

RONALDO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

**RESPOSTAS AGROFISIOLÓGICAS DE TIPOS DE SORGO
IRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

RECIFE-PE

2020

RONALDO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

**RESPOSTAS AGROFISIOLÓGICAS DE TIPOS DE SORGO
IRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo.

Orientador: Prof. Ênio Farias de Franca e Silva

RECIFE-PE
JULHO – 2020

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)

- A474r Oliveira Filho , Ronaldo Alves de
Respostas agrofisiológicas de tipos de sorgo irrigados com água residuária / Ronaldo Alves de Oliveira Filho . -
2020.
106 f.
- Orientadora: Enio Farias de Franca e Silva.
Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Recife, 2020.
1. Etanol teórico. 2. Trocas gasosas. 3. Pigmentos fotossintético. 4. Salinidade. 5. Análise de componentes
principais. I. Silva, Enio Farias de Franca e, orient. II. Título

CDD 630

RONALDO ALVES DE OLIVEIRA FILHO

RESPOSTAS AGROFISIOLÓGICAS DE TIPOS DE SORGO
IRRIGADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Tese de Doutorado defendida e aprovada pela banca examinadora em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva (PGEA-UFRPE)
Orientador

Dr. José Nildo Tabosa (IPA)
Examinador

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior (PGEA-UFRPE)
Examinador

Dr. Daniel da Costa Dantas (PGEA-UFRPE)
Examinador

Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz (UFRB)
Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar no caminho da verdade e me conceder saúde e força para a realização dos meus objetivos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA/DEAGRI/UFRPE) pela oportunidade de cursar o doutorado e desenvolver as atividades de pesquisa na esfera dessa instituição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro à condução da pesquisa.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) por disponibilizar uma área bem como os colaboradores para a condução do experimento.

Ao Instituto Federal de Pernambuco campi Vitória e Pesqueira por facilitar a realização do doutorado flexibilizando minhas atividades de trabalho.

Ao prof. Ênio Farias por ter me aceitado como orientando e ter confiança na execução desta Tese.

À prof.^a Lilia Gomes Willadino, por todas as orientações, ensinamentos, paciência, amizade e, principalmente, confiança

Ao Dr. José Nildo Tabosa, pelos ótimos atendimentos nos momentos de dúvidas e incertezas.

Ao Coordenador da Estação Experimental do IPA em Vitória de Santo Antão/PE, Luiz Evandro de Lima e a sua esposa Dra. Ana Rita de Moraes Brandão Brito, pela ajuda em campo, e pelas palavras de incentivo.

Aos meus pais, Ronaldo Alves e Neuza Bezerra, pela educação, formação pessoal e apoio em toda minha vida.

Ao meu irmão, Rubens de Lima, que sempre me dava apoio nos momentos difíceis.

A todos os funcionários da Estação Experimental do IPA em Vitória de Santo Antão, dentre eles: Severino, Vera, Maciel, Marcos, André, Isaías, Wilson, Reginaldo, Gilvan entre outros que aqui não foram citados, ficam os meus sinceros agradecimentos.

Ao amigo Eulampio por estar sempre presente na condução do experimento e pelas conversas e aprendizagem, bem como pela “pontualidade”.

Ao amigo Dêiverson Dênis pela paciência e disponibilidade, principalmente, nos feriados e finais de semana, bem como pelas conversas.

Ao amigo Rodolfo pela disponibilidade e satisfação em realizar as avaliações.

Ao Professor Renato Lemos por disponibilizar os equipamentos e a infraestrutura do Laboratório de Fertilidade do Solo do IPE-Campus Vitória de Santo Antão.

Aos amigos do trabalho, Levy Franco, Fernanda Meirelles, Rogerio Costa, Alisson Rocha, José Junior da Rocha, Stefano Juan, Gilson Rodrigues, pela paciência, amizade e principalmente compreensão de algumas ausências.

Aos amigos do LCTV pelo apoio nos momentos de descontração e trabalho.

A todos os amigos da Pós-graduação, principalmente, Iug, Ailton, José Edison, John Lennon.

Por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para essa Vitória.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. HIPÓTESES.....	13
3. OBJETIVOS	13
3.1 Geral	13
3.2 Específicos	13
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4.1 Razões para o reúso de água na Agricultura	14
4.2 Os efeitos no solo e na planta da irrigação com água residuária	16
4.3 Os efeitos sobre a física do solo da irrigação com água residuária.....	18
4.4 Efeitos sobre a química do solo	19
4.5 Efeitos biológicos no solo.....	20
4.6 Aspectos legais do reúso de água na agricultura brasileira.....	21
4.7 Aspectos da cultura do sorgo	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO II.....	38
RESUMO.....	39
IMPACTS OF WASTE WATER APPLICATION ON SOIL AND GAS	40
EXCHANGE IN SORGHUM PLANTS.....	40
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS	41
2.1 Localização e caracterização da área experimental	41
2.2 Caracterização climática durante o experimento	44
2.3 O delineamento experimental e tratamento	44
2.4 Irrigação das plantas	45
2.5 Descrição e condução da cultura	49
2.6 Variáveis analisadas	49
2.7 Análise estatística.....	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4. CONCLUSÃO.....	65
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

CAPÍTULO III	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT	72
1. INTRODUÇÃO	72
2. MATERIAL E MÉTODOS	74
2.1 Localização e caracterização da área experimental	74
2.3 O delineamento experimental e tratamento	76
2.3 Irrigação das plantas	77
2.4 Descrição e condução da cultura	80
2.5 Variáveis analisadas	81
2.6 Análise estatística.....	85
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
4. CONCLUSÕES.....	100
1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105

RESUMO GERAL

Mediante a redução da disponibilidade hídrica devido ao crescimento populacional, torna-se premente o reúso de águas residuárias proveniente das fontes doméstica, industrial e agroindustrial na agricultura. Porém, essas fontes de água geralmente apresentam maior quantidade de íons, matéria orgânica e também microrganismos em comparação com a água doce, podendo trazer risco a saúde humana, bem como salinização do solo provocando estresse nas plantas. Portanto, para cultivar determinadas culturas é necessário que elas apresentem certa tolerância às características impostas pelas águas residuárias. O sorgo apresenta tolerância moderada à salinidade e ao déficit hídrico além de ser uma cultura com uma infinidade de aplicação podendo ser utilizada para a alimentação animal, humana e produção de etanol. Perante o exposto, o objetivo do estudo foi avaliar os efeitos da água residuária no solo e sobre as cultivares de sorgo sacarino, forrageiro e de duplo propósito no primeiro e segundo ciclo de cultivo. O experimento foi conduzido, entre 10 de agosto de 2015 e 18 de março de 2016, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Vitória de Santo Antão - Pernambuco. O delineamento foi em blocos causalizados constituídos por 12 genótipos e três blocos, totalizando 36 unidades experimentais. Foram avaliadas a produtividade de massa fresca e seca total, bem como, da folha, do colmo e da panícula nos dois ciclos produtivos. Também foram feitas cinco coletas do solo ao longo do tempo com o intuito de monitorar o aporte de sódio, potássio, matéria orgânica e acompanhar a variação do potencial hidrogeniônico da solução do solo e da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo. Foram medidas ainda as trocas gasosas, a taxa de assimilação líquida de CO₂, a transpiração, a condutância estomática e a eficiência instantânea de carboxilação nos estádios de prefloração e de grão leitoso-pastoso nos dois ciclos produtivos. Com os resultados obtidos pôde-se constatar que o cultivo do sorgo com água residuária incrementa a produção de massa fresca e seca no segundo corte em comparação ao primeiro. Os tipos de sorgo forrageiro, duplo propósito e sacarino apresentam acréscimo na produtividade de 28,7%, 10,1% e 5,5% respectivamente, em comparação ao primeiro corte. A taxa de assimilação líquida de CO₂ nas plantas de sorgo duplo propósito do segundo corte têm um aumento de 30,6% em detrimento às do primeiro corte. O acúmulo de matéria orgânica no solo favorecida pela aplicação de água residuária, minimiza os efeitos tóxicos da presença do sódio no solo.

Palavras-chave: Etanol teórico. Trocas gasosas. Pigmentos fotossintético. Salinidade. Análise de componentes principais.

ABSTRACT

Due to the reduction of water availability due to population growth, the reuse of wastewater from domestic, industrial and agro-industrial sources in agriculture is urgent. However, these sources of water generally have a greater number of ions, organic matter and also microorganisms compared to fresh water, which may pose a risk to human health, as well as salinization of the soil causing stress on plants. Therefore, to cultivate certain cultures it is necessary that they show a certain tolerance to the characteristics imposed by wastewater. Sorghum has a moderate tolerance to salinity and water deficit, in addition to being a crop with a multitude of applications that can be used for animal, human and ethanol production. In view of the above, the objective of the study was to evaluate the effects of wastewater on the soil and on cultivars of sweet, forage and dual-purpose sorghum in the first and second growing cycle. The experiment was carried out between August 10, 2015 and March 18, 2016, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA, in the municipality of Vitória de Santo Antão - Pernambuco. The design was in causalized blocks consisting of 12 genotypes and three blocks, totalling 36 experimental units. The total fresh and dry mass productivity, as well as leaf, stem and panicle yield were evaluated in the two production cycles. Five soil collections were also made over time in order to monitor the supply of sodium, potassium, organic matter and monitor the variation in the hydrogen potential of the soil solution and the electrical conductivity of the soil saturation extract. Gaseous exchanges, net CO₂ assimilation rate, transpiration, stomatal conductance and instant carboxylation efficiency were also measured in the prefloration and milky-paste stages in the two production cycles. With the obtained results it was possible to verify that the cultivation of sorghum with wastewater increases the production of fresh and dry mass in the second cut compared to the first. The types of forage sorghum, dual purpose and saccharine showed an increase in productivity of 28.7%, 10.1% and 5.5%, respectively, compared to the first cut. The net CO₂ assimilation rate in the second cut double-purpose sorghum plants increased by 30.6% to the detriment of the first cut. The accumulation of organic matter in the soil, favoured by the application of residual water, minimizes the toxic effects of the presence of sodium in the soil.

Keywords: Theoretical ethanol. Gas exchange. Photosynthetic pigments. Organic matter. Salinity. Principal component analysis

CAPÍTULO I

Introdução Geral e Revisão de Literatura

1. INTRODUÇÃO GERAL

O sorgo se destaca por apresentar vários tipos, como o granífero, sacarino, forrageiro, vassoura e os de dupla aptidão. O tipo sacarino se tornou uma alternativa para o setor sucroalcooleiro e energético brasileiro, no intuito de aumentar os rendimentos agrícolas e industriais, reduzindo custos de produção e aumentando a operacionalidade das usinas, sobretudo na entressafra de cana-de-açúcar. Já em relação ao sorgo forrageiro (SF) nos últimos anos está se despontando como uma forragem importante, substituindo o milho em regiões semiáridas no mundo devido a sua maior eficiência no uso de água. O mesmo também tem sido amplamente utilizado na alimentação de rebanhos destinados à produção de leite, pecuária. Além do mais, após a colheita o sorgo tem a vantagem da rebrota, o que não ocorre na cultura do milho.

Conforme supracitado, a demanda por energia e alimentos vem crescendo em função do aumento populacional e, conseqüentemente, também passa a pressionar os recursos hídricos de boa qualidade destinados para a dessedentação animal, abastecimento humano e uso industrial. Restando para a agricultura irrigada, em especial, para a região semiárida, o uso de recursos hídricos não convencionais, isto é, a agricultura irrigada vem sofrendo pressão para aumentar a produtividade das culturas. O setor tem alcançado grande expressividade na produção mundial com uma área irrigada no mundo em torno de 18% da área total cultivada, sendo esta responsável por 44% da produção agrícola do mundo (ANA 2009).

Uma das formas para atender a essa demanda de alimento com a baixa disponibilidade hídrica é a reutilização da água, visto ser um componente intrínseco do ciclo hidrológico, uma vez que a descarga de efluentes nos corpos hídricos e sua diluição no fluxo de água circulante permitem sua reutilização indireta a jusante para fins urbanos, agrícolas e industriais. Além disso, a reutilização de águas na agricultura advinda do uso urbano e agrícola já é uma prática generalizada em diferentes partes do mundo, porém no Brasil ainda é incipiente.

Embora a prática do reúso de água seja acompanhada de vários benefícios e avanços como o aporte de nutrientes, matéria orgânica, além de ser uma fonte alternativa de água principalmente nas áreas que têm escassez hídricas, melhoras dos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo, podem apresentar implicações negativas quando o reúso se dar de forma desordenada, como: a salinização do solo ao longo do tempo, causando reduções no desenvolvimento e crescimento das plantas, a redução da infiltração de água no solo com o aumento do sódio no solo, contaminação dos recursos hídricos, riscos à saúde do trabalhador e consumidores dos produtos irrigados, devido à contaminação por microrganismos

patogênicos presentes nas águas. Além do mais existem poucos estudos de reúso de água na agricultura brasileira, principalmente, de pesquisas conduzidas em campo voltados para a cultura do sorgo.

2. HIPÓTESES

A irrigação com água residuária afeta a produção de biomassa do sorgo no primeiro e segundo corte;

A irrigação com água residuária propicia a salinização e sodificação do solo ao longo do tempo; e

As trocas gasosas do sorgo são afetadas pelo aporte gradativo de sais provenientes da aplicação de água residuária.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Estudar os efeitos da água residuária no solo e sobre grupos de sorgo sacarino, forrageiro, duplo propósito e em progênie no primeiro e segundo corte.

3.2 Específicos

Avaliar os efeitos da água residuária na produção de sorgo sacarino, forrageiro e duplo propósito em dois cortes sucessivos;

Investigar os impactos da água residuária, ao longo do ciclo, sobre variáveis relacionadas à química do solo;

Avaliar as influências da água residuária sobre as trocas gasosas em dois estádios fenológicos na planta e na soca;

Avaliar os parâmetros agroindústrias, teor de sólidos solúveis totais, açúcar total recuperável e etanol teórico em plantas de sorgos irrigadas com água residuária em dois cortes sucessivos; e

Acompanhar as relações hídricas e teores de clorofilas e carotenóides totais em diferentes estádios fenológicos.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Razões para o reúso de água na Agricultura

Na época atual, a escassez e a poluição das águas são alguns dos principais desafios que a humanidade enfrenta (SHEIDAEIA; KARAMI; KESHAVARZ, 2016). Ademais, as atividades que mais demandam água na sociedade são: agropecuária, industrial e doméstica, respectivamente, e por sua vez existe uma constante e crescente concorrência na realocação hídrica entres os três setores. A agropecuária é o setor mais afetado pela escassez hídrica, já que é responsável por 70% das retiradas globais (NORTON-BRANDÃO; SCHERRENBURG; VAN LIER, 2013). Nas regiões áridas e semiáridas o problema ainda é mais grave devido aos consecutivos anos de seca e ao crescente aumento populacional, acarretando uma redução considerável da disponibilidade hídrica para a agricultura, e como consequência muitos países têm incluído a reutilização de águas residuais no planejamento de recursos hídricos (AZIZ; FARISSI, 2014).

Dessa forma, a aplicação do esgoto tratado por meio da irrigação no sistema solo-planta é uma alternativa para aumentar a disponibilidade hídrica e uma forma de controle da poluição, tendo em vista que também serve como um pós-tratamento dos efluentes pelo solo, que é utilizado como um filtro natural, reduzindo os impactos negativos da descarga excessiva de contaminantes causados pelo descarte desses efluentes em águas superficiais (COSTA et al., 2014). A reciclagem de águas residuais também oferece uma oportunidade para substituir recursos limitados de água doce por água recuperada para fins que não exigem qualidade de água potável.

Esse reúso agrícola é crucial, porque a escassez de água na agricultura pode ter efeitos de longo alcance na segurança alimentar, nutrição, meios de subsistência e outros aspectos socioeconômicos, todavia um abastecimento de água com regularidade confiável pode ajudar a minorar essas pressões e incertezas. Com o crescimento da população, o aumento da demanda por alimentos e a pressão sobre os recursos hídricos, o aumento da produtividade da água na agricultura é imprescindível (HELMECKE; FRIES; SCHULTE, 2020).

A irrigação com a água reciclada também traz benefícios em termos de fornecimento de nutrientes para as culturas, reduzindo potencialmente a necessidade de fertilizantes sintéticos na agricultura. Urbano et al. (2017) destacam que adoção de um planejamento e manejo adequado, melhora a fertilidade do solo sem causar danos à estrutura deste. A disponibilidade de nutrientes vegetais, como N, P ou K, é essencial para o crescimento das plantas. Uma das

vantagens da irrigação de águas residuais é o fornecimento de nutrientes que podem ser suficientes para substituir, ou pelo menos reduzir, o uso de fertilizantes sintéticos na agricultura (ADROVER et al., 2012).

Almeida et al. (2018) investigaram os efeitos da aplicação do esgoto tratado em solo Latossolo Vermelho Distroférico com alto teor de argila sob o cultivo de soja e milho, e observaram uma influência positiva nos cultivos, uma vez que proporcionou boas produtividades para soja (com média de 2990 Mg ha⁻¹) e incremento de produtividade para o milho (com máxima de 7126 Mg ha⁻¹). Além disso, os atributos físicos do solo não foram alterados.

Silva et al. (2016) observaram que a irrigação do solo Luvisolo Crômico com água residuária tratadas, em relação ao manejo convencional com água de abastecimento, proporciona maior acúmulo de micronutrientes e de potássio no solo.

Ganjegunte et al. (2018^a) avaliaram os efeitos da água de irrigação tratada sobre o teor de carbono orgânico do solo, macronutrientes e dinâmica de Na e Cl em solo cultivado com *Panicum virgatum* L, e observaram que a concentração de nutrientes no solo foi positivamente influenciado pela aplicação de água residuária, concentrações de N, P e K no solo e brotações foram significativamente correlacionadas positivamente e ocorreu incremento no carbono orgânico do solo, minimizando os efeitos dos sais na planta.

No estudo realizado por Souza et al. (2015), a água residuária urbana foi utilizada de forma complementar à adubação da cultura feijoeiro, em 25% de adubação química, o uso da água reciclada na irrigação da cultura proporcionou uma produtividade 3,8 Mg ha⁻¹ apesar da utilização de menores doses de adubos químicos. Logo, o reúso de água pode elevar o aporte de nutrientes no solo favorecendo o desenvolvimento das plantas e reduzir os custos de produção.

Barreto et al. (2013) analisaram as mudanças nos atributos químicos de um Neossolo Flúvico cultivado com mamoneira e irrigado com água residuária. Os mesmos observaram um aumento significativo dos teores de fósforo, cálcio, potássio e matéria orgânica, principalmente na camada superficial do solo.

Em um experimento realizado por Bargougui et al. (2019), onde buscou avaliar os efeitos das águas residuais dos moinhos de azeitona sobre *Sorghum bicolor* (L.) Moench nos parâmetros agro-fisiológicos e bioquímicos, bem como os efeitos nas principais propriedades do solo. Os resultados encontrados pelos autores foram uma melhora do conteúdo de matéria orgânica, nitrogênio total e minerais em solos irrigados com água residuária, proporcionalmente

ao aumento das doses aplicadas. Além disso, as atividades microbiológicas do solo foram fortemente aprimoradas em comparação com o solo controle. Já em relação a planta, os autores constataram uma melhora nos principais parâmetros agro-fisiológicos e bioquímicos, como altura do caule, espessura do caule, número de folhas, perímetro das folhas, comprimento das raízes, produtividade das plantas, teor de proteínas e taxas de elementos minerais essenciais em solo irrigado com $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de água residuária. No entanto, inibições foram observadas para as doses mais altas com 75 e $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Campi et al. (2016) realizaram um experimento para determinar a influência da água residuária tratada na produção de biomassa de sorgo e estimar a energia produzida. Os autores observaram que, em geral, o rendimento de biomassa de sorgo foi aumentado pela irrigação água residuária e, como consequência, também o etanol e a produção de energia por unidade de área cultivada.

Os autores supracitados destacam os diversos benefícios que o reúso de água traz para a agricultura desde dos aspectos dos solos com o aporte de nutrientes, redução da adubação e aumento da produtividade, bem como, uma forma de reduzir os impactos ambientais com o descarte de água residuária nos corpos hídricos superficiais.

4.2 Os efeitos no solo e na planta da irrigação com água residuária

A reutilização da água é um componente intrínseco do ciclo hidrológico, uma vez que a descarga de efluentes nos corpos hídricos e sua diluição no fluxo de água circulante permitem sua reutilização indireta a jusante para fins urbanos, agrícolas e industriais (ORTEGA; IGLESIAS, 2009). Esse reúso de águas na agricultura já é uma prática generalizada em diferentes partes do mundo e tem inúmeros benefícios tanto social, ambiental e econômico. Porém, o reúso indiscriminado dessa água pode não ser sustentável, pois interfere nos processos físicos, químicos e biológicos do solo. Na Tabela 1 tem alguns efeitos que esse tipo de água pode acarretar no solo e na planta, quando não se leva em consideração parâmetros específicos para o reúso.

Tabela 1- Algumas propriedades físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas do solo que são influenciadas pela variação dos parâmetros selecionados com a aplicação de água residuária.

Parâmetros	Efeitos associados no solo e no ambiente		Referência
	Propriedades físico-químicas e bioquímicas	Propriedades microbiológicas	
pH	Disponibilidade de nutrientes e metais vestigiais Mineralização da matéria orgânica Capacidade de troca catiônica (CTC)	Riqueza e diversidade da comunidade	1-3
Matéria orgânica	Formação agregada e estabilização da estrutura do solo Retenção de água	Seleção de populações específicas Microhabitats do solo	2, 4-6
Nutrientes (N, P e K)	Conteúdo de nutrientes (N, P e S) Capacidade tampão Capacidade de troca catiônica Atividade enzimática Disponibilidade de contaminantes orgânicos e inorgânicos	Melhoria da fertilidade do solo Aumento da matéria orgânica do solo Retenção de água	7-14
Salinidade	Lixiviação das águas subterrâneas e risco de eutrofização dos ambientes aquáticos Salinização ou sodificação do solo	Perturbação das comunidades microbianas do solo Atividade catabólica microbiana	15-18
Contaminantes	Diminuição da estabilidade agregada e estrutura do solo Permeabilidade do solo e retenção de água Aumento da compactação do solo pH do solo Impacto negativo na fertilidade do solo Dinâmica de compostos orgânicos e inorgânicos Lixiviação de metais pesados Toxicidade do solo, lixiviação Impacto negativo na fertilidade do solo	Microhabitats do solo Diversidade e atividade da comunidade	19-24
	<i>Exemplos de efeitos específicos:</i> Metais: Aumentar os efeitos dos antibióticos	Estrutura e diversidade da comunidade Aumento da tolerância microbiana a contaminantes e / ou biodegradação	25
	Boro: Toxicidade de plantas		7
	Antibióticos: Contribuir para a resistência a antibióticos		9

Referências: 1. Fierer e Jackson, (2006); 2. Lauber et al. (2009); 3. Rousk et al. (2010) 4. Torsvik e Øvreås (2019); 5. Sun et al. (2014); 6. Smit et al. (2001); 7. Deforest et al. (2004) al. (2004); 8. Kuramae et al. (2011); 9. ramirez; craine; Fierer, (2012); 10. Turlapati et al. (2013); 11. Knobloch et al. (2000); 12. Zörb; Senbayram; Peiter, (2014); 13. Haynes; Naidu, (1998); 14. Wu, (1999); 15. Ayers e Westcot (1994); 16. Sarig; Roberson; Firestone, (1993); 17. Rietz; Haynes, (2003) ;18. Ke et al. (2013); 19. Correa et al. (2010) 20. Ding; Heuer; SmallA, (2012); 21. Müller et al. (2002); 22. Sánchez-Peinado et al. (2010); 22. Derito; Pumphrey; MAdsen, (2005); 23. Chee-Sanford et al., (2009); 24 Rooklidge, (2004) e 25 Tian et al. (2020).

