0,0467 mmol H₂O m⁻²s⁻¹ e 0,0015 mol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente, por 1 mM de aumento na concentração de NaCl.

Desse modo, o presente experimento teve por objetivo avaliar as trocas gasosas e biomassa fresca da cultivar do sorgo sacarino IPA – 467 cultivada em função de diferentes doses de potássio e lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado aplicadas via gotejamento.

2. Material e métodos

2.1. Localização e caracterização da região experimental

O experimento foi conduzido no semiárido de Pernambuco, no município de Ibimirim, localizado à 333,0 km de distância da capital Recife. A área experimental está na latitude de 8° 32' 05'' Sul, longitude de 37° 41' 50'' Oeste, com altitude média de 408 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', semiárido muito quente, com precipitação média anual de 454,0 mm. A temperatura média anual é em torno de 24,9 °C, máxima média de 32,6 °C e mínima média de 20,0 °C (Figura 1) (CAVALCANTE et al., 2006).

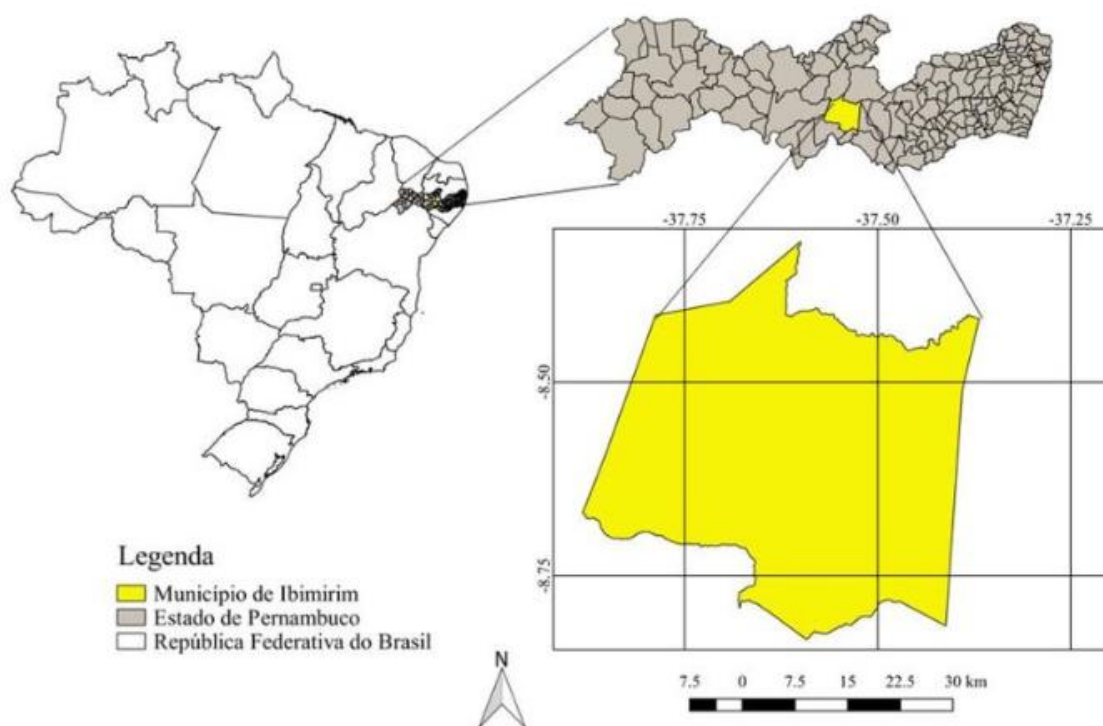


Figura 1. Mapa da localização do município de Ibimirim, no estado de Pernambuco – Brasil

O experimento foi conduzido na Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola de Esgoto Doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no período de 31 de janeiro de 2020 a 30 de julho de 2020 (180 dias). No decorrer do período experimento, foram monitorados os dados de temperatura, umidade e precipitação. As temperaturas mínima, média e máxima foram de 23,10, 27,73 e 28,34 °C, respectivamente, a umidade relativa máxima e mínima foram de 81,54 e 69,33%, respectivamente, e a precipitação acumulada de 559 mm (Figura 2).

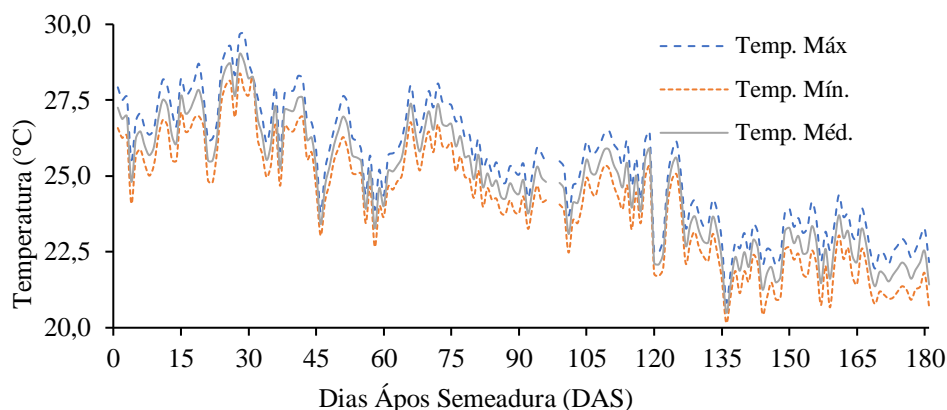


Figura 2. Temperatura máxima, mínima e média do ar do ambiente durante o período de realização do experimento.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2014). As análises de caracterização físicas e químicas do solo (Tabela 1) foram determinadas de acordo com metodologia recomendada pela Embrapa (2011).

Tabela 1. Composição física e química do neossolo quartizarênico órtico típico a moderado

Prof. ^(A) (cm)	P (mg dm ⁻³)	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V
			(cmol _c .dm ⁻³)						%		
0-20	74	6,5	2,50	0,65	0,03	0,26	0,00	0,24	3,40	3,70	93
20-40	31	5,5	1,65	0,60	0,06	0,28	0,05	0,69	2,60	3,30	78
Prof. (cm)	Horizontes		Areia	Silte	Argila		VIB ^(B)	Classe Textural			
			g kg ⁻¹			mm h ⁻¹					
0-20	A		760	80	160		26	Franco Arenoso			
20-40	C1		760	80	160						

(A) Profundidade; (B) Velocidade de Infiltração Básica.

2.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 5 x 5, com 25 tratamentos, com 3 repetições, totalizando 75 parcelas experimentais. A parcela experimental foi composta por três fileiras de 5 m de comprimento espaçadas por 1 m entre fileiras, compreendendo uma área de 15 m² para realização da amostragem considerou-se como área útil apenas a fileira central, deixando-se as demais como bordadura. E foram divididas da seguinte forma: três fileiras com 5 m de comprimento e 1 m de espaçamento. Os tratamentos consistiram no uso de cinco lâminas de irrigação com água de Esgoto Doméstico Tratado (EDT), sendo L1 = 40%, L2 = 70%, L3 = 100%, L4 = 130% e L5 = 160% da estimativa da Evapotranspiração de Cultura

Localizada (ET_C), associadas a cinco doses de adubação potássica de fundação, foram aplicadas as doses de 0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹, representando, 0, 50, 100, 150 e 200% da quantidade sugerida para a cultura do sorgo (IPA, 2008) (Figura 3).

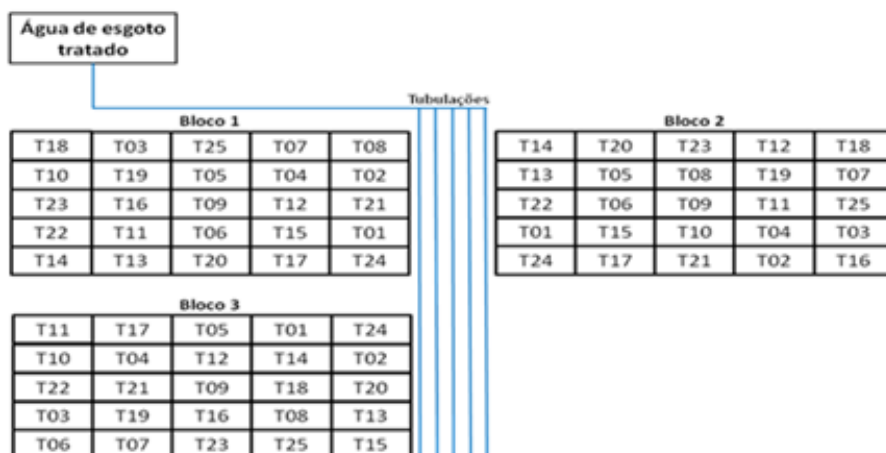


Figura 3. Delineamento experimental com distribuição dos tratamentos adotados

2.3. Sistema de coleta e tratamento do esgoto doméstico

O esgoto bruto foi advindo de um sistema de esgotamento condominial implantado para o atendimento de 500 habitações, cerca de 3000 habitantes, em torno das proximidades do Bairro Lajes, Ibimirim - PE. O esgoto passou por um tratamento preliminar composto por uma grade de barras, caixa de areia e calha Parshall, em seguida o tratamento principal através do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB híbrido), e finalizando o tratamento em lagoas de polimento. (Figura 4).

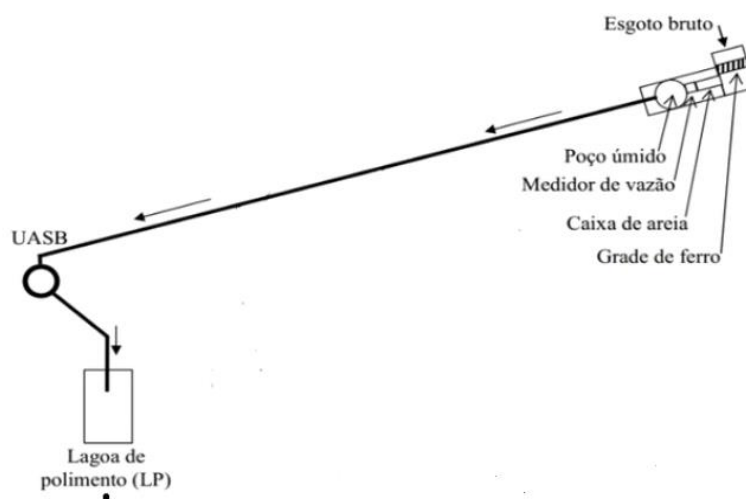


Figura 4. Detalhe da estação de tratamento do esgoto doméstico na área experimental.

O tratamento preliminar do esgoto doméstico tem a função de remover as partículas de areia e os sólidos grosseiros depositados de forma incorreta. A fase inicial é composta de quatro etapas, sendo: a grade de barras, o desarenador, a calha Parschall e o poço úmido (EMBRAPA, 2010; CESAN, 2013; VON SPERLING, 2017).

As grades são constituídas de ferro, com a função de reter resíduos sólidos descartados de forma incorreta. O segundo processo tem a função de retirar a areia do esgoto doméstico, através do desarenador (caixa de areia), enquanto a matéria orgânica é encaminhada para os próximos tratamentos. Posteriormente, para a calha Parschall, tem função de determinar a vazão do esgoto, por meio da curva-chave, em seguida é transferido para poço úmido, o qual é a última etapa do tratamento preliminar, é tem função de armazenar o esgoto e bombear para o reator UASB (Figura 5) (VON SPERLING, 2017; EMBRAPA, 2010; BRASIL, 2008).



Figura 5. (A) – Planta baixa do tratamento preliminar; (B) – Poço úmido e calha Parschall; (C) – Desarenador.

O tratamento secundário ocorreu através do reator UASB híbrido, e teve a função de realizar a degradação biológica da matéria orgânica em processos anaeróbicos (Figura 6) (A). O processo do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) é ilustrado na Figura 6 (B), e apresenta a capacidade de tratamento de $8,0 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, com tempo de detenção hidráulica de 2,2 horas.

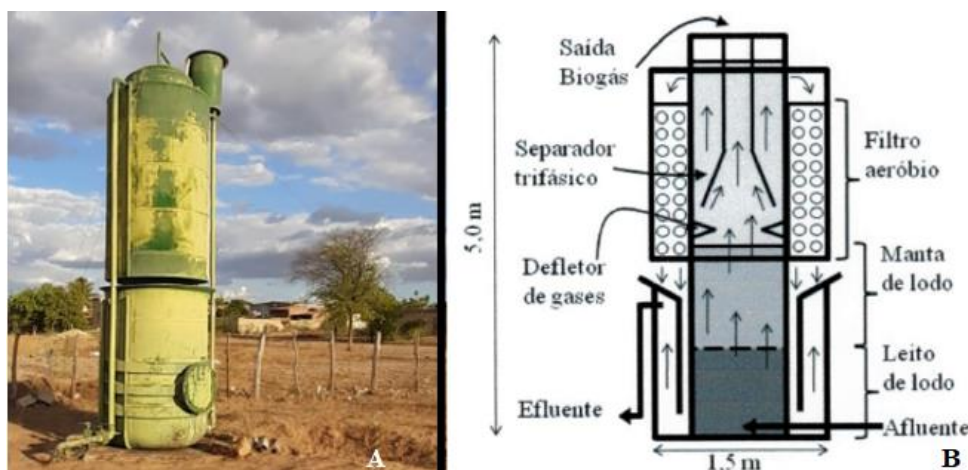


Figura 6. (A) - Reator UASB no município de Ibimirim -PE; (B) - Esquema de funcionamento do reator UASB.

A lagoa de polimento refere-se ao tratamento final do esgoto doméstico tratado, é apresentado o objetivo de degradar e estabilizar a matéria orgânica que sofreu processo parcial de digestão do processo anaeróbico e também remover os patógenos e nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio (BRASIL, 2008; CESAN, 2013).

As dimensões das lagoas de polimento de Ibimirim – PE são: 7,0 m de comprimento, 3,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, com capacidade de armazenar 2,0 m³ de esgoto doméstico tratado. Além disso, foram impermeabilizadas com lona plástica para evitar a contaminação do solo e do lençol freático (Figura 7).

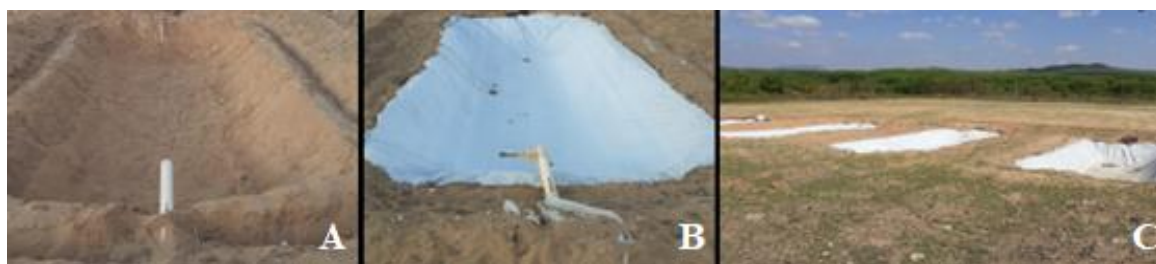


Figura 7. (A - B) - Estrutura e impermeabilização da lagoa de polimento; (C) - Visão geral das lagoas de polimento do esgoto doméstico tratado em Ibimirim - PE.

O esgoto doméstico tratado utilizado para irrigação foi coletado mensalmente, para a determinação das características físicas, químicas e microbiológicas (Tabela 2). A amostragem foi realizada logo após a passagem pelo cabeçal de controle e filtros do sistema de irrigação, e as análises foram realizadas de acordo com a metodologia padrão da American Public Health Association (2012).

Tabela 2. Caracterização físico-química e biológica do esgoto doméstico tratado pelo reator UASB em Ibimirim - PE.

Parâmetro	Unidade	Valor
Condutividade Elétrica	dS m ⁻¹	2,10
pH	-	7,20
Dureza Total	mg de CaCO ₃ L ⁻¹	273,40
Cálcio	mg L ⁻¹	74,90
Magnésio	mg L ⁻¹	21,00
Sódio	mg L ⁻¹	133,10
Potássio	mg L ⁻¹	43,60
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	126,00
Fósforo total	mg L ⁻¹	13,70
Enxofre	mg L ⁻¹	5,30
Manganês	mg L ⁻¹	1,30
Ferro	mg L ⁻¹	9,20
DQO ^a	mg de O ₂ L ⁻¹	154,00
DBO ^b	mg de O ₂ L ⁻¹	39,00
O ₂ Dissolvido	%	46,00
Coliformes Totais	NMP 100 mL	2,20 x 10 ⁷
Coliformes Termotolerantes	NMP 100 mL	1,40 x 10 ⁷

(a) Demanda química de oxigênio; (b) Demanda bioquímica de oxigênio;

2.4. Caracterização e manejo do sistema de irrigação

O sistema de irrigação por gotejamento foi empregado da seguinte forma: o sistema de sucção do esgoto doméstico tratado apresentou tubulação de PVC 50 mm, acoplado a uma bomba centrífuga com potência de 2,0 cv (Schneider), no recalque da bomba foi utilizado a tubulação de PVC 35 mm e instalado um filtro de disco de 2", 120 mesh com vazão de 20 m³.h⁻¹, para a remoção de sólidos em suspensão, com a função de evitar entupimento do sistema de irrigação (Figura 8).



Figura 8. Sistema de irrigação por gotejamento instalado na área experimental

As linhas laterais de distribuição foram compostas por tubos gotejadores de 16 mm de diâmetro, com emissores autocompensantes (Gotejador PCJ - LCN - Netafim), com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹, e a pressão nominal do sistema estabelecida foi de 12 mca (Figura 9).



Figura 9. (A) - Pressão do sistema de irrigação; (B) - Gotejador Netafim PCJ

A demanda hídrica do sorgo sacarino foi estimada por técnica via clima. Inicialmente foi determinada a evapotranspiração de referência (ET_o) através do método padrão de Penman-Monteith (Equação 1) (ALLEN et al., 1998), os dados climáticos foram obtidos diariamente na estação agrometeorológica de aquisição automática de dados (marca CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada próximo à área experimental.

$$ET_o = \frac{0,408 * S(Rn - G) + y \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{S + y(1 + 0,34u_2)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

ET_o – Evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

Rn – Radiação líquida na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

G – Densidade de fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T₂ – Temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

u₂ – Velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s – Pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a – Pressão atual de vapor, kPa;

(e_s - e_a) – Déficit de pressão de saturação de vapor, kPa;

S – Declividade da curva de pressão vapor de saturação versus temperatura, kPa °C⁻¹;

y – Constante psicrométrica, kPa °C⁻¹;

Posteriormente, foi determinado a evapotranspiração de cultura (ET_C), com objetivo de incorporar as características da cultura e do sistema de cultivo. Para determinar essas características foram selecionados dois coeficientes, sendo o coeficiente de cultura (K_c) e o coeficiente de localização médio (KL_{med}). O primeiro parâmetro (K_c) selecionado foi proposto por Doorenbos e Kassam (1979), e o KL_{med} foi determinado através da média de cinco métodos (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficiente de cultura (k_c) para o sorgo e métodos para estimativas de coeficiente de localização (KL_{med}).

Coeficiente de Cultura (K_c)		Coeficiente de Localização (KL_{med})	
Estádios de desenvolvimento	K_c	Métodos	Equação
I – Emergência - 10% da CSS	0,40	Aljibury, Marsh e Huntamer - (1974)	$K_{L1} = 1,34 * S$
II – 10% - 80% da CSS	0,75	Hoare, Garzoli e Blackwell - (1974)	$K_{L2} = S + 0,50 * (1 - S)$
III – 80% - 100% da CSS	1,15	Decroix - (1978)	$K_{L3} = 0,10 + S$
IV – Maturação fisiológica	0,80	Keller - (1978)	$K_{L4} = S + 0,15 * (1 - S)$
V - Colheita	0,55	Keller e Bliesner - (1990)	$K_{L5} = 0,10 * \sqrt{S}$

Os coeficientes de localização foram determinados de acordo com a projeção da área sombreada (S) da planta ao meio-dia (12:00h) em intervalos de 5 dias, ao longo do seu desenvolvimento. O KL_{med} foi determinado em função da percentagem da área sombreada com valores limitados entre os valores 0 e 1, dessa forma com valores KL_{med} de 1,236 aos 30 dias após a emergência do sorgo, adotou-se 1,00 o valor para o manejo da irrigação no decorrer do ciclo da cultura (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de coeficiente de localização médio (kl_{med}) utilizados durante o período experimental.

DAE ^a	K_L^1	K_L^2	K_L^3	K_L^4	K_L^5	KL_{med}
5	0,175	0,041	0,130	0,515	0,176	0,208
10	0,446	0,267	0,299	0,599	0,319	0,386
15	0,623	0,520	0,488	0,694	0,480	0,561
20	0,755	0,765	0,671	0,785	0,635	0,722
25	0,885	1,049	0,883	0,891	0,815	0,905

(a) Dias após a emergência; (1) Keller e Bliesner (1990); (2) Aljibury, Marsh e Huntamer (1974); (3) Decroix (1978); (4) Hoare, Garzoli e Blackwell (1974); (5) Keller (1978)

Dessa forma, a evapotranspiração da cultura (ET_C) do sorgo sacarino IPA – 467 foi estimada diariamente através da equação 2 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_C = ET_O * K_c * KL_{med} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

ET_C – Evapotranspiração da cultura, $mm\ d^{-1}$;
 ET_O – Evapotranspiração de referência, $mm\ d^{-1}$;
 K_c – Coeficiente de cultura;
 $K_{L_{med}}$ – Coeficiente de localização médio.

A irrigação do sorgo sacarino IPA – 467 foi estabelecida com o turno de rega de 2 dias, as aplicações das lâminas de irrigação foram realizadas as 6:00 horas da manhã. E o tempo de irrigação (T_i) foi estabelecido para os diferentes tratamentos através da Equação 3.

$$T_i = \frac{F \cdot ET_C \cdot (E_{LL} \cdot E_g)}{q_g E_a} * 60 \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

T_i – Tempo de irrigação, min;
 F – Fator de correção para a lâmina de irrigação (0,40, 0,70, 1,00, 1,30 e 1,60)
 ET_C – Evapotranspiração da cultura, mm;
 E_{LL} – Espaçamento entre linhas laterais, m;
 E_g – Espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;
 q_g – Vazão do emissor, $L\ h^{-1}$;
 E_a – Eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Para o primeiro ciclo (sorgo-planta) as lâminas de irrigação com esgoto doméstico foram de 72,45 (40% ET_C), 126,74 (70% ET_C), 181,06 (100% ET_C), 235,38 (130% ET_C) e 289,7 mm (160% ET_C), além disso, foi recebido 213 mm via precipitação. Enquanto o segundo ciclo (sorgo-soca), o acumulado de chuva foi de 142 mm, e as lâminas aplicadas foram de 84,81 (40% ET_C), 148,42 (70% ET_C), 212,03 (100% ET_C), 275,64 (130% ET_C) e 339,25 mm (160% ET_C) (Figura 10).

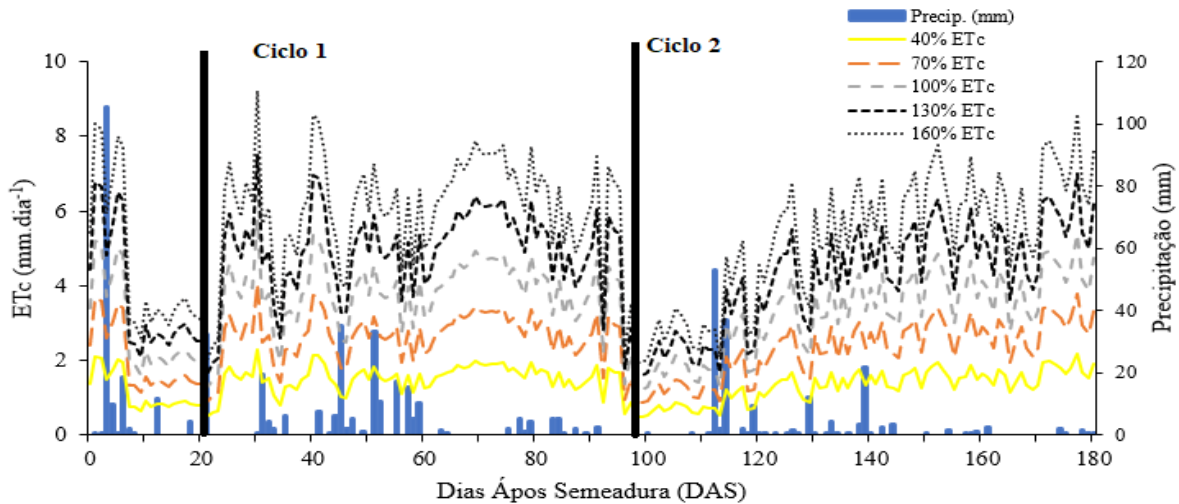


Figura 10. Valores de precipitação e evapotranspiração de cultura em Ibirimir – PE, 2020.

O manejo da irrigação foi realizado via clima, entretanto, foram instalados tensiômetros em duas profundidades de 20 e 40 cm para monitorar o efeito das diferentes lâminas de irrigação no potencial mátrico do solo (Figura 11), para isso, as leituras foram realizadas com intervalo de dois dias, às 17 horas.



Figura 11. (A) - (B) - Tensiômetros instalados em campo.

Para auxiliar o controle de umidade do solo, foi obtida a curva de retenção de água no solo utilizando-se os métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. Foi determinado as tensões de água no solo para as camadas de 0 a 20 (Figura 12) e 20 a 40 cm (Figura 13). Além disso, observou-se que a capacidade de campo do solo é de 3,14 mca.

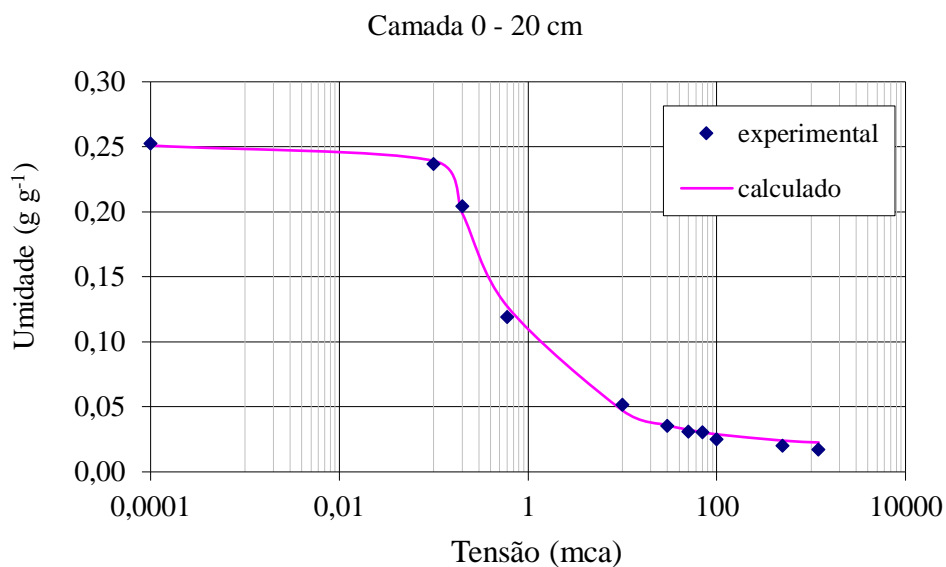


Figura 12. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (0 – 20 cm).

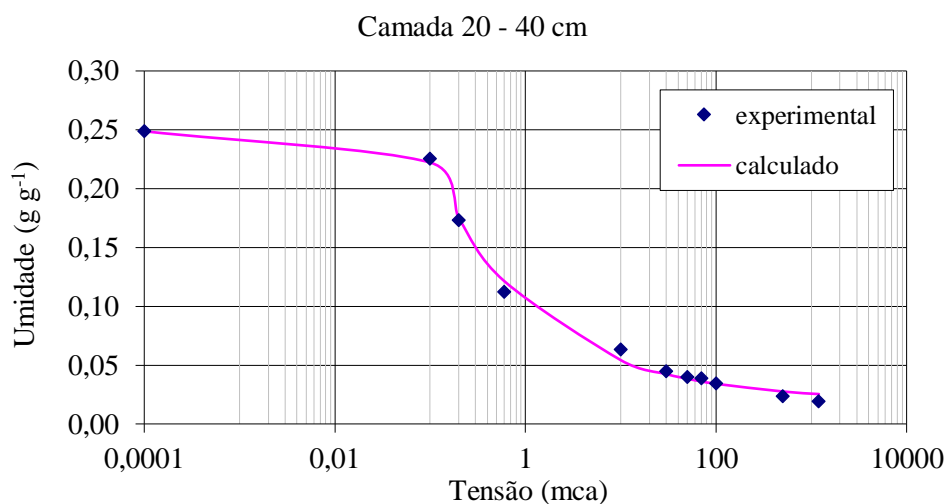


Figura 13. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartzarênico Órtico (20 – 40 cm).

Na Figura 14 e 15, pode-se constatar a variação dos valores de potencial matricial de água no solo para o perfil de 0 - 20 e 20 – 40 cm, respectivamente, no decorrer do experimento em função das lâminas aplicadas nos tratamentos correspondentes a 40, 70, 100, 130 e 160% da ET_C .

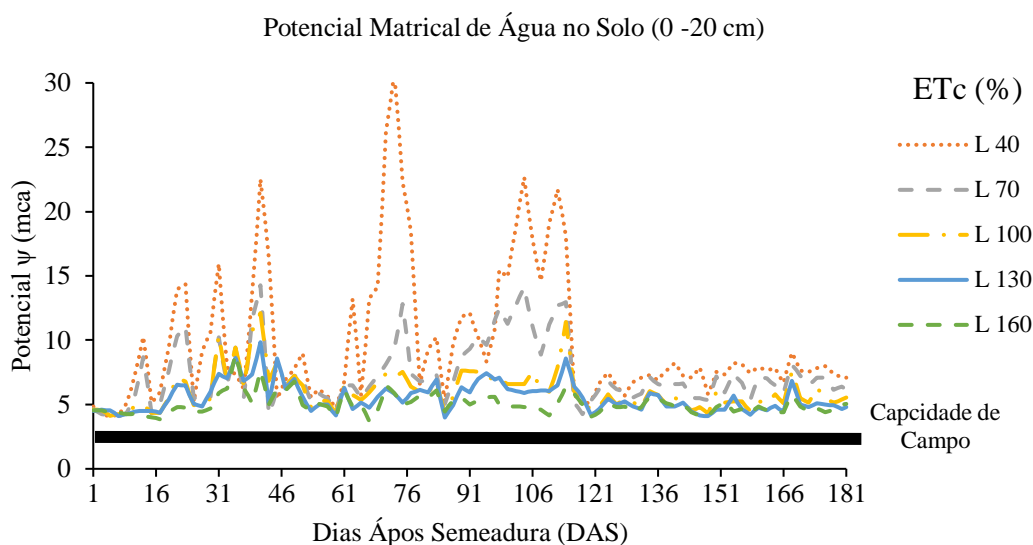


Figura 14. Potencial matricial de água no solo para perfil de 0 - 20 cm.

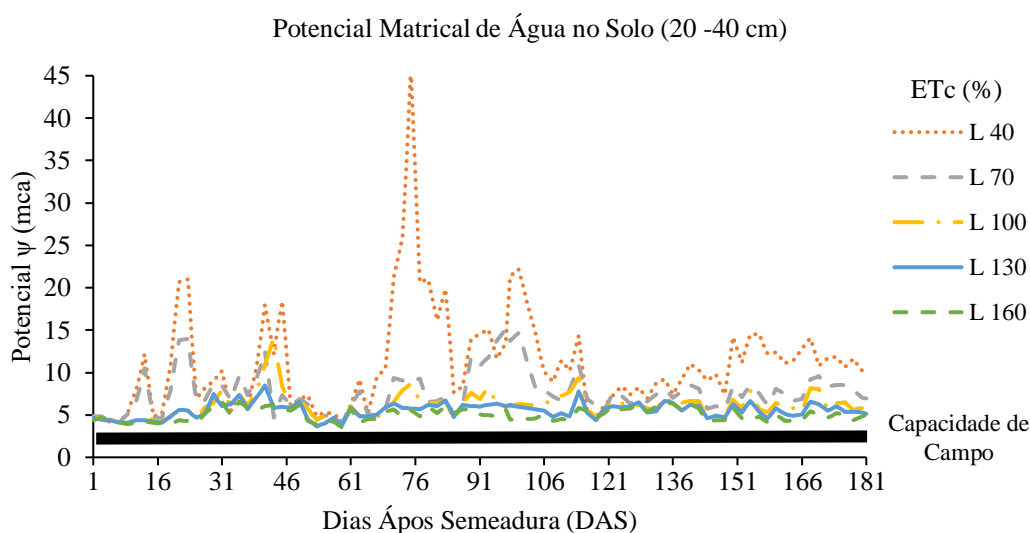


Figura 15. Potencial matricial de água no solo para perfil de 20 - 40 cm.

2.5. Manejo do sorgo sacarino IPA – 467

A área total do experimento apresentou 1500 m², dívida em 100 parcelas, dessa forma, as parcelas individuais apresentaram uma área de 15 m², e foram divididas da seguinte forma: três fileiras com 5 m de comprimento e 1 m de espaçamento.

Para a semeadura do sorgo sacarino IPA – 467 foi realizada a calagem do solo com trinta dias antes do plantio, com calcário dolomítico com PRNT de 70% e a dose aplicada foi de 300 kg ha⁻¹. O calcário foi aplicado a lanço, de maneira uniforme e incorporado no solo. Após a aplicação, foi realizada a incorporação do produto ao solo a uma profundidade de 0,20 m, com auxílio de grade niveladora, que realizou duas gradações cruzadas em toda a área (Figura 16).

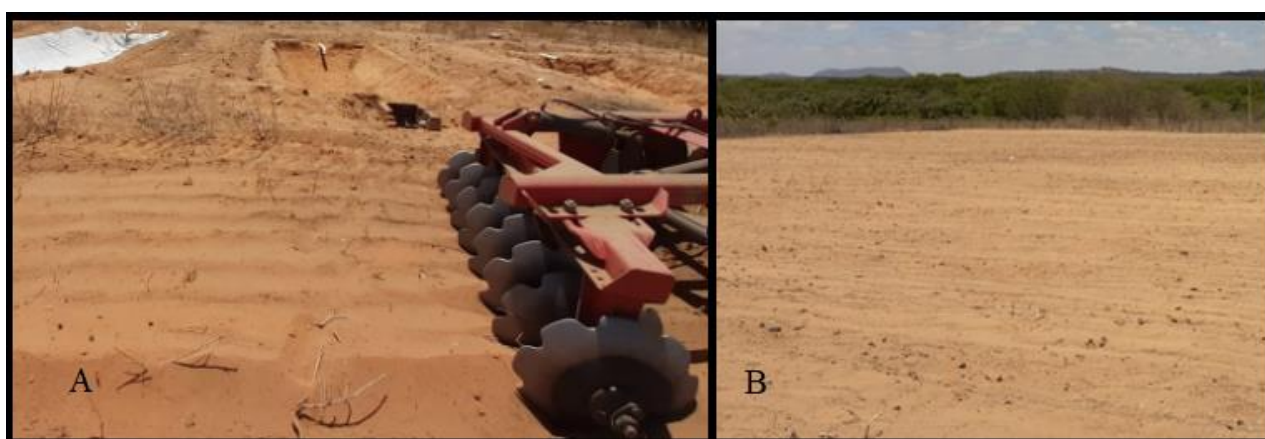


Figura 16. (A) - (B) - Área de plantio após calagem e preparo com a grade niveladora.

A adubação mineral de fundação para semeadura foi realizada de acordo com as recomendações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (IPA, 2008), e foi efetuada em sulcos localizados à 10 cm das linhas de plantio, na profundidade de 10 cm. A aplicação de foi equivalente a 30 kg ha^{-1} de Nitrogênio, utilizando como fonte a ureia (45% de nitrogênio), a adubação de fósforo foi realizada em doses de 30 kg ha^{-1} utilizando como fonte o superfosfato duplo (28% P_2O_5). A adubação potássica foi realizada com adubo mineral cloreto de potássio KCl (60% de K_2O), foram aplicadas em quatro doses, as quantidades de 20, 40, 60 e 80 kg ha^{-1} .

A semeadura foi realizada 31 de janeiro de 2020, anteriormente a semeadura efetuou-se uma irrigação de 3 horas em todas as parcelas experimentais, dessa forma se considerou que o solo havia atingido a umidade equivalente à capacidade de campo. As sementes de sorgo sacarino (IPA - 467) foram semeadas em sulcos com profundidade média de 0,05 m e espaçados à 1,0 m entre linhas, com a densidade de 25 sementes por metro linear.

A germinação ocorreu seis dias após a semeadura (DAS), visando assegurar desenvolvimento das plantas, foi aplicado em todas as plantas 100% da ET_c , neste período inicial foram realizadas dez irrigações totalizando 41 mm. A aplicação dos diferentes tratamentos de lâminas de irrigação iniciou aos 20 DAS, além disso, a lâmina de água recebida via precipitação pluviométrica foi considerada e subtraída no cálculo de cada evento de irrigação. O desbaste foi realizado a 15 DAS, de forma a obter uma densidade final de 15 plantas por metro linear (Figura 17 A/B).



Figura 17. (A) – Desbaste das plantas 15 dias após sementeira; (B) - Sorgo sacarino IPA-467 no estágio inicial.

O controle de plantas invasoras foi realizado manualmente, com o auxílio de enxadas. Foram realizadas duas limpezas, sendo 15 e 30 (DAS). O controle de praga foi realizado devido à presença de lagarta-do-cartucho (*Spodoptera fugiperda*), com a aplicação de agro defensivos recomendados para a cultura. Foram utilizados os inseticidas Lannate BR – Du Pont com a concentração de 100 mL.100L⁻¹ água e o Decis – Bayer com doses de 75 mL.100L⁻¹ de água, aplicados 10,15, 30 e 40 DAS (Figura 18 A/B).



Figura 18. (A) - Remoção das plantas daninhas da área; (B) - Lagarta-do-cartucho (*Spodoptera fugiperda*) presentes na cultura do sorgo.

A primeira colheita (sorgo-planta) foi realizada 97 DAS a qual foi realizada da seguinte forma: as plantas retiradas foram da linha central de cada parcela experimental, com as dimensões de 3 m de comprimento e espaçadas a 1 m, totalizando uma área 3 m² (Figura 19 A/B).



Figura 19. Sorgho Sacarino IPA – 467; (B) - Pesagem da biomassa fresca após a colheita.

Após a primeira colheita (sorgo-planta), a irrigação foi realizada de forma contínua, para garantir do desenvolvimento de perfilhos (sorgo-soca). O manejo de adubação mineral do segundo ciclo foi realizado 5 dias após a colheita (102 DAS), da seguinte forma: 60 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, utilizando como fonte a ureia (45% de nitrogênio). A adubação potássica e o controle de pragas foram similares ao primeiro ciclo (Figura 20 C/D). A segunda colheita (sorgo-soca) foi realizada 83 dias após a colheita (DAC), dessa forma, o período total do experimento foi 180 DAS. Os procedimentos adotados para colheita foram similares a primeira etapa (Figura 20 A/B).



Figura 20. Crescimento e desenvolvimento de perfilhos (sorgo-soca) do sorgo sacarino IPA - 467

Os parâmetros fisiológicos do sorgo sacarino IPA-467 ao longo dos ciclos, foram determinados por meio de Infra Red Gas Analyzer (IRGA Modelo LICOR XT6400). As variáveis obtidas foram: taxa de assimilação líquida (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (TF) e eficiência intrínseca de uso da água calculado por (A/g_s). As medições foram realizadas em todas as parcelas experimentais, sendo a 55 DAS e a segunda leitura 147 DAS (50 DAC), para ciclo sorgo-planta e ciclo sorgo-soca, respectivamente. Os monitoramentos foram das 8:00 às 12:00 horas, sob radiação fotossinteticamente ativa mantida em 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, adotou-se a folha exposta totalmente ao sol, padronizada a folha n.2 a partir do ápice da planta (Figura 21). A biomassa fresca foi determinada a partir da área útil de 3 m², e em seguida foi estimada a produtividade. A primeira colheita, sorgo-planta, foi realizada 97 (DAE), e a sorgo-soca ocorreu 180 DAS (83 DAC).



Figura 21. Leitura (A) e calibração (B) do IRGA realizadas no ciclo sorgo-planta.

As variáveis foram analisadas através análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$). As seleções dos modelos de regressão foram realizadas através das análises de significância dos coeficientes dos modelos de regressão polinomial a 5% de probabilidade e no maior valor de coeficiente de determinação (R^2). Com resultados significativos de interação entre os tratamentos, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), em casos não significativos e/ou R^2 inferior a 0,5, realizou-se o desdobramento. As análises estatísticas e

a superfície de resposta foram realizadas por meio software R² e os gráficos de dispersão x e y com auxílio do Excel.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 5, pode-se observar a interação LI:K para a variável produtividade de biomassa fresca (PF) em ambos os ciclos, e para os parâmetros taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) e transpiração (E) a interação ocorreu apenas no ciclo-sorgo planta, e para o ciclo sorgo-soca foram detectados valores significativos isolados dos ambos parâmetros.

Tabela 5. Análise de variância para a produtividade de biomassa fresca (PF), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) e transpiração (E).

Fonte de Variação	GL	QM					
		PF		A		E	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS
LI	4	8262,50**	1657,80**	1139,81**	2735,99**	1252,87**	671,72**
K	4	6685,15**	1840,00**	3254,62**	1461,66**	217,63**	86,17**
LI:K	16	687,40**	226,4**	252,95**	18,08 ^{ns}	73,05**	6,43 ^{ns}
Bloco	2	101,90 ^{ns}	308,21 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,61 ^{ns}	0,62 ^{ns}
Resíduo	48	846,82	244,43	4,75	1,62	0,63	0,54
CV (%)	-	15,49	11,49	17,77	20,33	17,99	19,21

(**) Significativo a 1% de probabilidade. (*) Significativo a 5% de probabilidade. (^{ns}) Não significativo. (SP) Sorgo-planta. (SS) Sorgo-soca. (CV) Coeficiente de variação. (LI) Lâmina de irrigação. (K) Doses de potássio

Para o Sorgo-planta, verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação entre os fatores lâminas de irrigação e doses de potássio, obtendo-se maior produtividade de biomassa fresca 74,26 Mg ha⁻¹ (Ponto de máxima) aplicando a lâmina de irrigação de 196,57 (108% ETc) mm e a dose de 38,53 kg de K₂O ha⁻¹ (Figura 22A). Para o ciclo sorgo-soca, obteve-se maior PF de 34,28 Mg ha⁻¹ utilizando a lâmina de irrigação de 240,08 mm (120% ETc) com a dose de 49,23 kg de K₂O ha⁻¹, no entanto, valores inferiores e superiores a refira combinação LI:K, reduz a produção do sorgo sacarino, e esse processo ocorre aos estresses abióticos, salinidade e disponibilidade hídrica (Figura 22B).

A. $PF = 18,99 + 0,395*LI - 1,04.10^{-3}*LI^2 + 0,854*K - 0,012*K^2 + 3,60. 10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 - 0,82$

B. $PF = 12,49 + 0,12*LI - 0,29.10^{-3}*LI^2 + 0,30*K - 0,004*K^2 + 3,91.10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 - 0,68$

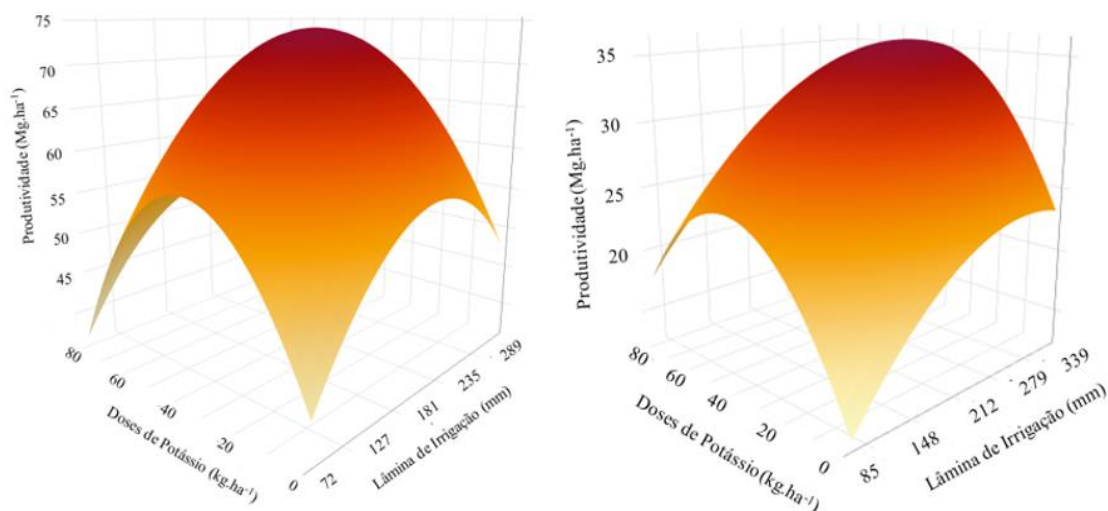


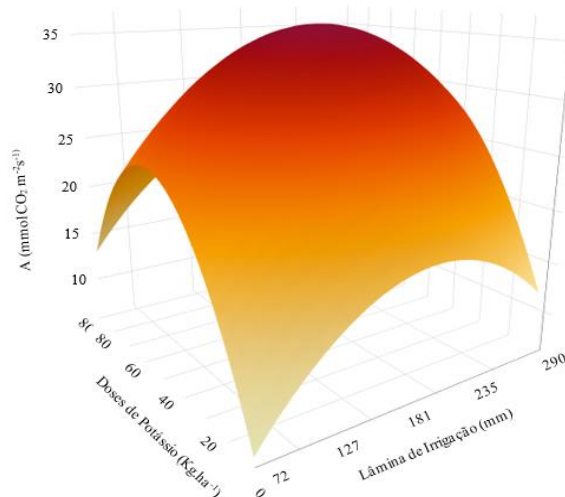
Figura 22. Superfície de resposta para a produtividade (PF) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A) e sorgo-soca(B).