4.3 Os efeitos sobre a física do solo da irrigação com água residuária

A aplicação de água residuária no solo tende a acumular íons que podem interferir nos atributos físicos do solo, tais como sua densidade, estrutura e estabilidade dos agregados, a aeração, drenagem e retenção de água (ERTHAL et al., 2010; SAMPAIO et al., 2010). A qualidade física do solo influencia os seus processos químicos e biológicos e, por consequência, desempenha papel central em estudos sobre qualidade do solo (STRECK et al., 2008).

O conteúdo de sais e os sólidos em suspensão presentes na água residuária quando destinado a irrigação são os principais agentes que afetam os atributos físicos do solo. Gonçalves et al. (2007) avaliaram a condutividade hidráulica em uma área de Latossolo irrigado com efluente de esgoto doméstico tratado e com águas subterrâneas tratadas, durante 24 meses, comparando os resultados com os de uma área sob condições naturais, e constataram uma redução significativa na condutividade hidráulica saturada do solo. Segundo os autores, o estudo demonstrou a insustentabilidade a longo prazo deste manejo de irrigação e, portanto, são necessárias a adoção de práticas complementares, como o controle da salinidade.

No estudo de Santos (2004) que avaliou o efeito do efluente de esgoto rico em sódio nos atributos físicos de um Argissolo, constatou-se um aumento da dispersão de argila em praticamente todas as camadas estudadas, principalmente, na superfície. Segundo o autor, isso foi influenciado pelos aumentos ocorridos na porcentagem de sódio trocável (PST) e na razão de adsorção de sódio (RAS). Além disso, verificou-se que o efluente de esgoto utilizado promoveu a dispersão de argilas mesmo nos valores de PST abaixo dos considerados pela literatura como causadores de deterioração.

Alves et al. (2015) estudaram os atributos físicos do solo em bananal irrigado com água residuária tratada e averiguaram que o aumento da lâmina de água residuária no solo promoveu o incremento nos sólidos suspensos aportados ao solo, o que contribuiu para a redução da macroporosidade do solo nas camadas de 20-40 e 40-60 cm de profundidade; redução da matéria orgânica na camada de 0-20 cm de profundidade do solo; aumento do aporte de sódio, o que determinou a dispersão de argilas na camada de 0-20 cm, e a redução da estabilidade de agregados do solo.

Frente aos possíveis problemas originados pelo uso da água residuária nos atributos físicos do solo recomenda-se que, antes de utilizá-la na irrigação total ou suplementar, seja analisada a qualidade da água e os atributos físicos do solo, para que assim, torne-se possível o estabelecimento de um manejo correto para a irrigação e, com isso, possa evitar e/ou reduzir alterações indesejáveis na qualidade do solo.

4.4 Efeitos sobre a química do solo

A utilização de esgoto tratado na irrigação promove alterações nos atributos químicos do solo. As alterações podem ser: desequilíbrios nutricionais (excesso de macro e micronutrientes), elevação do pH, do percentual de matéria orgânica e da condutividade elétrica, além do acúmulo de metais pesados e outros elementos tóxicos (Tabela 1).

Barbosa et al. (2018) avaliando os atributos e qualidade em um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico irrigado com esgoto doméstico tratado e cultivado com cana-de-açúcar, constataram incrementos a condutividade elétrica do extrato de saturação, teor de Na^+ e porcentagem de sódio trocável (PST).

Tahtouh et al. (2019) comparam os impactos nas propriedades químicas do solo aplicando esgoto doméstico tratado e água subterrânea. O solo foi classificado conforme a drenabilidade como sendo profundo, bem drenado, moderadamente permeável e argiloso derivado de calcário. Os autores constataram que a melhor qualidade do solo (pH, salinidade, cloreto, sódio e sulfato) foi observado quando feito com irrigação de águas residuárias provenientes de esgoto doméstico tratado em detrimento das águas subterrâneas.

Oliveira et al. (2014) também analisaram os efeitos da aplicação do esgoto doméstico tratado e água de poço na alteração dos teores de metais pesados em um Cambissolo TA Eutrófico Típico cultivado com pimenta malagueta. Os pesquisadores averiguaram que os teores de cobre, zinco, ferro e manganês não foram influenciados pelas proporções de água residuária doméstica tratada e de água de poço, segundo os quais esse fato ocorreu devido ao baixo aporte de elementos traço nas águas utilizadas na irrigação das parcelas. Foi observado, também, uma tendência de redução nos valores de pH nas proporções com mais esgoto tratado em relação a água de poço. Isso se deu, segundo os autores, devido ao maior aporte de matéria orgânica propiciar a liberação do íon hidrogênio que causa acidificação.

Almeida et al. (2018) investigaram os efeitos da aplicação do esgoto tratado em solo Latossolo Vermelho Distroférico com alto teor de argila sob o cultivo de soja e milho. Observaram uma influência positiva nos cultivos, uma vez que proporcionou boas produtividades para soja (com média de 2990 Mg ha^{-1}) e incremento de produtividade para o milho (com máxima de 7126 Mg ha^{-1}).

Varallo et al. (2012) estudaram as mudanças nas características físico-química de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico após a irrigação com água residuária, em cultivo com alface-crespa. Os autores constataram que ocorreram aumentos em alguns atributos químicos de fertilidade, como ferro, magnésio, zinco, boro, potássio, nitrato, sódio e cálcio e decréscimo

nos valores de matéria orgânica e manganês, além de diminuição da condutividade hidráulica e aumento na condutividade elétrica do solo. Também foi observada a redução do pH do solo, além do aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) e PST. Os autores recomendam que a utilização de água de reúso para fins agronômicos deve ser de forma racional, monitorando-se, principalmente, a elevação do teor de sais no solo.

Heidarpour et al. (2007) estudaram os efeitos de esgoto tratado nas propriedades químicas do solo usando irrigação subsuperficial com tubulação porosa e superficial observaram aumento na concentração de sódio nas camadas superiores do solo, quando fertirrigações por subsuperfície e aumento na concentração de sódio nas camadas inferiores, quando a fertirrigação era feita superficialmente.

Dotaniya et al. (2018) relataram que a água de esgoto doméstico pode conter baixa concentração de metais pesados, mas o uso a longo prazo dessa água pode ocorrer o acúmulo de quantidades significativas de metais pesados no solo. Eles acrescentaram que a irrigação a longo prazo de solo argiloso com águas residuais de esgoto aumentou a disponibilidade de Cu, Cd, Pb, Cr, Ni e Zn em comparação com o campo irrigado com água doce.

4.5 Efeitos biológicos no solo

A aplicação de água residuária modifica as características biológicas do solo. E essas vêm sendo utilizadas como bioindicador das alterações naturais e antrópicas por abranger, em sua fauna, organismos sensíveis, capazes de responder positiva ou negativamente a essas alterações (NELSON et al., 2011). Esses organismos fazem parte das ordens como *Coleoptera*, *Collembola*, *Araneae*, *Hymenoptera*, *Acari*, *Diptera*, *Diplopoda*, dentre outros, os quais atuam na decomposição da matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes. São influenciados pela temperatura, umidade, quantidade de matéria orgânica, além de fatores físicos e químicos do solo (Tabela 1) (CAO et al., 2011). Os efluentes tratados podem aumentar a atividade de microrganismos úteis aos fenômenos de decomposição da matéria orgânica, como também, de forma negativa, provocar a proliferação de doenças, quando não tratados adequadamente (SANTOS et al., 2006).

Tessaro et al. (2013) estudaram os efeitos da aplicação de esgoto da suinocultura tratado em biodigestor anaeróbico nas seguintes concentrações (0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹) combinada com adubação nitrogenada 0 e 100%, recomendada para a cultura do milho sobre a macrofauna edáfica. E observaram que o uso de esgoto aumentou a densidade de *Hymenoptera* significativamente até a dose de 200 m³ ha⁻¹, com uma redução significativa na dose de 300 m³

ha⁻¹, e que o uso combinado de esgoto e 100% da adubação nitrogenada recomendada à cultura até ao limite de 100 m³ ha⁻¹, resultou em um aumento significativo na densidade da ordem dos *coleópteros*, sendo positivamente influenciada por esses dois fatores. O tratamento de água residuária com 200 m³ ha⁻¹ resultou em maior diversidade e riqueza de fauna edáfica.

A matéria orgânica no solo é considerada uma das propriedades mais afetadas pela irrigação com águas residuais, pelo fato de ocorrer acréscimos de conteúdos orgânicos nos solos irrigados (SÁNCHEZ–GONZÁLEZ et al., 2017). Ela é a fração do solo considerada como reservatório de nutrientes e a estrutura responsável pela formação de agregados, além de aumentar a capacidade do solo em reter água, afetando as propriedades de drenagem e a resistência à compactação (BECERRA-CASTRO et al., 2015; GANJEGUNTE et al., 2018b). No entanto, estes efeitos dependem, principalmente, da composição e da concentração de matéria orgânica nas águas residuais aplicadas.

Frente aos possíveis problemas originados pelo reúso de água nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo recomenda-se que, antes de utilizá-la como fonte de água para a irrigação total ou suplementar, seja analisado os aspectos químico, físico e biológico da água e os parâmetros do solo, para que assim, se torne possível o estabelecimento de um manejo correto para a irrigação e, com isso, possa evitar e/ou reduzir alterações indesejáveis na qualidade do solo, nas plantas e dos risco a saúde pública, desse modo mantendo o sistema de produção sustentável.

4.6 Aspectos legais do reúso de água na agricultura brasileira

No Brasil a Lei Federal 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e traz como fundamentos que a água é um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e que em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, tendo uma gestão descentralizada com a participação do Poder Público, dos usuários e comunidade.

Apesar da lei ser um marco na política de recursos hídricos não traz nada referente ao reúso de água de maneira geral e nem voltado para a agricultura especificamente.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a NBR 13.969/1997 que trata de providências e cuidados, assim como fornece instruções, a respeito do esgoto de origem doméstica. Tal norma foi elaborada com o objetivo de oferecer alternativas técnicas mais viáveis para proceder ao tratamento complementar e disposição final do efluente de usuários do sistema local de tratamento de esgotos, que possuem tanque séptico como unidade preliminar.

A norma também cita que esse esgoto pode ser reutilizado para fins nos quais não seja exigido o uso de água potável, desde que seja sanitariamente seguro, como por exemplo, lavagem de pisos e veículos, descarga de vasos sanitários e irrigação de jardins. No entanto, é vetado o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes, por exemplo, melão e melancia. Admite-se seu reúso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.

A NBR 13.969/1997 classifica o reúso em quatro classes: classe 1, destinado a lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água; classe 2, voltada para as lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins; classe 3, reúso nas descargas dos vasos sanitários; e classe 4, reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Os parâmetros estabelecidos foram, coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mgL⁻¹. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita. A NBR não estabelece parâmetros voltados para a condutividade elétrica do esgoto nem teores de metais pesados.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos baixou a resolução 54/2005 onde estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso de água não potável de água. No entanto, essa resolução traz apenas questões conceituais definidos alguns termos como por exemplo, água residuária, reúso direto de água, usuário de água de reúso dentre outros, e não definiu nada relacionado a parâmetros em relação ao tipo de reúso.

Depois de cinco anos da resolução 54/2005, o Conselho publicou a resolução 121/2010, que estipula diretrizes e critérios para a prática de reúso de água não potável de água na modalidade agrícola e florestal. No artigo 2º, estabelece que as características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação pertinente. E também no artigo 3 estabelece os critérios que devem ser observados no monitoramento periódico do reúso que são: a natureza da água de reúso, a tipologia do processo de tratamento, o porte das instalações e vazão tratada, a variabilidade dos insumos, as variações nos fluxos envolvidos e o tipo de cultura.

A legislação brasileira referente ao reúso de água voltada para a agricultura é incipiente e portando, escassa em critérios específicos que possibilite a aplicação segura das águas residuárias.

4.7 Aspectos da cultura do sorgo

4.7.1 A cultura do Sorgo

O sorgo granífero, *Sorghum bicolor* L. Moench, é o quinto cereal mais produzido no mundo depois do trigo, milho, arroz e cevada. Além da utilização do sorgo como cultura alimentar, há possibilidades de usos, como rações para animais leiteiros, produção de volumoso, usos industriais, alimentos processados, amido, bebidas e etanol (ABD-ELWAHED, 2019). Podendo ser cultivado em regiões tropicais, subtropicais e em algumas regiões temperadas do mundo. Comparado à maioria das outras gramíneas C4, possui tolerância à seca salinidade e é considerado uma cultura de baixo insumo. A produtividade real em qualquer região é função de condições climáticas, tipo de solo e práticas agronômicas (APPIAH-NKANSAH et al., 2019).

Seu centro de origem é a África, todavia, há algumas evidências de duas regiões de dispersão independentes: África e Índia (RIBAS, 2008). No Brasil, acredita-se que foi introduzido na região Nordeste durante a colonização, através do tráfico de escravos africanos, sendo reintroduzido de forma ordenada nos anos 60 através de institutos de pesquisa públicos e universidades. Por volta dos anos 70 com a entrada do setor privado na produção, o Estado do Rio Grande do Sul passaria a ser o maior produtor do país. Posteriormente, com tecnologia importada da Argentina, Uruguai, e outros, a cultura se expandiu pelo Estado de São Paulo, atingindo a região central do Brasil (RIBAS, 2008).

A partir do final dos anos 90 a área cultivada com sorgo no Brasil deu um salto extraordinário, destacando-se a região Centro Oeste como principal produtora de sorgo granífero, seguida da Sudeste e Nordeste, respectivamente. Segundo o último levantamento da Companhia Nacional do Abastecimento – CONAB, a safra 2019/2020 atingiu 706,9 mil hectares plantados, dos quais, 121,7 ha se encontram na região Nordeste, valor esse que representa 17,21% da área nacional plantada (CONAB, 2020).

O ciclo fenológico da cultura do sorgo pode ser dividido basicamente em três fases: vegetativa, reprodutiva e período de maturação do grão. A etapa de crescimento 1 (EC1), caracteriza-se pela germinação, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado. Já a etapa de crescimento 2 (EC 2) inicia-se quando o meristema apical se diferencia em meristema floral e vai até a antese, a etapa de crescimento 3 (EC 3) caracteriza-se pela maturação dos grãos e senescência das folhas (BORÉM et al., 2014). Por apresentar metabolismo C4 suporta ambientes com altas temperaturas e água limitada, e é excepcionalmente eficiente no uso de radiação solar, água e nitrogênio (LUNA et al., 2018).

Agronomicamente, o sorgo é classificado em quatro grupos: granífero; forrageiro para silagem e/ou sacarino; forrageiro para pastejo/corte; verde/fenação/cobertura morta e sorgo para vassoura. O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo que são adaptados à colheita mecânica. O segundo grupo inclui tipos de porte alto apropriados para silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo inclui sorgos utilizados para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. O quarto grupo inclui tipos cujas panículas são utilizadas para confecção de vassouras. Dos quatro grupos, o sorgo granífero é o que tem maior expressão econômica e está inserido entre os cinco cereais mais cultivados em todo o mundo, ficando atrás do arroz, trigo, milho e cevada (EMBRAPA, 2007).

O tipo de sorgo granífero apresenta potencial de produtividade que pode ultrapassar 10 Mg ha⁻¹ e 7 Mg ha⁻¹, respectivamente em condições favoráveis no verão e em plantios de sucessão. No entanto, as condições em que, predominantemente, o sorgo é cultivado não possibilitam a expressão de todo o seu potencial. A produtividade média alcançada nas lavouras brasileiras está em torno de 2,4 Mg ha⁻¹. Essa produtividade tende a crescer à medida em que o produtor passe a planejar suas atividades e a utilizar o manejo adequado para possibilitar o melhor desempenho da cultura.

O sorgo sacarino ao lado da cana-de-açúcar que é tradicionalmente empregada na produção de etanol, apresenta-se como uma ótima opção sob o ponto de vista agrônomo e industrial (MAGALHÃES et al., 2007). O sorgo sacarino pode oferecer, dentre outras, as seguintes vantagens: rapidez no ciclo (quatro meses); cultura totalmente mecanizável (plantio por sementes, colheita mecânica); colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis (produção de 40 a 60 Mg ha⁻¹ de colmos); utilização do bagaço como fonte de energia para a industrialização, para a cogeração de eletricidade ou como forragem para alimentação de animais, contribuindo para um balanço energético favorável (EMBRAPA, 2012). A produção de etanol a partir do sorgo sacarino tem sido considerada viável devido à semelhança com a cana-de-açúcar, com alto teor de açúcares, boa produção de biomassa, custos inferiores ao da cana-de-açúcar, além do que o processamento pode ser feito nas usinas de cana-de-açúcar.

Nos últimos anos, o sorgo forrageiro (SF) está crescendo em popularidade como uma colheita de forragem importante, substituindo o milho em regiões semiáridas do mundo por causa do declínio na disponibilidade de água (MUTAVA et al., 2011). O SF tem uma evapotranspiração 27% menor do que o milho (HOWELL et al., 2008) e apresenta uma produção 25% maior com a mesma quantidade de água de irrigação.

Sob condições de sequeiro em duas colheitas somadas em Sergipe, nas localidades de Gararu e de Propriá o sorgo forrageiro apresentou valores máximos de produção de biomassa de 26 cultivares variou de 92 a 94 Mg ha⁻¹ de massa verde e de 30 a 34 Mg ha⁻¹ de massa seca. O maior destaque foi para cultivar IPA 467-4-2 que de 117 a 127 Mg ha⁻¹ de massa verde e 35 a 50 t ha⁻¹ de massa seca, em duas colheitas sucessivas (CARVALHO; ARAGÃO, 1989). Já em condições irrigadas, foram obtidos valores da ordem de 50,3 Mg ha⁻¹ de matéria seca com a variedade forrageira SF15 de colmo sacarino em um único corte na localidade de Canindé do São Francisco, também no Estado de Sergipe (TABOSA et al., 2013).

4.7.2 Aspectos fotossintético da cultura do sorgo

A fotossíntese é um sistema complexo que inclui um grande número de processos biofísicos e bioquímicos, como absorção de luz, conversão de energia luminosa em energia química e reações bioquímicas envolvidas no metabolismo fotossintético do carbono (Gu et al 2017). Os processos que permitem a captura do CO₂ atmosférico com sua subsequente conversão em açúcares dentro dos cloroplastos têm limitações significativamente intrínsecas, apresentando especialmente resistências para a difusão de CO₂ dentro da folha e limitações bioquímicas da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (Rubisco) (ADACHI et al., 2013). Parte das limitações impostas pela Rubisco foram minimizadas durante a evolução com o surgimento da fotossíntese C₄ que apresenta a fosfoenolpiruvato carboxilase, enzima de fixação do CO₂ com maior especificidade e eficiência comparada a Rubisco.

O sorgo por ser uma planta com mecanismo fotossintético C₄, apresenta grande vantagem fotossintética. Essa maior eficiência fotossintética das espécies C₄ permite-lhes alcançar maiores eficiências de uso de radiação e rendimento de culturas do que as espécies C₃. Em média, a eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa em biomassa é mais de 40% para as culturas C₄, em detrimento das C₃ (SAGE, 2004).

A fotossíntese C₄ proporciona uma maior concentração de CO₂ no tecido da bainha onde se localiza a Rubisco. Como consequência o CO₂ é elevado a níveis que quase saturam a reação de carboxilação da Rubisco e a taxa de fotorrespiração é reduzida. Isso aumenta substancialmente a eficiência da fotossíntese, particularmente, em temperaturas mais altas e em condições de CO₂ atmosférico baixo que são propícias a altas taxas de fotorrespiração (SAGE, 2004).

4.7.3 Trocas gasosas em plantas superiores

Os estômatos das plantas superiores podem ser considerados como válvulas acionadas hidraulicamente na superfície da folha, que regulam a entrada de CO₂ para a fotossíntese e o fluxo de vapor d'água que sai da planta; quando a abertura dos estômatos é reduzida, o fluxo de vapor d'água diminui proporcionalmente e mais intensamente do que a diminuição do fluxo de absorção de CO₂ (WANG et al., 2010). Por meio da redução da abertura dos estômatos a planta diminui a perda de água, fundamental em ambiente de baixa disponibilidade hídrica. Todavia, limita a assimilação fotossintética, tendo muitas vezes que fazer uso das suas reservas acumuladas anteriormente (PIMENTEL, 2010).

O conteúdo hídrico da planta é resultado do balanço entre as taxas de absorção de água e transpiração. A absorção está fora de controle instantâneo, sendo dependente do sistema radicular da planta e de características físicas e suprimento hídrico do solo. Enquanto a transpiração pode ser feita, a medição que ocorre no intervalo de 102 a 104 segundos e em maior ou menor escala, dependendo do vegetal (PUGNAIRE et al., 1994). A transpiração é proporcional ao déficit de pressão de vapor de água na atmosfera, sendo o controle feito pelo fechamento estomático, que é o único processo no *continuum* solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea. Porém, o controle está diretamente associado ao suprimento de CO₂ à folha e a condutância estomática deve variar ao longo do tempo, de forma a haver um mínimo de perdas de água para uma máxima assimilação de CO₂ (KRAMER; BOYER, 1995).

Assim, estudos da condutância estomática são importantes para a interpretação do fluxo do CO₂ entre a vegetação e a atmosfera, estudos evolutivos e na identificação de novas estratégias de manipulação fotossintética e eficiência do uso da água que possam ser explorados pela engenharia genética (EVANS; VON CAEMMERER, 2013). Além do que, segundo Floss (2004) cerca de 90% da produção biológica das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética, e a redução da condutância estomática ocasiona diminuição na fotossíntese líquida (VON CAEMMERER; EVANS, 2015). Assim, estudar os fatores que interferem na verificação das trocas gasosas e atividade fotossintética constituem-se em importantes ferramentas na determinação de adaptação e estabilidade de plantas a determinados ecossistemas, limitados por fatores abióticos intrínsecos ao local de cultivo.

4.7.4 Relações hídricas

A água é o componente imprescindível à manutenção da vida animal e vegetal, compondo quase a totalidade das estruturas de muitos vegetais, desempenhando importante função para evitar o superaquecimento da folha. Com a absorção do calor proveniente da radiação solar, a água vaporiza e deixa a folha através dos estômatos, resfriando-a. Este processo, denominado de transpiração, é fundamental para manter o aparelho fotossintético funcional (TAIZ; ZEIGER, 2013).

As relações hídricas descrevem a dinâmica do fluxo de água das plantas, isto é, o transporte de água através das plantas e o seu armazenamento nas células. Um por cento da água é efetivamente utilizado para o metabolismo durante o estágio de crescimento, portanto, a maior proporção, ou seja, aproximadamente 99% é liberada na atmosfera pela transpiração (NOBEL, 2009), assegurando o transporte de nutrientes minerais e a manutenção da temperatura da planta. Assim, a manutenção do status hídrico de uma planta é essencial para o desenvolvimento adequado em ambientes com limitação da disponibilidade de água (BERTOLLI et al., 2015).

As plantas são classificadas em isohídrica ou anisohídrica dependendo da velocidade de resposta estomática (MASEDA; FERNÁNDEZ, 2006; MCDOWELL et al., 2008; POU et al., 2012). As plantas isohídricas são aquelas que fecham seus estômatos quando detectam uma queda no potencial hídrico do solo, ou um aumento na demanda atmosférica. Isso permite que a planta mantenha seu potencial hídrico dentro de faixas constantes (SADE; GEBREMEDHIN; MOSHELION, 2012). Essas plantas tem outros mecanismos para manter o status hídricos tais como mudanças nos padrões de absorção de água, variações na arquitetura hidráulica e as mudanças na superfície total de trocas gasosas e órgãos de armazenamento de água (BUCCI et al., 2008). De forma contrária, as plantas anisohídricas continuam a transpirar mesmo quando o teor de água do solo diminui, devido à sua baixa capacidade de controle estomático. Como consequência, o potencial hídrico é reduzido e a planta sofre estresse (SADE; GEBREMEDHIN; MOSHELION, 2012). Os estômatos respondem principalmente à concentração do fitormônio, ácido abscísico (ABA).