As reduções sobre biomassa fresca do sorgo ocorrem devido ao menor crescimento da raiz e da parte aérea, e esses processos foram induzidos devido os danos presente ao sistema fotossintético das plantas, como resposta ao estresse salino e hídrico separado ou associados (WANG, WEI, 2022), ou ao excesso de água (ZHANG et al., 2019). Em diversos estudos foram observados que os estressa salino (QUEIROZ et al., 2023; PUNIA et al., 2021) ou hídrico (ABD EL-MAGEED et al., 2022; ZHANG et al., 2019) ocasionam reduções sobre a produtividade.

Houve uma tendência quadrática para a taxa de assimilação de CO₂ (A) em função das variações LI e de K. Dentro dos níveis avaliados de cada fator, a combinação da lâmina de 198,78 mm (109,82% da ETc) associado com a dose de potássio de 45,05 kg K₂O ha⁻¹, proporcionou a maior A para o ciclo sorgo-planta, com valor de 35,39 mmol CO₂ m⁻²s⁻¹ (Figura 23A). Para o desdobramento em função LI, a lâmina de 215,51 mm (101,60% da ETc) associada à dose de potássio de 40 kg K₂O ha⁻¹, proporcionou a maior taxa de assimilação de CO₂ de 41,55 mmol CO₂ m⁻²s⁻¹, em relação ao tratamento com ausência de K₂O, a redução sob a taxa de assimilação de CO₂ foi de 51,11% (Figura 23B). Enquanto que no sorgo-soca a taxa de assimilação de CO₂ apresentou o maior valor 40,56 mmol CO₂ m⁻²s⁻¹, com LI de 212 mm (100% da ETc) e adubação potássica de 44 kg ha⁻¹, em relação a LI corresponde a 40% da ETc, a redução sob a taxa de assimilação de CO₂ foi aproximadamente 50% (Figura 23C). Esses resultados demonstram que a manejo inadequado de irrigação associado a ausência da adubação potássica proporcionam deletérios sobre a taxa

fotossintética da cultura, dessa forma afeta significativamente a produtividade do sorgo, e esses processos foram observados neste experimento.

A. $A = -3,33 + 0,24*LI - 0,0007*LI^2 + 0,66*K - 0,0092*K^2 + 8,50.10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 - 0,66$



B. Equações

× K (20): $A = -0,99 + 0,209*LI - 3,96.10^{-4}*LI^2$
 $R^2 - 0,80$

▲ K (40): $A = -25,79 + 0,625*LI - 1,45.10^{-3}*LI^2$
 $R^2 - 0,72$

○ K (60): $A = -7,26 + 0,3818*LI - 0,0008*LI^2$
 $R^2 - 0,53$

C. Equações

◇ LI (84): $A = 9,86 + 0,49*K - 0,0059*K^2$
 $R^2 - 0,76$

□ LI (127): $A = 14,18 + 0,48*K - 0,005*K^2$
 $R^2 - 0,83$

▲ LI (212): $A = 20,94 + 0,886*K - 0,010*K^2$
 $R^2 - 0,71$

× LI (275): $A = 21,62 + 0,7706*K - 0,0086*K^2$
 $R^2 - 0,52$

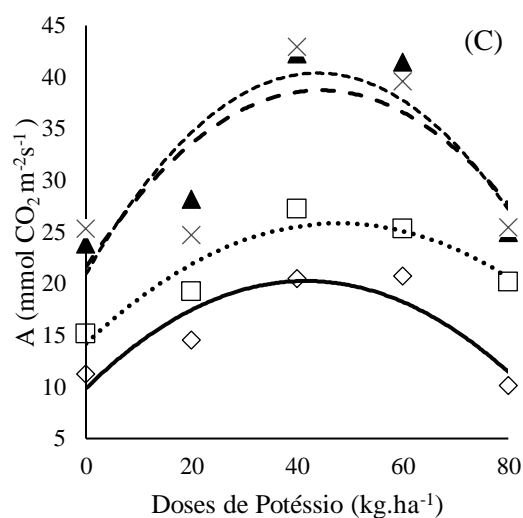
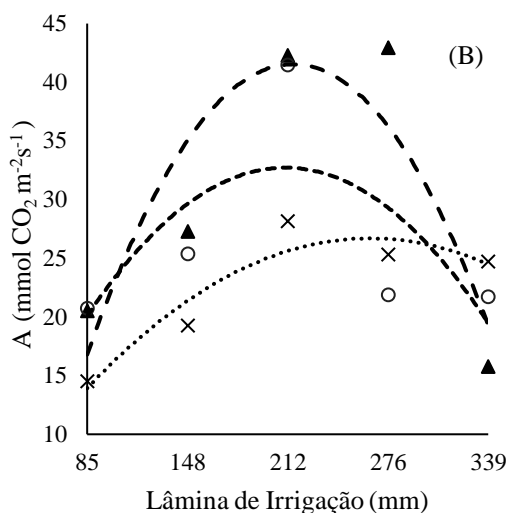


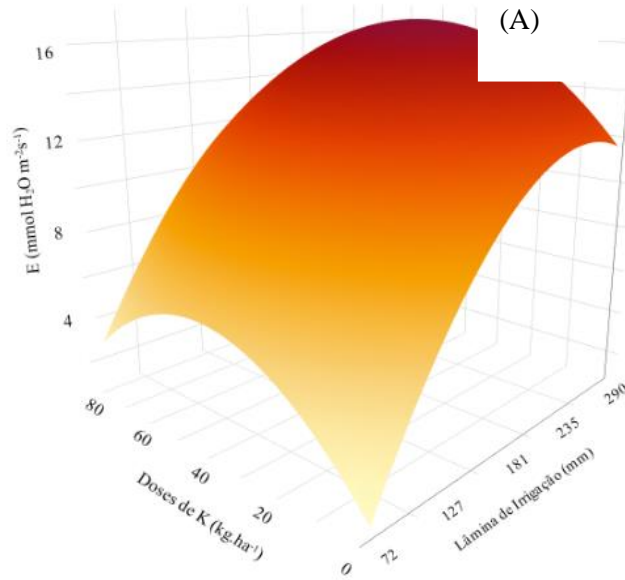
Figura 23. Superfície de resposta para Taxa de assimilação de CO₂ (A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico e diferentes doses de potássio para o ciclo sorgo-planta(A) e taxa de assimilação de CO₂(A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico(B)e doses de potássio (C) para o ciclo sorgo-soca.

O manejo inadequado do sorgo, ou seja, as variações de estresse hídricos (40, 70 e 160 %ETc) associadas a ausência ou excesso de potássio intensificaram os efeitos deletérios sob a cultura do sorgo, Dourado et al., (2022) também verificaram, que a salinidade tem o potencial significativo para reduzir linearmente a taxa de assimilação de (A), reduzindo 0,204 mmol CO₂ m⁻²s⁻¹ por 1 mM de aumento na concentração de NaCl, além disso, reduz de forma significativa a eficiência fotoquímica PSII, a condutância estomática, alterar a estrutura dos cloroplastos, reduz o teor de clorofila e concentração dos pigmentos nas folhas, e esses processos limitam a eficiência da fotossíntese (YANG et al., 2020; LIU et al., 2023).

Observa-se que os tratamentos extremos de 40, 70 e 160 %ETc, associado a doses de 0 e 80 kg de K₂O ha⁻¹, apresentaram reduções dos processos fotossintéticos, conseqüentemente, reduz o crescimento e desenvolvimento da planta, corroboram com está pesquisa, Zhang et al., (2019), a taxa de assimilação de CO₂ de duas cultivares de sorgo foram afetadas devido ao excesso hídrico, e apresentaram uma redução de 39,00 a 61,80%. Como contraposição, Deng et al., (2019) verificou uma redução de 18% da taxa de assimilação de CO₂ do sorgo submetido ao estresse hídrico e Zhu et al., (2020) também verificou resultados similares.

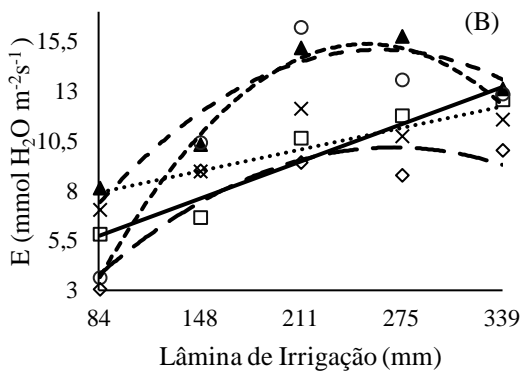
Para a transpiração (E), dentro dos níveis dos parâmetros avaliados, a combinação da lâmina de 248,14 mm (137,09% da ETc) e a dose de potássio de 50,23 kg ha⁻¹ apresentou ponto de máxima transpiração de 15,36 H₂O m⁻²s⁻¹ (Figura 24A). Para o ciclo sorgo-soca ocorreu o desdobramento, sobre LI, 260,16 e 262,50 mm (122,71 e 123,80% ETc), associadas às doses de potássio de 40 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, proporcionaram os maiores valores de E, sendo de 14,95 e 16,44 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, respectivamente, esse processo ocorreu devido a esses tratamentos apresentarem a maior abertura estomática, além disso, em relação aos tratamentos K de 0 e 20 kg K₂O ha⁻¹), ocorreu uma taxa de incremento (84 – 339 mm) de 128,56 e 51,95%, respectivamente (Figura 24B). A transpiração foliar (E) em função das doses de potássio, os tratamentos de 47,05 e 50 kg ha⁻¹, associado a lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado de 276 e 212 mm (130 e 100% ETc), respectivamente, proporcionaram os maiores valores de E, sendo 14,03 e 14,82 mmol H₂O m⁻²s⁻¹, respectivamente, além disso, a equação para a lâmina de irrigação com 84 mm (40 %ETc), apresentou taxa de decréscimo no período total foi de 48,22% para o tratamento de 0 kg K₂O ha⁻¹ (Figura 24C).

A. $E = -6,89 + 0,15*LI - 3,39.10^{-4}*LI^2 + 0,145*K - 2,34.10^{-3}*K^2 + 3,63.10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 = 0,84$



B. Equações

- K (0): $E = 3,28 + 0,029*LI$
 $R^2 = 0,84$
- × K (20): $E = 6,48 + 0,016*LI$
 $R^2 = 0,63$
- ▲ K (40): $E = -1,70 + 0,128*LI - 2,46.10^{-4}*LI^2$
 $R^2 = 0,83$
- K (60): $E = -11,12 + 0,21*LI - 0,0004*LI^2$
 $R^2 = 0,94$
- ◇ K (80): $E = -3,32 + 0,099*LI - 0,0002*LI^2$
 $R^2 = 0,83$



C. Equações

- LI (85): $E = 7,30 - 0,044*K$
 $R^2 = 0,41$
- × LI (148): $E = 12,52 + 0,058*K - 0,0008*K^2$
 $R^2 = 0,80$
- ▲ LI (212): $E = 10,07 + 0,19*K - 0,0019*K^2$
 $R^2 = 0,42$
- LI (276): $E = 10,27 + 0,1683*K - 0,0017*K^2$
 $R^2 = 0,57$
- ◇ LI (339): $E = 6,58 + 0,15*K - 0,0016*K^2$
 $R^2 = 0,99$

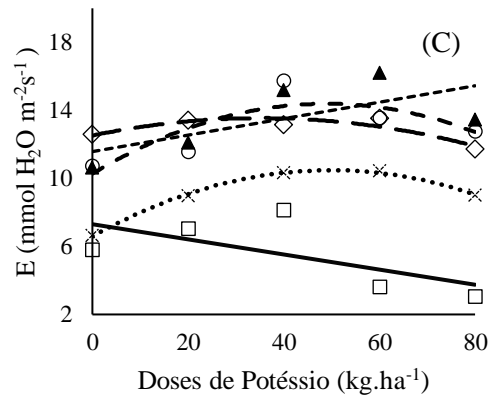


Figura 24. Superfície de resposta para transpiração foliar (E) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico e diferentes doses de potássio para o ciclo sorgo-planta(A) e transpiração foliar (E) do sorgo sacarino IPA- 467 em função de diferentes doses de potássio(B) e das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico(C) para o ciclo sorgo-soca.

A transpiração foliar (E) está diretamente relacionada diretamente no crescimento e desenvolvimento da planta, devido os estômatos promoverem a via de acesso de CO₂ para realizar a fotossíntese também permite a difusão de vapor d`água para atmosfera. Dessa forma, a uma relação entre ambos os parâmetros, a absorção de nutrientes acaba sendo reduzida devido à redução da transpiração após o fechamento dos estômatos sob estresses hídrico ou salinos, promovendo deficiência nutricional, conseqüentemente reduzindo a produção de biomassa fresca (NDLOVU et al., 2021)

Observa-se que o estresse hídrico (0 e 160 %ETc) para o sorgo no ciclo sorgo-planta e sorgo-soca, reduziu a transpiração foliar de forma significativa, corroboram com está pesquisa, Deng et al., (2019), observaram que o estresse hídrico reduziu a transpiração foliar em 31% em relação à lâmina de irrigação padrão do sorgo. Em contraposição, Zhang et al., (2019), também verificaram que a transpiração foliar foi influenciada pelo excesso de água, reduzindo em 38,80 a 64,7%.

O estresse hídrico ou salino promove deletérios nos parâmetros fisiológicos do sorgo, dessa forma, induz a redução da taxa de fotossíntese (A), da transpiração foliar (E), conseqüentemente, reduz do número de folhas e da altura das plantas, diminuindo a biomassa do sorgo, resultados similares foram observados por Gano et al., (2020) e Mansour et al., (2021).

A Tabela 6, a condutância estomática para o ciclo sorgo-planta e sorgo-soca foram encontrados valores significativos isolados dos parâmetros LI e K, a temperatura foliar (TF) foi significativa para LI em ambos os ciclos e a A/gS no ciclo sorgo-planta foi significativa para o tratamento K e para o ciclo sorgo-soca foi significativa para o tratamento LI.

Tabela 6. Análise de variância para a condutância estomática (GS), temperatura foliar (TF) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/GS) do sorgo sacarino IPA-467, sob lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado e doses de potássio (K₂O).

Fonte de Variação	GL	QM					
		gs		TF		A/gS	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS
LI	4	0,0808**	0,0665**	70,79**	69,30 ^{ns}	814,39 ^{ns}	14487,39**
K	4	0,0564**	0,1004**	11,01 ^{ns}	0,97 ^{ns}	25134,87**	859,00 ^{ns}
LI:K	16	0,0018 ^{ns}	1,52.10 ^{-6ns}	2,18 ^{ns}	2,80 ^{ns}	8161,30 ^{ns}	1150,73 ^{ns}
Bloco	2	0,0001 ^{ns}	4,80.10 ^{-6ns}	0,25 ^{ns}	0,038 ^{ns}	537,21 ^{ns}	2,06 ^{ns}
Resíduo	48	0,0003	0,0001	17,52	0,390	147,45	85,93
CV (%)	-	26,33%	15,78%	17,56%	14,99%	18,32%	23,21%

(**) Significativo a 1% de probabilidade. (*) Significativo a 5% de probabilidade. (^{ns}) Não significativo. (SP) Sorgo-planta. (SS) Sorgo-soca. (CV) Coeficiente de variação. (LI) Lâmina de irrigação. (K) Doses de potássio

Para o ciclo sorgo-planta, LI correspondente à 197,21 e 185,00 mm (108,95 e 102 %ETc) combinado com as doses de potássio de 40 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, proporcionaram a condutância estomática máxima, aproximadamente de 0,25 mol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 25A). O desdobramento sobre K, o maior valor de condutância estomática foi de 0,23 e 0,26 mol H₂O m⁻² s⁻¹, com o K₂O de 59,18 e 58,84 kg ha⁻¹ combinado com a LI de 181 e 235 mm (100 e 130% da ETc), além disso, a LI de 72 mm apresentou uma taxa de incremento no período total (0-80 kg K₂O ha⁻¹) é de 43,64% (Figura 25D). O desdobramento sobre LI, para o ciclo sorgo-soca, a LI de 215,67 e 239,42 mm (101,45 e 113,46 da %ETc) associado a dose de potássio de 40 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, estimulou a maior condutância estomática, com valor de 0,28 e 0,26 mol H₂O m⁻² s⁻¹, os menores valores de condutância estomática foram observados com as doses de 0 e 80 kg K₂O ha⁻¹, apresentando uma taxa de redução de 57 e 60% sob os pontos máximos da equação de cada tratamento (Figura 25C). Para o desdobramento K, a dose potássica de 42,76 kg ha⁻¹ associada a LI de 212 mm (100% da ETc), proporcionou o maior valor de condutância estomática, 0,28 mol H₂O m⁻² s⁻¹, observa-se também que ponto máximo das equações associadas as LI de 85 e 276 mm (40 e 160 %ETc), apresentaram uma redução de 40,3 e 25,0 % sob a condutância estomática, respectivamente (Figura 25D). A disponibilidade hídrica e nutricional (K₂O) das plantas de sorgo afeta a crescimento e desenvolvimento da planta devido controlar a abertura dos estômatos, e dessa forma, influência sobre a produtividade de biomassa fresca.

A. Equações

$$\square \text{ K (0): } gs = -0,0531 + 0,0023*LI - 5,97.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,94$$

$$\blacktriangle \text{ K (40): } gs = -5,13.10^{-2} + 3,12.10^{-3}*LI - 7,91.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,88$$

$$\circ \text{ K (60): } gs = 0,063 + 0,0016*LI - 5,01.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,99$$

$$\diamond \text{ K (80): } gs = -0,078 + 0,0037LI - 1.10^{-5}LI^2$$

$$R^1 - 0,90$$

C. Equações

$$\square \text{ K (0): } gs = 6,39.10^{-3} + 1,36.10^{-3}*LI - 2,92.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,71$$

$$\times \text{ K (20): } gs = 0,068 + 0,00115*LI - 2,34.10^{-6}LI^2$$

$$R^1 - 0,87$$

$$\text{ K (40): } gs = -3,73.10^{-3} + 2,67.10^{-3}*LI - 6,19.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,89$$

$$\circ \text{ K (60): } gs = 2,29.10^{-3} + 2,15.10^{-3}*LI - 4,49.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,77$$

$$\diamond \text{ K (80): } gs = -2,40.10^{-2} + 1,89.10^{-3}*LI - 4,29.10^{-6}*LI^2$$

$$R^2 - 0,85$$

B. Equações

□ LI (72): $gs = 0,11 + 0,0006 * K$

$R^2 - 0,64$

× LI (127): $gs = 0,139 + 0,00287 * K - 2,5 \cdot 10^{-5} K^2$

$R^2 - 0,68$

▲ LI (181): $gs = 0,14 + 3,16 \cdot 10^{-3} * K - 2,67 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,68$

○ LI (235): $gs = 0,14 + 3,99 \cdot 10^{-3} * K - 3,39 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,84$

◇ LI (290): $gs = 0,15 + 2,81 \cdot 10^{-3} * K - 3,81 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,76$

D. Equações

□ LI (85): $gs = 1,06 \cdot 10^{-1} + 3,26 \cdot 10^{-3} * K - 4,03 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,99$

× LI (148): $gs = 1,21 \cdot 10^{-1} + 5,24 \cdot 10^{-3} * K - 6,03 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,79$

▲ LI (212): $gs = 1,53 \cdot 10^{-1} + 5,91 \cdot 10^{-3} * K - 6,91 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,87$

○ LI (276): $gs = 1,64 \cdot 10^{-1} + 3,76 \cdot 10^{-3} * K - 4,25 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,83$

◇ LI (339): $gs = 1,22 \cdot 10^{-1} + 4,52 \cdot 10^{-3} * K - 5,59 \cdot 10^{-5} * K^2$

$R^2 - 0,84$

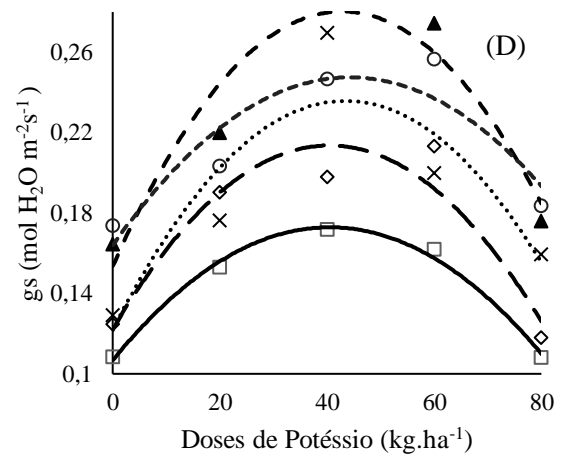
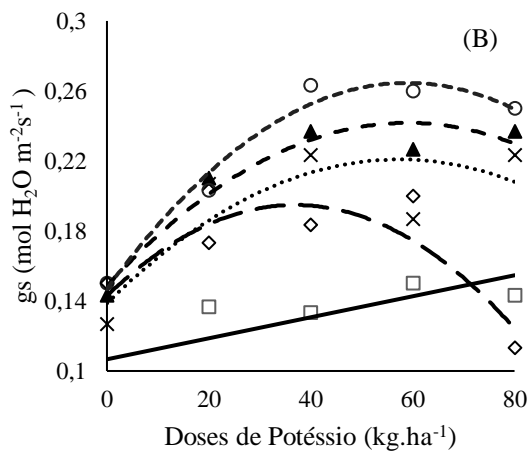
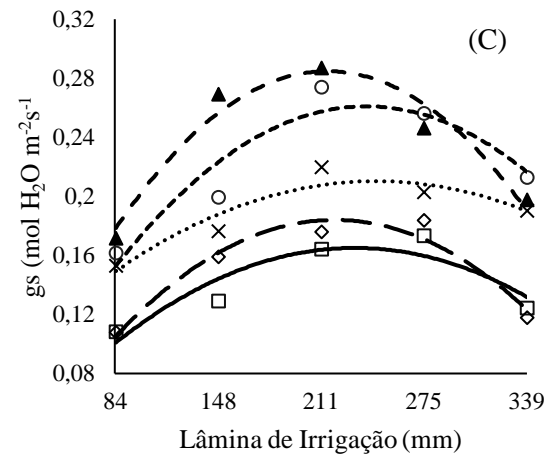
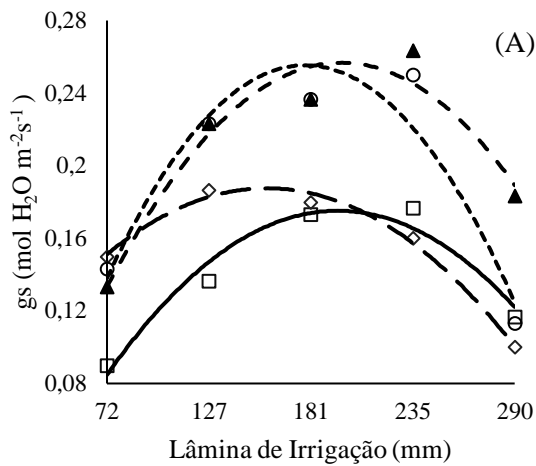


Figura 25. Condutância estomática (gs) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado para os ciclos sorgo-planta (A) e sorgo-soca (C) e condutância estomática (gs) do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes doses de potássio (K) para os ciclos sorgo-planta (B) e sorgo-soca (D).

A aplicação do potássio na forma do cloreto de potássio via solo proporcionou aumentos variações sob condutância estomática do sorgo, diferente deste experimento, Adams et al. (2015) verificou que o sorgo sacarino apresenta baixa respostas à aplicação de potássio, principalmente em solo com níveis baixos e moderados de potássio. E observou em experimento que as diferentes doses de K não influenciaram na taxa fotossintética foliar, conseqüentemente na produtividade. Enquanto Ávila et al., (2022) observaram que a adubação potássica tem o potencial de reduzir os efeitos do déficit hídrico em relação os tratamentos que não receberam potássio.

Pode-se observar, de modo geral, que a aplicação da lâmina de irrigação menor a 100% ETc reduziu a condutância estomática das plantas, este resultado é semelhante aos obtidos por Deng et al., (2019) que também observaram que a condutância estomática do sorgo reduziu em 56% aplicando a lâmina de irrigação de 20% da capacidade de campo do solo. Resultados semelhantes foram observados por Zhu et al., 2020 e Leguizamón et al. 2011, de acordo com Dourado et al., (2022) esse processo ocorreu devido a maior salinidade no solo, a qual tem o potencial de reduzir de forma linear a condutância estomática.

As reduções da condutância estomática são mecanismos para adaptar-se às menores lâminas de irrigação ou ambientes salinos, dentre outros processos, destaca-se a menor densidade estomática e menor número de estômatos abertos (MANSOUR et al., 2021). Zhang et al., (2019), verificaram em diferentes cultivares de sorgo irrigadas com excesso hídrico também apresentam redução da condutância estomática em 26,70 a 39,30%. Em contraposição, os diferentes níveis de reposição hídrica não influenciaram sobre os processos estomáticos, limitação da absorção de CO₂, fotossíntese, crescimento e produtividade de biomassa (OLIVEIRA et al., 2022).

As doses potássicas de 0, 40 e 60 kg ha⁻¹ apresentaram redução linear da TF, houve um decréscimo da TF de 8,02; 12,21 e 5,75%, de acordo com o acréscimo da LI (Figura 26A). Devido o fechamento estomático, a radiação absorvida pela folha tende a promove o maior aquecimento foliar, dessa forma, prejudica o metabolismo da planta, reduzindo a produtividade da cultura, fatores observados neste experimento. O estresse salino ou hídrico promove o fechamento estomático, e com a radiação incidente sobre a folha ocorre o aquecimento foliar, e este processo induz danos ao metabolismo da planta (TAIZ et al., 2017).

A. Equações

$$\square \text{ K (0): } TF = 34,72 - 8,18 \cdot 10^{-3} \cdot LI$$

$$R^2 = 0,61$$

$$\times \text{ K (20): } TF = 34,89 - 0,016 \cdot LI$$

$$R^2 = 0,77$$

$$\circ \text{ K (60): } TF = 33,82 - 0,0075 \cdot LI$$

$$R^2 = 0,81$$

$$\diamond \text{ K (80): } TF = 33,67 - 0,014 \cdot LI + 3,00 \cdot 10^{-5} \cdot LI^2$$

$$R^2 = 0,78$$

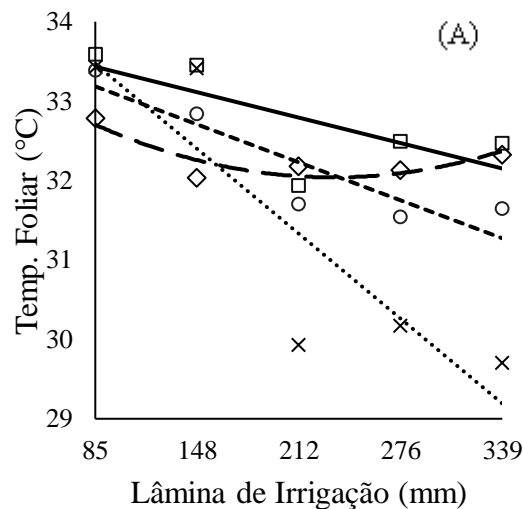


Figura 26. Temperatura Foliar (TF) em do sorgo sacarino IPA - 467 em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico para o ciclo sorgo-soca (A).

Observa-se que a taxa de assimilação de CO_2 , transpiração e condutância estomática apresentaram os maiores resultados associado com os menores valores de temperatura foliar, esse processo também foi observado por Guimarães et al. (2022). Esse processo ocorre devido a transpiração foliar promover a regulação da temperatura das plantas, e refere-se a 95% da água absorvida é empregada para regulação da temperatura através da transpiração (TAIZ et al., 2017).

A eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) para o ciclo sorgo-planta apresentou desdobramento sobre K, o maior valor observado foi de $183,96 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com K de $60,51 \text{ kg ha}^{-1}$ associado a LI de 235 mm (130% da ETc). Para o ciclo sorgo-soca a A/Gs apresentou os maiores de 150,81 e $154,54 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em função de LI, 228,85 e 217,65 mm (102,84 e 107,94% da ETc) associada com as doses de potássio de 20 e 40 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 27B).

A. Equações

○ LI (235): $A/Gs = 77,76 + 3,51*K - 0,029*K^2$
 $R^2 = 0,82$

B. Equações

□ K (0): $A/Gs = 64,95 + 0,53*LI - 0,0012*LI^2$
 $R^2 = 0,77$

× K (20): $A/Gs = 14,65 + 1,19*LI - 0,0026*LI^2$
 $R^2 = 0,61$

○ K (60): $A/Gs = 74,01 + 0,74*LI - 0,0017*LI^2$
 $R^2 = 0,57$

◇ K (80): $A/Gs = 20,67 + 1,10*LI - 0,0025*LI^2$
 $R^2 = 0,98$

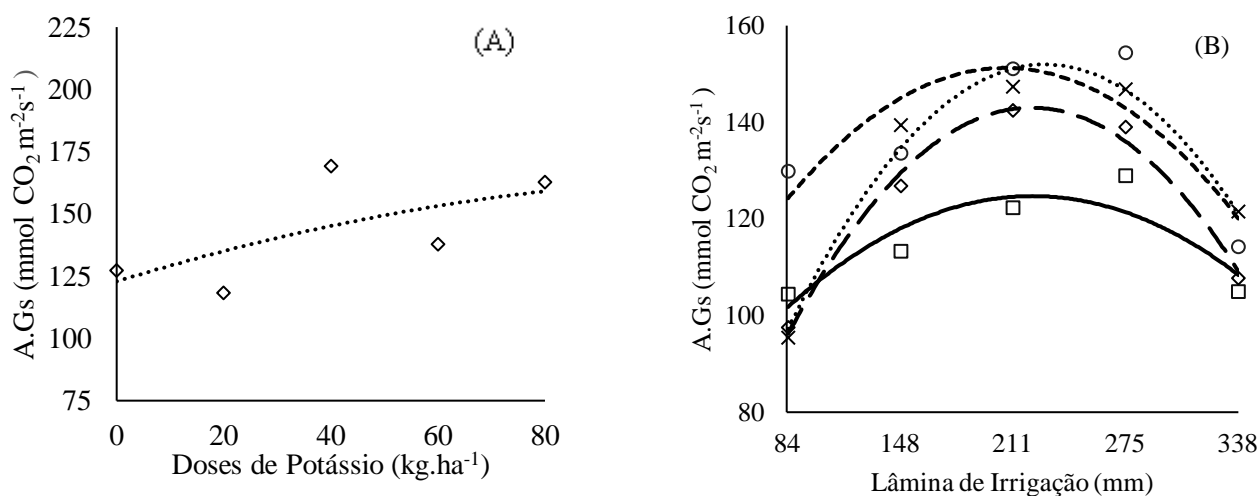


Figura 27. Eficiência intrínseca do uso da água (A) do sorgo sacarino IPA - 467 em função de diferentes doses de potássio para ciclo sorgo-planta(A) e em função das diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico para o ciclo sorgo-soca (B).

O efeito negativo devido à alta salinidade sobre o sistema fotossintético está relacionado com a redução do potencial osmótico do solo, que limita a absorção de água pelas raízes, em resposta a esse processo, ocorre o fechamento dos estômatos para conservar a água, como resultado a taxa de assimilação de CO_2 e a transpiração foliar são reduzidas, ocorre uma limitação de CO_2 de difusão na folha torna-se limitado. A ocorrência desses processos simultâneos no sorgo pode minimizar os efeitos da salinidade sobre a eficiência intrínseca do uso da água. A capacidade da cultura se desenvolver em ambiente salino ou sob estresse hídrico é necessário a planta reduzir perdas de água e manter a capacidade de manter sistema fotossintético ativo. No entanto, a cultura do sorgo não apresentou baixos níveis tolerância a salinidade e hídrica, devido à redução a os parâmetros fisiológicos, conseqüentemente inibe o crescimento da cultura (DOURADO et al., 2022)

4. Conclusões

A cultura do sorgo sob lâminas de irrigação e doses de potássio responderam satisfatoriamente sob as trocas gasosas até a dose de 45 kg K₂O ha⁻¹ associado à lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado de 110 %ETc em ambos os ciclos.

Os tratamentos de 110 e 120 %ETc, e a doses de 40 e 50 kg K₂O ha⁻¹, para o ciclo sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente promoveram maiores produção de biomassa fresca.

5. Referências Bibliográficas

ABD EL-MAGEED, T. A., ABD EL-MAGEED, S. A., EL-SAADONY, M. T., ABDELAZIZ, S., & ABDOU, N. M. (2022). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth, Morph-Physiological Responses, Water Productivity, and Yield of Rice Plants Under Full and Deficit Drip Irrigation. *Rice*, 15, Artigo 16.

ADAMS, C. B.; ERICKSON, J. E.; SINGH, M. P. Investigation and synthesis of sweet sorghum crop responses to nitrogen and potassium fertilization. *Field Crops Research*, v. 178, p. 1-10, 2015. doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.014

ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. Water use with drip irrigation. In: Proc Second Int Drip. Irrig Congr ASAE Pub1105, p. 341-345, 1974.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ÁVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; SILVA, E. M. de; ALVARENGA, A. A. de; REIS, C. O. dos; CUSTÓDIO, A. M.; JAKELAITIS, A.; SOUZA, T. C. Foliar application of potassium nitrate induces tolerance to water deficit in pre-flowering sorghum plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 44, n. 1, p. e53069, 2021. doi.org/10.4025/actasciagron. v44i1.53069

CAVALCANTI, F. J. de A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: segunda aproximação. Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, Recife, 2008.

DECROIX, M. Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.

DENG, B.; BADA, B.; TAMMEOG, P.; HELENIUS, J.; LUUKKANEN, O.; STARR, M. Drought stress and Acacia seyal biochar effects on sorghum gas exchange and yield: A greenhouse

experiment. **Agriculture and Natural Resources**, v. 53, n. 6, p. 573-580, 2019. doi.org/10.34044/j.anres.2019.53.6.03

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper, 33. Rome, 1979. 193 p.

DOURADO, P. R.; SOUZA, E. R. de; SANTOS, M. A. dos; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal regulation and osmotic adjustment in sorghum in response to salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, 2022. doi.org/10.3390/agriculture12050658

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p., 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de Solos. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

FERNANDES, J. N. V.; DANTAS, M. S. D.; AZEVEDO, B. M. de; FERNANDES, C. N. V.; VASCONCELOS, D. V.; ARAÚJO, I. C. da S. Development of elephant grass in response to irrigation with different levels of domestic sewage. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. e20217846, 2023. doi.org/10.5935/1806-6690.20230017

GANO, B.; DEMBELE, J. S.; TOVIGNAN, T. K.; SINE, B.; VADEZ, V.; DIOUF, D.; AUDEBERT, A. Adaptation responses to early drought stress of West Africa sorghum varieties. **Journals Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 443, 2021. doi.org/10.3390/agronomy11030443

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; BARROS, J. R. A.; ALBERTO, K. da C.; WILLADINO, L. G. Parâmetros bioquímicos, fisiológicos e produtividade de sorgo granífero irrigado com água salina. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 7, n. 3, p. 159-168, 2022. doi.org/10.24221/jeap.7.3.2022.4692.159-168

HAVRYSH, V.; NITSENKO, V.; HRUBAN, V. Sorghum-Based Power Generation in Southern Ukraine: **Energy and Environmental Assessment. Agriculture**, v. 12, p. 2148, 2022. doi.org/10.3390/agriculture12122148

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. Plant water requirements as related to trickle irrigation. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

KELLER, J. Trickle irrigation. En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

LEGUIZAMÓN, E. S.; YANNICCARI, M. E.; GUIAMET, J. J.; ACCIARESI, H. A. Growth, gas exchange and competitive ability of Sorghum halepense populations under different soil water availability. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 91, p. 1011-1025, 2011. doi.org/10.4141/cjps1020

LIU, J.; WU, Y.; DONG, G.; ZHU, G.; ZHOU, G. Progress of research on the physiology and molecular regulation of sorghum growth under salt stress by gibberellin. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6777, 2023. doi.org/10.3390/ijms24076777

MANSOUR, M. M. F.; EMAM, M. M.; SALAMA, K. H. A.; MORSY, A. A. Sorghum under saline conditions: responses, tolerance mechanisms, and management strategies. **Planta**, v. 254, p. 24, 2021. doi.org/10.1007/s00425-021-03671-8

NDLOVU, E.; STADEN, J. V.; MAPHOSA, M. Morpho-physiological effects of moisture, heat and combined stresses on *Sorghum bicolor* [Moench (L.)] and its acclimation mechanisms. **Plant Stress**, v. 2, 2021. doi.org/10.1016/j.stress.2021.100018

OECD/FAO. OECD-FAO agricultural outlook 2021-2030. OECD, Paris, 337p, 2021.

OLIVEIRA, J. P. V. de; DUARTE, V. P.; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J. Stomatal cavity modulates the gas exchange of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. grown under different water levels. **Protoplasma**, v. 259, p. 1081–1097, 2022.

QUEIROZ, GABRIELA CARVALHO MAIA de et al. Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, [S.l.], v. 13, n. 4, p. 803, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13040803.

TAIZ, L.; MOLLER, E. Z. I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2017.

WANG, Z.; WEI, Y. Physiological and transcriptomic analysis of antioxidant mechanisms in sweet sorghum seedling leaves in response to single and combined drought and salinity stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 17, n. 1, p. 1006–1016, 2022. doi.org/10.1080/17429145.2022.2146771

YANG, Z.; LI, J.; LIU, L.; XIE, Q.; SUI, N. Photosynthetic regulation under salt stress and salt-tolerance mechanism of sweet sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. 1722, 2020. doi.org/10.3389/fpls.2019.01722

ZHANG, R. D.; ZHOU, Y. F.; YUE, Z. X.; CHEN, X. F.; CAO, X.; XU, X. X.; XING, Y. F.; JIANG, B.; AI, X. Y.; HUANG, R. D. Changes in photosynthesis, chloroplast ultrastructure, and antioxidant metabolism in leaves of sorghum under waterlogging stress. **Photosynthetica**, v. 57, n. 4, p. 1076-1083, 2019. doi.org/10.32615/ps.2019.124

ZHU, L.; CRESNUSAK, L. A.; SONG, X. Dynamic responses of gas exchange and photochemistry to heat interference during drought in wheat and sorghum. **Functional Plant Biology**, v. 47, n. 7, p. 611-627, 2020. doi.org/10

**CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E PRODUTIVIDADE DO SORGO SACARINO
SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO E DOSES DE
POTÁSSIO**

CAPÍTULO III

RESUMO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) é uma alternativa para a produção de bicompostíveis, e adapta-se aos estresses salino e hídrico, apresenta-se como alternativa para o semiárido. O experimento de campo foi realizado na Unidade Piloto de Reúso Hidroagrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em Ibitimir, PE. O delineamento experimental a ser empregado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), compondo vinte e cinco tratamentos. Foram avaliadas cinco lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) (40%, 70%, 100%, 130% e 160% da ETc), associada com as doses de potássio de 0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹. As variáveis biométricas foram submetidas ao teste de Wilks. As maiores alturas foram obtidas com a LI de 101,21% ETc, e para K 45,80 kg ha⁻¹, aos 93 dias após semeadura (DAS), para o ciclo sorgo-soca foram com 80,14% ETc, aos 75 dias após colheita (DAC), e K 45,12 kg ha⁻¹, aos 73 DAC. O Diâmetro do colmo (DC) apresentou os maiores valores com LI de 121,43% ETc, aos 95 DAS, e para K 47,51 kg ha⁻¹, obtida 84 DAS e para ciclo sorgo-soca, 92,42% ETc, e K de 47,12 kg ha⁻¹, ambos 74 DAC. A taxa de crescimento absoluta da altura (TAA), apresentou maior valor com as LI de 125 e 120 %ETc, associadas ao K de 40 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, o desdobramento para K, apresentou os maiores TAA aplicando K de 41,46 e 42,43 kg ha⁻¹, combinada com LI de 100 e 130 %ETc, respectivamente, para o ciclo sorgo-planta. O ciclo sorgo-soca, maior TAA ocorreu com LI de 101% ETc e K de 40 kg ha⁻¹, e em função de K, todas as doses de K associada a LI 70% ETc. Taxa de crescimento absoluta do diâmetro (TAD) apresentou maior valor com os tratamentos LI de 101% ETc, com o K de 36,87 kg ha⁻¹, para ciclo sorgo-soca. Taxa de crescimento relativo de altura (TRA), alcançou o maior valor com LI de 103 %ETc e a K de 40,35 kg ha⁻¹ e a taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) o maior valor foi com o tratamento LI de 103% ETc e K de 41,16 kg ha⁻¹, ambas para ciclo sorgo-planta. A produtividade do sorgo sacarino (PF) apresentou maior rendimento com LI = 108% ETc e K = 38,53 kg ha⁻¹, e LI = 120% ETc e a K = 38,93 kg ha⁻¹, para ciclo sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente. A produtividade de matéria seca (PS) apresentou maior valor com 109% ETc e K 40 ou 60 kg ha⁻¹, para ciclo sorgo-planta, o desdobramento K com 40 kg ha⁻¹ e LI de 100 e 130% ETc, para o sorgo-planta, a PS para ciclo sorgo-soca apresentou maior valor com os tratamentos 128% ETc, combinado com o K de 43,62 kg ha⁻¹. A maiores valores eficiência do uso da água (EUA) foram com os tratamentos LI de 40% ETc e K de 38,63 kg ha⁻¹ ou 39,92 kg ha⁻¹, para ciclo sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente.

Palavras-chave: Biometria. Adubação potássica. Reúso de água. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

SUMMARY

Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is an alternative for biofuel production and is well adapted to saline and water stress conditions, making it a viable option for semi-arid regions. The field experiment was conducted at the Hydroagricultural Reuse Pilot Unit, belonging to the Department of Agricultural Engineering (DEAGRI) of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) in Ibimirim, PE, Brazil. The experimental design employed was a randomized complete block design (RCBD) in a factorial arrangement (5 x 5), consisting of twenty-five treatments. Five irrigation depths with treated domestic wastewater (LI) were evaluated, representing 40%, 70%, 100%, 130%, and 160% of the crop evapotranspiration (ET_c), in combination with potassium (K) doses of 0, 20, 40, 60, and 80 kg ha⁻¹. The biometric variables were subjected to the Wilks test. The greatest plant heights were obtained with LI at 101.21% ET_c and K at 45.80 kg ha⁻¹, both at 93 days after sowing (DAS). For the sorghum-ratoon cycle, the highest plant heights were achieved with LI at 80.14% ET_c at 75 days after harvest (DAC) and K at 45.12 kg ha⁻¹ at 73 DAC. The stem diameter (DC) presented the highest values with LI at 121.43% ET_c at 95 DAS and K at 47.51 kg ha⁻¹ at 84 DAS for the sorghum-plant cycle. For the sorghum-ratoon cycle, the highest DC values were observed with LI at 92.42% ET_c and K at 47.12 kg ha⁻¹, both at 74 DAC. The absolute growth rate of height (TAA) showed the highest value with LI at 125% and 120% ET_c, combined with K at 40 and 60 kg ha⁻¹, respectively, for the sorghum-plant cycle. When considering K alone, the highest TAA was achieved with K at 41.46 and 42.43 kg ha⁻¹, in combination with LI at 100% and 130% ET_c, respectively, for the sorghum-plant cycle. For the sorghum-ratoon cycle, the highest TAA occurred with LI at 101% ET_c and K at 40 kg ha⁻¹, and concerning K alone, all K doses were associated with LI at 70% ET_c. The absolute growth rate of diameter (TAD) exhibited the highest value with the treatments LI at 101% ET_c and K at 36.87 kg ha⁻¹ for the sorghum-ratoon cycle. The relative growth rate of height (TRA) reached the highest value with LI at 103% ET_c and K at 40.35 kg ha⁻¹, and the relative growth rate of diameter (TRD) showed the highest value with the treatment LI at 103% ET_c and K at 41.16 kg ha⁻¹, both for the sorghum-plant cycle. The productivity of sweet sorghum (PF) presented the highest yield with LI at 108% ET_c and K at 38.53 kg ha⁻¹, and LI at 120% ET_c and K at 38.93 kg ha⁻¹ for the sorghum-plant and sorghum-ratoon cycles, respectively. The dry matter productivity (PS) showed the highest value with 109% ET_c and K at 40 or 60 kg ha⁻¹ for the sorghum-plant cycle. When considering K alone, the highest PS was obtained with K at 40 kg ha⁻¹, in combination with LI at 100% and 130% ET_c for the sorghum-plant cycle. For the sorghum-ratoon cycle, the highest PS was achieved with the treatments LI at 128% ET_c, combined with K at 43.62 kg ha⁻¹.