Netondo; Onyango; Beck, (2004) avaliaram os efeitos do estresse salino na cultura do sorgo e constataram a influência direta da salinidade nas relações hídricas e redução do potencial osmótico das folhas. Santos et al. (2014) estudaram o desempenho ecofisiológico do sorgo sob condições de déficit hídrico e encontraram uma redução de 212% no potencial hídrico e 26% na taxa de assimilação líquida de CO₂ em comparação ao controle. Logo, torna-se cada

vez mais importante estudar os mecanismos fisiológicos que regulam as trocas gasosas dos diferentes genótipos de sorgos em ambiente de cultivo que apresenta algum fator limitante à produtividade. Ressaltando que uma eficiente assimilação líquida de CO₂ e uso da água acarreta ganhos de produtividades.

4.7.5 Pigmentos fotossintéticos

As clorofilas a, b e carotenóides são os principais pigmentos envolvidos na absorção e transferência de energia luminosa responsável pela fotossíntese. A clorofila a é o pigmento utilizado para realizar a fotoquímica, primeira fase da fotossíntese, enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios. Os principais pigmentos acessórios também incluem outros tipos de clorofilas como a clorofila b (TAIZ; ZIEGER, 2013).

Os carotenóides encontram-se associados, principalmente, às proteínas e a luz absorvida por eles são transferidas às clorofilas para o processo de fotossíntese. Esses pigmentos também são denominados de fotoprotetores por dissiparem o excesso de energia que chega aos complexos de antenas de captação de luz.

Os prejuízos no aparato fotossintético ocorrem, principalmente, pela diminuição da área foliar da planta, redução dos teores de clorofilas e condutância estomática, além de prejudicar a eficiência do fotossistema II (FSII) (SENGAR; SENGAR; SINGH, 2013). Lacerda et al. (2003) estudaram a tolerância à salinidade em dois genótipos de sorgo, e observaram uma redução de 52% no conteúdo de clorofila para o genótipo sensível (CSF18) e de 27% para o genótipo tolerante à salinidade (CSF20), quando submetidos a 100 mM de NaCl. Vahid et al. (2011) relataram que as concentrações de clorofila a, b e a + b diminuíram com o aumento da salinidade. Monteiro et al. (2018) também encontraram reduções nos pigmentos fotossintéticos com o aumento da salinidade da água de irrigação, sendo mais expressivas nas maiores condutividades elétricas.

Existem várias razões pelas quais os pigmentos foliares são importantes, do ponto de vista aplicado. Primeiro, a quantidade de radiação solar absorvida por uma folha é em grande parte uma função do conteúdo foliar dos pigmentos fotossintéticos, e, portanto, o conteúdo de clorofila se relaciona diretamente ao potencial fotossintético e, desse modo, à produção primária (KERGOAT et al., 2008). Grande parte do nitrogênio foliar é incorporada a clorofila, logo, a quantificação dos pigmentos fornece uma medida indireta do status desse nutriente (BARET; HOULÈS; GUÉRIF, 2007; KERGOAT et al., 2008; SCHLEMMERA et al., 2013). As

alterações no ambiente de cultivo, como estresse abiótico e biótico, proporcionam ajustes no aparato fotossintético, os quais interferem na eficiência de absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos, portanto está diretamente relacionada a fisiologia do estresse.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ELWAHED, M. S. Effect of long-term wastewater irrigation on the quality of alluvial soil for agricultural sustainability. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 64, n. 2, p. 151–160, 2019.

ADACHI, S. et al. The mesophyll anatomy enhancing CO₂ diffusion is a key trait for improving rice photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 4, p. 1061–1072, 2013.

ADROVER, M. et al. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. **Journal of Environmental Management**, v. 95, n. SUPPL., p. S188–S192, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água: fatos e tendências**. Agência Nacional de Águas: CEBDS. 2 ed. Brasília: ANA, 2009. 29p.

ALMEIDA, A. C. DOS S. et al. Soil physical properties and yield of soybean and corn grown with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 843–848, 2018.

ALVES, P. F. S. et al. Soil physical attributes in chemigated banana plantation with wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 998–1008, 2015.

APPIAH-NKANSAH, N. B. et al. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. **Renewable Energy**, v. 143, p. 1121–1132, 2019.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

AZIZ, F.; FARISSI, M. Reuse of Treated Wastewater in Agriculture: Solving Water Deficit Problems in Arid Areas (Review). v. XVII, n. 2, p. 95–110, 2014.

BARBOSA, E. A. A. et al. Soil attributes and quality under treated domestic sewage irrigation in sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 137–142, 2018.

BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: The case of nitrogen management. **Journal of Experimental**

Botany, v. 58, n. 4, p. 869–880, 2007.

BARGOUGUI, L. et al. Agro-physiological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* in soil amended by olive mill wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 212, n.2018, p. 60–67, 2019.

BARRETO, A. N. et al. Changes in chemical attributes of a Fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 480–486, 2013.

BECERRA-CASTRO, C. et al. Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, v. 75, n. 3, p. 117–135, 2015.

BUCCI, S. J. et al. Water relations and hydraulic architecture in Cerrado trees: Adjustments to seasonal changes in water availability and evaporative demand. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 233–245, 2008.

CAMPI, P. et al. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176–185, 2016.

CAO, Z. et al. Changes in the abundance and structure of a soil mite (Acari) community under long-term organic and chemical fertilizer treatments. **Applied Soil Ecology**, v. 49, n. 1, p. 131–138, 2011.

CARVALHO, H.W.L. de; ARAGÃO, W.M. **Avaliação de cultivares de sorgo forrageiro no Estado de Sergipe**. I – Comportamento de progênies avançadas em Nossa Senhora 56. da Glória, Gararu e Propriá. Aracaju: EMBRAPA - CNPCO, 1989. 29 p. (EMBRAPA - CNPCO. Boletim de Pesquisa, 4).

CHEE-SANFORD, J. C. et al. Fate and Transport of Antibiotic Residues and Antibiotic Resistance Genes following Land Application of Manure Waste. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, n. 3, p. 1086–1108, 2009.

COMPANHEIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2019/2020**. v.7 n.4 quarto levantamento- janeiro 2020.

CORREA, P. A. et al. The effects of individual PCB congeners on the soil bacterial community structure and the abundance of biphenyl dioxygenase genes. **Environment International**, v. 36, n. 8, p. 901–906, 2010.

COSTA, M. S. et al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **IRRIGA**, v.8 n. 1p. 12-26, 2012.

DEFOREST, J. L. et al. Atmospheric Nitrate Deposition, Microbial Community Composition,

and Enzyme Activity in Northern Hardwood Forests. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 132–138, 2004.

DERITO, C. M.; PUMPHREY, G. M.; MADSEN, E. L. Use of field-based stable isotope probing to identify adapted populations and track carbon flow through a phenol-degrading soil microbial community. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 12, p. 7858–7865, 2005.

DING, G. C.; HEUER, H.; SMALLA, K. Dynamics of bacterial communities in two unpolluted soils after spiking with phenanthrene: Soil type specific and common responders. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, n.6, p. 1–16, 2012.

DOTANIYA, M. L. et al. Impact of Long-Term Application of Sewage on Soil and Crop Quality in Vertisols of Central India. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 101, n. 6, p. 779–786, 2018.

ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura Physical and chemical changes in an Luvisol by the application of cattle farm wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 62, p. 467–477, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório de Balanço Energético** -ano base 2017. Brasília: IPA, 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Sorgo**, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/sorgo>. Acesso em: 28.abr. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **BRS 506**, 2012. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68397/1/brs-506.pdf>. Acesso: 15. jul. 2020.

EVANS, J. R.; VON CAEMMERER, S. Temperature response of carbon isotope discrimination and mesophyll conductance in tobacco. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 4, p. 745–756, 2013.

FIERER, N.; JACKSON, R. B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 3, p. 626–631, 2006.

GANJEGUNTE, G. et al. Treated urban wastewater irrigation effects on bioenergy sorghum biomass, quality, and soil salinity in an arid environment. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 3, p. 534–542, 2018a.

GANJEGUNTE, G. et al. Organic carbon, nutrient, and salt dynamics in saline soil and

switchgrass (*Panicum virgatum* L.) irrigated with treated municipal wastewater. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 1, p. 80–90, 2018b.

GONÇALVES, R. A. B. et al. Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent. **Geoderma**, v. 139, n. 1–2, p. 241–248, 2007.

HAYNES, R. J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 51, n. 123, p. 123–137, 1998.

HEIDARPOUR, M. et al. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. **Agricultural Water Management**, v. 90, n. 1–2, p. 87–94, 2007.

HELMECKE, M.; FRIES, E.; SCHULTE, C. Regulating water reuse for agricultural irrigation: risks related to organic micro-contaminants. **Environmental Sciences Europe**, v. 32, n. 1, 2020.

HOWELL, T.A.; EVETT, S.R.; TOLK, J.A.; COPELAND, K.S.; COLAIZZI, P.D.; GOWDA, P.H. (2008). Evapotranspiration of corn and forage sorghum for silage. **World Congress on Environment and Water Resources**. 2008.

KE, C. et al. Impacts of chloride de-icing salt on bulk soils, fungi, and bacterial populations surrounding the plant rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v. 72, p. 69–78, 2013.

KERGOAT, L. et al. Nitrogen controls plant canopy light-use efficiency in temperate and boreal ecosystems. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 113, n. 4, p. 1–19, 2008.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press. San Diego, 1995. p. 495.

KNOBELOCH, L. et al. in *Environmental Medicine*. n. November 1999, p. 675–678, 2000.
KURAMAE, E. et al. Soil and plant factors driving the community of soil-borne microorganisms across chronosequences of secondary succession of chalk grasslands with a neutral pH. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 77, n. 2, p. 285–294, 2011.

LAUBER, C. L. et al. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 15, p. 5111–5120, 2009.

LUNA, D. F. et al. Early responses to Fe-deficiency distinguish *Sorghum bicolor* genotypes with contrasting alkalinity tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 155, n. March, p. 165–176, 2018.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do Sorgo – Aspectos gerais dos efeitos ambientais sobre o crescimento do sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção 2. Sete Lagoas. 2007. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_1_ed/ambientais.htm. Acessado em 06 de agosto de 2020.

MASEDA, P. H.; FERNÁNDEZ, R. J. Stay wet or else: Three ways in which plants can adjust hydraulically to their environment. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 15, p. 3963–3977, 2006.

MCDOWELL, N. et al. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? **New Phytologist**, v. 178, n. 4, p. 719–739, 2008.

MONTEIRO, D. R. et al. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water TT - Fluorescência da clorofila a em sorgo sacarino irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 673–678, 2018.

MÜLLER, A. K. et al. The diversity and function of soil microbial communities exposed to different disturbances. **Microbial Ecology**, v. 44, n. 1, p. 49–58, 2002.

MUTAVA. R.N.; PRASAD, M.R.; TUINSTRA, K.D.; YU.J. Characterization of Sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, v.123, n.1, p.10–18, 2011.

NELSON, K. L. et al. Influence of agricultural soils on the growth and reproduction of the bio-indicator *Folsomia candida*. **Pedobiologia**, v. 54, n. 2, p. 79–86, 2011.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and salinity: I. Response of growth, water relations, and ion accumulation to NaCl salinity. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 797–805, 2004.

NORTON-BRANDÃO, D.; SCHERRENBURG, S. M.; VAN LIER, J. B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies. **Journal of Environmental Management**, v. 122, n. 65 p. 85–98, 2013.

OLIVEIRA, A. DE F. M. et al. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

ORTEGA, E.; IGLESIAS, R. Reuse of treated municipal wastewater effluents in Spain: Regulations and most common technologies, including extensive treatments. **Desalination and Water Treatment**, v. 4, n. 1–3, p. 148–160, 2009.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998.150p.

POU, A. et al. Anisohydric behaviour in grapevines results in better performance under moderate water stress and recovery than isohydric behaviour. **Plant and Soil**, v. 359, n. 1–2, p. 335–349, 2012.

PUGNAIRE, F. I., ENDOLZ L. S.; PARDOS J. 1994. Constrains by water stress on plant growth. *In: Handbook of plant and crop stress*. PESSARAKLI, M. (ed.) Marcel Dekker Inc. New York. pp. 247-260.

RAMIREZ, K. S.; CRAINE, J. M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Global Change Biology**, v. 18, n. 6, p. 1918–1927, 2012.

RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 6, p. 845–854, 2003.

RIBAS, P.M. **Sistemas de Produção**, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 4^a edição Set./2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491913/4/plantio.pdf>. Acessado em 27 abril de 2020.

ROOKLIDGE, S. J. Environmental antimicrobial contamination from terraccumulation and diffuse pollution pathways. **Science of the Total Environment**, v. 325, n. 1–3, p. 1–13, 2004.

ROUSK, J. et al. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. **ISME Journal**, v. 4, n. 10, p. 1340–1351, 2010.

SADE, N.; GEBREMEDHIN, A.; MOSHELION, M. Risk-taking plants: anisohydric behavior as a stress-resistance trait. **Plant signaling & behavior**, v. 7, n. 7, p. 767–770, 2012.

SAGE, R. F. The evolution of C₄ photosynthesis. **New Phytologist**, v. 161, n. 2, p. 341–370, 2004.

SAMPAIO, S. C. et al. Lixiviação de íons em colunas de solo deformado e indeformado. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 150–159, 2010.

SÁNCHEZ-PEINADO, M. DEL M. et al. Influence of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) on the structure of Alphaproteobacteria, Actinobacteria, and Acidobacteria communities in a soil microcosm. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 17, n. 3, p. 779–790, 2010.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, A. et al. Changes in quality and quantity of soil organic matter stocks resulting from wastewater irrigation in formerly forested land. **Geoderma**, v. 306, n. 7, p. 99–107, 2017.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-tifton 85**. 2004 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004.

SANTOS, S. S. DOS et al. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, n. 4 p. 32–38, 2006.

SANTOS, O. O. et al. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 203–212, 2014.

SARIG, S.; ROBERSON, E. B.; FIRESTONE, M. K. Microbial activity-soil structure: Response to saline water irrigation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 6, p. 693–697, 1993.

SCHLEMMER, M. et al. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 25, n. 1, p. 47–54, 2013.

SENGAR, K.; SENGAR, R. S.; SINGH, A. Biotechnological and Genomic Analysis for Salinity Tolerance in Sugarcane. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, v. 4, n. 5, p. 407–414, 2013.

SHEIDAEIA, F.; KARAMI, E.; KESHAVARZ, M. Farmers' attitude towards wastewater use in Fars Province, Iran. **Water Policy**, v. 18, n. 2, p. 355–367, 2016.

SILVA, L. V. B. D. et al. Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization | Atributos químicos de um Luvisolo Crômico sob irrigação com águas residuárias tratadas e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 308–315, 2016.

SMIT, E. et al. Diversity and Seasonal Fluctuations of the Dominant Members of the Bacterial Soil Community in a Wheat Field as Determined by Cultivation and Molecular Methods. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n. 5, p. 2284–2291, 2001.

SOUZA, D. P. DE et al. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **IRRIGA**, v. 20, n. 2, p. 348–362, 2015.

STRECK, C. A. et al. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. spe, p. 2603–2612, 2008.

SUN, H. et al. Bacterial diversity and community structure along different peat soils in boreal

forest. **Applied Soil Ecology**, v. 74, p. 37–45, 2014.

TABOSA, J. N. BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. **Cultivo de sorgo no semiárido brasileiro: Potencialidades e utilizações**. In (Editores): Márcia do Vale Barreto Figueiredo [et al.]. – Recife-PE: Instituto Agronômico de Pernambuco IPA/Emater/SEAGRI-AL, 2013. p.133-162.

TAHTOUH, J. et al. Impact of brackish groundwater and treated wastewater on soil chemical and mineralogical properties. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 99–109, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2013. p. 819

TESSARO, D. et al. Macrofauna of soil treated with swine wastewater combined with chemical fertilization. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 1, p. 86–92, 2013.

TIAN, Z. et al. Minimum influent concentrations of oxytetracycline, streptomycin and spiramycin in selecting antibiotic resistance in biofilm type wastewater treatment systems. **Science of the Total Environment**, v. 720, p. 1- 45, 2020.

TORSVIK, V.; ØVREÅS, L. Responses of rhizosphere soil properties, enzyme activities and microbial diversity to intercropping patterns on the Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, v. 195, p. 240–245, 2019.

TURLAPATI, S. A. et al. Chronic N-amended soils exhibit an altered bacterial community structure in Harvard Forest, MA, USA. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 83, n. 2, p. 478–493, 2013.

URBANO, V. R. et al. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108–115, 2017.

VAHID, B. et al. Protein electrophoretic profiles and physiochemical indicators of salinity tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 14, p. 2683–2697, 2011.

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

VON CAEMMERER, S.; EVANS, J. R. Temperature responses of mesophyll conductance differ greatly between species. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 4, p. 629–637, 2015.

WANG, F. F. et al. Phytochrome B is involved in mediating red light-induced stomatal opening in *Arabidopsis thaliana*. **Molecular Plant**, v. 3, n. 1, p. 246–259, 2010.

WU, R. S. S. Eutrophication, water borne pathogens and xenobiotic compounds: Environmental risks and challenges. **Marine Pollution Bulletin**, v. 39, n. 1–12, p. 11–22, 1999.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.

CAPÍTULO II

Impactos da aplicação da água residuária no solo e nas trocas gasosas de plantas de sorgo

IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA NO SOLO E NAS TROCAS GASOSAS DE PLANTAS DE SORGO

RESUMO

O aumento constante da população pressiona os recursos naturais em especial os hídricos e a produção por alimentos de boa qualidade, o reúso de água na agricultura é uma das formas para atender essa demanda. Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com os objetivos de avaliar as trocas gasosas e produção de plantas de sorgo tipo sacarino, forrageiro, duplo propósito e progênie irrigadas com água residuária, analisadas em dois ciclos, bem como a evolução dos atributos físicos e químicos do solo no tempo. O experimento foi conduzido, entre agosto de 2015 e março de 2016, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. O delineamento foi em blocos causalizados constituídos por 12 genótipos e três blocos, totalizando 36 unidades experimentais. Foi avaliada a produtividade de massa fresca e seca total bem como a folha, colmo e panícula nos dois ciclos produtivos, foram feitas coletas do solo ao longo do tempo para avaliar a os parâmetros químicos. Bem como foram medidas as trocas gasosas, nos estádios de prefloração e grão leitoso-pastoso nos dois ciclos produtivos. Todos os tipos de sorgos avaliados apresentaram um incremento da produtividade da massa fresca total em relação ao primeiro ciclo, exceto as plantas do grupo progênie. Os tipos de sorgo forrageiro, duplo propósito e sacarino apresentam incremento na produtividade de massa fresca 28,7%, 10,1% e 5,5% respectivamente, em comparação ao primeiro corte. A maior produtividade de massa fresca e seca total da parte aérea 140,3 e 53,5 Mg ha⁻¹ respectivamente, é verificada nas plantas do sorgo do tipo duplo propósito. A taxa de assimilação líquida de CO₂ nas plantas de sorgo duplo propósito do segundo corte têm um aumento de 30,6% em detrimento às do primeiro corte. O reúso de água acrescenta em até 10,3% o teor de matéria orgânica no solo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Reúso de água. Matéria orgânica. Principal component analysis.

IMPACTS OF WASTE WATER APPLICATION ON SOIL AND GAS EXCHANGE IN SORGHUM PLANTS

The constant increase in the population puts pressure on natural resources, especially water and the production of good quality food, the reuse of water in agriculture is one of the ways to meet this demand. In view of the above, the present work was developed with the objectives of evaluating gas exchange and production of sorghum, forage, dual purpose and progeny plants irrigated with wastewater, analysed in two cycles, as well as the evolution of physical attributes and soil chemicals over time. The experiment was conducted between August 2015 and March 2016, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA. The design was in causalized blocks consisting of 12 genotypes and three blocks, totalling 36 experimental units. The productivity of total fresh and dry mass was evaluated, as well as the leaf, stem and panicle in the two productive cycles, collections were made from the soil over time to evaluate the chemical parameters. As well as gaseous exchanges were measured, in the stages of prefloration and milky-pasty grain in the two productive cycles. All sorghum types evaluated showed an increase in total fresh mass productivity in relation to the first cycle, except for plants of the progeny group. The types of forage sorghum, dual purpose and saccharine showed an increase in fresh mass productivity 28.7%, 10.1% and 5.5% respectively, compared to the first cut. The higher productivity of total fresh and dry mass of shoots 140.3 and 53.5 Mg ha⁻¹, respectively, is verified in the plants of sorghum of the double purpose type. The net CO₂ assimilation rate in the second cut double-purpose sorghum plants increased by 30.6% to the detriment of the first cut. The reuse of water adds up to 10.3% the organic matter content in the soil.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Water reuse. Organic matter. Principal component analysis.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a exigência cada vez maior por alimentos de boa qualidade e recursos hídricos, implica que a prática de reutilização de água é indispensável para atender essa demanda (ALYGIZAKIS et al., 2020). Dessa forma, a aplicação do esgoto tratado por meio da irrigação no sistema solo-planta é uma alternativa para aumentar a disponibilidade hídrica e uma forma de controle da poluição. Tendo em vista que essa alternativa também serve

como um pós-tratamento dos efluentes pelo solo, que é utilizado como um filtro natural, reduzindo os impactos negativos da descarga excessiva de contaminantes causados pelo descarte desses efluentes em águas superficiais (COSTA et al., 2014). A irrigação com essa água traz benefícios em termos de fornecimento de nutrientes para as culturas, reduzindo potencialmente a necessidade de fertilizantes sintéticos na agricultura.

Em um experimento realizado por Bargougui et al. (2019), onde buscou avaliar os efeitos das águas residuais, proveniente dos moinhos de azeitona, sobre *Sorghum bicolor* (L.) Moench, bem como os efeitos nas principais propriedades do solo. Os autores constataram um aumento na matéria orgânica, nitrogênio total e minerais em solos irrigados com água residuária, proporcionalmente ao aumento das doses aplicadas. Além disso, as atividades microbiológicas do solo foram fortemente aprimoradas em comparação com o solo controle. Já em relação a planta, foi observado um aumento significativo, na altura do caule, espessura do caule, número de folhas, perímetro das folhas, produtividade das plantas e teor de proteínas em solo irrigado com 25 m³ ha⁻¹ de água residuária. No entanto, inibições foram observadas para as doses mais altas com 75 e 100 m³ ha⁻¹.