Keywords: Biometrics. Potassium fertilization. Water reuse. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

1. Introdução

A expansão da produção de biocombustíveis é fundamental para sustentabilidade energética mundial, devido à escassez dos combustíveis fósseis e a crise socioambiental do aquecimento global. Dentre as diversas culturas disponíveis para a produção de etanol, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se devido as suas características tecnológicas, e outra vantagem, é a adaptação da cultura a regiões áridas e semiáridas, ou seja, em áreas limitadas a expansão agrícola devido à baixa disponibilidade de recursos hídricos (DOURADO et al., 2022; SHEIKH et al., 2021; MOHAMMED; MOHAMMED, 2020; SILVA et al., 2019, SUN et al. 2019).

Neste contexto, surge a necessidade de buscar fontes hídricas alternativas para fins agrícolas. Uma opção é água de esgoto doméstico tratado na agricultura, que além de suprir as necessidades hídricas das culturas, contribui com o aporte de nutrientes no solo e reduz a contaminação de corpos hídricos, no entanto, o uso deste efluente pode promover alterações nas características físicas e químicas do solo, principalmente efeitos sobre a condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico do solo, devido ao aumento do teor de sódio e também a presença de íons tóxicos, como o alumínio, cloro, além disso, esses elementos em altas concentrações proporcionam impactos significativos sobre as culturas (DOURADO et al., 2022; CALONE et al., 2020; CARVALHO et al., 2020).

Os efeitos deletérios da salinidade sobre o crescimento das plantas estão associados à redução do potencial osmótico da solução do solo (estresse hídrico), distúrbios nutricionais e efeitos tóxicos de alguns íons (estresse iônico), e para minimizar o efeito, recomenda-se a adubação potássica, devido a sua influência sobre os mecanismos de osmorregulação, movimentos estomáticos, manutenção de turgescência celular, ativação de enzimas protetoras e a redução da absorção excessiva de íons (DOURADO et al., 2022; NOROOZI et al., 2022; CALONE et al., 2020; LESSA et al., 2019; SILVA et al., 2019; HUANG, 2018).

Noroozi et al., (2022), Sheikh et al., (2021); Calone et al., (2020); Guimarães et al. (2019); Silva et al. (2019); Sun et al. (2019), avaliando a cultura do sorgo, concluíram que a alta concentração de sais contribuem para reduzir os parâmetros biométricos e a produtividade.

Em função das necessidades do uso de técnicas sustentáveis para semiárido, torna-se fundamental determinar o manejo da irrigação com água de esgoto doméstico tratado associados a diferentes doses de potássio. Desse modo, esta pesquisa teve por objetivo avaliar as características agrônômicas e produtividade do sorgo sacarino IPA – 467 cultivada no semiárido em função de cinco doses de potássio e cinco lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado aplicadas via gotejamento.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido no período de 31 de janeiro de 2020 a 30 de julho de 2020, no Brasil, região Nordeste, no Estado de Pernambuco, em bioma do tipo Semiárido, no município de Ibirimir, PE (8° 32' 05'' de latitude Sul e 37° 41' 50'' de longitude Oeste, altitude média de 408 m), na unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é semiárido muito quente (BSw'h'), com precipitação média anual de 454,0 mm. As temperaturas mínimas e máximas no período do experimento foram de 23,10 e 28,34 °C, respectivamente, com umidade relativa média de 72,80%.

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, a moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2014). As análises de caracterização físicas e químicas do solo (Tabela 1) foram determinadas de acordo com metodologia recomendada pela Embrapa (2011).

Tabela 1. Composição física e química do neossolo quartzarênico órtico típico a moderado.

Prof. ^(A) (cm)	P (mg dm ⁻³)	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	S	CTC	V
			(cmol _c .dm ⁻³)						%		
0-20	74	6,5	2,50	0,65	0,03	0,26	0,00	0,24	3,40	3,70	93
20-40	31	5,5	1,65	0,60	0,06	0,28	0,05	0,69	2,60	3,30	78
Prof. (cm)	Horizontes		Areia	Silte		Argila		VIB ^(B) mm h ⁻¹	Classe Textural		
			g kg ⁻¹								
0-20	A		760	80		160		26	Franco Arenoso		
20-40	C1		760	80		160					

(A) Profundidade; (B) Velocidade de Infiltração Básica.

Com base na análise química do solo e conforme a recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (IPA, 2008), foram incorporados ao solo 300 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico com Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 70%, 30 kg ha⁻¹ de Nitrogênio e 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na adubação de fundação, após a colheita ocorreu a adubação para a sorgo-soca, foi aplicado a dose de 60 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, cinco dias após a colheita (DAC), utilizando-se como fonte a ureia (45% de nitrogênio) e o superfosfato duplo (28% P₂O₅).

O delineamento experimental adotado foi casualizado em bloco, analisado em esquema fatorial 5 x 5 com quatro repetições, perfazendo 100 parcelas experimentais. A parcela experimental tinha uma área de 15 m², e foram divididas da seguinte forma: três fileiras com 5 m de comprimento e

1 m de espaçamento. Os tratamentos consistiram no uso de cinco doses de potássio e cinco lâminas de irrigação. As doses de potássio aplicadas foram de 0, 20, 40, 60 e 80 kg ha⁻¹, e como fonte foi utilizado o cloreto de potássio KCl (60% de K₂O). As lâminas de irrigação aplicadas foram de L1 = 40%, L2 = 70%, L3 = 100%, L4 = 130% e L5 = 160% da evapotranspiração de cultura localizada (ETc). A fonte hídrica para irrigação foi oriunda do esgoto doméstico bruto do município de Ibimirim – PE, tratado por reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo, do tipo UASB (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização físico-química e biológica do esgoto doméstico tratado pelo reator UASB em Ibimirim - PE.

Parâmetro	Concentração	Unidade
Condutividade Elétrica	2,10	dS m ⁻¹
pH ^a	7,20	-
Dureza Total	273,40	mg de CaCO ₃ L ⁻¹
Cálcio	74,90	mg L ⁻¹
Magnésio	21,00	mg L ⁻¹
Sódio	133,10	mg L ⁻¹
Potássio	43,60	mg L ⁻¹
Nitrogênio total	126,00	mg L ⁻¹
Fósforo total	13,70	mg L ⁻¹
Enxofre	5,30	mg L ⁻¹
Manganês	1,30	mg L ⁻¹
Ferro	9,20	mg L ⁻¹
DQO ^b	154,00	mg de O ₂ L ⁻¹
DBO ^c	39,00	mg de O ₂ L ⁻¹
O ₂ Dissolvido	46,00	%
Coliformes Totais	2,20 x 10 ⁷	NMP/100 mL
Coliformes Termotolerantes	1,40 x 10 ⁷	NMP/100 mL

^(a)potencial Hidrogeniônico; ^(b)Demanda química de oxigênio; ^(c)Demanda bioquímica de oxigênio;

A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) deu-se através do método de Penman-Monteith, por meio dos dados coletados da estação agrometeorológica / localizada a 4 km da área experimental, composta por um registrador de dados da CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR1000, Logan, Utah, USA. A ET_c se diferencia da ET_o devido às características da cultura e do sistema de irrigação, por esse motivo o coeficiente de cultura (K_c) e coeficiente de localização (K_L) foram incorporados. A ET_c foi calculada pelo produto entre a ET_o, K_c proposto por Doorenbos e Kassam (1979), e do K_{L_{med}} que foi determinado através da média de cinco métodos (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficiente de cultura (kc) para o sorgo e métodos para estimativas de coeficiente de localização (KLmed).

Coeficiente de Cultura (Kc)		Coeficiente de Localização (KL _{med})			
Estádios de desenvolvimento	Kc		Métodos	DAE ^a	KL _{méd}
I – Emergência- 10% da CSS	0,40	1°	Aljibury, Marsh e Huntamer - (1974)	5	0,208
II – 10% - 80% da CSS	0,75	2°	Hoare, Garzoli e Blackwell - (1974)	10	0,386
III – 80% - 100% da CSS	1,15	3°	Decroix - (1978)	15	0,561
IV – Maturação fisiológica	0,80	4°	Keller - (1978)	20	0,722
V - Colheita	0,55	5°	Keller e Bliesner - (1990)	25	0,905

^(a)Dias Após Emergência.

A demanda hídrica para a cultura do sorgo sacarino IPA – 467 ao longo do ciclo (180 DAS), irrigado por gotejamento com água de esgoto doméstico tratado, sob diferentes percentuais de ETc, 40, 70, 100, 130 e 160%, resultou em lâminas aplicadas de 72,45; 126,74; 181,06; 235,38 e 289,7 mm, para o ciclo sorgo-planta (97 DAS), as lâminas estimadas para sorgo-soca, 83 dias após a colheita (DAC) foram de 84,81, 148,42, 212,03, 275,64 e 339,25 mm, respectivamente, e as precipitações acumuladas foram de 213 e 142 mm para o ciclo sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente (Figura 1). O monitoramento do manejo da irrigação foi via clima, foram instalados tensiômetros em duas profundidades, 20 e 40 cm. As leituras foram realizadas com intervalo de dois dias, às 17 horas, com objetivo de verificar o efeito das diferentes lâminas de irrigação sobre o potencial mátrico do solo (Figura 2).

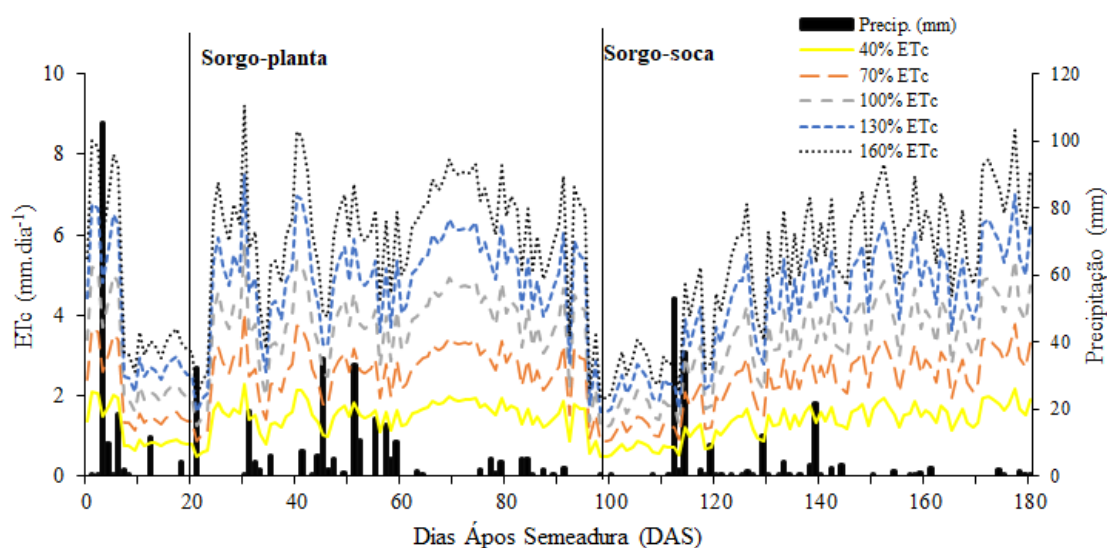


Figura 1. Valores de precipitação e evapotranspiração de cultura do sorgo sacarino IPA-467 ao longo do ciclo em Ibimirim – PE

Para auxiliar o controle de umidade do solo, foi obtida a curva de retenção de água no solo utilizando-se os métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. Foi determinado as tensões de água no solo para as camadas de 0 a 20 (Figura 2) e 20 a 40 cm (Figura 3). Além disso, observou-se que a capacidade de campo do solo é de 3,14 mca.

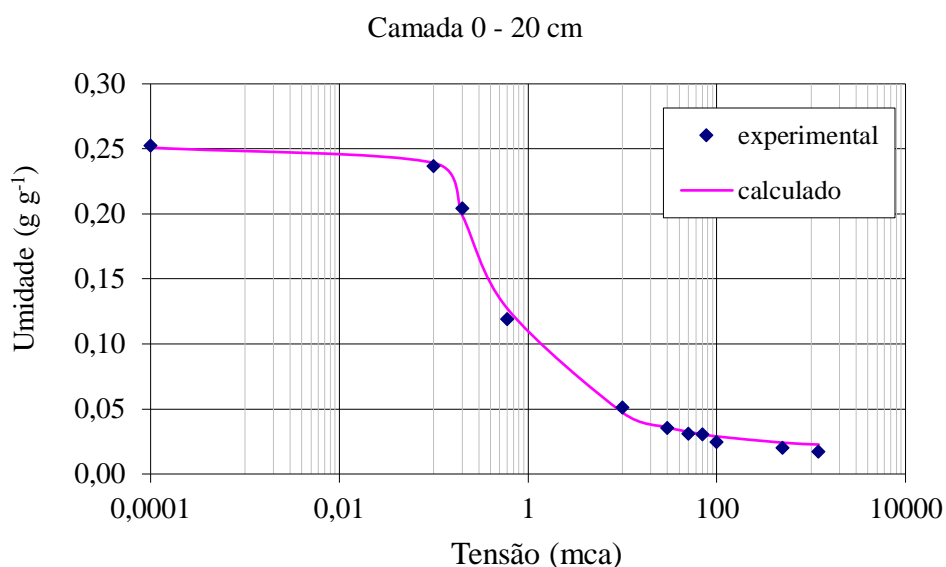


Figura 2. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartizarênico Órtico (0 – 20 cm).

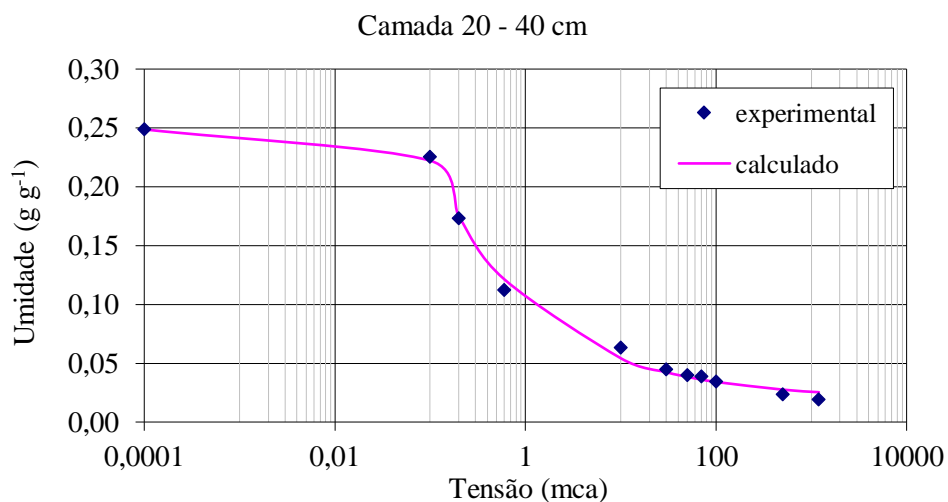


Figura 3. Curva de retenção de água para o solo Neossolo Quartizarênico Órtico (20 – 40 cm).

Na Figura 4 e 5, pode-se constatar a variação dos valores de potencial matricial de água no solo para o perfil de 0 - 20 e 20 – 40 cm, respectivamente, no decorrer do experimento em função das lâminas aplicadas nos tratamentos correspondentes a 40, 70, 100, 130 e 160% da ET_C .

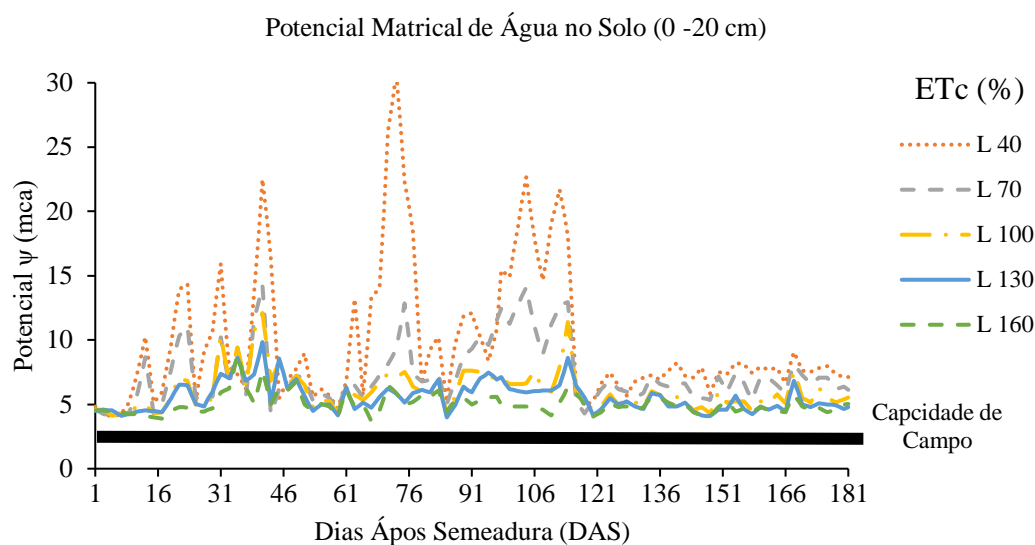


Figura 4. Potencial matricial de água no solo para perfil de 0 - 20 cm.

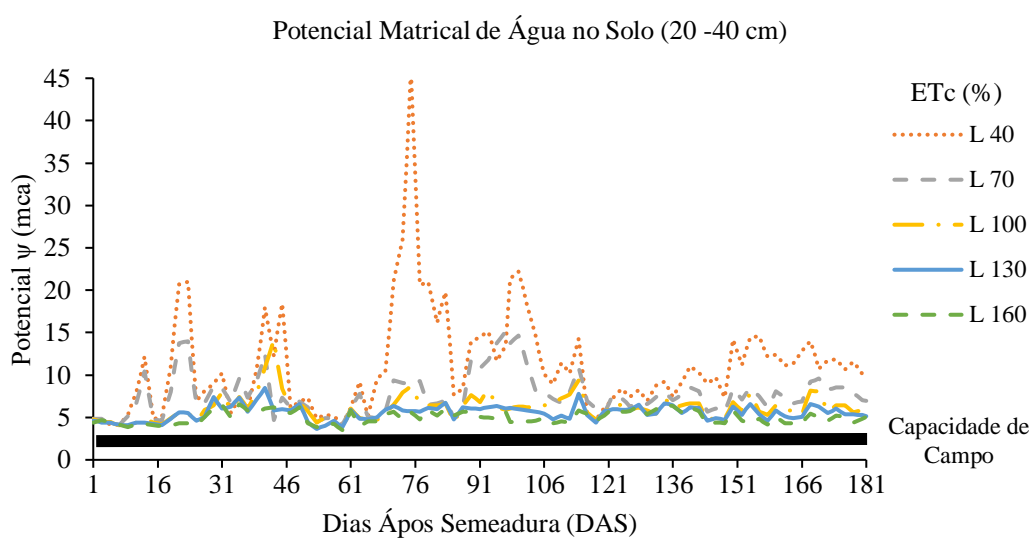


Figura 5. Potencial matricial de água no solo para perfil de 20 - 40 cm.

As sementes de sorgo sacarino IPA – 467 foram semeadas em sulcos com profundidade média de 0,05 m e espaçados a 1,0 m entre linhas, com a densidade de 25 sementes por metro linear. O desbaste foi realizado 15 DAS, para obter uma densidade final de 15 plantas por metro linear. O controle de pragas e doenças foi realizado adotando-se manejo preventivo, com a aplicação de agrodefensivos recomendados para a cultura em quatro etapas, 10,15, 30 e 40 DAS e DAC.

2.2. Avaliação das características biométricas e da biomassa

2.2.1. Análises da biometria

As variáveis biométricas avaliadas foram o diâmetro do colmo (DC) e altura do dossel (ALT) e para ambas as variações ocorreram três leituras no decorrer do ciclo, para o primeiro ciclo (sorgo-planta) as avaliações ocorrem 20, 60 e 95 DAS, as análises do segundo ciclo (sorgo-soca) foram realizadas 25, 55 e 75 DAC, respectivamente, representando 120, 150 e 170 DAS.

A metodologia proposta por Farinelli e Lemos (2010), foi empregada para determinar o DC, as leituras foram realizadas no segundo nó do colmo com auxílio de um paquímetro digital de precisão 0,01 mm. O DC foi realizado em três plantas selecionadas aleatoriamente, na qual, após a primeira leitura foram identificadas (Figura 6).



Figura 6. Avaliação do diâmetro do colmo do sorgo sacarino IPA - 467

As avaliações de ALT foram realizadas com uma régua graduada, medindo-se a distância entre a base do caule e a folha mais alta da planta, em cm. As análises foram realizadas na linha central de todas as parcelas experimentais, com as dimensões de 3 m de comprimento e espaçadas a 1 m, totalizando uma área 3 m² mensurações na área útil da parcela experimental (3 m²). As medições foram efetuadas no início, no meio e no final da fileira, determinado a altura média do dossel.

Em função dos dados biométricos foram estimadas as taxas de crescimento absoluto (TCA) e de crescimento relativo (TCR) para o DC e AD do primeiro ciclo (sorgo-planta) e segundo ciclo (sorgo-soca). As variáveis foram estimadas para um intervalo de 75 e 50 dias para sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente. A TCR e TCA foram estimadas para as variáveis AD e DC, de acordo com as equações 10 e 11 propostas por Silva et al. (2000):

$$TCA = \frac{M2 - M1}{T2 - T1} \quad (10)$$

Em que:

TCA – Taxa de crescimento absoluto (cm.dia⁻¹);

M2 – Medição final da altura ou diâmetro (cm);

M1 – Medição inicial da altura ou diâmetro (cm);

T2 – T1 – Intervalo de tempo (dias).

$$TCR = \frac{\ln(M2) - \ln(M1)}{T2 - T1} \quad (11)$$

Em que:

TCR – Taxa de crescimento relativo (cm.cm⁻¹ dia⁻¹);

M2 – Medição final da altura ou diâmetro (cm);

M1 – Medição inicial da altura ou diâmetro (cm);

T2 – T1 – Intervalo de tempo (dias);

ln – Logaritmo neperiano.

2.2.2. Análises de produtividade fresca e seca

As colheitas do sorgo-planta e sorgo-soca foram realizadas 97 e 180 (83 DAC) DAS. A biomassa fresca do sorgo (BF) foi por meio de todas as plantas retiradas da área útil de cada parcela experimental: 1 fileira com 3 m de comprimento e espaçadas a 1 m, totalizando uma área 3 m². Deste material foram selecionadas 500 gramas de biomassa fresca, então identificadas e pesados em balança analítica com precisão de 0,01g. Posteriormente o material foi colocado em estufa em ventilação forçada, a 65 °C por 72 horas, e então após esse período, com auxílio de balança analítica, obtém-se a biomassa seca (BS). A partir dos parâmetros BF e BS foram estimadas as produtividades fresca (PF) e seca (PS) em Mg ha⁻¹.

2.3. Eficiência no uso da água de esgoto doméstico tratado

A eficiência no uso do esgoto doméstico tratado pelo sorgo sacarino IPA - 467 foi avaliado utilizando-se as seguintes metodologias: levando-se em consideração a produtividade fresca e o volume de esgoto doméstico tratado aplicado em função das diferentes lâminas de irrigação (mm), conforme a equação 12 proposta por Oliveira et al. (2011).

$$EUA = \frac{PF}{\text{Lam.EDT}} \quad (12)$$

Em que:

EUA – Eficiência do uso esgoto doméstico tratado ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

PF – Biomassa fresca total do sorgo sacarino IPA – 467 (kg ha^{-1});

Lam. EDT – Lâmina de irrigação com esgoto doméstico tratado (mm);

2.4. Análises estatísticas

Os dados coletados foram submetidos inicialmente ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homoscedasticidade. Em seguida foi utilizado o teste de esfericidade de Mauchly, para avaliar a significância do tempo, que se identificada, indicou o uso do modelo de parcela subdividida no tempo, que foi aplicado para as variáveis DC e AD, também foi aplicado o teste de Wilks, sendo as condições significativa ($p \leq 0,05$), os parâmetros foram ajustados por meio de modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando o tempo associada com as lâminas de irrigação com esgoto doméstico ou com as doses potássio.

As demais variáveis foram analisadas pela análise de variância (ANOVA) pelo teste F ($p \leq 0,05$). As seleções dos modelos de regressão foram realizadas através das análises de significância dos coeficientes dos modelos de regressão polinomial a 5% de probabilidade e no maior valor de coeficiente de determinação (R^2). Com resultados significativos de interação entre os tratamentos, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), em casos não significativos e/ou R^2 inferior a 0,5, realizou-se o desdobramento.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 4 observa-se a análise de variância do teste de Wilks da altura do dossel (ALT) e do diâmetro do colmo (DC) do sorgo sacarino, sob os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI), doses de potássio (K) e o Tempo. E evidenciou respostas significativa para as inteirações: (LI:Tempo) e (K:Tempo), para os ciclos sorgo-planta e sorgo-soca, respectivamente, ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 4. Resumo da análise do teste de wilks para as variáveis altura do dossel (ALT) e diâmetro do colmo (DC) do sorgo sacarino IPA – 467 nas fontes de variação: tempo, interação Tempo:Lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI), interação entre Tempo:Doses de potássio (K) e a interação entre TEMPO:LI:K.

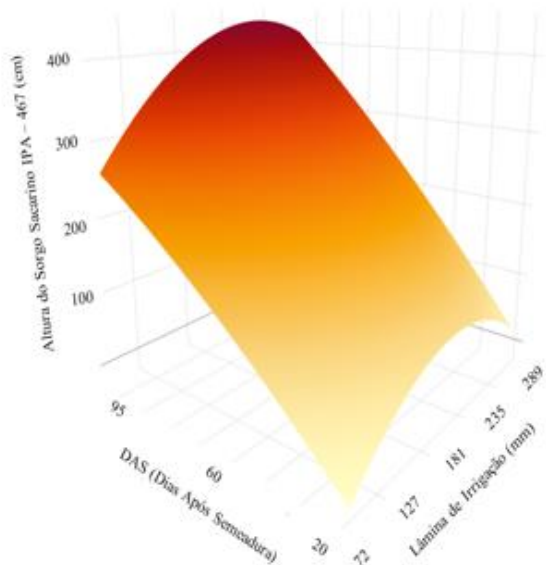
Variáveis	Teste	F		Variáveis	F	
		Sorgo-planta			Sorgo-soca	
		Altura	Diâmetro		Altura	Diâmetro
DAS	Wilks	33632,09**	1960,66**	DAC	9739,31**	372,51**
DAS:LI	Wilks	7,31**	8,46**	DAC:LI	5,31**	4,91**
DAS:K	Wilks	2,40**	9,31**	DAC:K	6,73**	5,73**
DAS:LI:K	Wilks	0,75 ^{ns}	0,941 ^{ns}	DAC:LI:K	0,71 ^{ns}	1,48 ^{ns}

(^{ns}) Não Significativo; (**) Significativo a 1% de Probabilidade; (DAS) Dias Após Semeadura; (DAC) Dias Após Corte; (LI) Lâminas de Irrigação com Água de Esgoto Doméstico Tratado; (K) Doses de Potássio

A superfície de resposta para a ALT do sorgo sacarino IPA – 467, de acordo com a derivada parcial da equação, o maior ALT foi de 417 cm, obtido com LI de 183 mm (101,21% ETc), aos 93 dias após semeadura (DAS), demonstrando os incrementos de 14,22 e 12,88%, sobre as LI de 72 mm (40% ETc) e 289 mm (160% da ETc), respectivamente (Figura 7A). Analisando o efeito de K e do Tempo sobre DC, verifica-se que maior ALT foi de 399,50 cm, obtido com o K de 45,91 kg ha⁻¹, aos 93 DAS, e promoveu o acréscimo de 2,25 e 1,25%, em relação aos tratamentos com 0 e 80 kg ha⁻¹ (Figura 7B).

A variável altura do dossel (ALT) do ciclo sorgo-soca sob LI (Figura 8A), o maior valor estimado por meio da derivada parcial da equação foi de 402 cm, obtido com LI de 169,92 mm (80,14% ETc), aos 75 DAC, demonstrando uma contribuição de 21,80 e 32,24% sobre LI de 72 e 289 mm (40 e 160% ETc), que apresentaram 314 e 272 cm, respectivamente, para as mesmas datas. Para o tratamento K, o maior ALT estimado foi de 398,35 cm, com K de 45,12 kg ha⁻¹, aos 73 DAC, com contribuições similares ao ciclo sorgo-planta (Figura 8B).

A. $ALT = 189 + 1,66*LI - 4,80.10^{-2}*LI^2 + 1,63*DAS - 9,75.10^{-2}*DAS^2 + 1,05.10^{-2}*LI*DAS$
 $R^2 - 0,92$



B. $ALT = 84 + 0,46*K - 4,30*K^2 + 6,55*DAS - 0,035*DAS^2 - 0,0007*DAS*K$
 $R^2 - 0,89$

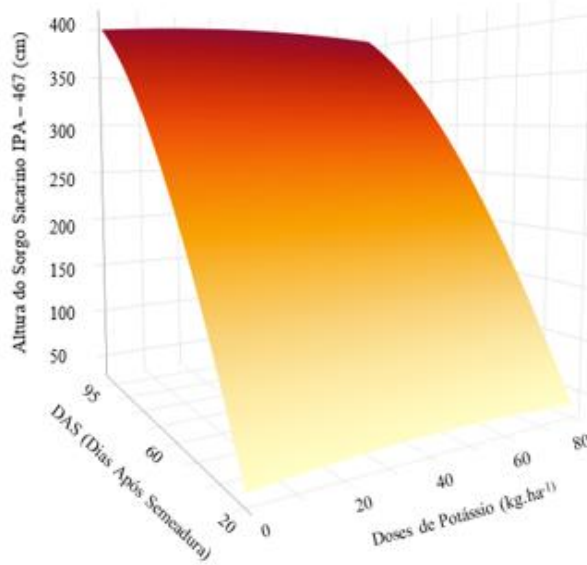
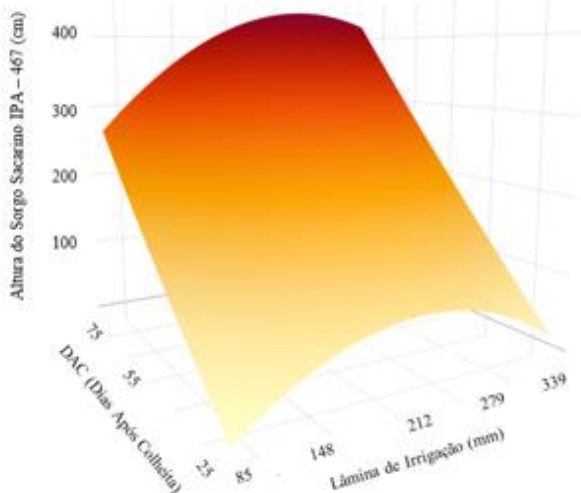


Figura 7. Superfície de resposta para a Altura do Dossel do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após semeadura (DAS)^(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após semeadura (DAS)^(B).

A. $ALT = ALT = 191,33 + 2,39*LI - 9,20. 10^{-2}*LI^2 + 0,20*DAC - 1,21.10^{-2}*DAC^2 + 9,50.10^{-2}*LI*DAC$
 $R^2 - 0,83$



B. $ALT = ALT = 200,15 + 0,44*LI - 4,30.10^{-2}*LI^2 + 5,15*DAC - 3,50.10^{-2}*DAC^2 - 7,10. 10^{-3}*DAC*K$
 $R^2 - 0,89$

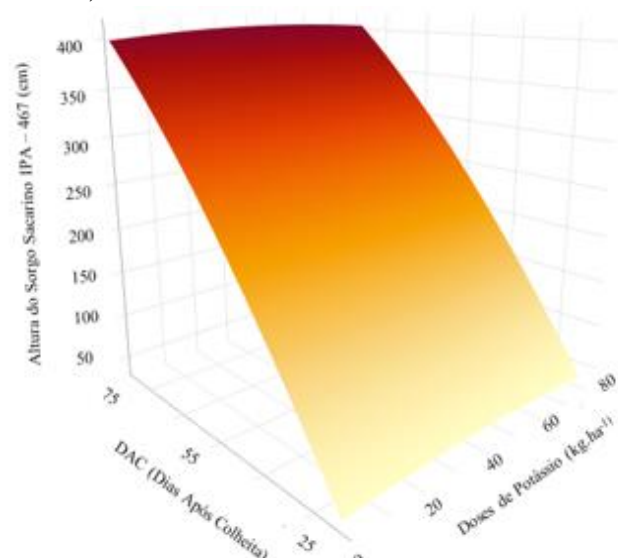


Figura 8. Superfície de resposta para a Altura do Dossel do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após corte (DAC)^(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após corte (DAC)^(B).

Na Figura 9A, é possível verifica a superfície de resposta para a variável DC do ciclo sorgo-planta sob interação LI e o Tempo. O maior valor para DC estimado foi de 24,18 mm, obtido com LI de 219 mm (121,43% ETc), aos 95 DAS, demonstrando contribuição de 22,57% sobre a LI de 72 mm (40% ETc), respectivamente, para a mesma data, e o valor estimado de DC foi 18,72 mm. Em relação a K, o maior valor obtido para DC foi de 23,83 mm, repondo 47,51 kg ha⁻¹, obtido 84 DAS, com incremento de 9,89 e 4,33% sob os tratamentos de 0 e 80 kg ha⁻¹ (Figura 9B).

A superfície de resposta para o DC do ciclo do sorgo-soca sob interação de LI e o tempo, está representada na Figura 10A. E através da derivada parcial da equação, o maior valor obtidos para DC foi de 21,98 mm, obtida com lâmina de 195,94 (92,42% ETc), aos 74 DAC, com incremento de 49,60 e 27,96% sobre LI de 72 e 289 mm (40 e 160% ETc), e apresentaram 11,08 e 15,83 mm, respectivamente, para as mesmas datas. Quando a interação entre K e o tempo, o maior valor de DC (Figura 10B), foi de 21,23 mm, com K de 47,12 kg ha⁻¹, obtido 74 DAC, com contribuições similares ao ciclo sorgo-planta.

A. $DC = 1,70 + 9,37 \cdot 10^{-2} \cdot LI - 2,50 \cdot 10^{-3} \cdot LI^2 + 0,256 \cdot DAE - 1,54 \cdot 10^{-3} \cdot DAE^2 + 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot DAE \cdot LI$
 $R^2 - 0,80$

B. $DC = 6,68 + 7,90 \cdot 10^{-2} \cdot K - 9,80 \cdot 10^{-4} \cdot K^2 + 0,36 \cdot DAE - 2,18 \cdot 10^{-3} \cdot DAE^2 + 1,70 \cdot 10^{-4} \cdot DAE \cdot K$
 $R^2 - 0,87$

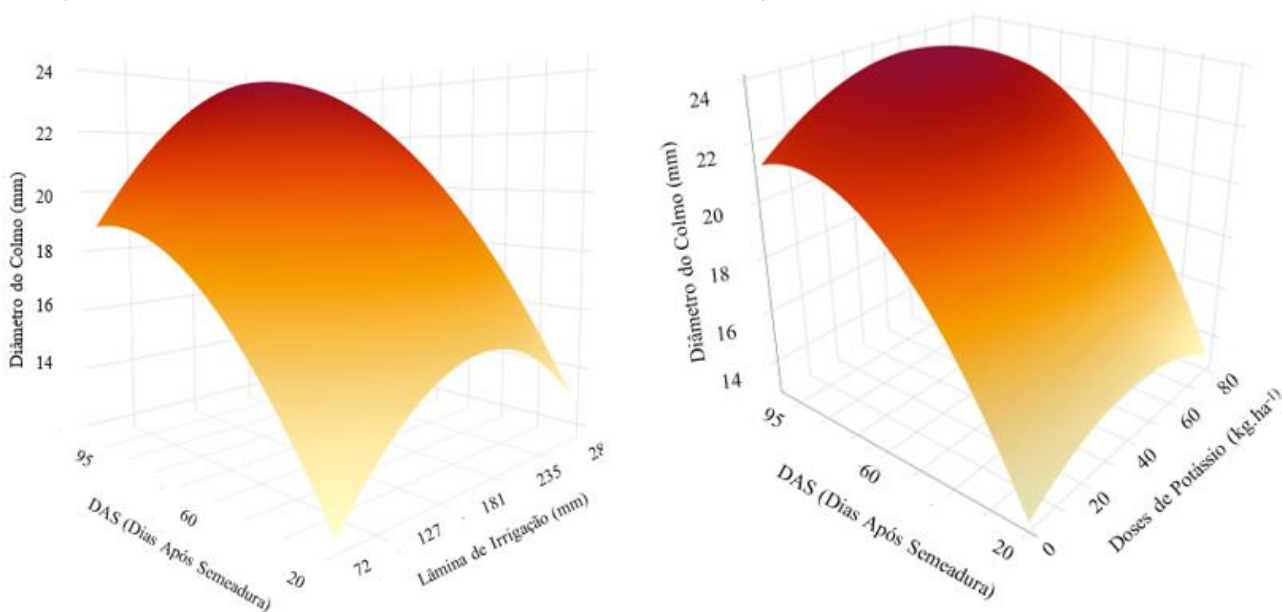


Figura 9. Superfície de resposta para a Diâmetro do Colmo do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após semeadura (DAS)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após semeadura (DAS)(B).

$$\text{A. } DC = -7,25 + 0,264*LI - 7,10.10^{-4}*LI^2 + 9,01.10^{-2}*DAC - 8,50.10^{-4}*DAC^2 + 1,90.10^{-2}*DAC*LI$$

$$R^2 - 0,66$$

$$\text{B. } DC = 18,59 + 0,0879*K - 9,80.10^{-4}*K^2 + 1,52.10^{-2}*DAC - 1,21.10^{-4}*DAC^2 + 6,00.10^{-5}*DAC*K$$

$$R^2 - 0,64$$

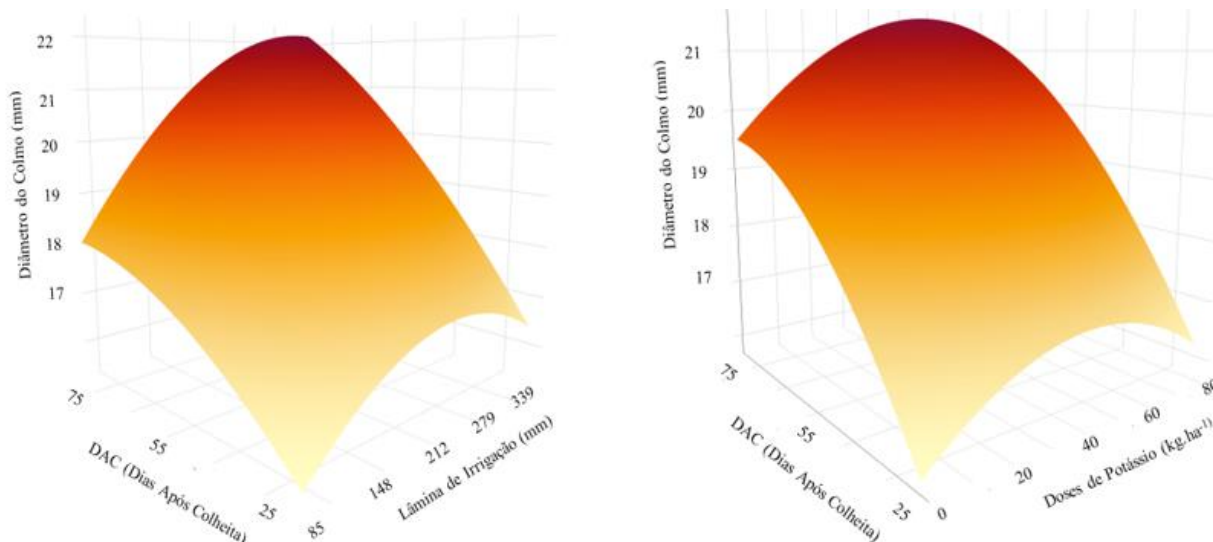


Figura 10. Superfície de resposta para a Diâmetro do Colmo do Sorgo Sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e dias após corte (DAC)(A), e a interação doses de potássio (K) e dias após corte (DAC)(B).

Os resultados obtidos estão de acordo com os observados por Carvalho et al. (2019), trabalhando com a cultura do sorgo sob irrigação com água de esgoto doméstico tratado, é observaram o crescimento satisfatório da cultura, de forma, a suprir a necessidade hídrica e nutricional da planta, demonstrando a eficiência da atividade. Dessa forma, torna-se uma alternativa para minimizar a escassez hídrica é dos sistemas agrícolas em regiões áridas e semiáridas, no entanto, os estresses abióticos, esses fatores, são os principais que limitam a produtividade das culturas no mundo, dessa forma, desenvolver alternativas para mitigar a salinidade e seca para a culturas, e contribuir para aumentar eficiência do sistema produtivo (EL-MAGGED et al, 2022).

A água de qualidade inferior para a irrigação torna-se um fator limitante para a produção vegetal, devido a salinidade limitar o crescimento das plantas, em função dos efeitos tóxicos e osmótico (MUNNS, 2002). As altas concentrações de sais da fonte hídrica, na irrigação, tem o potencial de reduzir o potencial de água no solo, conseqüentemente, limita a absorção de água pelas raízes, além disso pode ocasionar o efeito tóxicos dos sais, proporcionando danos sobre os processos de crescimento e desenvolvimento da planta (CALONE et al., 2020; GUIMARÃES et al., 2019; MOHAMMED; MOHAMMED, 2019).

A importância do manejo da irrigação preciso é essencial para a eficiência da cultura, e destacada por outros autores, as plantas de sorgo são sensíveis do déficit hídrico, provendo impacto negativo de acordo com El-Magded et al, (2022), afirmou também, que as lâminas de irrigação com 100% ETC, contribuem para maior absorção de água e nutrientes, dessa forma, a estimulação metabólica está ativa, conseqüentemente, aumenta os atributos de altura de planta e diâmetro do colmo, por fim, proporcionando maior produtividade.

A inibição do crescimento de sorgo ocorreu sob influência do estresse salino, pode ser influência de efeitos osmóticos, induzindo o déficit hídrico ou, de efeitos específicos de íons tóxicos. Em experimentos realizados com salinidade, o crescimento em quatro genótipos de sorgo sacarino (CSF 11, CSF 15, P 76 e P 298), e o efeito da aplicação de diferentes níveis de salinidade (CE): (controle), 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 dS m⁻¹, Silva et al., (2019), observou a redução na altura de planta e no diâmetro do colmo submetidas aos níveis mais elevados de sais, reduziram acima de 30%. De acordo, a salinidade nas plantas ocasiona a limitação do crescimento, devido ao aumento da pressão osmótica do meio, de forma a reduzir a disponibilidade, inibindo os processos de divisão e alongamento celular. Noroozi et al., (2022) observou os efeitos negativos da salinidade e estresse hídrico associados, sobre a altura de planta e o diâmetro do colmo do sorgo.

Resultados similares aos observados por Guimarães et al., (2019), em pesquisa realizada com águas salinas, em seis cultivares de sorgo granífero (1011-IPA, 2502-IPA, 2564-IPA, 2600-IPA, Ponta Negra e Qualimax) e com cinco níveis de salinidade (oscilando de 0 a 012 dS m⁻¹), foram observadas as reduções da altura de planta e o diâmetro do colmo, de 5,82 e 2,87%, respectivamente, por unidade de aumento no nível de salinidade (CEw). Sun et al., (2019) na cultura do sorgo, submetida a três níveis de salinidade (100, 200 e 300 mmol L⁻¹) e três tratamentos de pH, observou-se que a redução em 43,66% para altura da planta em relação ao tratamento padrão. Shicun et al., (2021), observando o efeito da condutividade elétrica do solo sobre as características agrônômicas do sorgo, a concluíram que a altura da planta e o diâmetro do caule são limitados de acordo com crescimento da CE no solo, ou seja, inibindo crescimento da planta.