A água residuária difere da água doce em salinidade, potencial hidrogeniônico concentrações de sólidos em suspensão e matéria orgânica dissolvida, portanto, a irrigação com esse tipo de água pode alterar as características físicas, biológicas e químicas do solo (LADO et al., 2012). O aumento da salinidade do solo pode reduzir as trocas gasosas, afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além do mais, a irrigação por longo prazo com água residuária pode aumentar a sodicidade do solo o que reduz a estabilidade da estrutura do solo e o acúmulo de cloreto, sódio e boro pode ser tóxico para as plantas (LEVY et al., 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com os objetivos de avaliar as trocas gasosas e produção de plantas de sorgo tipo sacarino, forrageiro, duplo propósito e progênie irrigadas com água residuária, analisadas em dois ciclos, bem como a evolução dos atributos físicos e químicos do solo no tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

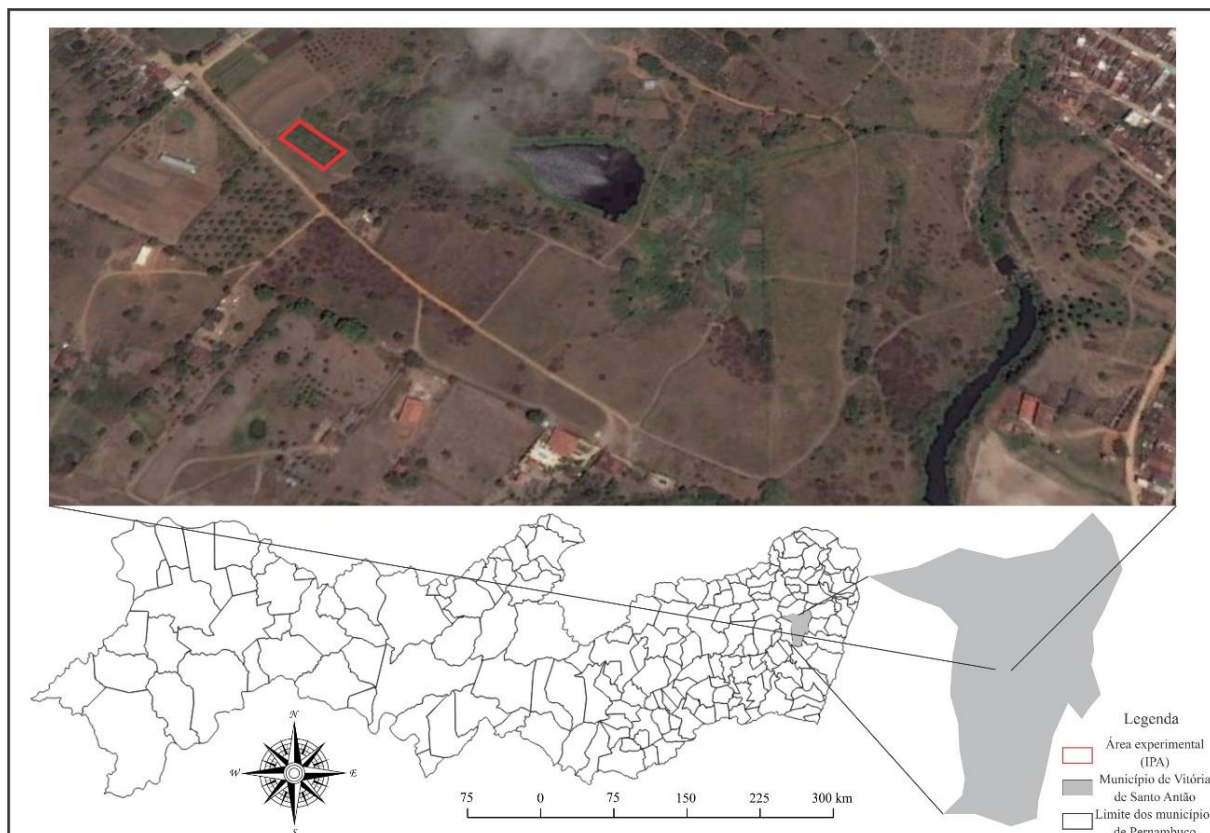
2.1 Localização e caracterização da área experimental

2.1.1 Localização geografia

O experimento foi conduzido, entre 10 de agosto de 2015 e 18 de março de 2016, na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, no município de Vitória

de Santo Antão, na mesorregião Mata Sul e na Microrregião Vitória de Santo Antão. Localiza-se na latitude 08°07'05" S e longitude 35°17'29" W Gr, com altitude em torno de 156 metros (Figura 1).

Figura 1- Vista aérea de parte da Estação Experimental do IPA e da área experimental.



Fonte: Google Earth, adaptado: Oliveira, (2019).

2.1.2 Classificação e caracterização do solo

Foi realizada, antes do início do experimento, a caracterização físico-química do solo, conforme Teixeira et al. (2017). Foram retiradas 25 amostras simples e feitas duas amostras compostas para determinar os atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1). As características físicas incluíram: determinação de granulometria (método da pipeta), densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total. As análises químicas incluíram as determinações de: potencial hidrogeniônico (pH) em água; cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (extraídos com cloreto de potássio (KCl mol L^{-1}) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica), Sódio (Na^+) e potássio (K^+) (extraídos com solução de Mehlich⁻¹ e determinados por espectrofotometria de chama); Alumínio (Al^{3+}) (extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinado por titulação); Hidrogênio e alumínio ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) (extraídos com solução acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e determinados por titulação), fósforo (P disponível) (extraído com solução

de Mehlich⁻¹ e determinado por colorimetria); soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 (CTC).

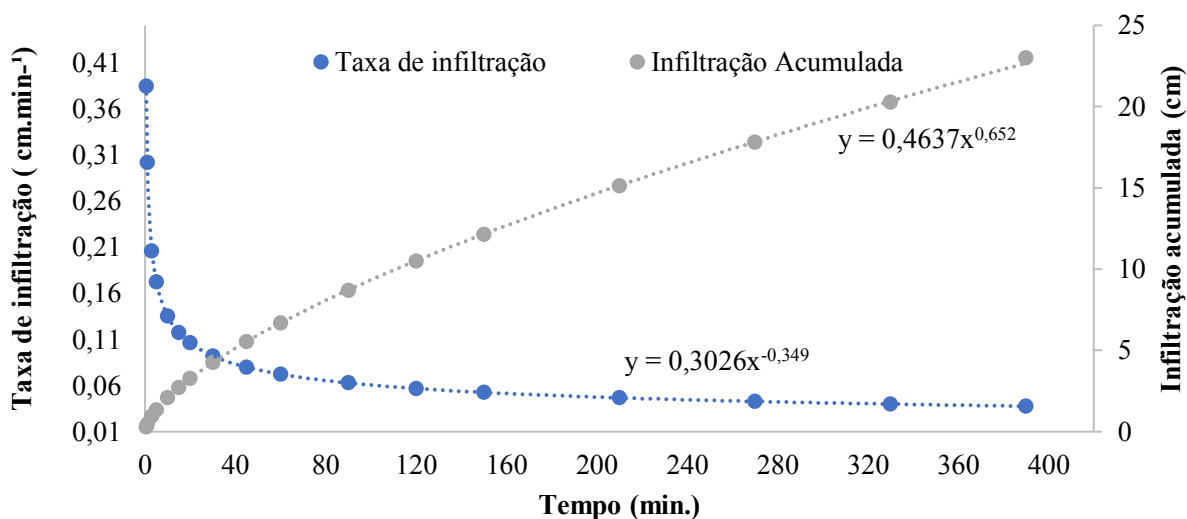
Tabela 1- Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental, antes do início do experimento, cultivada com genótipos de sorgo em Vitória de Santo Antão-PE.

Atributos	Valores
Areia (g. Kg ⁻¹)	710
Silte (g. Kg ⁻¹)	100
Argila (g. Kg ⁻¹)	190
Densidade do Solo (g.cm ⁻³)	1,65
Densidade de Partículas (g.cm ⁻³)	2,57
Porosidade total (%)	35,8
pH (1:2,5)	6,7
K (cmol _c .dm ⁻³)	0,36
Na (cmol _c .dm ⁻³)	0,8
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	2,45
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	1,35
P (mg.dm ⁻³)	0,34
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	4,12
SB (cmol _c .dm ⁻³)	5,0
PST (%)	8,7
CTC ef (cmol _c .dm ⁻³)	9,1
V (%)	55
m (%)	0

pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K⁺ = potássio; Na⁺ = sódio; H⁺ +Al⁺³ = acidez potencial; Al⁺³ = alumínio; Ca⁺² = cálcio; Mg⁺² = magnésio; V% = saturação/base; CTC = capacidade de troca catiônica; PST= Percentagem sódio trocável SB=Soma de bases; m%= saturação por alumínio.

Também foi realizado o ensaio de infiltração (Figura 2) de água no solo para determinar o emissor com intensidade de aplicação de água compatível à velocidade de infiltração básica (VIB) e assim manejar a aplicação de água para impedir a ocorrência de escoamento superficial de água no solo, o método adotado foi o de Kostiakov (PRUSKI et al., 1997; NUNES et al., 2012). Com a realização do teste de infiltração constatou-se uma VIB de 3,64 cm h⁻¹ sendo considerado um solo com uma taxa de VIB muito alta, conforme Bernardo et al (2006).

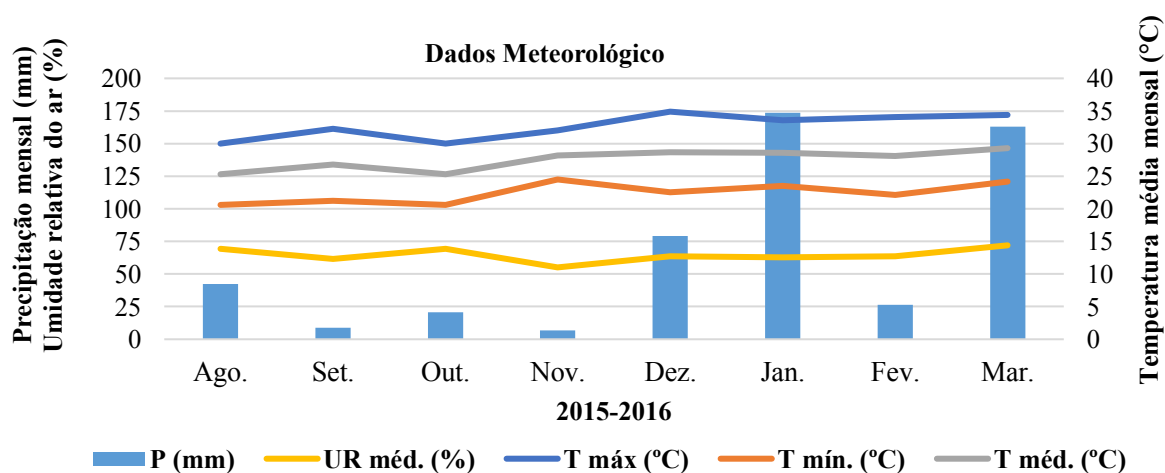
Figura 2- Taxa de infiltração básica e infiltração acumulada do solo da área de estudo na Estação Experimental do IPA Vitória de Santo Antão -PE, 2015/2016.



2.2 Caracterização climática durante o experimento

O clima, conforme Alvares et al. (2013), é tropical chuvoso com verão seco As, precipitação média anual de aproximadamente 1309,9 mm, temperatura média ambiental de 27,1°C e evapotranspiração potencial de 1.100 mm. Durante o experimento a média de temperatura variou entre 25,3 a 29,3 °C, conforme pode-se observar na Figura 3.

Figura 3- Dados da precipitação acumulada para cada mês, média da umidade relativa e das temperaturas máxima, mínima e média, registrados durante o período experimental.



Fonte: Estação Experimental do IPA- Vitória de Santo Antão- PE.

2.3 O delineamento experimental e tratamento

O experimento foi instalado em delineamento em blocos causalizados, constituído por quatro genótipos de sorgo de aptidão forrageiro, quatro de sacarino, duas de duplo propósito e

duas de progênie (Tabela 2) com três repetições totalizando 36 parcelas experimentais. Os tratamentos são formados pelos grupos aptidões.

Tabela 2- Características agronômicas das cultivares e progênies utilizada no presente estudo cultivadas, em Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.

Genótipos	AMP (cm)	PMV (Mg ha ⁻¹)	°Brix (%)	Aptidão	FL (Nº dias)	Cultivar ou progênies
SF-11	180 a 200	40 a 60	15 a 20	Forageiro	95	Cultivar
IPA 8602600	--	---	---	Forageiro	---	Cultivar
T17-389-5-1 x 1158	--	---	---	Forageiro	---	Cultivar
IPA SF 25	--	---	---	Forageiro	---	Cultivar
BRS 506	300 a 330	40 a 60	15 a 22	Sacarino	75 a 85	Cultivar
BRS 508	320	50 a 70	18 a 22,9	Sacarino	67 a 77	Cultivar
BRS 509	300	60 a 80	18	Sacarino	70 a 75	Cultivar
BRS 511	300	60 a 80	21,9	Sacarino	61 a 74	Cultivar
SF15	250 a 350	40 a 60	--	Duplo propósito	90 a 100	Cultivar
T07 Ca92 04 Ca2000	--	---	---	Duplo propósito	---	Cultivar
THEIS x 2502	--	---	---	---	---	Progênie
BRS 506 x 2502	--	---	---	---	---	Progênie

Fontes (IPA e EMBRAPA). AMP. =altura média de plantas, PMV= produção de massa verde, °Brix =teor de sólidos solúveis totais, FL= florescimento número de dias.

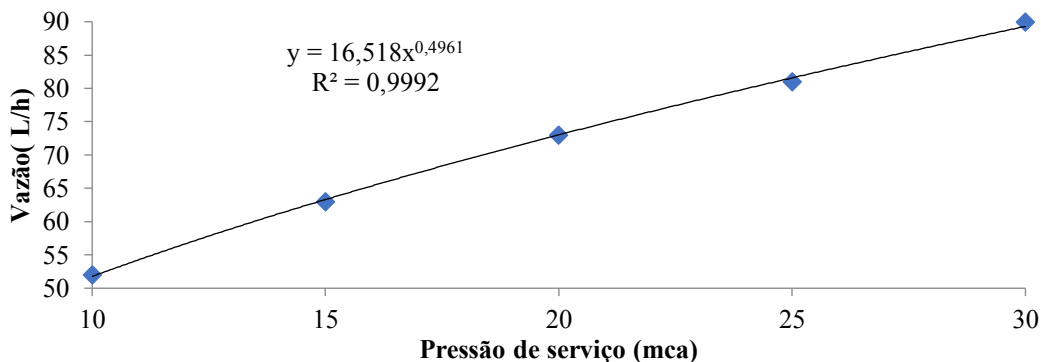
Cada parcela foi constituída por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas por 0,8 m. A área total de cada parcela experimental ficou em 19,20 m², a útil, desprezando-se 0,5 m de bordadura em cada lado das duas linhas centrais e desprezando as duas linhas laterais, passou a ter 8,0 m². A densidade foi mantida em 15 plantas por metro linear, após o desbaste.

2.4 Irrigação das plantas

2.4.1 Caracterização do sistema de irrigação

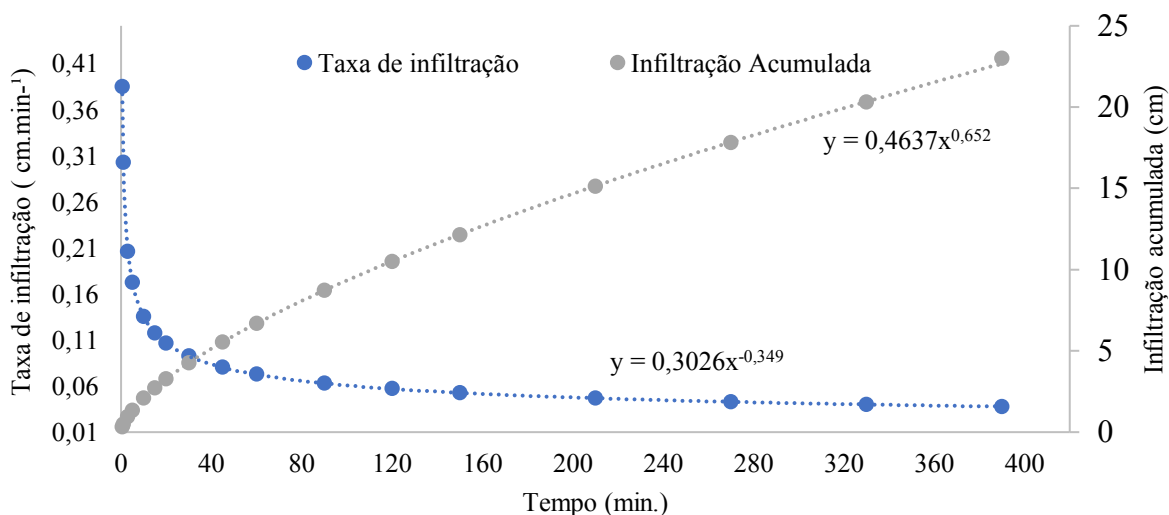
A irrigação da área experimental foi realizada pelo método localizado, utilizando-se sistema de microaspersão, com layout dimensionado para haver sobreposição da área molhada dos emissores, visando a aplicação de lâminas uniformes à superfície do solo. A linha principal ficou em declive e as linhas laterais dispostas nas curvas de nível do terreno. Foram utilizados microaspersores sem compensação de pressão Amanco®, de bocal amarelo e diâmetro molhado igual a 6,6 m, vazão de 71,54 L h⁻¹ para uma pressão de serviço de 19,2 mca (Figura 4), gerando uma intensidade de aplicação de 5,9 mm h⁻¹, para espaçamento de 3,5 m x 3,5 m.

Figura 4- Curva vazão pressão do microaspersor Amanco® utilizado na área experimental, cultivada com 20 genótipos de sorgo em Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Também foi realizado o ensaio de infiltração (Figura 5) de água no solo para determinar o emissor com intensidade de aplicação de água compatível à velocidade de infiltração básica (VIB) e assim manejar a aplicação de água para impedir a ocorrência de escoamento superficial de água no solo, o método adotado foi o de Kostiakov (PRUSKI et al., 1997; NUNES et al., 2012). Com a realização do teste de infiltração constatou-se uma VIB de 3,64 cm h⁻¹ sendo considerado um solo com uma taxa de VIB muito alta, conforme Bernardo et al (2006).

Figura 5- Taxa de infiltração básica e infiltração acumulada do solo da área de estudo na Estação Experimental do IPA Vitória de Santo Antão -PE, 2015/2016.



A avaliação do sistema seguiu o método proposto por Keller e Karmeli (1975), com o coeficiente uniformidade de distribuição (CUD) de 96% e pressão (CUP) de 96,2 % classificados como excelente.

2.4.2 Manejo de água

O esgoto, não tratado, foi bombeado do Rio Tapacurá para o açude da Estação (Figura 6). A captação ocorreu no período chuvoso de junho a agosto de 2015, período no qual ocorreu uma melhoria da qualidade do efluente visto ao maior fator de diluição no período chuvoso, quando comparado ao seco. Essa maior diluição promoveu redução na concentração da matéria orgânica e das concentrações de sais solúveis, em função do aumento do volume de água proveniente da precipitação. Nesse Rio é lançado continuamente resíduos de fontes domésticas, industriais e de processos agrícolas, logo a composição é bastante variável.

Figura 6- Vista panorâmica da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco Vitória de Santo Antão.



Fonte: Google Earth, adaptado: Oliveira, (2019).

O manejo quantitativo da irrigação seguiu o modelo matemático proposto por Linacre (1977) (Equação 1). Os dados meteorológicos, para alimentar o modelo, foram monitorados na Estação meteorológica do IPA.

$$E_{to} = \frac{\left\{ \frac{500 \cdot T_m}{(100 - \phi)} + 15 \cdot (T - T_d) \right\}}{(80 - t)} \text{ eq(1)}$$

Em que:

E_{To} - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

$T_m = T_a + 0,006z$;

z = altitude em m;

T_a = temperatura média do ar em ($^{\circ}\text{C}$);

\varnothing = latitude local em módulo e graus;

T_d = temperatura do ponto de orvalho em ($^{\circ}\text{C}$).

Em função da evapotranspiração de referência, calculado pelo método de Linacre, foi determinada a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) tomando como base o boletim 56 da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) (ALLEN et al., 1998). O turno de rega foi dirimente.

Foram realizadas cinco coletas de água residuária utilizada na irrigação conforme as coletas de solo supracitada (Tabela 3). Essas coletas ao longo do tempo objetivaram monitorar as características físicas e químicas do efluente principalmente os parâmetros voltados à salinidade. As mesmas foram encaminhadas e analisadas pelo Laboratório de Análise de Planta, Ração e Água - LAPRA do IPA.

Tabela 3- Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação usada no período experimental, de cinco coletas, no cultivo de 12 genótipos de sorgos em Vitória de Santo Antão-PE.

Parâmetros	Média	Desvio padrão
Cor Aparente uH ²	86,7	22,1
Turbidez (uT)	11,6	3,5
Condutividade Elétrica (dS.m^{-1})	0,76	0,08
pH	7,3	0,4
Sólidos Totais Dissolvidos (mg. L^{-1})	413,8	86,4
Alca. de Hidróxidos em CaCO_3 (mg. L^{-1})	0,0	0,0
Alca de Carbonatos em CaCO_3 (mg. L^{-1})	0,0	0,0
Alca. em Bica. em CaCO_3 (mg. L^{-1})	200,7	74,1
Alca. Total em CaCO_3 (mg. L^{-1})	200,7	74,1
Dureza Total em CaCO_3 (mg. L^{-1})	112,7	12,5
Cálcio em Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	1,13	0,20
Magnésio em Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	1,14	0,15
Sódio em Na^+ ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$)	4,68	0,83
Potássio em K^+ (mg. L^{-1})	7,3	1,0
Cloreto em Cl^-	142,0	13,9
Sulfato em SO_4^{2-} (mg. L^{-1})	10,0	5,2
RAS	4,40	0,75
Classificação	C2S1	

Fonte: LAPRA-IPA (2015) Alca. = Alcalinidade; pH= Potencial hidrogeniônico; Bica. = Bicarbonato; CaCO_3 = Carbonato de cálcio; RAS= Razão de adsorção de sódio.

2.5 Descrição e condução da cultura

2.5.1 Preparo do solo

A área experimental foi limpa por meio da operação de roçagem mecanizada. Posteriormente à limpeza, foi realizado o preparo do solo de forma convencional, com uma aração e duas gradagens, com o objetivo de uniformizar ao máximo o solo para a semeadura.

2.5.2 Semeio, desbaste, replantio e capinas

A semeadura foi realizada de forma manual, colocando-se de 20 a 25 sementes por metro linear a uma profundidade de 5,0 cm. As sementes foram fornecidas pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA. Aos 15 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste das plantas, com o intuito de padronizar a população de planta por metro linear. Nas parcelas em que a germinação foi falha, foi feito um replantio de forma a totalizar 12 plantas por metro linear. Foram realizadas capinas manuais na área a cada 25 dias na planta, e na soca, a cada 30 dias para controle das ervas daninhas, até que a cultura não mais sofresse interferência em seu desenvolvimento.

2.5.3 Adubação

A adubação de fundação foi realizada no dia da semeadura quando se aplicou todo o potássio e fósforo e 2/3 do nitrogênio. A adubação de cobertura foi realizada aos 35 dias a semeadura. No segundo ciclo foram aplicados 2/3 do quantitativo de fertilizantes aplicado no primeiro ciclo. A adubação foi realizada aos 25 dias depois da rebrota, conforme o Manual de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008), para a cultura do sorgo, baseado na análise do solo.

2.5.4 Manejo fitossanitário

O controle fitossanitário da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, foi realizado em duas aplicações espaçadas em 15 dias com Engeo Pleno da Syngenta®. Também foi realizado o controle de formigas cortadeiras com a utilização de formicida MIREX-S, aplicado antes da semeadura e nos primeiros 15 dias após a semeadura e na rebrota, respectivamente.

2.6 Variáveis analisadas

2.6.1 Tocas Gasosas

Foram selecionadas, aleatoriamente, quatro plantas por parcela experimental e amostram-se as folhas 3+, fisiologicamente maduras, para a determinação periódica das trocas gasosas. As leituras foram realizadas no estágio de prefloração (Figura 7A) e grão leitospastoso (Figura 7B) nos dois ciclos produtivos. Nas medições foi utilizado um analisador de gás no infravermelho (IRGA, modelo LI 6400 XT) sob radiação fotossinteticamente ativa mantida em $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As principais variáveis avaliadas foram: taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Figura 7- Sorgo irrigado com água residuária na fase fenológica de prefloração (A) e na fase de grão leitospastoso, Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Fonte: Oliveira (2019).

2.6.3 Parâmetros Físico-químicos do Solo

As coletas dos solos para obtenção dos extratos de saturação e determinação da matéria orgânica foram realizadas, sempre na parte central da parcela experimental conforme destacado na Figura 8, na profundidade de 20 cm, em cinco períodos: logo após a semeadura; na

prefloração e no estágio de grão pastoso no primeiro e segundo ciclo produtivo. Ao todo coletaram-se 180 amostras de solo.

Figura 8- Destaque do local da coleta das amostras de solos na parcela experimental de sorgos irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Fonte: Oliveira (2019).

A extração da solução do solo seguiu o método de Teixeira et al. (2017). Pesaram-se 700 g de solo aos quais foram adicionados inicialmente 25 ml de água, por ser um solo arenoso. Após a homogeneização foi acrescentada água, gradativamente, até a massa do solo apresentar aspecto brilhante ou espelhante. A amostra permaneceu em repouso durante 24 horas. Decorrido esse tempo, verificou-se se a massa do solo apresentava excesso ou falta de água; no primeiro caso adicionava-se mais 50g de terra fina e repetia a operação de saturação; no segundo caso adicionava-se mais água até a saturação. Posteriormente a pasta saturada foi transferida para um funil de Buckner contendo papel de filtro e adaptado a um kitasato sob sucção para coleta do filtrado. O filtrado foi utilizado para determinação da condutividade elétrica e concentração de sódio e potássio. A medição da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo foi realizada em condutímetro de bancada com compensação automática de temperatura modelo

CG2500 Gehaka®. A determinação dos teores de Na⁺ e K⁺ foi realizada utilizando-se fotômetro de chama modelo DM-62.

O teor de matéria orgânica foi estimado com base no teor de carbono orgânico do solo, em cada uma das amostras utilizadas, seguiu-se o método descrito por Teixeira et al. (2017).

2.6.4 Variáveis de Produção dos genótipos

Produtividade total de massa verde – Colheram-se todas as plantas da área útil, na fase de grão pastoso, e pesou-se em balança de campo. Os resultados em kg/parcela de massa verde foram extrapolados para Mg ha⁻¹.

Produtividade de massa seca- Do material colhido, na área útil, foram separadas cinco plantas e pesadas. Essas plantas foram divididas em panícula, folhas e colmos, e pesadas novamente. Em seguida o material foi transferido para a estufa de circulação forçada de a 65°C por 72 horas ou até atingir peso constante (BOARETTO et al., 1999), para a determinação do peso seco. De posse dos dados de massa e espaçamento foram extrapolados os resultados para a produção por hectare, o procedimento foi o mesmo para os dois ciclos produtivos.

2.7 Análise estatística

Os dados relacionados a produtividade de massa fresca e seca total, do colmo, da folha e panícula, taxa de assimilação líquida de CO₂, eficiência instantânea de carboxilação, transpiração, condutância estomática sódio, potássio, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, potencial hidrogeniônico e teor de matéria orgânica foram analisados a partir do teste de F e o de comparação de média pelo de Scott-Knott, no Minitab 18 e os gráficos foram gerados no Excel. As comparações das médias relacionadas às plantas foram feitas entre os tipos de sorgo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie, já os dados de solo, a comparação deu-se entre as coletas. Com relação a análise de componentes principais (ACP) os dados obtidos foram padronizados, subtraindo-se a média e dividindo-se pelo desvio padrão, de modo a remover a influência da unidade de medida das variáveis. A padronização e a análise foram feitas no Minitab 18 e os gráficos foram gerados no Origin 8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de água residuária resultou em diferença estatística nas variáveis de produção dos tipos de sorgo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie tanto na planta como na soca, conforme observa-se na Tabela 4.

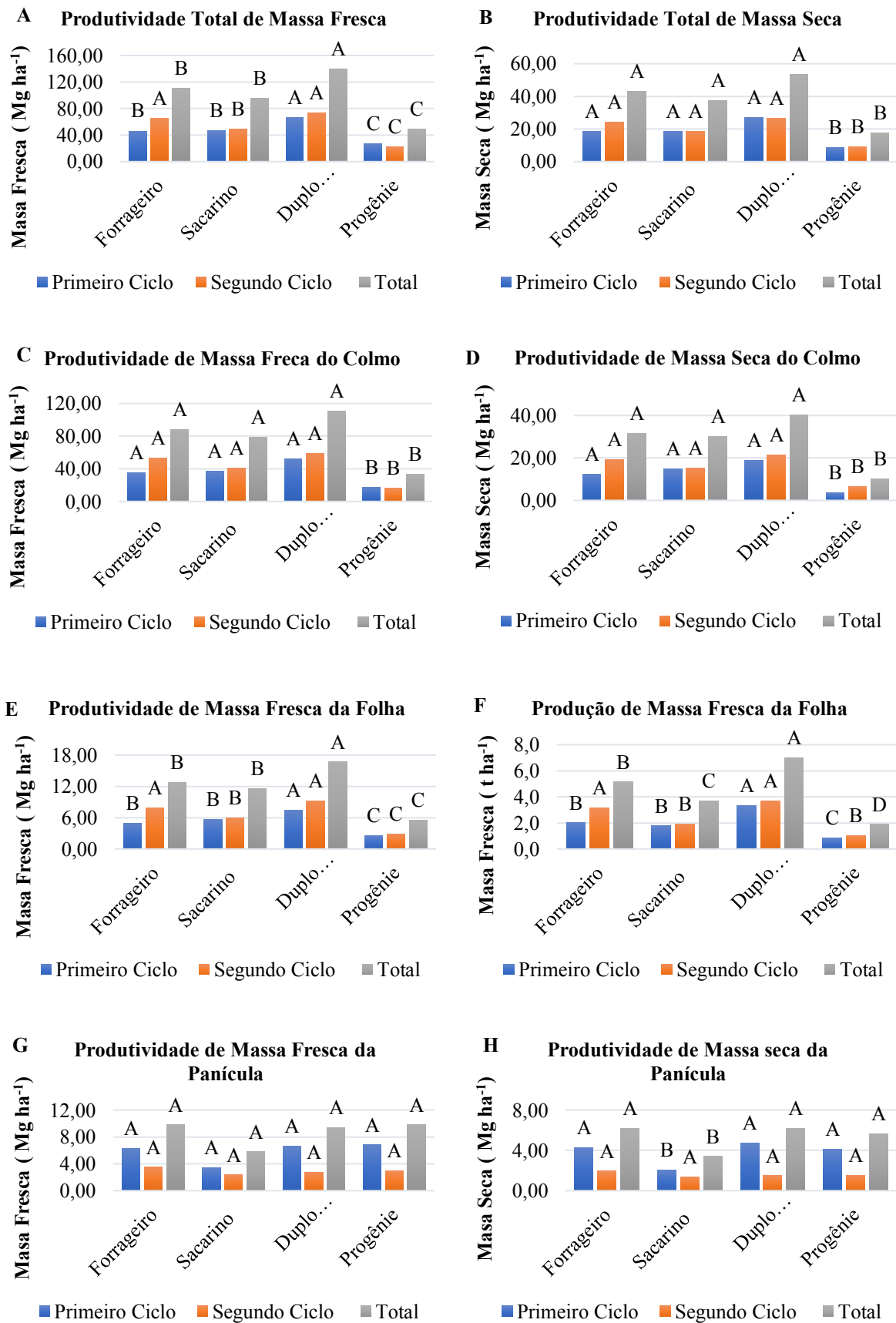
Tabela 4- Resumo da análise de variância para a massa fresca da planta (MFP), da soca (MFS) e total (MFT); massa seca da planta (MSP), da soca (MSS) e total (MST); massa fresca do colmo planta (MFPC), do colmo soca (MFCS) e do colmo total (MFCT); massa seca do colmo planta (MSCP), do colmo soca (MSCS) e do colmo total (MSCT); massa fresca da folha da planta (MFFP) e da folha total (MFFS); massa seca da folha planta (MSFP), da folha soca (MSFS) e folha total (MSFT); massa fresca da panícula planta (MFPP), da panícula soca (MFPS) e da panícula total (MSPT); massa fresca da panícula seca (MFPS) e da panícula total (MFPT); e massa seca panícula planta (MSPP), da panícula soca (MSPS) e panícula total (MSPT). Essas variáveis foram obtidas de 12 genótipos de sorgo irrigados com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM					
		MFP	MFS	MFT	MSP	MSS	MST
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	4657**	10227**	27062**	1031**	404**	1408*
Resíduo	30	4500	9767	24722	1688	51	172
Total	35						
CV%		26,6	30	28,2	36	35	34,2
		MFPC	MFCS	MFCT	MSCP	MSCS	MSCT
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	1220**	2406**	6543**	264*	280,77*	100*
Resíduo	30	140	9767	7422	56	47	51
Total	35						
CV%		32,1	36,4	34	35	31	44
		MFFP	MFFS	MFFT	MSFP	MSFS	MSFT
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	24*	150**	396**	19**	29**	91**
Resíduo	30	2,8	129	749	12	24	65
Total	35						
CV%		32	31	27,6	33,1	36,8	33,2
		MFPP	MFPS	MFPT	MSPP	MSPS	MSPT
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	78*	8,16 ^{ns}	124 ^{ns}	43*	2,24 ^{ns}	58*
Resíduo	30	201	99	510	95	32	142
Total	35						
CV%		41,2	32,3	41,5	42,7	40	42,5

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns – Não significativo.

Na Figura 6 estão dispostos os dados da produtividade de massa fresca e seca total, colmo, folha e panícula do sorgo tipo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie irrigados com água residuária em dois ciclos produtivos.

Figura 9- Produtividade da planta, soca e a soma dos dois ciclos dos sorgos forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie, irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE.



No primeiro ciclo de cultivo verificou-se que as plantas de sorgo do grupo forrageiro e duplo propósito apresentaram uma produtividade de massa fresca significativa ($p < 0,05$) em comparação com as demais. Em relação ao segundo ciclo, os tipos de sorgo que apresentaram incremento na produtividade em comparação ao primeiro foram o forrageiro e a progênie com aumento de 33,04%, e 5,25%, respectivamente para a MSS (Figura 9B). Uma das razões que explica o incremento na produção é o estabelecimento do sistema radicular o que promoveu uma maior exploração de volume de solo aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e água pelas raízes, bem como a capacidade de emitir afixos. Gomide; Gomide (2000) destacaram que o potencial de produção de fitomassa das plantas forrageiras pertencentes a família *Poaceae* decorre da contínua emissão de folhas e perfilhos, processo importante na restauração da capacidade fotossintética das plantas após o corte ou pastejo, e a eliminação da gema apical das plantas promove brotações a partir do desenvolvimento de gemas basais ou laterais, dando origem a novos perfilhos. Como o sorgo foi irrigado com água residuária o aumento pode ser atribuído principalmente à disponibilidade de nutrientes, principalmente o nitrogênio que são os fatores críticos responsáveis por melhorar o crescimento das plantas (ZEMA et al., 2012).

Já nas plantas dos grupos sacarino e duplo propósito constatou-se tendência inversa com redução de 0,7% e 2,32%, respectivamente na MSS (Figura 10), do primeiro para o segundo ciclo, no entanto essa redução foi baixa quando comparada às relatadas pela literatura. Silva et al. (2017) avaliaram a produtividade das variedades sorgo crioulo e BRS ponta negra, ambos forrageiros no primeiro corte e rebrota, e observaram uma redução de 12,44% da cultivar crioulo e 21,59% do BRS ponta negra na produção de MST em relação ao primeiro corte.

Conforme relatados por alguns autores, materiais genéticos forrageiros rendem em média 40-60% do primeiro corte (GOMIDE et al., 1987; BORGES et al., 1997; MAGALHÃES et al., 2003; VON PINHO et al., 2007). Porém, a capacidade de rebrota do sorgo está condicionada com as características genéticas da cultivar e das práticas de manejo adotadas, principalmente da disponibilidade hídrica e nutricional. Simplicio et al. (2016) estudaram diferentes cultivares de sorgo irrigado, submetidos a quatro cortes sucessivos no semiárido alagoano, e constataram que as variedades de sorgo forrageiro sob irrigação apresentaram elevado vigor de rebrota e, conseqüentemente, maiores produtividades de massa verde e seca total.

Guimarães et al. (2018) compararam o uso de água de esgoto doméstico tratado, água de poço e sua mistura em partes iguais no crescimento e produção da rebrota de três cultivares

de sorgo, IPA2502, BRS 506 e BRS Ponta Negra, observaram que o uso de água de esgoto misturada com água de poços na produção da primeira soqueira de sorgo, sem aplicar nenhuma outra fonte de nutriente, aumentou em mais de 20% o rendimento do sorgo. Campi et al. (2016) realizaram um experimento para determinar a produção de biomassa produzida pelo sorgo irrigado com água doce e águas residuárias tratadas em duas safras, e constataram uma maior eficiência na produção de biomassa seca nas plantas irrigadas com água residuária e também uma produção significativa na segunda safra.

Analisando separadamente a composição física da planta, nota-se que ocorreu uma redução em todos os tipos de sorgo para a produção da massa seca da panícula (MSP) quando se compara os resultados mensurados no segundo aos verificados no primeiro ciclo. Para o tipo forrageiro a redução foi de 54,11%, para o sacarino 32,51%, o duplo propósito 68,78% e a progênie de 62,71%, (Figura 9H). Denota-se que a causa da redução da MSP não foi devido aos efeitos dos sais presente na água residuária utilizada na irrigação porque, de forma geral, a condutividade elétrica da água situou-se no intervalo de $0,76 \pm 0,08 \text{ dS m}^{-1}$ a $0,8459 \text{ dS m}^{-1}$, (Tabela 3) e não atingiu a salinidade limiar da cultura sorgo que é de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ conforme constatado por Ayers e Westcot, (1999). Todos os tipos de sorgo priorizaram a produção de massa vegetativa à reprodutiva, isso se deu, possivelmente, devido ao aporte de matéria orgânica (MO), via água residuária, e com a sua mineralização maior liberação de nitrogênio proporcionando que a planta alocasse mais energia na produção de folha e colmo.

As aplicações sucessivas de água residuária via microaspersão, influenciaram significativamente ($p < 0,05$) os parâmetros físicos e químicos do solo (Tabela 5).

Tabela 5 -Resumo da análise de variância das variáveis: concentrações de sódio (Na^+) e potássio (K^+) solúvel, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe), potencial hidrogeniônico e matéria orgânica. Obtidas em solo cultivado com 12 genótipos de sorgos, em Vitória de Santo Antão-PE.

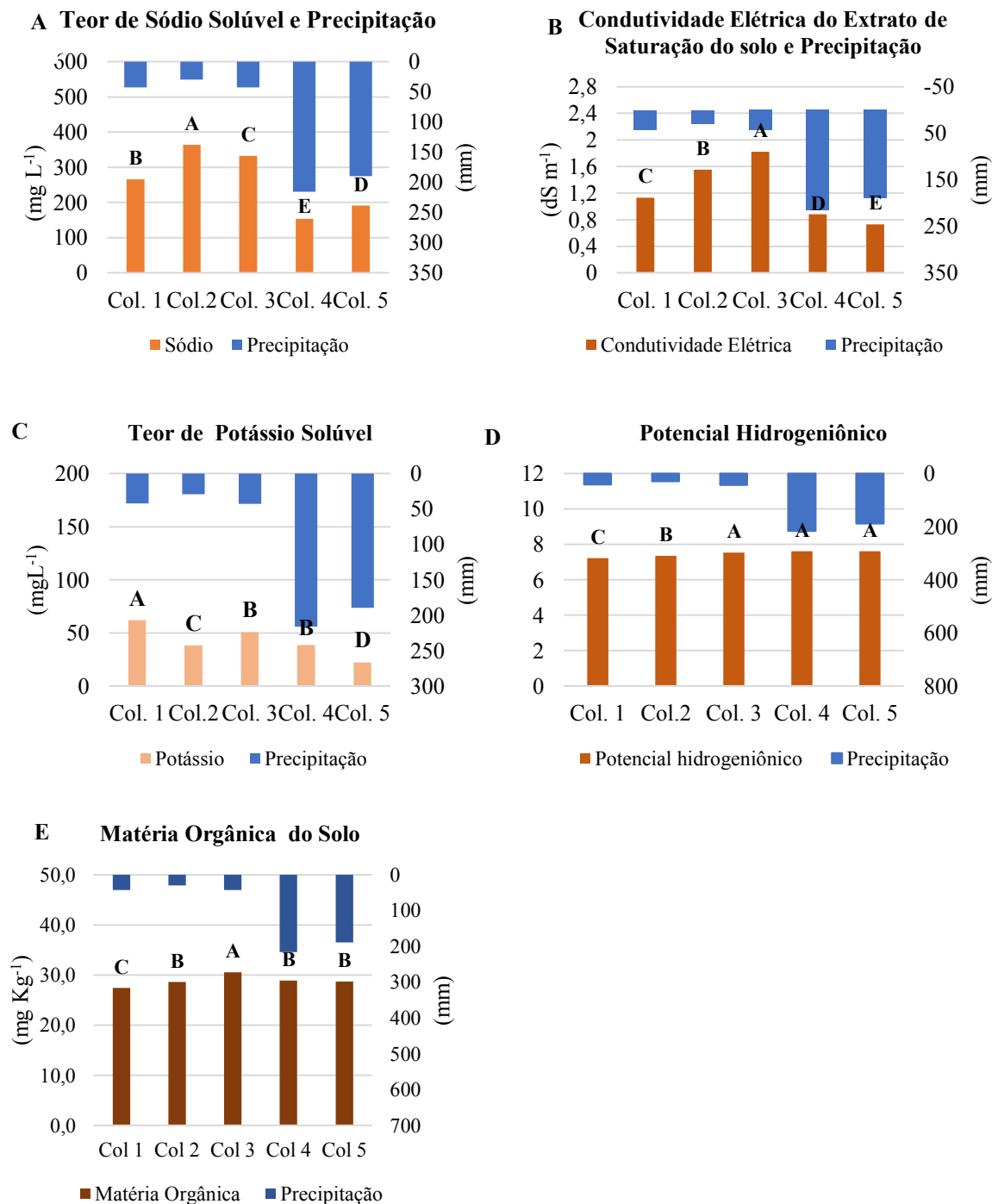
FV	GL	QM				
		Na^+	K^+	CEe	pH	MO
Bloco	2	---	---	---	---	---
Tratamento	4	288521,29**	7816,83**	7,50**	0,94**	6,45**
Resíduo	173	1839,57	186,62	0,09	0,05	0,28
Total	179					
CV%		16,2	32,3	24,2	2,3	2,8

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A aplicação de água residuária no solo aumenta o aporte de alguns íons, a exemplo do sódio. Nesse estudo foi constatado um incremento significativo ($p < 0,01$) na concentração desse íon no solo em função do tempo (Figura 10 A). O aumento entre a primeira coleta e a segunda foi de 36,97%. Nesse contexto é importante ressaltar que o excesso de sódio na água de

irrigação, dependendo da estrutura do solo, teor de matéria orgânica e nível de cobertura, pode diminuir a permeabilidade desse solo, reduzindo o processo de infiltração de água e sua absorção pela planta bem como causar toxidez e reduzir a produção. Posteriormente observa-se uma redução significativa da concentração de sódio entre as coletas a partir da segunda. Isso foi devido aos eventos de chuvas que se sucederam e que promoveram a lixiviação dos íons o que resultou em uma concentração de sódio final no solo, inferior ao início do experimento.

Figura 10- Evolução do teor de sódio e potássio solúvel, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e potencial hidrogeniônico do solo irrigado com água residuária e cultivado com sorgo, Vitória de Santo Antão- PE.



Col.1= coleta 1; Col. 2= coleta 2; Col.3= coleta 3; C

Col.1= coleta 1; Col. 2= coleta 2; Col.3= coleta 3; Col. 4= coleta 4; Col.5 = coleta 5.

Dessa forma, as plantas do segundo ciclo ficaram expostas a uma menor concentração de sódio em relação as do primeiro. Outros autores observaram um aumento na concentração de sódio, Urbano et al. (2015) que avaliaram a passagem de água de reúso de esgoto doméstico pelo Latossolo Vermelho distrófico em cinco ciclos de cultivo de alface constataram o aumento do sódio com tendência à salinização, mas não observaram danos às propriedades físicas do solo; Nascimento e Filho (2015) avaliando o efeito do uso de águas residuárias nas variáveis de crescimento e de produção do algodoeiro, também observaram um incremento no teor de sódio no solo no final do experimento de 812,9% proporcionado pela irrigação com água residuária. Os autores também não constataram problema de toxidez durante o experimento.

A estimativa da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), geralmente, reflete a extensão da salinidade do solo. Esse parâmetro é bastante sensível às alterações da dinâmica de íons acarretada pela aplicação de água residuária no solo. A irrigação com água de reúso propiciou o aporte de íons resultando em incremento à CEes de forma significativa ao longo do tempo (Figura 10B). Nota-se que a taxa incremental da CEes tendeu a linearidade entre a primeira e terceira coleta conforme a Figura 10B, também decresceu significativamente com o aumento da precipitação e lixiviação dos íons. Adrover et al. (2017), Dahmouni et al. (2019) e Ahmad et al. (2020) investigaram as propriedades químicas e biológicas de solos irrigados com águas residuais tratadas e águas subterrâneas salinas, em termos de variação sazonal, e constataram valores significativamente maiores durante o período de irrigação do que no período chuvoso. Esses dados corroboram com os encontrados no presente estudo.

Os teores de potássio solúvel foram bastante variáveis em função do tempo mesmo a água de irrigação tendo uma concentração média de 7,3 mg L⁻¹, a tendência de redução, na camada de 0-20 cm, foi significativa (Figura 10C). Essa redução se deu devido a maior capacidade de extração do nutriente pela planta e pela lixiviação com os eventos de precipitação. Doblinski et al. (2010) que avaliaram a lixiviação de nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do feijão irrigado com água residuária, verificaram que a mobilidade no perfil do solo foi maior para o potássio, seguido do nitrogênio e do fósforo. Freitas et al. (2004) e Melo et al. (2006) observaram que a textura do solo influenciou a retenção dos cátions potássio, sódio, cálcio e magnésio em solo argiloso, em relação ao solo arenoso e franco-arenoso. Isso ratifica

os resultados encontrados para a progressiva redução na concentração de sódio e potássio com o aumento da precipitação, visto que as plantas foram cultivadas em um solo franco-arenoso.

O pH também tendeu a aumentar significativamente com a aplicação de água residuária no solo não tendo mais diferença significativa ($p > 0,05$) a partir da terceira coleta (Figura 10D). O incremento no pH se deu, possivelmente, devido a contribuição da mineralização da MO e liberação de cátions. Jahany; Rezapour (2020) avaliaram os impactos da aplicação de água residuária tratada nos atributos químicos do solo, e também observaram um incremento consistente do pH. Os autores atribuíram o aumento aos processos associados às cargas da MO, incluindo a mineralização de carbono, liberação íons OH^- e a adição de cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ provenientes da água residuária.

Esses resultados estão validados por pesquisadores que, anteriormente, constataram a influência da a água residuária sobre o pH do solo (AYDIN et al. 2015; SAHAY et al., 2019; JAHANY e REZAPOUR, 2020). Khai et al. (2008) afirmaram que o pH das águas residuais aplicadas afetou o pH do solo a longo prazo e, conseqüentemente, o pH do solo influenciou a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes e a mineralização da matéria orgânica. Regelink et al. (2015) encontraram uma correlação negativa consistente entre o pH do solo com a estrutura do solo, isto é, o pH alto do solo resulta na dissolução da matéria orgânica, na desintegração dos agregados do solo e aumento da extensão da compactação do solo.

Em relação a matéria orgânica (MO), a água residuária influenciou de forma significativa sua concentração no solo (Figura 10E). Observa-se entre a primeira coleta e a terceira coleta um aumento progressivo e, posteriormente uma redução e tendência a estabilização, ou seja, inicialmente a taxa de aporte era maior que a decomposição, posteriormente atingiu um equilíbrio dinâmico. O incremento da MO no solo resulta em vantagens por esta ser constituída de vários elementos essenciais às plantas como, por exemplo, o nitrogênio que é considerado um nutriente de alto valor econômico e de alta instabilidade no solo, tornando-se um dos fatores limitantes à produção agrícola. Desse modo, o aumento progressivo no teor de MO, possivelmente, implicou na disponibilidade de nitrogênio no solo, o que refletiu em uma maior produção vegetal no segundo ciclo e menor de panícula em comparação ao primeiro, em todos os tipos de sorgo (Figuras 10H, 9B e 9H). Duarte et al. (2008) destacam que a diminuição da concentração de MO pode estar relacionada à rápida mineralização em função da ação microbiana transformando o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável pela planta. Barreto et al. (2013) analisou as mudanças nos atributos

químicos de um solo irrigado com água residuária. Os resultados encontrados mostraram um aumento significativo dos teores de fósforo, cálcio, potássio e matéria orgânica, principalmente na camada superficial do solo.