Dourado et al., (2022) também verificou os efeitos da irrigação com água nas concentrações de sais NaCl (0, 20, 40, 60, 80 ou 100 mM) sobre a altura do sorgo 55 dias após semeadura e constaram a redução de 27% na altura da planta em relação ao tratamento de maior salinidade para o tratamento controle. Punia et al., (2021) observaram um crescimento menor de sorgo quando submetidos a irrigação com altas concentrações de sais, em relação ao tratamento padrão. Neste estudo utilizaram as variedades SSG59-3 e PC-5, consideradas tolerantes a salinidade, apesar da tolerância, a altura apresentou reduções significativas, 76 e 86%.

Sheikh et al., (2019) avaliaram a altura do sorgo forrageiro em função de cinco níveis de salinidade (0,30, 4, 6, 8 e 10 dS m⁻¹), é observou que CE acima de 6,0 dS m⁻¹ promove impacto sobre a altura da planta, e verificou que o tratamento de 10 dS m⁻¹, reduziu em 10% sobre a altura de planta. Lessa et al., (2019), observaram a redução significativa do diâmetro do colmo do sorgo com o tratamento salino em relação ao tratamento padrão FAO.

Foi observada a significância isolada dos tratamentos lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K) a p<0,01 para a taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) em ambos os ciclos. Para a taxa de crescimento absoluta de diâmetro (TAD), taxa de crescimento relativo de altura (TRA) e taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD), no ciclo sorgo-planta, apresentaram interações significativas entre os tratamentos LI:K; e as variáveis TAD, TRA e TRD não apresentaram resultados significativos a (p<0,05) para o ciclo sorgo-soca (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo das significâncias para a taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) e taxa de crescimento absoluta do diâmetro (TAD), taxa de crescimento relativo de altura (TRA) e taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) do sorgo sacarino IPA - 467 Sob os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K).

Fonte de Variação	GL	QM							
		TAA		TAD		TRA		TRD	
		SP	SS	SP	SS	SP	SS	SP	SS
LI	4	13,4**	2,06**	0,0167 *	0,01125 ^{ns}	3,53.10 ^{-5**}	8,74.10 ^{-5ns}	3,75.10 ^{-5**}	7,05.10 ^{-5ns}
K	4	8,32**	1,09**	0,0279**	0,00265 ^{ns}	2,38.10 ^{-5**}	11,4.10 ^{-5ns}	5,35. 10 ^{-5**}	2,70.10 ^{-6ns}
LI:K	16	0,050 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,0015**	0,00255 ^{ns}	1,17.10 ^{-6 *}	7,48.10 ^{-6**}	3,86.10 ^{-6**}	1,14.10 ^{-6 ns}
Bloco	72	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	6,16.10 ^{-5ns}	9,63.10 ^{-7ns}	1,83.10 ^{-7ns}	8,11.10 ^{-7ns}	8,11.10 ^{-7ns}
Resíduo	4	0,01	0,01	0,0001	5,17.10 ⁻⁵	2,93.10 ⁻⁷	4,38.10 ⁻⁷	3,96.10 ⁻⁷	3,96.10 ⁻⁷
CV (%)	-	18,36	13,50	17,23	15,66	14,49	12,98	18,24	14,22

(^{ns}) Não Significativo; (**) Significativo a 1% de Probabilidade; (*) Significativo a 5% de Probabilidade; (:) Interação de variáveis; (TAA) Taxa de crescimento absoluta da altura; (TAD) Taxa de crescimento absoluta do diâmetro; (TRA) Taxa de crescimento relativo de altura; (TRD) Taxa de crescimento relativo do diâmetro; (LI) Lâminas de Irrigação com Água de Esgoto Doméstico Tratado; (K) Doses de Potássio; (SP) Sorgo-planta; (SS) Sorgo-soca; (CV) Coeficiente de variação.

A regressão apresentou tendência quadrática da taxa de crescimento absoluta da altura (TAA), e com base na equação, as LI de 222,28 e 218,38 mm (125 e 120 %ETc), associadas ao K de 40 e 60 kg ha⁻¹, respectivamente, para o ciclo sorgo-planta, foram os tratamentos que proporcionaram os maiores TAA, com valores de 4,39 e 4,27 cm dia⁻¹. Foi observado também resposta linear em tratamentos doses de K₂O 0 e 40 kg ha⁻¹, promovendo incremento de 23,87 e 26,15%, sob as variações das LI 72,45 e 287,90 mm (40 e 160 %ETc). Este fato ocorreu a associação de LI proporcionaram às plantas de sorgo sacarino ao estresse hídrica, em comparação aos tratamentos de rendimento máximo (Figura 11A). O desdobramento função de K apresentou os

maiores TAA de 4,58 e 4,32 cm dia⁻¹, utilizando a dosagem de K, 41,46 e 42,43 kg ha⁻¹, combinada com LI de 181 e 235 mm (100 e 130 %ETc), outro fator observado, é a ausência ou excesso de K, independente da LI, e provocou reduções significativas de TAA (Figura 11B).

A.

- K (0): TAA = 2,68 + 0,0032*LI
R² - 0,76
- × K (20): TAA = 1,79 - 0,0198*LI - 4,54.10⁻⁵* LI²
R² - 0,60
- ▲ K (40): TAA = 1,58 + 0,0247*LI - 5,40.10⁻⁵* LI²
R² - 0,87
- K (60): TAA = 1,03 + 0,0297*LI - 6,80.10⁻⁵* LI²
R² - 0,72
- ◇ K (80): TAA = 2,58 + 0,0034*LI
R² - 0,63

B.

- × LI (127): TAA = 3,13 + 0,0238*K - 3,38.10⁻⁴* K²
R² - 0,82
- ▲ LI (181): TAA = 3,17 + 0,0544*K - 6,41.10⁻⁴* K²
R² - 0,81
- LI (235): TAA = 3,54 + 0,0505*K - 6,09.10⁻⁴*K²
R² - 0,73
- ◇ LI (290): TAA = 3,41 + 0,027*K - 3,46.10⁻⁴*K²
R² - 0,72

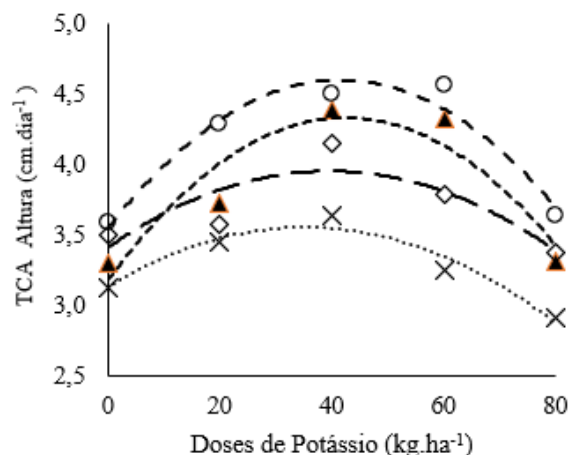
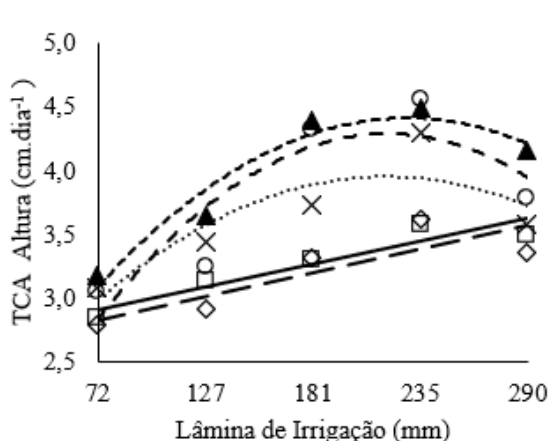


Figura 11. Taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-planta.

A equação de regressão para TAA do sorgo sacarino sob as diferentes LI para sorgo-soca, está demonstrada na Figura 25. De acordo com os valores obtidos, o maior estimado para o TAA foi de 4,43 cm dia⁻¹, obtida com LI de 182 mm (101% ETc), associada ao K de 40 kg ha⁻¹, com incremento de 8% sobre as menores TAA (Figura 12A). O desdobramento sobre K, o maior valor estimada de TAA foi de 4,19 cm dia⁻¹ (Figura 12B), com LI corresponde de 148 mm (70% ETc), associada a todas as dosagens de K, com incremento de 12% sobre a LI máxima 339 mm (160% ETc).

A.

□ K (0): $TAA = 2,90 + 0,0112 \cdot LI - 2,73 \cdot 10^{-5} \cdot LI^2$

$R^2 = 0,79$

▲ K (40): $TAA = 3,69 + 0,00817 \cdot LI - 2,24 \cdot 10^{-5} \cdot LI^2$

$R^2 = 0,65$

B.

□ LI (85): $TAA = 3,54 + 0,0181 \cdot L - 2,13 \cdot 10^{-4} \cdot L^3$

$R^2 = 0,73$

◇ LI (339): $TAA = 3,79 + 0,0079 \cdot L - 1,43 \cdot 10^{-4} \cdot L^2$

$R^2 = 0,62$

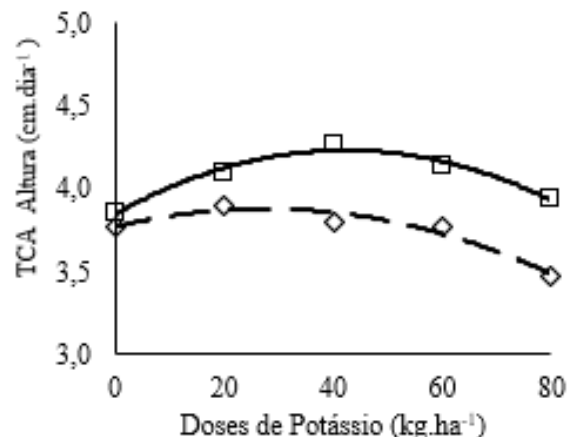
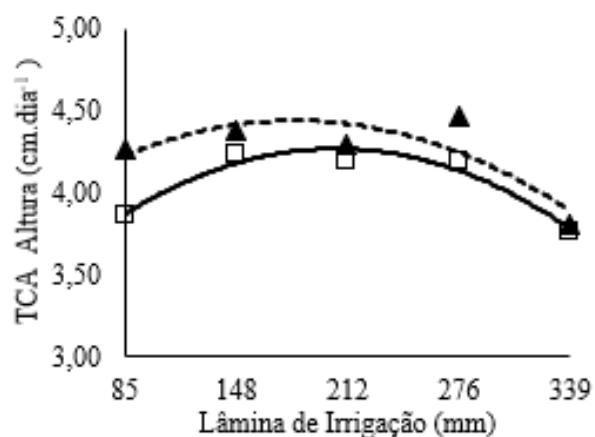


Figura 12. Taxa de crescimento absoluta de altura (TAA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-soca.

Taxa de crescimento absoluta do diâmetro (TAD) respondeu de forma quadrática para o ciclo sorgo-planta, em respostas a interação dos tratamentos LI e K, e a associação da LI de 189,60 mm (104,53% ETc), com a dose de K com 36,87 kg ha⁻¹, proporcionou maior TAD (0,13 mm dia⁻¹). Verifica-se que as LI de 72 e 289 mm (40 e 160 %ETc), apresentaram a redução da ordem de 22% em relação ao valor máximo, de forma, a verificar o comportamento similar para as variações extremas de K (Figura 13).

Para a variável taxa de crescimento relativo de altura (TRA) para o ciclo sorgo-planta, observou-se o ponto máximo para a interação LI:K, de forma que o maior valor obtido (0,12 cm cm⁻¹ dia⁻¹), com o tratamento correspondente a LI de 217 mm (103 %ETc) e a K de 40,35 kg ha⁻¹, promovendo o incremento de 9,11% sobre o LI de 72 mm (40% ETc), associado com doses de K similar, e diferente do primeiro ciclo, a influência de K apresentou menor significância em relação as LI (Figura 14).

$$A. TAD = 0,0193 + 8,77 \cdot 10^{-4} * L - 2,50 \cdot 10^{-6} * L^2 + 1,56 \cdot 10^{-3} * K - 2,41 \cdot 10^{-5} * K^2 + 1,80 \cdot 10^{-6} * (LI * K)$$

R² - 0,69

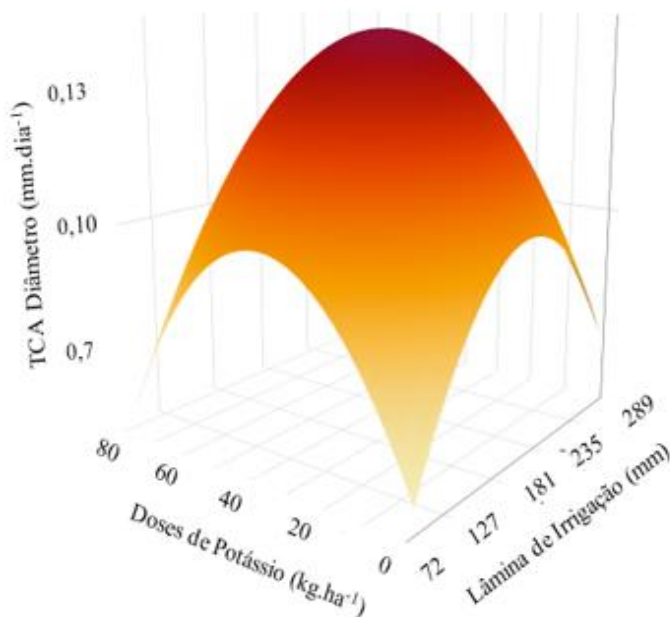


Figura 13. Superfície de resposta para a taxa de crescimento absoluta de diâmetro (TAD) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).

$$A. TRA = 0,023 + 5,46 \cdot 10^{-5} * L - 1,16 \cdot 10^{-7} * L^2 - 9,12 \cdot 10^{-5} * K - 1,41 \cdot 10^{-6} * K^2 - 1,00 \cdot 10^{-7} * LI * K^2$$

R² - 0,80

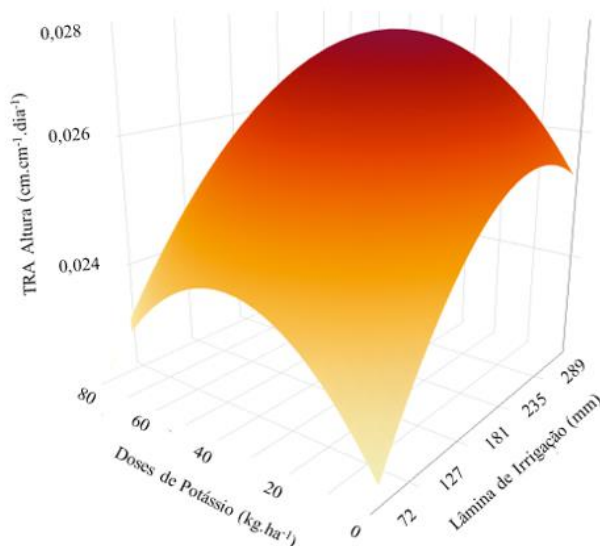


Figura 14. Superfície de resposta para a taxa de crescimento relativo da altura (TRA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).

Observou-se a maior taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) do sorgo sacarino IPA-467 para o ciclo sorgo-planta, com valor de $0,00709 \text{ mm mm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, submetido a LI de 186 mm (103% ETc), associado a aplicação com K de $41,16 \text{ kg ha}^{-1}$, de acordo com a equação de regressão múltipla obtida (Figura 28). Quando se compara aos demais tratamentos, verifica-se que a TRD 72 e 289 mm (40 e 160% ETc) e K similares, a redução em 18,44 e 14,82% do TRD. Verifica-se também que o comportamento de K foi demonstrou maior influência sobre a variável TRD em relação TRA (Figura 15).

A. $TRD = 9,03 \cdot 10^{-4} + 4,14 \cdot 10^{-5} \cdot LI - 1,00 \cdot 10^{-7} \cdot LI^2 - 1,09 \cdot 10^{-6} \cdot K - 1,10 \cdot 10^{-6} \cdot K^2 + 1,00 \cdot 10^{-7} \cdot (K \cdot LI)$
 $R^2 - 0,68$

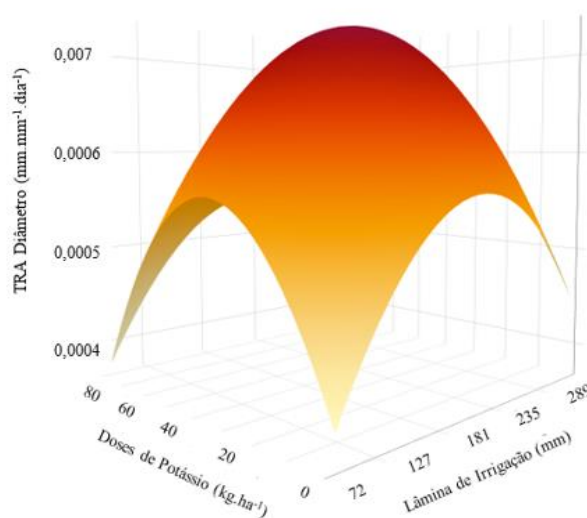


Figura 15. Superfície de resposta para a taxa de crescimento relativo do diâmetro (TRD) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A).

A maior redução na taxa de crescimento absoluta e relativo observado foram com as lâminas de irrigação, em déficit ou em excesso, e ausência ou superdosagem de potássio, induzindo as plantas a realizar mudanças morfológicas, dessa forma, reduz a eficiência fotossintética. O crescimento de maior expressão ocorre no estágio inicial de desenvolvimento da planta, após esse período, ocorre a redução da velocidade de crescimento, e associada a esse processo, a taxa de crescimento decresce. A taxa de crescimento de uma cultura é relacionada características fisiológicas e de acordo com as características edafoclimáticas da região, nesse contexto, o manejo de irrigação, adubações e salinidade influenciam sob a taxa de crescimento absoluto e relativo do sorgo, e esses parâmetros, por sua vez estão associados com a taxa de assimilação líquida (SCHNEIDER et al., 2019).

O sorgo é considerado uma cultura resistente a salinidade e a variabilidade hídrica no solo, no entanto, sob condições de estresse, a cultura limita seus processos metabólicos, dentre eles, destaca-se o fechamento de estômatos, inibe absorção de nutriente, reduzem a eficiência do aparato

fotossintético, e esses processos reduzem o crescimento, ou seja, limita a produção da parte aérea. A alta concentração de sais para a planta pode mudar a partição de assimilados entre as raízes e parte aérea, o que pode causar efeito redução de acumulação de biomassa da parte aérea da planta (SANTOS et al., 2020). A maior redução na taxa de crescimento absoluta e relativo foram observadas em ausência ou superdosagem de potássio, induzindo as plantas a realizar mudanças morfológicas, dessa forma, reduz a eficiência fotossintética (SOUZA et al., 2023; CALONE et al., 2020).

Em relação aos problemas de toxicidade devido a presença de sais, o esgoto doméstico apresenta restrição moderada, podendo acarretar efeitos tóxicos nas culturas, os resultados obtidos por Silva et al., (2023) estão de acordo com os observados, a cultura do sorgo sob (0, 50 e 150 mM de NaCl) e por alumínio (0 e 1,0 μ M de Al) de forma isolada ou em combinação, verificaram a redução significativa sobre a taxa de crescimentos das plantas que foram submetidas ao estresse de sais. Carvalho et al., (2020), avaliaram a cultura do sorgo sob irrigação com água do esgoto doméstico tratado, com ou sem cobertura, concluíram que a taxa de crescimento absoluto e relativo apresentaram os maiores valores, em áreas de menor salinidade e maior teor de água solo.

O manejo de irrigação é fundamental para o desenvolvimento da cultura, Santos et al., (2020), avaliou a cultura do sorgo IPA 4202, sob diferentes lâminas de irrigação (125%, 100%, 75% e 50% ETo), e concluíram que a cultura possui alta adaptação ao estresse hídrico, recomendado o manejo da irrigação com 50% da ETo, devido a cultura manter as taxas de crescimentos significativas sob déficit hídrico.

O resumo da análise de variância das variáveis de produtividade de massa fresca (PF), produtividade de massa seca (PS) e eficiência do uso da água (EUA) do sorgo sacarino para o ciclo sorgo-planta e sorgo-soca é apresentada na Tabela 6. Verificou que a PF e EUA, em ambos os ciclos, e a PS para ciclo sorgo-soca apresentaram interação, e foram significativamente influenciados a ($P < 0,01$) pelos tratamentos lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e as doses de potássio (K), enquanto a PS para o ciclo sorgo-planta apresentou diferença dos tratamentos isolados ($P < 0,01$).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para a produtividade (PF), produtividade de matéria seca (PS) e eficiência do uso da água (EUA) do sorgo sacarino IPA - 467 sob os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K).

Fonte de Variação	Quadrado Médio						
	GL	PF		PS		EUA	
		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
LI	4	8262,50**	1657,80**	4516,02**	9811,82**	7294,90**	3147,35**
K	4	6685,10**	1840,00**	6045,40**	2843,20**	2936,94**	5638,71**
LI:K	16	687,4**	226,4**	199,32 ^{ns}	423,84**	1429,08**	605,30**
Bloco	3	101,90 ^{ns}	308,21 ^{ns}	930,07 ^{ns}	111,03 ^{ns}	13,84 ^{ns}	7,40 ^{ns}
Resíduo	72	846,82	244,43	534,19	125,55	124,81	9,90
CV (%)	-	15,49	11,49	17,23	13,49	17,89	13,49

(^{ns}) Não Significativo; (**) Significativo a 1% de Probabilidade; (:) Interação de variáveis; (PF) Produtividade; (PS) Produtividade de Matéria Seca; Eficiência do Uso da Água (EUA); (LI) Lâminas de Irrigação com Água de Esgoto Doméstico Tratado; (K) Doses de Potássio; (SP) Sorgo-planta; (SS) Sorgo-soca; (CV) Coeficiente de variação.

A produtividade do sorgo sacarino (PF) apresentou interação entre os tratamentos LI:K, para ambos os ciclos (Figura 16A/B). Para o ciclo sorgo-planta, com base na derivada parcial da regressão múltipla, o máximo rendimento (74,26 Mg ha⁻¹) foi obtido com a combinação LI = 196 mm (108% ETc) e K = 38,53 kg ha⁻¹, em relação a LI de 72 e 289 mm (40 e 160% ETc), o incremento foi de 21,70 e 11,96%, respectivamente, e as doses de K em extremos (0 e 40 kg ha⁻¹), ocasionaram reduções em percentagem similares a LI (Figura 16A). Em relações a PF no ciclo sorgo-soca, verificou-se a resposta similar a ciclo inicial, com máximo PF de 35,59 Mg ha⁻¹, pela associação da LI de 255,24 mm (120% ETc) e a K = 38,93 kg ha⁻¹ (Figura 16B), contudo, o incremento significativo ocorreu apenas sob tratamento de 85 mm (40% ETc), com redução de 17,92% da PF, e o tratamento K o comportamento foi similar ao ciclo-planta.