O cultivo de sorgos com água residuária implicou em influências significativas sobre alguns parâmetros de trocas gasosas das plantas como taxa de assimilação líquida de CO₂ no primeiro corte, eficiência instantânea de carboxilação, transpiração e condutância estomática, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6– Resumo da análise de variância para a taxa de assimilação líquida (A), eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), transpiração (E) e condutância estomática (gs) de cultivares de sorgo, avaliadas no primeiro e segundo corte nas fases de prefloração e grão leitoso-pastoso e irrigadas com água residuária. Vitória de Santo Antão-PE, 2016.

FV	GL	QM					
		A1P	A2P	A1S	A2S	A/Ci1P	A/Ci2P
Bloco	2	---	---	---	---		
Tratamento	3	1268*	489**	260 ^{ns}	124 ^{ns}	0,25*	0,19**
Resíduo	30	2402	685	1255	989	0,52	0,33
Total	35						
CV%		31,1	19,7	18,61	18,29	34	37
		A/Ci1S	A/Ci2S	E1P	E2P	E1S	E2S
Bloco	2	---	---	---	---		
Tratamento	3	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}	48**	12 ^{ns}	8 ^{ns}	2 ^{ns}
Resíduo	30	0,83	0,32	136	63	44	75
Total	35						
CV%		32,65	29,83	33,79	23,2	16	21
		gs1P	gs2P	gs1S	gs2S		
Bloco	2	---	---	---	---		
Tratamento	3	0,08**	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}		
Resíduo	30	0,18	0,06	0,09	0,13		
Total	35						
CV%		36	23,4	22,66	26,1		

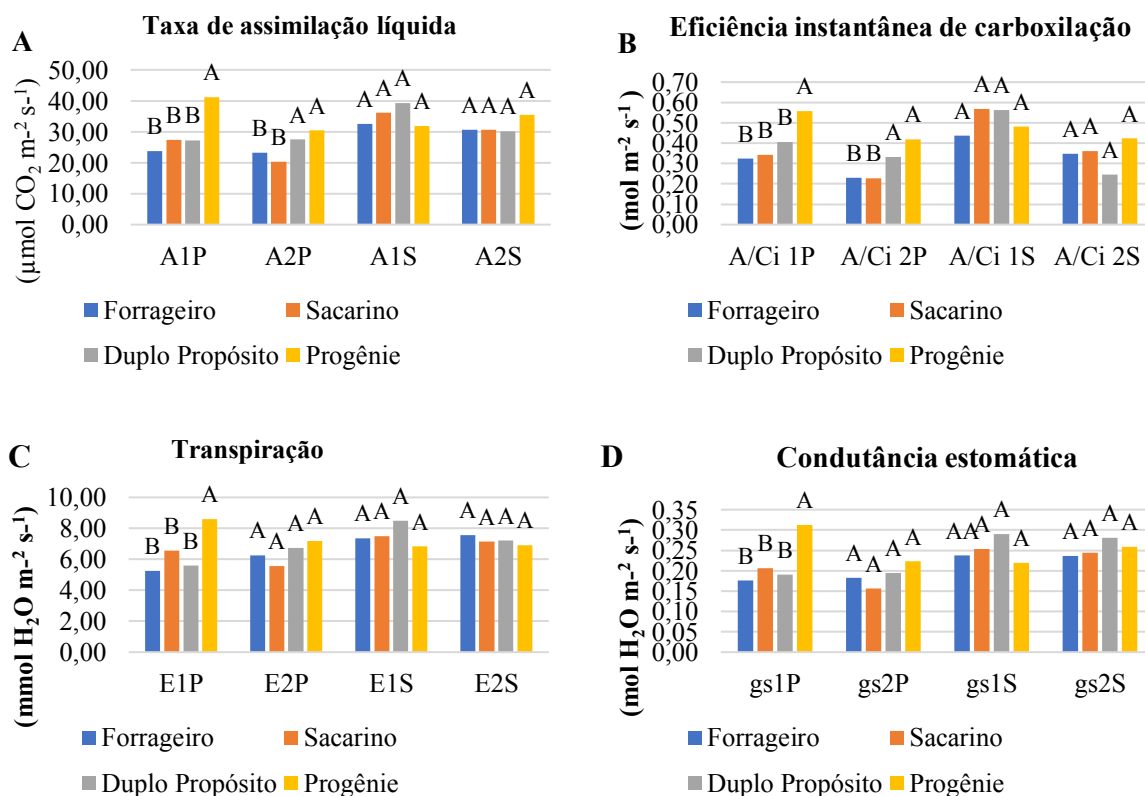
*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; NS – Não significativo. Taxa de assimilação líquida primeira leitura da planta (A1P), taxa de assimilação líquida segunda leitura na planta (A2P), taxa de assimilação líquida primeira leitura da soca (A1S), taxa de assimilação líquida segunda leitura na soca (A2S), eficiência instantânea de carboxilação primeira da planta (A/Ci1P), eficiência instantânea de carboxilação segunda da planta (A/Ci2P), eficiência instantânea de carboxilação primeira da soca (A/Ci1S), eficiência instantânea de carboxilação segunda da soca (A/Ci2S), transpiração primeira leitura da planta (E1P), transpiração segunda leitura da planta (E2P), transpiração primeira leitura da soca (E1S), transpiração segunda leitura da soca (E2S), condutância estomática primeira leitura da planta (gs1P), condutância estomática segunda leitura da planta (gs2P), condutância estomática primeira leitura da soca (gs1S) e condutância estomática segunda leitura da soca (gs2S).

Na primeira avaliação do primeiro corte, na fase de prefloração, as plantas da progênie apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) para a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) entre os demais tipos de sorgo e, na fase de grão leitoso-pastoso, foi semelhante às plantas do tipo duplo propósito ($p > 0,05$). Ainda no primeiro corte, de um modo geral, verificou-se que os valores de A foram maiores na fase de prefloração do que na fase grão pastoso leitoso. Esta

diferença chegou a 26,26% na progênie, mas também foi constatada nos dois cortes efetuados em todas as cultivares estudadas, com exceção das plantas progênie da soca (Figura 11A).

Isso ocorreu porque as plantas tendem a diminuir as trocas gasosas conforme vai se aproximando o estágio de senescência. Relacionando o primeiro ciclo com o segundo, em relação a A e a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), constata-se um aumento dos parâmetros que por sua vez é ratificado com o incremento da produção de massa seca total (Figura 9B). Essas alterações nas A e A/Ci estão relacionadas, provavelmente, com a própria dinâmica fisiológica da cultura, pois a introdução de íons em especial o sódio na solução do solo, por meio da água residuária, não foi o suficiente para causar alteração nas variáveis, visto não ter atingido a salinidade limiar do sorgo que é 4,5 dS m⁻¹ (Figura 10B). Caso não tivesse ocorrido os eventos de chuvas, certamente o nível de salinidade limiar seria atingindo, dado que na parcela experimental não tinha drenagem artificial e não era aplicada lâmina de irrigação superior a demanda hídrica da cultura.

Figura 11- Comparação das médias da taxa de assimilação líquida, eficiência instantânea de carboxilação, transpiração e condutância estomática de diferentes tipos de sorgo irrigados com água residuária e cultivado com sorgo, Vitória de Santo Antão- PE.



Taxa de assimilação líquida primeira leitura da planta (A1P), taxa de assimilação líquida segunda leitura na planta (A2P), taxa de assimilação líquida primeira leitura da soca (A1S), taxa de assimilação líquida segunda leitura na

soca (A2S), eficiência instantânea de carboxilação primeira da planta (A/Ci1P), eficiência instantânea de carboxilação segunda da planta (A/Ci2P), eficiência instantânea de carboxilação primeira da soca (A/Ci1S), eficiência instantânea de carboxilação segunda da soca (A/Ci2SP), transpiração primeira leitura da planta (E1P), transpiração segunda leitura da planta (E2P), transpiração primeira leitura da soca (E1S), transpiração segunda leitura da soca (E2S), condutância estomática primeira leitura da planta (gs1P), condutância estomática segunda leitura da planta (gs2P), condutância estomática primeira leitura da soca (gs1S) e condutância estomática segunda leitura da soca (gs2S).

Vários autores têm avaliado parâmetros como a fotossíntese, condutância estomática, entre outros parâmetros, para mensurar a resposta fisiológica da salinidade nas plantas (NIU et al., 2012; SANTOS et al., 2014; MONTEIRO et al., 2018). Coelho et al. (2018), por exemplo, avaliaram os efeitos de seis soluções com condutividade elétrica que variaram de 0,0; 2,5 até 12,5 dS m⁻¹ em dez genótipos de sorgo forrageiro, e constataram uma redução de 56,7% entre o controle e o tratamento mais severo para a taxa de assimilação líquida de CO₂. Já para condutividade de 2,5 dS m⁻¹ encontraram valores próximo a este estudo para a A.

Em relação à transpiração (E) e à condutância estomática (gs), as plantas do grupo de sorgo forrageiro, sacarino e duplo propósito apresentaram um aumento no segundo ciclo de produção em relação ao primeiro. O incremento na gs é importante porque os estômatos estão abertos permitindo não só a saída de água, fundamental para o controle da temperatura, como também a difusão do gás carbônico para o interior da folha, matéria prima da fotossíntese. Na literatura, o uso de águas residuais na irrigação está associado ao aumento do desempenho fotossintético e à transpiração das plantas (IQBAL et al., 2015; CORBEL et al., 2016; BEN HASSENA et al., 2018). Esse aumento geralmente está relacionado ao fato de que a água residuária é uma rica fonte de nutrientes e matéria orgânica (IQBAL et al., 2015 e AMAN et al., 2018), ou seja planta mais bem nutridas apresenta desempenho mais próximo do seu potencial produtivo.

Embora não exista um critério consensual sobre o número de componentes principais que devem ser extraídos da análise, Kaiser (1960) sugere a extração dos componentes com autovalor ≥ 1 . Já Hair et al. (2007) sugerem que o número de componentes extraídos represente uma variância acumulada de no mínimo 50% o que dá uma ideia aceitável da variância original. Na avaliação dos componentes para os dois ciclos produtivos foram atendidos os dois critérios (Tabela 7).

Tabela 7- Resultados dos autovetores que definem a direção dos eixos para as duas componentes principais e percentual de proporção e acumulado de cada componente, obtidas da análise de 28 variáveis padronizadas da cultura do sorgo, irrigado com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

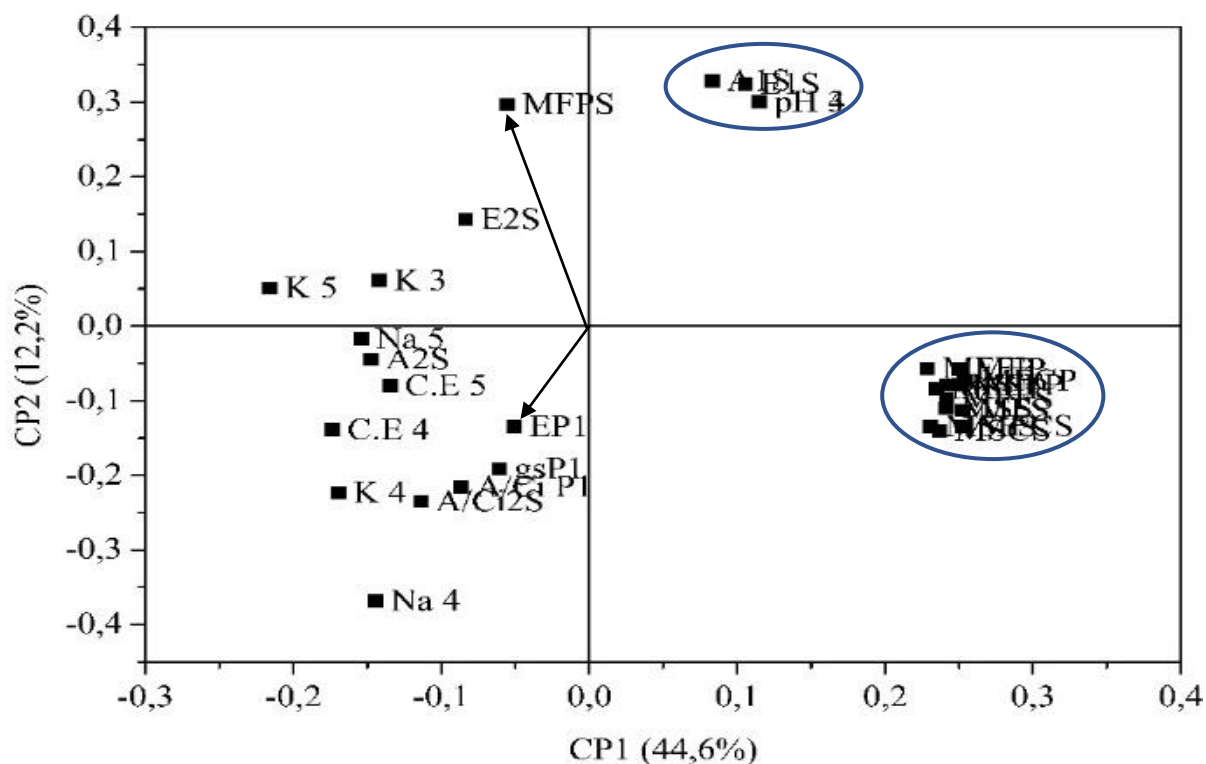
Variáveis	CP1	CP2	Variáveis	CP1	CP2
K 3	-0,142	0,061	MSCP	0,235	-0,085
pH 3	0,115	0,300	MSCS	0,237	-0,140
Na 4	-0,144	-0,368	MFFP	0,229	-0,057
K 4	-0,169	-0,223	MFFS	0,242	-0,098
C.E 4	-0,173	-0,139	MSFP	0,248	-0,080
pH 4	0,115	0,300	MSFS	0,230	-0,135
Na 5	-0,154	-0,018	MFPS	-0,055	0,297
K 5	-0,216	0,051	gsP1	-0,061	-0,191
C.E 5	-0,134	-0,080	EP1	-0,051	-0,135
MFTP	0,250	-0,058	A/Ci P1	-0,087	-0,216
MFTS	0,253	-0,113	A1S	0,083	0,328
MSTP	0,242	-0,079	E1S	0,106	0,324
MSTS	0,241	-0,11	A2S	-0,147	-0,045
MFCP	0,255	-0,073	E2S	-0,083	0,143
Autovalor	13,41	3,64	Autovalor	13,41	3,64
Proporção (%)	44,6	12,2	Proporção (%)	44,6	12,2
Acumulado (%)	44,6	56,8	Acumulado (%)	44,6	56,8

Legenda: K3= potássio 3ª coleta; pH3= potencial hidrogeniônico 3ª coleta; Na4= sódio 4ª coleta; K4=potássio 4ª coleta; C.E4= condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 4ª coleta; pH4= potencial hidrogeniônico 4ª coleta; Na5= sódio 5ª coleta; K5= potássio 5ª coleta; CE5= condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 5ª coleta; MFTP= massa fresca total da planta; MFTS= massa fresca total da soca; MSTP= massa seca total da planta; MSTS= massa seca total da soca; MFCP= massa fresca da colmo da planta; MSCP= massa seca do colmo da planta; MSCS= massa seca do colme soca; MFFP= massa fresca de folha panícula planta; MFFS= massa fresca de folha soca; MSFP= massa seca da folha planta; MSFS= massa seca da folha soca; gsP1= condutância estomática planta primeira leitura; EP1= taxa de assimilação de líquida de CO₂ primeira leitura da planta; A/CiP1= eficiência de carboxilação planta primeira leitura; A1S= taxa de assimilação líquida de CO₂ primeira leitura soca; E1S=transpiração primeira leitura soca; A2S= taxa de assimilação líquida de CO₂ segunda leitura soca; E2S= transpiração segunda leitura soca.

Observa-se que a primeira componente (CP1) foi responsável por 44,6% da variabilidade entre as amostras e a segunda (CP2) por 29,2%, totalizando 56,1% da variabilidade total dos dados. Os coeficientes que apresentaram maior contribuição na CP1 foram os relacionados à produção fotossintética (Tabela 7 e Figura 12) em destaque para a MFCP, MFTS, MFTP e MSFP, portanto essa componente pode ser denominada de massa fotossintética. Já em relação a CP2, os autovalores que apresentaram maior contribuição foram os relacionados as taxas de assimilação líquida, transpiração e a eficiência de carboxilação A1S, E1S e A/Ci P1, podendo ser denominada de trocas gasosas. Na análise de componentes principais, os autovetores variam de +1 a -1, e para cada componente, todas as variáveis têm um conjunto de autovetores correspondentes e quanto mais próximo de +1,0 ou -1,0 estiver o autovetor, mais importante é a variável para a componente. Silva et al. (2016) também encontraram valores altos para os

autovetores que representam as variáveis de MSC, MFC, MSF e MFF quanto testaram diferentes doses de condicionadores de solo no cultivo de milho.

Figura 12- Biplot dos autovetores correspondentes os dados de produção total e partes da planta, de parâmetros físico-químicos do solo e das trocas gasosas das cultivares de sorgo irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE.



K3= potássio 3ª coleta; pH3= potencial hidrogeniônico 3ª coleta; Na4= sódio 4ª coleta; K4=potássio 4ª coleta; C.E4= condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 4ª coleta; pH4= potencial hidrogeniônico 4ª coleta; Na5= sódio 5ª coleta; K5= potássio 5ª coleta; C.E5= condutividade elétrica do extrato de saturação do solo 5ª coleta; MFTP= massa fresca total da planta; MFTS= massa fresca total da soca; MSTP= massa seca total da planta; MSTS= massa seca total da soca; MFCP= massa fresca da colmo da planta; MSCP= massa seca do colmo da planta; MSCS= massa seca do colme soca; MFFP= massa fresca de folha panícula planta; MFFS= massa fresca de folha soca; MSFP= massa seca da folha planta; MSFS= massa seca da folha soca; gsP1= condutância estomática planta primeira leitura; EP1= taxa de assimilação de líquida de CO₂ primeira leitura da planta; A/CiP1= eficiência de carboxilação planta primeira leitura; A1S= taxa de assimilação líquida de CO₂ primeira leitura soca; E1S= transpiração primeira leitura soca; A2S= taxa de assimilação líquida de CO₂ segunda leitura soca; E2S= transpiração segunda leitura soca.

Quando plotado os autovetores no plano bidimensional gerado a partir das componentes principais CP1 e CP2 nota-se que as variáveis em destaques têm similaridade entre si (Figura 9), ou seja, coeficientes com o mesmo sinal são correlacionados de forma direta, positiva, entre si, quando com sinais diferentes, possuem uma correlação inversa, a exemplo, os autovetores relacionados a produção MFTP, MFTS, MSTP e todos demais apresentam similaridade, enquanto o autovetor MFPS apresenta uma relação inversa, quanto maior a produção de uma menor a do outro e vice-versa. O coeficiente de correlação é dado pelo cosseno do ângulo, portanto quanto

mais próximo o autovetor está de 90° menor é a sua correlação, a exemplo do MFPS e EP1, isto significa, que essas variáveis tendem a ser independentes.

4. CONCLUSÃO

- Os tipos de sorgo forrageiro, duplo propósito e sacarino apresentam incremento na produtividade de 28,7%, 10,1% e 5,5% respectivamente, em comparação ao primeiro corte.
- A maior produtividade de massa fresca e seca total da parte aérea 140,3 e 53,5 Mg ha⁻¹ respectivamente, é verificada nas plantas do sorgo do tipo duplo propósito.
- A taxa de assimilação líquida de CO₂ nas plantas de sorgo duplo propósito do segundo corte têm um aumento de 30,6% em detrimento às do primeiro corte.
- O reúso de água acrescenta em até 10,3% o teor de matéria orgânica no solo.

A variância total de 56,1% é explicada por duas componentes principais, na componente um os maiores pesos são dos autovetores relacionados a produção fotossintética, enquanto que a segunda são os ligados as trocas gasosas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADROVER, M. et al. Chemical properties and biological activity in soils of Mallorca following twenty years of treated wastewater irrigation. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p. 188–192, 2012.

ADROVER, M.; MOYÀ, G.; VADELL, J. Seasonal and depth variation of soil chemical and biological properties in alfalfa crops irrigated with treated wastewater and saline groundwater. **Geoderma**, v. 286, p. 54–63, 2017.

AHMAD, A. et al. Seasonal variations of soil phosphorus and associated fertility indicators in wastewater-irrigated urban aridisol. **Chemosphere**, v. 239, p. 1-12, 2020.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALYGIZAKIS, N. A. et al. Evaluation of chemical and biological contaminants of emerging concern in treated wastewater intended for agricultural reuse. **Environment International**, v. 138, n. February, p. 1-10, 2020.

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).

AMAN, M. S. et al. Assessing the effect of industrial wastewater on soil properties and physiological and nutritional responses of *Robinia pseudoacacia*, *Cercis siliquastrum* and *Caesalpinia gilliesii* seedlings. **Journal of Environmental Management**, v. 217, p. 718–726, 2018.

AYDIN, M. E. et al. Effects of long-term irrigation with untreated municipal wastewater on soil properties and crop quality. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 23, p. 19203–19212, 2015.

BARGOUGUI, L. et al. Agro-physiological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* in soil amended by olive mill wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 212, n.2018, p. 60–67, 2019.

BARRETO, A. N. et al. Changes in chemical attributes of a Fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 480–486, 2013.

BEN HASSENA, A. et al. Physiological improvements of young olive tree (*Olea europaea* L. cv. Chetoui) under short term irrigation with treated wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 207, n. January, p. 53–58, 2018.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9.ed. Viçosa: Editora UFV, 2019, 545 p.

BOARETTO, A. E.; CHITOLINA, J. C.; RAIJ, B. VAN; SILVA, F. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do (1999) Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. In: Silva, F.C. da (org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 49-73.

CAMPI, P. et al. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176–185, 2016.

COELHO, D. S. et al. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 231–236, 2018.

CORBEL, S. et al. Effects of repeated soil irrigation with liquid biological paper sludge on poplar *Populus alba* saplings: potential risks and benefits. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 21, p. 21584–21593, 2016.

COSTA, M. S. et al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, v.8 n. 1p. 12-26, 2012.

DA SILVA, T. I. et al. Produtividade de variedades de sorgo em diferentes arranjos populacionais em primeiro corte e rebrota. **Espacios**, v. 38, n. 27, p.16-37, 2017.

DAHMOUNI, M. et al. Spatio-temporal variability of hydrochemical parameters and heavy metals in shallow groundwater of the area of Cebala–Borj–Touil, irrigated with treated wastewater (Tunisia). **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 2, p. 1-14, 2019.

DOBLINSKI, A. F. et al. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 87–93, 2010.

DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo : pH , matéria orgânica , fósforo e potássio 1 Effects of application of treated wastewater in soil : pH , organic matter , phosphorus and potassium. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n. 19, p. 302–310, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Processamento industrial do sorgo sacarino**, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG, 2p., 2012.

FREITAS, W. DA S. et al. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 120–125, 2004.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese de Cultivares de Panicum maximum Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341–348, 2000.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Antioxidant Defenses of Irrigated Forage Sorghum With Saline Aquaculture Effluent. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 135–142, 2018.

HAIR, J. F. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Trad. Santanna, A. S.; Chaves Neto, A. Porto Alegre: Bookman, 2005, 679 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO-IPA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife, 2008, 212p.

IQBAL, S. et al. Comparative Effect of Wastewater and Groundwater Irrigation Along with Nitrogenous Fertilizer on Growth, Photosynthesis and Productivity of Chilli (Capsicum annuum L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 7, p. 1006–1021, 2015.