A. $PF = 18,99 + 0,395*LI - 1,04.10^{-3}*LI^2 + 0,854*K - 0,012*K^2 + 3,60. 10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 - 0,82$

B. $PF = 12,49 + 0,12*LI - 0,19.10^{-3}*LI^2 + 0,40*K - 0,003*K^2 - 5,91. 10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 \quad \quad \quad - \quad \quad \quad 0,65$

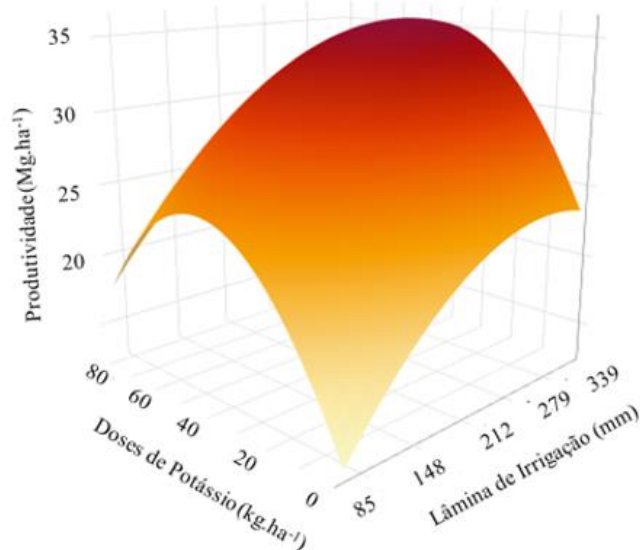
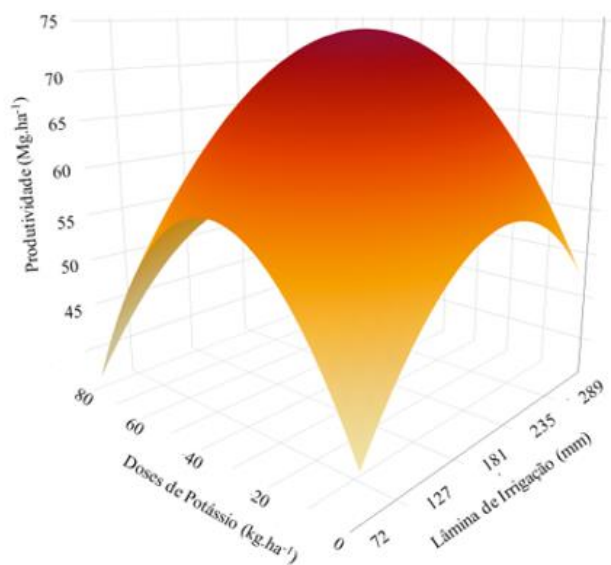


Figura 16. Superfície de resposta para a produtividade (PF) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-planta(A) e sorgo-soca(B).

Com base nas equações de regressão (Figura 17A), os maiores valores de produtividade de matéria seca (PS) foram observados com a LI referente de 196 mm (109% ETc), e administrando com as doses de K com 40 ou 60 kg ha⁻¹, com valor máximo obtido de 17 Mg ha⁻¹, e observou-se, para a PS, que as doses de K em extremos (0 e 40 kg ha⁻¹) ocasionaram deletérios em relação os tratamentos padrão, além disso, o tratamento de 0 K₂O kg ha⁻¹, apresentou uma taxa de incremento no período total (72 – 289 mm) é de 58,75%. O desdobramento para K, verifica-se que o maior valor para PS similar aos tratamentos de LI (17 Mg ha⁻¹), correspondente a LI de 181 e 235 mm (100 e 130% ETc), combinada com o K médio de 40 kg ha⁻¹, além disso, similar ao tratamento LI, os tratamentos extremos ocasionaram danos sobre a PF (Figura 17B).

A.

□ K (0): $PS = 5,97 + 0,02008*LI$

$R^2 - 0,66$

× K (20): $PS = 0,842 + 0,125*LI - 0,0003*LI^2$

$R^2 - 0,87$

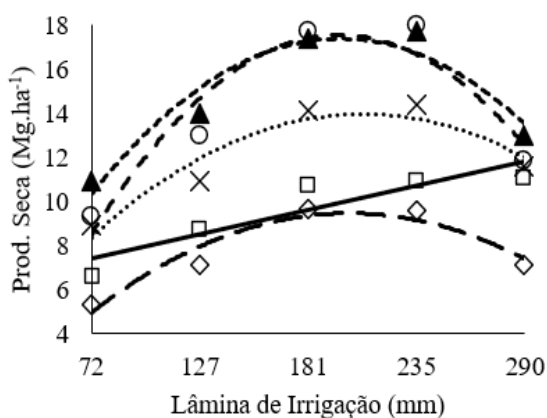
▲ K (40): $PS = -0,242 + 0,178*LI - 0,00045*LI^2$

$R^2 - 0,79$

○ K (60): $PS = -5,11 + 0,23*L - 0,00059*L^2$

$R^2 - 0,78$

◇ K (80): $PS = -1,48 + 0,108*L - 0,00027*LI^2$



B.

$R^2 - 0,87$

□ LI (72): $PS = 6,34 + 0,218*K - 0,00286*K^2$

× LI (127): $PS = 8,10 + 0,28*K - 0,0035*K^2$

▲ LI (181): $PS = 9,97 + 0,374*K - 0,0045*K^2$

○ LI (235): $PS = 10,09 + 0,383*K - 0,0048*K^2$

$R^2 - 0,84$

◇ LI (290): $PS = 10,54 + 0,15*K - 0,0023*K^2$

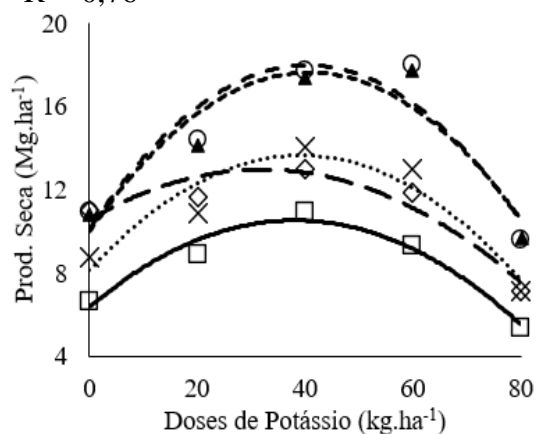


Figura 17. Produtividade de matéria seca (PS) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI)(A) e doses de potássio (K)(B), para o ciclo sorgo-planta.

A superfície de resposta para a PS do sorgo sacarino no ciclo sorgo-soca em função de LI e de K, é apresentada na Figura 18. Conforme a derivada parcial da regressão múltipla, o maior PF foi de $7,78 \text{ Mg ha}^{-1}$, obtido com LI de máxima eficiência de 271 mm (128% ETc), combinado com o K de $43,62 \text{ kg ha}^{-1}$, relevando um incremento de 36,76 e 4,79% sobre LI de 85 e 339 mm (40 e 160% ETc), associados as doses similares de K. Verifica-se também que as doses de K extremas (0 e 40 kg ha^{-1}) apresentam comportamentos deletérios similares a LI.

A. $PS = -1,49 + 0,041*L - 8,20.10^{-5}*LI^2 + 0,170*K - 0,0022*K^2 + 8,09.10^{-5}*(LI*K)$
 $R^2 = 0,69$

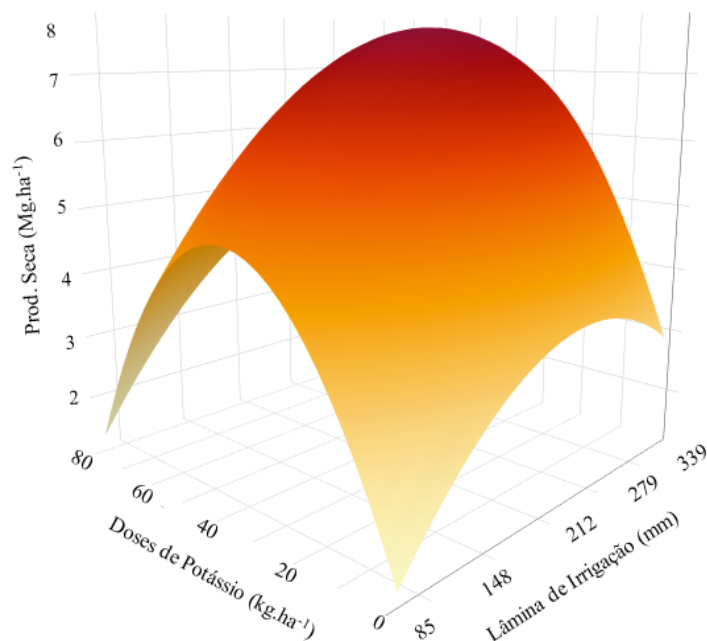


Figura 18. Superfície de resposta para a produtividade de matéria seca (PS) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-soca(A).

O excesso de sais tóxicos as plantas, promove danos as propriedades físico-químicas do solo, e promove a redução generalizada do crescimento e desenvolvimento das plantas, é um dos principais fatores que reduzem a produtividade da cultura. As respostas ao estresse salino estão relacionadas com as características das culturas, contudo, o sorgo sacarino apresenta moderada tolerância a altas concentrações de sais.

O efeito de salinidade e estresse hídrico associados tem potencial promover estresse para a cultura do sorgo sacarino, de acordo com o nível do estresse, promove danos no sistema fotossintético induzindo a redução da taxa de fotossíntese (A), da transpiração foliar (E) e da condutância estomática (gs), dessa forma ocorre a redução do número de folhas e da altura das plantas, conseqüentemente ocorre uma redução significativa da produtividade do sorgo (MANSOUR et al., 2021; GANO et al., 2020).

Os valores de produtividade fresca e seca reduziram de acordo com a salinidade, a observação corrobora com os resultados obtidos por Silva et al., (2019), que avaliaram cinco níveis de salinidade (2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 dS m⁻¹) e quatro variedades de sorgo sacarino (CSF 11, CSF 15, P 76 e P 298), e concluíram que a matéria seca da planta reduziu de acordo com o aumento da salinidade em todas as cultivares. Entretanto, Queiroz et al., (2023), pesquisaram o sorgo sacarino BRS 506 sob diferentes CE da água da irrigação (1,5, 3,8 e 6,0 dS m⁻¹) e diferentes lâminas de

irrigação (55, 83 e 110% ETC), e concluíram que biomassa são apresentaram efeitos significativos sobre os tratamentos.

Os estudos deste estudo corroboram os de Sheikh et al., (2021), avaliou o sorgo forrageiro, sob cinco níveis de CE (0,30, 4, 6, 8 e 10 dS m⁻¹), e observaram que maior nível de salinidade proporcionou uma redução da biomassa fresca e biomassa seca, de 16,21 e 7,86%, respectivamente, em relação tratamento controle. Punia et al., (2021), em pesquisa com duas variedades de sorgo e diferentes níveis de salinidade da água na irrigação (60, 80, 100, 120, 140 mM NaCl), observaram a redução na biomassa fresca, para PC-5 e SSG 59 3, de 87,60 e 64,90%, respectivamente, para a concentração de 140 mM NaCl. Silva et al., (2023) também observaram que a aumento nível de salinidade da água de irrigação também reduz a produtividade fresca do sorgo.

Calone et al., (2020), avaliando o desenvolvimento do sorgo sob três níveis de salinidade no solo (0, 3 e 6 dS m⁻¹) e na água (0, 2-4 e 4-8 dS m⁻¹), associado a dois manejos de irrigação (sem lixiviação e lixiviação), concluíram que a alta salinidade do solo associada a alta CE da água, reduziu a biomassa seca, em 87 e 42%, sem lixiviação e lixiviação, respectivamente. El-Mageed et al., (2022), avaliando o cultivo do sorgo em solo salino sob diferentes lâminas de irrigação, observaram que o déficit hídrico com 70% ETC ocasionou reduções significavas de na produção de forragem do sorgo.

Observou-se a maior eficiência do uso da água (EUA) (165,18 kg mm⁻¹ ha⁻¹) no sorgo-planta com o tratamento LI de 72 mm (40% ETC) e aplicação de K de 38,63 kg ha⁻¹, conforme a derivada parcial da equação de regressão multiplica (Figura 19A). O ciclo sorgo-soca, o maior valor de EUA foi 70,03 kg mm⁻¹ ha⁻¹, com LI de 125,34 mm e adubação de K com 42,06 kg ha⁻¹ (Figura 19B). Em ambos os ciclos, as LI de 289 e 339 mm (160% ETC) apresentaram reduções significativas sobre EUA.

A. $EUA = 134,14 + 0,09*LI - 1,08.10^{-3}*LI^2 + 1,43*K - 0,02*K^2 + 0,0016*(LI*K)$
 $R^2 - 0,82$

B. $EUA = 44,73 + 0,21*LI - 0,001*LI^2 + 0,72*K - 0,01*K^2 + 9,67. 10^{-4}*(LI*K)$
 $R^2 - 0,65$

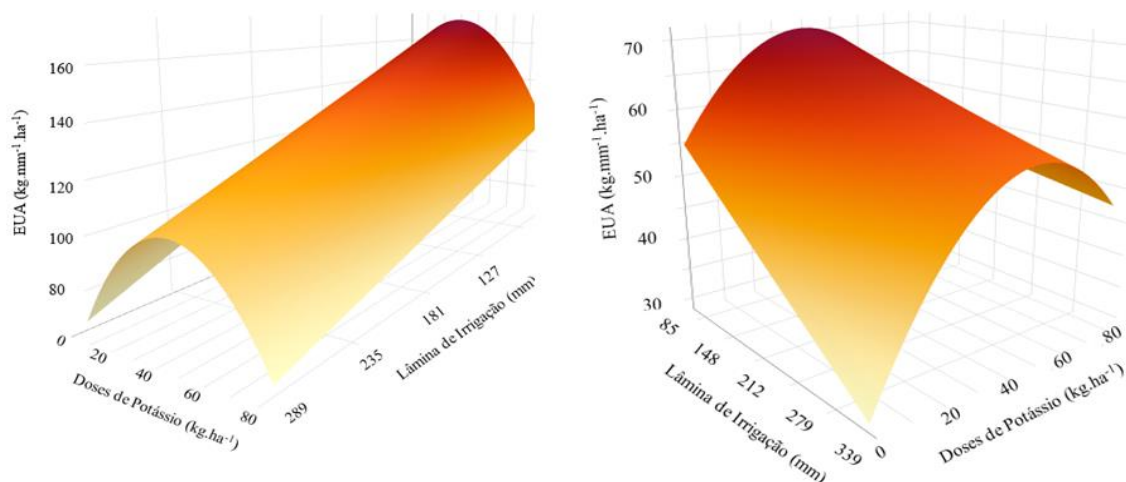


Figura 19. Superfície de resposta para a eficiência do uso da água (EUA) do sorgo sacarino IPA-467 sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (LI) e doses de potássio (K), para o ciclo sorgo-soca (A) e ciclo sorgo-soca (B).

Os dois ciclos de sorgo sacarino IPA-467 apresentam os valores máximos de eficiência do uso da água (EUA) foram encontrados nos tratamentos com as lâminas de irrigação menores, esses resultados demonstram a adaptação da cultura do sorgo ao estresse hídrico, e o potencial da cultura a manter a produtividade mesmo sob o efeito de estresse abióticos. E esses resultados corroboram com Kirchner et al., (2019).

4. Conclusões

A lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado recomendada é de 110% ETC, associada a dose de adubação potássica de 45 kg K₂O ha⁻¹ proporcionaram os maiores desenvolvimento e crescimento da planta de sorgo sacarino IPA-467 para os ciclos sorgo-planta e sorgo-soca.

O manejo de irrigação e da adubação potássica inadequados reduz os parâmetros biométricos (altura do dossel e diâmetro do colmo) da cultura do sorgo sacarino.

5. Referências bibliográficas

ABD EL-MAGEED, T. A. et al. Consecutive seasonal effect on yield and water productivity of drip deficit irrigated sorghum in saline soils. **Agricultural Water Management**, v. 29, n. 4, p. 2683-2690, 2022.

ALJIBURY, F. K.; MARSH, A.W.; HUNTAMER, J. (1974) Water use with drip irrigation. Proc Second Int Drip. Irrig Congr ASAE Publ105: 341 - 345.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.

APHA - Standard Methods for the examination of Water and Wastewater – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 22th ed., Washington – USA, 2012.

BRASIL - Ministério das Cidades - MCID. Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 72 p.

CALONE, R. et al. Salt Tolerance and Na Allocation in Sorghum bicolor under Variable Soil and Water Salinity. **Plants**, v. 9, n. 5, p. 561, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9050561>.

CARVALHO, A. A. de et al. Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residuária tratada associado com cobertura morta. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 5, p. 4258-4270, 2020.

CAVALCANTE, E. P.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S. Programa computacional para estimativa da temperatura do ar para a Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 140 - 147, 2006.

CAVALCANTI, F. J. de A. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: segunda aproximação. Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, Recife, 2008.

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento. **Tratamento de Esgoto**. 15p. 2013.

DECROIX, M. Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.

DOORENBOS, J.; AND KASSAM, A. H. (1979) Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome, 193 p.

DOURADO, P. R. et al. Stomatal regulation and osmotic adjustment in sorghum in response to salinity. **Agriculture**, v. 12, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050658>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230p., 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Operação e Manutenção da Estação de Tratamento de Efluentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos — Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2010. 24 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de Solos. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade e eficiência agrônômica do milho em função da adubação nitrogenada e manejos do solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p.135 - 146, 2010.

GANO, B. et al. Adaptation responses to early drought stress of West Africa sorghum varieties. **Journals Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 443, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030443>.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

HUANG, R. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n.

LESSA, C. I. N. et al. Estresse salino, cobertura morta e turno de rega na cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3637-3645, 2019.

MANSOUR, M. M. F. et al. Sorghum under saline conditions: responses, tolerance mechanisms, and management strategies. **Planta**, v. 254, p. 24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03671-8>.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 2. Ed., Editora UFV. Viçosa. 358 p. 2007.

MOHAMMED, S. H. et al. Effect of Abiotic Stress on Irrigated Maize Forage Yield as Compared to Sorghum. **Journal of Horticulture and Plant Research**, vol. 6, pp. 27-36.

NI, S. et al. The agronomic traits of dual-purpose sorghum and millet at the jointing stage in response to soil salinity gradients in the Hetao Irrigation District of Inner Mongolia. **Chinese Journal of Eco-Agriculture**, v. 29, n. 4, p. 649-658, 2021.

NOROOZI, M. et al. Effect of Irrigation Water Salinity on Relative Yield and Some Morphological and Physiological Characteristics of Sorghum. June 2022, Volume 36, Issue 1, Pages 55-73.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de

cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 6, p. 617 - 625, 2011.

PUNIA, H. et al. Discerning morpho-physiological and quality traits contributing to salinity tolerance acquisition in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 409-418, 2021.

QUEIROZ, G. C. M. et al. Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agriculture13040803>.

SANTOS, G. C. L. et al. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Arch. Zootec.**, v. 69, n. 266, p. 164, 2020.

SARKAR, M. et al. Morfofisiologia e respostas anatômicas de mudas de sorgo afetadas pela salinidade em cultivo hidropônico. **Os agricultores**, v. 17, n. 1-2, p. 52-65, 2019.

SCHNEIDER, J. R. et al. Cutting management modifies the phyllochron, the growth and the production of forage sorghum under the cool environment. **Arch. Zootec.**, v. 68, n. 264, p. 552-560, 2019.

SHEIKH, A. A. et al. Evaluation of Quantitative and Qualitative Attributes of Forage Sorghum Irrigated with Saline Water. December 2021, Volume 34, Issue 4, Page 905.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. Análise do crescimento de comunidades vegetais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2000. 46 p. (Embrapa Algodão. Circular Técnica, 34).

SILVA, M. E. C. et al. Respostas biométricas de plantas de sorgo e feijão-mungo expostas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. **Agrarian and Biological Sciences**, v. 12, n. 5, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.30988/ABSci.2022.12.5.04>.

SILVA, M. L. dos S. et al. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Sci., Agron.**, v. 41, 2019.

SOUZA FILHO, E. J. et al. Efeito da água de reúso e do lodo desidratado na morfofisiologia e produtividade do sorgo. **Irriga**, v. 18, n. 3, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2219011>.

SUN, J. et al. Response of seedling growth and physiology of *Sorghum bicolor* (L.) Moench to saline-alkali stress. **PLoS ONE**, v. 14, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220340>.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª.ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA; Universidade Federal de Minas Gerais; 2017.

CAPITULO IV: CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de água do esgoto doméstico tratado com condutividade elétrica média de 2,10 dS m⁻¹ é uma alternativa viável para o cultivo do sorgo sacarino IPA – 467, sob condições semiáridas, porém, é essencial que o solo apresente uma boa drenagem, e associado a lâmina de irrigação superior a ETc, para promover a lixiviação dos sais do solo.

As informações em relação ao manejo hídrico do sorgo sacarino IPA-467 obtidas nesse estudo faz referência aos valores de consumo de água de esgoto doméstico tratado durante o ciclo da cultura, em ambiente semiárido. A partir desses resultados é possível ter parâmetros para viabilidade de processos produtivos da cultura, em função da qualidade do recurso hídrico.

De acordo com os resultados apresentados, nessa tese, o sorgo sacarino IPA-467 sofreu influência de lâminas de água do esgoto doméstico tratado e doses de potássio, o manejo de irrigação aplicando 110 A 120% ETc e doses de 45 kg ha⁻¹ de K proporcionam uma maior eficiência fisiológica e agrônômica, permitindo atingir maior produtividade, a aplicação de lâminas e doses menores ou maiores proporcionará reduções.

Alguns aspectos desse estudo podem nortear pesquisas futuras, principalmente em relação à aplicação de água de esgoto doméstico tratado via irrigação, como exemplo:

- i) Determinar o coeficiente de cultivo (Kc) do sorgo sacarino IPA – 467 sob influência de recursos hídricos de qualidade inferior.
- ii) Avaliar a longo prazo as características químicas e físicas do solo após a aplicação de esgoto doméstico.