JAHANY, M.; REZAPOUR, S. Avaliação dos índices de qualidade de solos irrigados com águas residuais tratadas em ambiente semiárido calcário Palavras-chave. **Indicadores Ecológicos**, v. 109, p. 1–34, 2020.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141–151, 1960.

KELLER, J.; KARMELI D. **Trickle irrigation design. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing**, 1975.133 p.

KHAI, N. M. et al. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri - urban agricultural systems. **Journal of Science, Earth Sciences**, v. 24, n. May 2014, p. 87–95, 2008.

LADO, M. et al. Changes in Chemical Properties of Semiarid Soils under Long-Term Secondary Treated Wastewater Irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 4, p. 1358–1369, 2012.

LEVY, G. J. et al. Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. **Biosystems Engineering**, v. 128, p. 4–10, 2014.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, v.18, n.6, p.409-424, 1977.

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

MELO, R. F. DE et al. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo 1 Miscible displacement of basic cations from cassava processing wastewater in soil columns. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 456–465, 2006.

MONTEIRO, D. R. et al. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water TT - Fluorescência da clorofila a em sorgo sacarino irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 673–678, 2018.

MUSAZURA, W. et al. Nitrogen and phosphorus dynamics in plants and soil fertigated with decentralised wastewater treatment effluent. **Agricultural Water Management**, v. 215, n. January, p. 55–62, 2019.

NASCIMENTO, J. D. S.; FILHO, J. F. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p.

36–45, 2015.

NIU, G. et al. Growth and Physiological Responses of Maize and Sorghum Genotypes to Salt Stress. **ISRN Agronomy**, v. 2012, p. 1–12, 2012.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. Taxa De Infiltração Pelo Método Do Infiltrômetro De Anéis Concêntricos Em Latossolo Vermelho De Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, n. V.8, p. 1685–1692, 2012.

REGELINK, I. C. et al. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, v. 247–248, p. 24–37, 2015.

RODRIGUES, L. N. et al. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 55-67, 2009.

PRUSKI, F.; SILVA, D., SANTOS, W.; RODRIGUES, L.; ANTUNES, V. **Infiltração da água no solo**. Viçosa-MG: Engenharia na Agricultura, 1997.26 p.

SAHAY, S. et al. Waste water irrigation in the regulation of soil properties, growth determinants, and heavy metal accumulation in different Brassica species. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, 2019.

SANTOS, O. O. et al. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 203–212, 2014.

SILVA, R. DE A. et al. Características agronômicas de cultivares de milho verde submetidas a doses de Ribumin®. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 395–403, 2016.

URBANO, V. R. et al. Efeitos físico-químicos da irrigação com água de reúso em um Latossolo. **Revista Ambiente e Agua**, v. 10, n. 4, p. 738–747, 2015.

VON PINHO, R. G. et al. Produtividade e qualidade da silagem de milho e sorgo em função da época de semeadura. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 234–245, 2007.

ZEMA, D. A. et al. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. **Agricultural Water Management**, v. 115, p. 55–65, 2012.

CAPÍTULO III

Pigmentos fotossintéticos, relações hídricas e componentes agroindustriais de tipos de sorgo irrigados com água residuária

Pigmentos fotossintéticos, relações hídricas e componentes agroindustriais de tipos de sorgo irrigados com água residuária

RESUMO

O reúso de águas residuárias na agricultura não planejado pode implicar em problemas, visto que essas águas apresentam uma concentração de íons mais elevada que a potável. Podendo causar alteração nos parâmetros do solo ao longo do tempo além de afetar a produtividade das culturas. Portanto, realizou-se este estudo com diferentes grupos de sorgo irrigados com águas residuárias com os objetivos de (i) avaliar os parâmetros agroindustriais, teor de sólidos solúveis totais, açúcar total recuperável e etanol teórico em plantas de sorgo irrigadas com água residuária em dois cortes sucessivos; (ii) acompanhar as alterações nas variáveis químicas do solo ao longo do tempo e (iii) acompanhar as relações hídricas e teores de clorofilas e carotenóides totais em diferentes estádios fenológicos. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA. O delineamento foi em blocos causalizados consistindo de 12 genótipos e três blocos, totalizando 36 unidades experimentais. O experimento foi conduzido, entre agosto de 2015 e março de 2016, na Estação Experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco – IPA. Foram avaliadas a produtividade de massa fresca e seca total, etanol teórico nos dois ciclos produtivos, concentração de sódio, potássio, matéria orgânica, CEEs e pH, relações hídricas e teor de pigmentos fotossintéticos. As plantas dos diferentes tipos de sorgos cultivadas com água residuária apresentaram um aumento na produção de massa fresca total em comparação ao primeiro ciclo. O primeiro corte representou, em média, 75% da produção do colmo e o segundo 79,5%, sendo que esses ganhos se refletiram na produção de etanol. O acúmulo de matéria orgânica no solo favorecida pela aplicação de água residuária, minimiza os efeitos tóxicos da presença do sódio no solo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Relações hídricas. Etanol teórico. Matéria orgânica. Análise de componentes principais.

Photosynthetic pigments, water relations and components types of sorghum irrigated with wastewater

ABSTRACT

The reuse of wastewater in unplanned agriculture can lead to problems, since these waters have a higher ion concentration than drinking water. It can cause changes in soil parameters over time, in addition to affecting crop productivity. Therefore, this study was carried out with different groups of sorghum irrigated with wastewater in order to (i) evaluate the agro-industrial parameters, total soluble solids content, total recoverable sugar and theoretical ethanol in sorghum plants irrigated with wastewater in two successive cuts; (ii) monitor changes in soil chemical variables over time and (iii) monitor water relations and chlorophyll and total carotenoid levels at different phenological stages. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA. The design was in randomized blocks consisting of 12 genotypes and three blocks, totaling 36 experimental units. The experiment was conducted between August 2015 and March 2016, at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA. The total dry and fresh mass productivity, theoretical ethanol in the two production cycles, sodium, potassium, organic matter, CEes and pH, water relations and photosynthetic pigments content were evaluated. Plants of different types of sorghum grown with wastewater showed an increase in total fresh mass production compared to the first cycle. The first cut represented, on average, 75% of stalk production and the second 79.5%, with these gains being reflected in ethanol production. The accumulation of organic matter in the soil, favored by the application of wastewater, minimizes the toxic effects of the presence of sodium in the soil.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Water relations. Theoretical ethanol. Organic matter. Principal component analysis.

1. INTRODUÇÃO

Globalmente, a agricultura consome aproximadamente 70% de toda a extração de água potável do mundo. Dessa forma, o uso de recursos hídricos alternativos / não tradicionais é uma estratégia de gerenciamento para ampliar a disponibilidade de suprimentos hídricos e sustentar a produção agrícola (SURI et al., 2019). É importante ressaltar que a reutilização dessas águas reduz o excesso de retirada do meio ambiente e mitiga a degradação ambiental, diminuindo sua disposição para vias de corpos hídricos potáveis.

As águas residuais podem ter um efeito positivo no solo e, possivelmente, no crescimento e desenvolvimento das culturas, pois muitas vezes são ricas em matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio, potássio e fósforo. O uso desse enorme recurso na agricultura pode permitir aumentos na área cultivada e na produtividade, além de mitigar a poluição ambiental (GHASSEMISAHEBI et al., 2020). Almeida et al. (2018) investigaram os efeitos da aplicação do esgoto tratado em um Latossolo Vermelho Distroférico com alto teor de argila sob o cultivo de soja e milho. E foi observado uma influência positiva nos cultivos, uma vez que proporcionou incrementos nas produtividades das culturas.

Porém, as águas residuárias, geralmente, contém uma maiores concentrações de íons em relação à água doce, e a aplicação dessas águas ao longo do tempo no solo pode levar a salinização e quiçá à desertificação (GANJEGUNTE et al., 2018b). Desse modo, o sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, apresenta ampla adaptação aos diferentes ambientes de cultivos devido à sua tolerância a estresses ambientais, como secas e salinidade (TARI et al., 2013). Além do mais, o sorgo é uma das cinco principais espécies cultivadas do mundo, porque possui vários potenciais de usos importantes em termos econômicos, como alimentos (grãos), ração (grãos e biomassa), combustível (produção de etanol), fibra (papel), fermentação (produção de metano) e fertilizantes (utilização de subprodutos orgânicos) (TARI et al., 2013).

O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que o armazenamento de açúcares se localiza nos entrenós dos colmos, além de fornecer grande quantidade de massa verde (bagaço e palha). Devido à grande demanda atual por etanol e a cana-de-açúcar ter limitações, principalmente, em áreas de precipitação reduzida, o cultivo do sorgo surge como uma alternativa para a geração de biomassa e produção de etanol (ZEGA-DALIZARAZU; MONTI, 2012), sendo também utilizadas nas regiões canavieiras suplementando a cana-de-açúcar, principalmente no período de entressafra, dando continuidade as atividades nas destilarias. Além destes aspectos é oportuno salientar a possibilidade do uso da irrigação em regiões precárias de produção, para isso é necessário ressaltar que a eficiência do uso de água, equivale a 1/3 da quantidade utilizada pela cana-de-açúcar e 1/2 do milho (REDDY, 2005).

Portanto, realizou-se este estudo com diferentes grupos de sorgo irrigado com águas residuárias com os objetivos de (i) avaliar os parâmetros agroindústrias, teor de sólidos solúveis totais, açúcar total recuperável e etanol teórico em plantas de sorgos irrigadas com água residuária em dois ciclos produtivos; (ii) acompanhar as alterações nas variáveis químicas do solo ao longo do tempo e (iii) acompanhar as relações hídricas e teores clorofilas e carotenóides totais em diferentes estádios fenológicos.

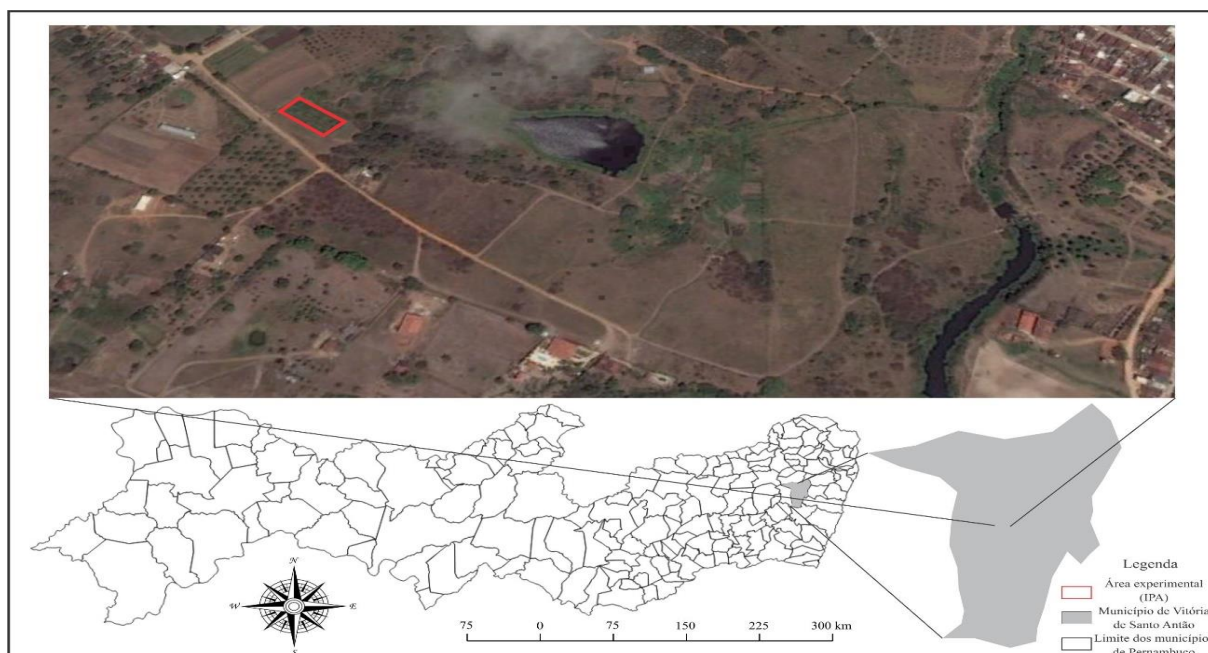
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

2.1.1 Localização geografia

A área experimental, onde foi conduzido o experimento, entre 10 de agosto de 2015 e 18 de março de 2016, está localizada na latitude 08°07'05" S e longitude 35°17'29" W Gr, com altitude em torno de 156 metros (Figura 1) na Estação Experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco -IPA, no município de Vitória de Santo Antão, mesorregião Mata Sul e na Microrregião Vitória de Santo Antão (Figura 1).

Figura 1- Vista aérea de parte da Estação Experimental do IPA e da área experimental.



Fonte: Google Earth, adaptado: Oliveira (2019).

2.1.2 Classificação e caracterização do solo

Foi realizada, antes do início do experimento, a caracterização físico-química do solo, conforme Teixeira et al. (2017). Foram retiradas 25 amostras simples e feitas duas amostras compostas para determinar os atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1). As características físicas incluíram: determinação de granulometria (método da pipeta), densidade de partículas, densidade do solo e porosidade total. As análises químicas incluíram as determinações de: potencial hidrogeniônico (pH) em água; cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) (extraídos com cloreto de potássio (KCl mol L^{-1}) e determinados por espectrofotometria de absorção atômica), Sódio

(Na⁺) e potássio (K⁺) (extraídos com solução de Mehlich⁻¹ e determinados por espectrofotometria de chama); Alumínio (Al³⁺) (extraído com solução de KCl 1mol L⁻¹ e determinado por titulação); Hidrogênio e alumínio (H⁺ + Al³⁺) (extraídos com solução acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ e determinados por titulação), fósforo (P disponível) (extraído com solução de Mehlich⁻¹ e determinado por colorimetria); soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0 (CTC).

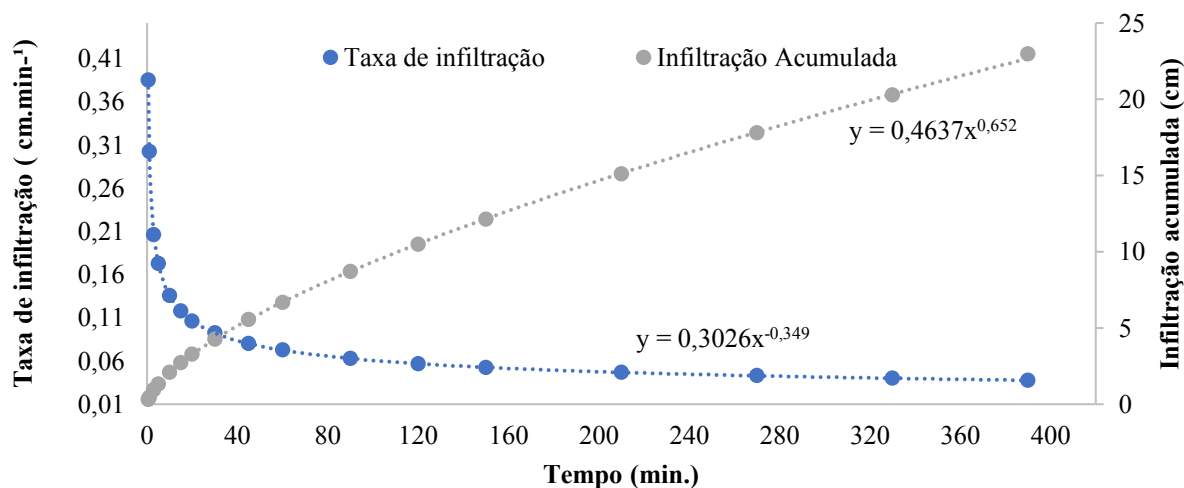
Tabela 1- Atributos físicos e químicos do Latossolo Vermelho Distrófico da área experimental, antes do início do experimento, cultivada com genótipos de sorgo em Vitória de Santo Antão-PE.

Atributos	Valores
Areia (g. Kg ⁻¹)	710
Silte (g. Kg ⁻¹)	100
Argila (g. Kg ⁻¹)	190
Densidade do Solo (g.cm ⁻³)	1,65
Densidade de Partículas (g.cm ⁻³)	2,57
Porosidade total (%)	35,8
pH (1:2,5)	6,7
K (cmol _c .dm ⁻³)	0,36
Na (cmol _c .dm ⁻³)	0,8
Ca (cmol _c .dm ⁻³)	2,45
Mg (cmol _c .dm ⁻³)	1,35
P (mg.dm ⁻³)	0,34
Al (cmol _c .dm ⁻³)	0
H+Al (cmol _c .dm ⁻³)	4,12
SB (cmol _c .dm ⁻³)	5,0
PST (%)	8,7
CTC ef (cmol _c .dm ⁻³)	9,1
V (%)	55
m (%)	0

pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K⁺ = potássio; Na⁺ = sódio; H⁺ +Al³⁺ = acidez potencial; Al³⁺ = alumínio; Ca⁺² = cálcio; Mg⁺² = magnésio; V⁰% = saturação/base; CTC = capacidade de troca catiônica; PST= Percentagem sódio trocável SB=Soma de bases; m%= saturação por alumínio.

Também foi realizado o ensaio de infiltração (Figura 2) de água no solo para determinar o emissor com intensidade de aplicação de água compatível à velocidade de infiltração básica (VIB) e assim manejar a aplicação de água para impedir a ocorrência de escoamento superficial de água no solo, o método adotado foi o de Kostiaikov (PRUSKI et al., 1997; NUNES et al., 2012). Com a realização do teste de infiltração constatou-se uma VIB de 3,64 cm h⁻¹ sendo considerado um solo com uma taxa de VIB muito alta, conforme Bernardo et al (2006).

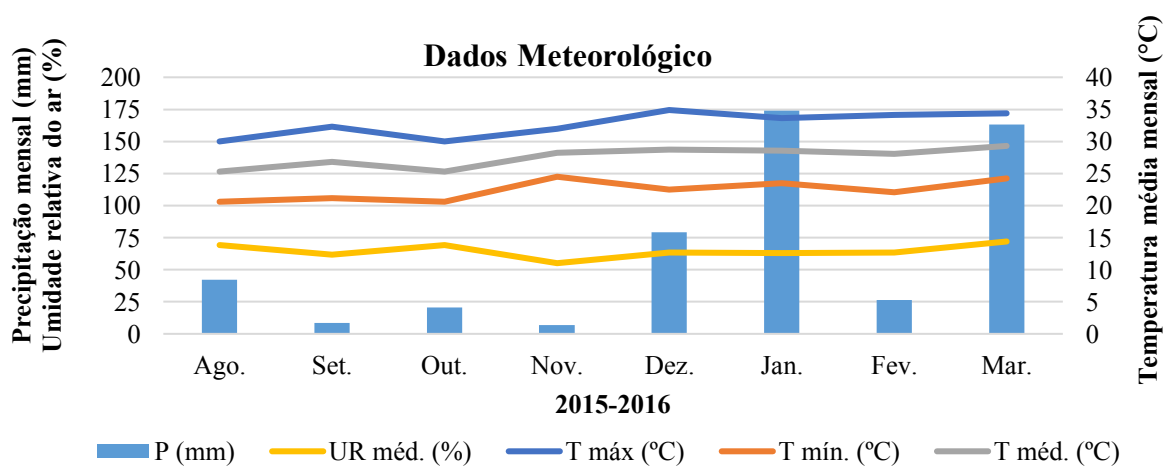
Figura 2- Taxa de infiltração básica e infiltração acumulada do solo da área de estudo na Estação Experimental do IPA Vitória de Santo Antão -PE, 2015/2016.



2.2 Caracterização climática durante o experimento

O clima, conforme Alvares et al. (2013), é tropical chuvoso com verão seco. As precipitação média anual de aproximadamente 1309,9 mm, temperatura média ambiental de 27,1°C e evapotranspiração potencial de 1.100 mm. Durante o experimento a média de temperatura variou entre 25,3 a 29,3 °C, conforme pode-se observar na Figura 3.

Figura 3- Dados da precipitação acumulada para cada mês, média da umidade relativa e das temperaturas máxima, mínima e média, registrados durante o período experimental.



Fonte: Estação Experimental do IPA- Vitória de Santo Antão- PE.

2.3 O delineamento experimental e tratamento

O experimento foi instalado em delineamento em blocos causalizados, constituído por quatro genótipos de sorgo de aptidão forrageiro, quatro de sacarino, duas de duplo propósito e duas de progênie (Tabela 2) com três repetições totalizando 36 parcelas experimentais. Os tratamentos são formados pelos grupos aptidões.

Tabela 2- Características agrônomicas das cultivares e progênies utilizada no presente estudo cultivadas, em Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.

Genótipos	AMP (cm)	PMV (Mg ha ⁻¹)	°Brix (%)	Aptidão	FL (N° dias)	Cultivar ou progênies
SF-11	180 a 200	40 a 60	15 a 20	Forrageiro	95	Cultivar
IPA 8602600	--	---	---	Forrageiro	---	Cultivar
T17-389-5-1 x 1158	--	---	---	Forrageiro	---	Cultivar
IPA SF 25	--	---	---	Forrageiro	---	Cultivar
BRS 506	300 a 330	40 a 60	15 a 22	Sacarino	75 a 85	Cultivar
BRS 508	320	50 a 70	18 a 22,9	Sacarino	67 a 77	Cultivar
BRS 509	300	60 a 80	18	Sacarino	70 a 75	Cultivar
BRS 511	300	60 a 80	21,9	Sacarino	61 a 74	Cultivar
SF15	250 a 350	40 a 60	--	Duplo propósito	90 a 100	Cultivar
T07 Ca92 04 Ca2000	--	---	---	Duplo propósito	---	Cultivar
THEIS x 2502	--	---	---	---	---	Progênie
BRS 506 x 2502	--	---	---	---	---	Progênie

Fontes (IPA e EMBRAPA). AMP. =altura média de plantas, PMV= produção de massa verde, °Brix =teor de sólidos solúveis totais, FL= florescimento número de dias.

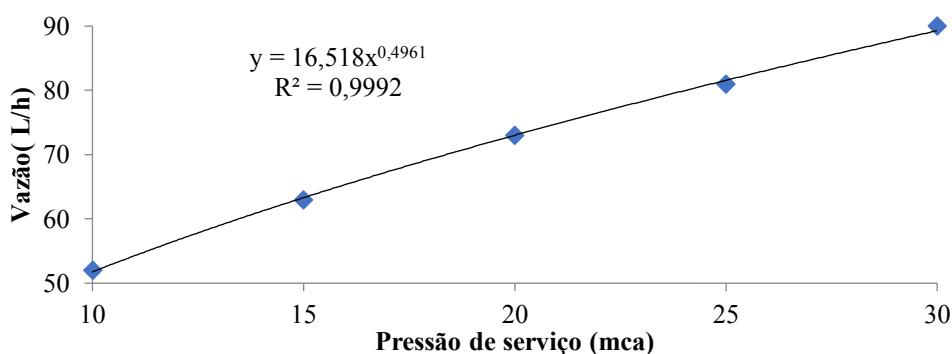
Cada parcela foi constituída por quatro linhas de seis metros de comprimento, espaçadas por 0,8 m. A área total de cada parcela experimental ficou em 19,20 m², a útil, desprezando-se 0,5 m de bordadura em cada lado das duas linhas centrais e desprezando as duas linhas laterais, passou a ter 8,0 m². A densidade foi mantida em 15 plantas por metro linear, após o desbaste.

2.3 Irrigação das plantas

2.3.1 Caracterização do sistema de irrigação

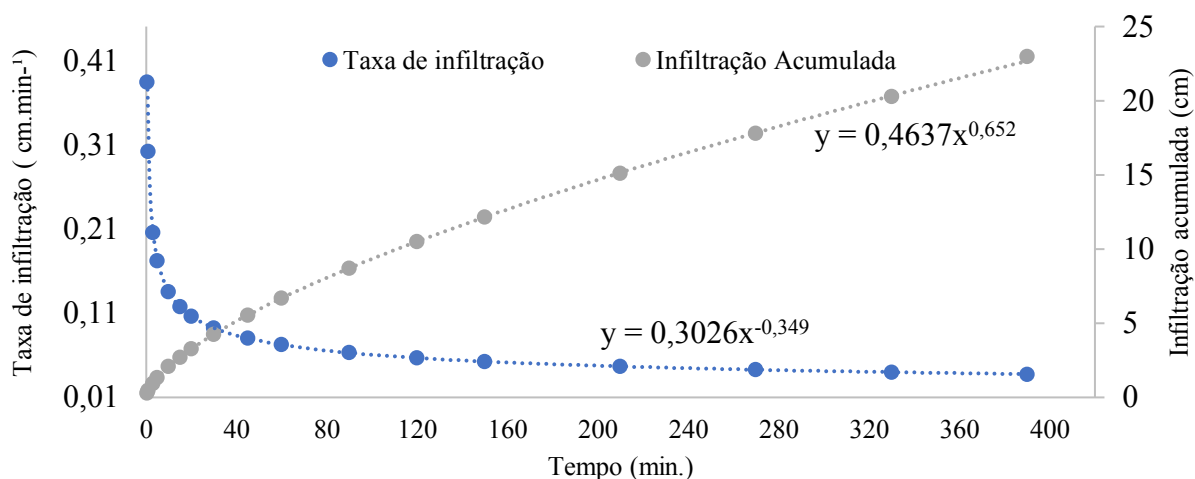
A irrigação da área experimental foi realizada pelo método localizado, utilizando-se sistema de microaspersão, com layout dimensionado para haver sobreposição da área molhada dos emissores, visando a aplicação de lâminas uniformes à superfície do solo. A linha principal ficou em declive e as linhas laterais dispostas nas curvas de nível do terreno. Foram utilizados microaspersores sem compensação de pressão Amanco®, de bocal amarelo e diâmetro molhado igual a 6,6 m, vazão de 71,54 L h⁻¹ para uma pressão de serviço de 19,2 mca (Figura 4), gerando uma intensidade de aplicação de 5,9 mm h⁻¹, para espaçamento de 3,5 m x 3,5 m.

Figura 4- Curva vazão pressão do microaspersor Amanco® utilizado na área experimental, cultivada com 20 genótipos de sorgo em Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Também foi realizado o ensaio de infiltração (Figura 5) de água no solo para determinar o emissor com intensidade de aplicação de água compatível à velocidade de infiltração básica (VIB) e assim manejar a aplicação de água para impedir a ocorrência de escoamento superficial de água no solo, o método adotado foi o de Kostiakov (PRUSKI et al., 1997; NUNES et al., 2012). Com a realização do teste de infiltração constatou-se uma VIB de 3,64 cm h⁻¹ sendo considerado um solo com uma taxa de VIB muito alta, conforme Bernardo et al (2006).

Figura 5- Taxa de infiltração básica e infiltração acumulada do solo da área de estudo na Estação Experimental do IPA Vitória de Santo Antão -PE, 2015/2016.



A avaliação do sistema seguiu o método proposto por Keller e Karmeli (1975), com o coeficiente uniformidade de distribuição (CUD) de 96% e pressão (CUP) de 96,2 % classificados como excelente.

2.3.2 Manejo de água

O esgoto, não tratado, foi bombeado do Rio Tapacurá para o açude da Estação (Figura 6). A captação ocorreu no período chuvoso de junho a agosto de 2015, período no qual ocorreu uma melhoria da qualidade do efluente visto ao maior fator de diluição no período chuvoso, quando comparado ao seco. Essa maior diluição promoveu redução na concentração da matéria orgânica e das concentrações de sais solúveis, em função do aumento do volume de água proveniente da precipitação. Nesse Rio é lançado continuamente resíduos de fontes domésticas, industriais e de processos agrícolas, logo a composição é bastante variável.

Figura 6- Vista panorâmica da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco Vitória de Santo Antão.



Fonte: Google Earth, adaptado: Oliveira (2019).

O manejo quantitativo da irrigação seguiu o modelo matemático proposto por Linacre (1977) (Equação 1). Os dados meteorológicos, para alimentar o modelo, foram monitorados na Estação meteorológica do IPA.

$$E_{to} = \frac{\left\{ \frac{500 \cdot T_m}{(100 - \phi)} + 15 \cdot (T - T_d) \right\}}{(80 - t)} \text{ eq(1)}$$

Em que:

E_{To} - evapotranspiração de referência (mm dia^{-1});

$$T_m = T_a + 0,006z;$$

z = altitude em m;

T_a = temperatura média do ar em ($^{\circ}\text{C}$);

\varnothing = latitude local em módulo e graus;

T_d = temperatura do ponto de orvalho em ($^{\circ}\text{C}$).

Em função da evapotranspiração de referência, calculado pelo método de Linacre, foi determinada a evapotranspiração da cultura (ET_c) tomando como base o boletim 56 da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) (ALLEN et al., 1998). O turno de rega foi dirimente.

Foram realizadas cinco coletas de água residuária utilizada na irrigação conforme as coletas de solo supracitada (Tabela 3). Essas coletas ao longo do tempo objetivaram monitorar as características físicas e químicas do efluente principalmente os parâmetros voltados à salinidade. As mesmas foram encaminhadas e analisadas pelo Laboratório de Análise de Planta, Ração e Água - LAPRA do IPA.

Tabela 3- Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação usada no período experimental, de cinco coletas, no cultivo de 12 genótipos de sorgos em Vitória de Santo Antão-PE.

Parâmetros	Média	Desvio padrão
Cor Aparente uH²	86,7	22,1
Turbidez (uT)	11,6	3,5
Condutividade Elétrica (dS.m⁻¹)	0,76	0,08
pH	7,3	0,4
Sólidos Totais Dissolvidos (mg. L⁻¹)	413,8	86,4
Alca. de Hidróxidos em CaCO₃ mg. L⁻¹)	0,0	0,0
Alca de Carbonatos em CaCO₃ (mg. L⁻¹)	0,0	0,0
Alca. em Bica. em CaCO₃ (mg. L⁻¹)	200,7	74,1
Alca. Total em CaCO₃ (mg. L⁻¹)	200,7	74,1
Dureza Total em CaCO₃ (mg. L⁻¹)	112,7	12,5
Cálcio em Ca²⁺ (cmol_c L⁻¹)	1,13	0,20
Magnésio em Mg²⁺ (cmol_c L⁻¹)	1,14	0,15
Sódio em Na⁺ (cmol_c L⁻¹)	4,68	0,83
Potássio em K⁺ (mg. L⁻¹)	7,3	1,0
Cloreto em Cl⁻	142,0	13,9
Sulfato em SO₄⁻² (mg. L⁻¹)	10,0	5,2
RAS	4,40	0,75
Classificação	C2S1	

Fonte: LAPRA-IPA (2015) Alca. = Alcalinidade; pH= Potencial hidrogeniônico; Bica. = Bicarbonato; CaCO₃ = Carbonato de cálcio; RAS= Razão de adsorção de sódio.

2.4 Descrição e condução da cultura

2. 4.1 Preparo do solo

A área experimental foi limpa por meio da operação de roçagem mecanizada. Posteriormente à limpeza, foi realizado o preparo do solo de forma convencional, com uma aração e duas gradagens, com o objetivo de uniformizar ao máximo o solo para a semeadura.

2. 4.2 Semeio, desbaste, replantio e capinas

A semeadura foi realizada de forma manual, colocando-se de 20 a 25 sementes por metro linear a uma profundidade de 5,0 cm. As sementes foram fornecidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. Aos 15 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste das plantas, com o intuito de padronizar a população de planta por metro linear. Nas parcelas em que a germinação foi falha, foi feito um replantio de forma a totalizar 12 plantas por metro linear. Foram realizadas capinas manuais na área a cada 25 dias na planta, e na soca, a cada 30 dias para controle das ervas daninhas, até que a cultura não mais sofresse interferência em seu desenvolvimento.

2. 4.3 Adubação

A adubação de fundação foi realizada no dia da semeadura quando se aplicou todo o potássio e fósforo e 2/3 do nitrogênio. A adubação de cobertura foi realizada aos 35 dias a semeadura. No segundo ciclo foram aplicados 2/3 do quantitativo de fertilizantes aplicado no primeiro ciclo. A adubação foi realizada aos 25 dias depois da rebrota, conforme o Manual de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Pernambuco (IPA, 2008), para a cultura do sorgo, baseado na análise do solo.

2. 4.3 Manejo fitossanitário

O controle fitossanitário da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, foi realizado em duas aplicações espaçadas em 15 dias com Engeo Pleno da Syngenta®. Também foi realizado o controle de formigas cortadeiras com a utilização de formicida MIREX-S, aplicado antes da semeadura e nos primeiros 15 dias após a semeadura e na rebrota, respectivamente.

2.5 Variáveis analisadas

2.5.1 Relações hídricas

Foram selecionadas, aleatoriamente, quatro plantas por parcela experimental e escolheu a folha 3+, fisiologicamente maduras, para a determinação periódica das trocas gasosas. As

leituras foram realizadas no estágio de prefloração (Figura 7A) e grão leitoso-pastoso (Figura 7B) nos dois ciclos produtivos. Nas medições foi utilizado um analisador de gás no infravermelho (IRGA, modelo LI 6400 XT), sob radiação fotossinteticamente ativa mantida em $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As variáveis mensuradas foram: taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência instantânea no uso da água (A/E), ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$); eficiência intrínseca do uso de água (A/g_s) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) e déficit de pressão de vapor baseado na temperatura da folha (DPV) em (KPa).

Figura 7- Sorgo irrigado com água residuária na fase fenológica de prefloração (A) e na fase de grão leitoso-pastoso, Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Fonte: Oliveira (2019).

2.5.2 Determinação dos pigmentos fotossintéticos

As determinações dos pigmentos fotossintéticos foram realizadas conforme o método de Lichtenthaler (1987). Foram coletadas as folhas +3 das plantas no estágio de prefloração (Figura 7A) nos dois ciclos de cultivo. As folhas foram congeladas em nitrogênio líquido e

armazenadas em freezer a -20 °C para posterior análise. As clorofilas a, b, total e carotenoides forma calculadas conforme as seguintes equações 2, 3, 4 e 5 respectivamente:

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g. mL}^{-1}) = 12,25 * A_{663,2} - 2,79 * A_{646,8} \quad \text{eq. (2)}$$

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g. mL}^{-1}) = 22,9 * A_{646,8} - 2,79 * A_{663,2} \quad \text{eq. (3)}$$

$$\text{Clorofila Total } (\mu\text{g. mL}^{-1}) = 8,02 * A_{663,2} - 20,2 * A_{646,8} \quad \text{eq. (4)}$$

$$\text{Carotenóides totais } (\mu\text{g. mL}^{-1}) = \frac{(1000 * A_{470} - 1,82 * CA - 85,02 * CB)}{198} \quad \text{eq. (5)}$$

2.5.3 Parâmetros Físico-químicos do Solo

As coletas dos solos para obtenção dos extratos de saturação e determinação da matéria orgânica foram realizadas, sempre na parte central da parcela experimental conforme destacado na Figura 8, na profundidade de 20 cm, em cinco períodos: logo após a semeadura; na prefloração e no estágio de grão pastoso no primeiro e segundo ciclo produtivo. Ao todo coletaram-se 180 amostras de solo.

Figura 8- Destaque do local da coleta das amostras de solos na parcela experimental de sorgos irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE, 2015/2016.



Fonte: Oliveira (2019).

A extração da solução do solo seguiu o método de Teixeira et al. (2017). Pesaram-se 700 g de solo aos quais foram adicionados inicialmente 25 ml de água, por ser um solo arenoso. Após a homogeneização foi acrescentada água, gradativamente, até a massa do solo apresentar aspecto brilhante ou espelhante. A amostra permaneceu em repouso durante 24 horas. Decorrido esse tempo, verificou-se se a massa do solo apresentava excesso ou falta de água; no primeiro caso adicionava-se mais 50g de terra fina e repetia a operação de saturação; no segundo caso adicionava-se mais água até a saturação. Posteriormente a pasta saturada foi transferida para um funil de Buckner contendo papel de filtro e adaptado a um kitasato sob sucção para coleta do filtrado. O filtrado foi utilizado para determinação da condutividade elétrica e concentração de sódio e potássio. A medição da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo foi realizada em condutímetro de bancada com compensação automática de temperatura modelo CG2500 Gehaka®. A determinação dos teores de Na⁺ e K⁺ foi realizada utilizando-se fotômetro de chama modelo DM-62.

O teor de matéria orgânica foi estimado com base no teor de carbono orgânico do solo, em cada uma das amostras utilizadas, seguiu-se o método descrito por Teixeira et al. (2017).

2.5.3 Variáveis de produção dos genótipos

Produtividade total de massa verde – Colheram-se todas as plantas da área útil, na fase de grão pastoso, e pesou-se em balança de campo. Os resultados em kg/parcela de massa verde foram extrapolados para Mg ha⁻¹.

Produtividade de massa seca- Do material colhido, na área útil, foram separadas cinco plantas e pesadas. Essas plantas foram divididas em panícula, folhas e colmos, e pesadas novamente. Em seguida o material foi transferido para a estufa de circulação forçada de a 65°C por 72 horas ou até atingir peso constante (BOARETTO et al., 1999), para a determinação do peso seco. De posse dos dados de massa e espaçamento foram extrapolados os resultados para a produção por hectare, o procedimento foi o mesmo para os dois ciclos produtivos.

2.5.4 Teor de sólidos solúveis (°Brix)

As leituras do °Brix foram realizadas em dois estádios fenológicos; na prefloração, quando 50% das plantas da parcela estavam floradas, e no grão pastoso leitoso. Foram coletadas três plantas, aleatoriamente, para leitura. Sendo essa feita em um refratômetro portátil da marca A AG-1E com escala de 0 a 32% de °Brix e compensação de temperatura. O procedimento foi realizado nos dois ciclos produtivos.

2.5.5 Etanol teórico

A estimativa da produtividade teórica de etanol, por hectare foi dado por meio da Equação 5 adaptada de Vasilakoglou et al. (2011) a estimativa foi feita apenas no final de cada ciclo produtivo.

$$Etanol = ATR(\%) * MVC(Mg ha^{-1}) * 0,7 \quad eq. (5)$$

Em que:

ART = Conteúdo total de açúcares em percentagem;

MVC=Massa verde do colmo ($Mg ha^{-1}$);

0,7= Fator de correção.

A concentração de açúcares redutores totais (% ART) foi estimada pela relação linear entre o °Brix e o % ART, conforme descrito por autores (ALMODARES; HADI, 2009; ZHAO et al., 2009; GUIGOU et al., 2011; DUTRA et al., 2013).

2.6 Análise estatística

Os dados relacionados a produtividade de massa fresca e seca total, do colmo, etanol teórico, teor de sólidos solúveis, açúcares recuperáveis, teor de clorofila a e b, carotenóides, taxa de assimilação líquida de CO_2 , déficit de pressão de vapor da folha, eficiência instantânea de uso de água, eficiência intrínseca do uso da água, sódio, potássio, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, potencial hidrogeniônico e teor de matéria orgânica foram analisados a partir do teste de F e para a comparação das médias, pelo de Scott-Knott, no Minitab 18 e os gráficos foram gerados no Excel. As comparações das médias das variáveis relacionadas às plantas foram feitas entre os tipos de sorgo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie, enquanto os dados de solo a comparação deram-se entre as coletas. Com relação a análise de componentes principais (ACP) os dados obtidos foram padronizados, subtraindo-se a média e dividindo-se pelo desvio padrão, de modo a remover a influência da unidade de medida das variáveis. A padronização e a análise foram feitas no Minitab 18 e os gráficos foram gerados no Origin 8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado que há diferença significativa nas variáveis de produção de massa fresca e seca dos diferentes tipos de sorgo irrigado com água residuária, conforme a Tabela 4.

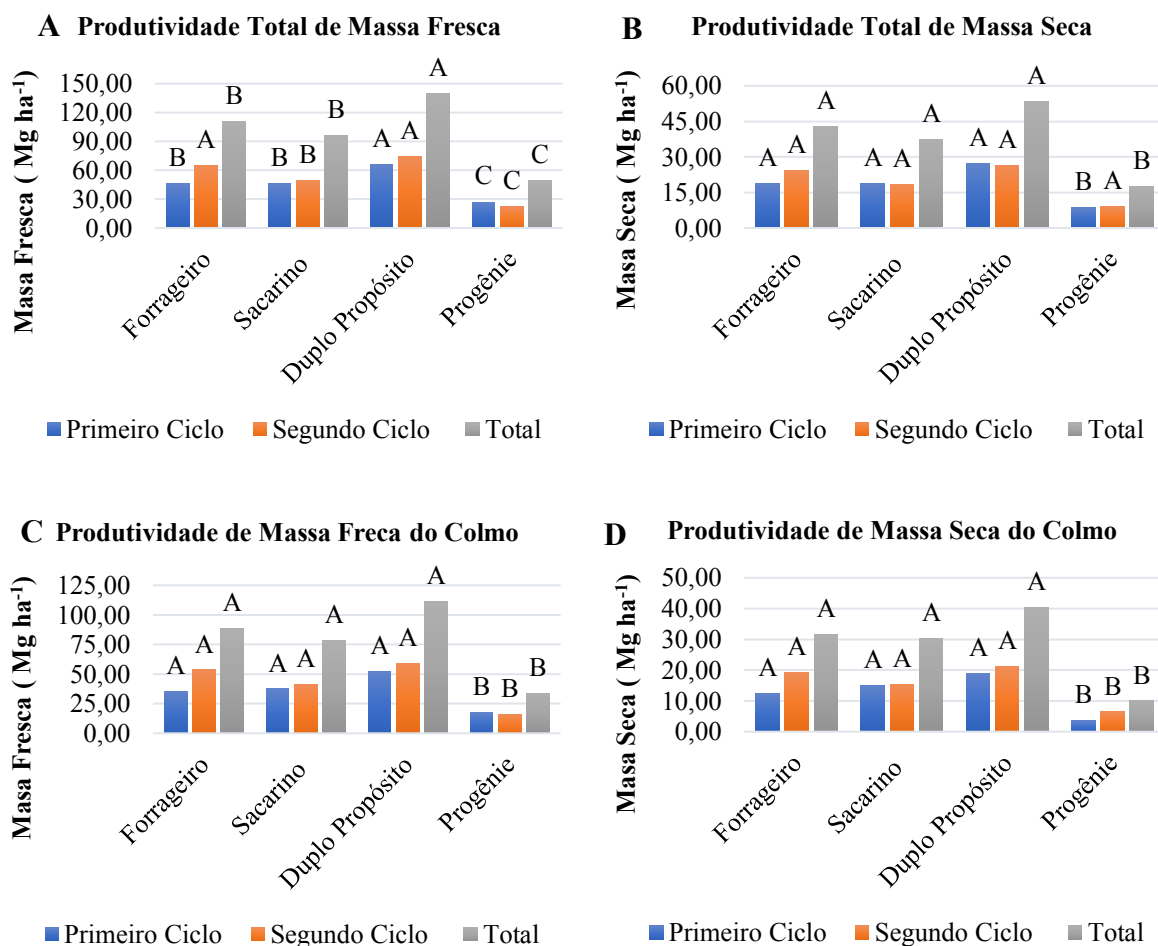
Tabela 4- Resumo da análise de variância para a massa seca fresca da planta (MFP), da soca (MFS) e total (MFT); massa seca da planta (MSP), da soca (MSS) e total (MST); massa fresca do colmo planta (MFCP) e do colmo soca (MFCS). Essas variáveis foram obtidas de 12 genótipos de sorgo irrigados com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM					
		MFP	MFS	MFT	MSP	MSS	MST
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	4657**	10227**	27062**	1031**	404**	1408**
Resíduo	30	4500	9767	24722	1688	51	172
Total	35						
CV%		26,6	30	28,2	36	35	34,2
		MFCP	MFCS				
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	1220**	2406**	---	---	---	---
Resíduo	30	140	9767	---	---	---	---
Total	35						
CV%		32,1	36,4				

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

A massa fresca e seca total das plantas do grupo forrageiro e sacarino não diferiram ($p > 0,05$) entre si (Figura 9A e B). Os resultados das plantas do grupo de duplo propósito foram da ordem de $66,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MFP e $27,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MSP, sendo estes diferentes ($p < 0,05$) dos resultados médios constatados no grupo progênie.

Figura 9- Representação da produtividade da planta, soca e a soma dos dois ciclos dos sorgos forrageiro, sacarinao, duplo propósito e progênie, irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE.



Em relação ao segundo ciclo, os tipos de sorgo que apresentaram incremento na produtividade em comparação ao primeiro foram o forrageiro e progênie com aumento de 33,04%, e 5,25%, respectivamente para a MST. Uma das razões que explica o incremento na produção é, possivelmente, ao estabelecimento do sistema radicular o que promoveu uma maior exploração de volume de solo aumentando a eficiência na absorção de nutrientes e água pelas raízes, bem como a capacidade de emitir afillhos. Gomide;Gomide (2000) destacam que o potencial de produção de fitomassa das plantas forrageiras pertencente à família *Poaceae* decorre da contínua emissão de folhas e perfilhos, processo importante na restauração da capacidade fotossintética das plantas após o corte ou pastejo, e a eliminação da gema apical das plantas que promovem brotações a partir do desenvolvimento de gemas basais ou laterais, dando origem a novos perfilhos. Como o sorgo foi irrigado com água residuária o aumento pode ser atribuído principalmente à disponibilidade de nutrientes, principalmente o nitrogênio que são os fatores críticos responsáveis por melhorar o crescimento das plantas (ZEMA et al., 2012)

Diversos estudos com culturas diferentes têm demonstrado resultados significativos de incremento em parâmetros de crescimento quando as plantas são irrigadas com água residuária. Por exemplo, Rebouças et al. (2010) que avaliaram os efeitos da irrigação em proporções diferentes de água residuária de esgoto doméstico tratado no crescimento do feijão caupi, observaram incremento da matéria seca da raiz, caule e folha, indicando o crescimento proporcional das plantas. Costa et al. (2009) destacaram que irrigação com água residuária influenciou positivamente à altura das plantas de milho. Esses incrementos podem estar associados à riqueza de elementos essenciais às plantas das águas residuárias que mesmo tratadas são capazes de fornecer ao solo e a planta, níveis suficientes dos principais nutrientes.

Todos os tipos de sorgos apresentaram um incremento na produtividade de colmo no segundo ciclo, exceto as plantas do grupo progênie (Figura 9C). A soma da produtividade de colmo dos dois ciclos produtivos chegou a 88,5, 78,5 e 111 Mg ha⁻¹ para os grupos forrageiro, sacarino e duplo propósito, respectivamente. Isso em um período de 212 dias, enquanto que a produtividade média da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco é da ordem de 53,25 Mg ha⁻¹ em um ciclo de 300 dias (CONAB 2019). Em um experimento conduzido em um ambiente protegido, Ganjegunte et al. (2018b) relataram que a produção de biomassa de sorgo irrigados com água residuária, aumentou significativamente com o passar do tempo.

Os parâmetros agroindustriais dos diferentes grupos de sorgo estudados diferiram (p<0,01) entre si (Tabela 5).

Tabela 5- Resumo da análise de variância das variáveis do etanol teórico da planta (ETP), soca (ETS) e total (ETT), teor de sólidos solúveis totais da planta (°BRIXP) e soca (°BRIXS) e açúcar total recuperável da planta (ATRP) e soca (ATRS). Resultados de genótipos de sorgos irrigados com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM						
		ETP	ETS	ETT	°BRIXP	°BRIXS	ATRP	ATRS
Bloco	2	---	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	58122164 **	46569466 *	192755332*	159 **	281*	356 *	383*
Resíduo	30	44823815	168098694	321276334	372	169	208	230
Total	35							
CV%		33,78	49	38,3	23,7	15	18,2	19,7

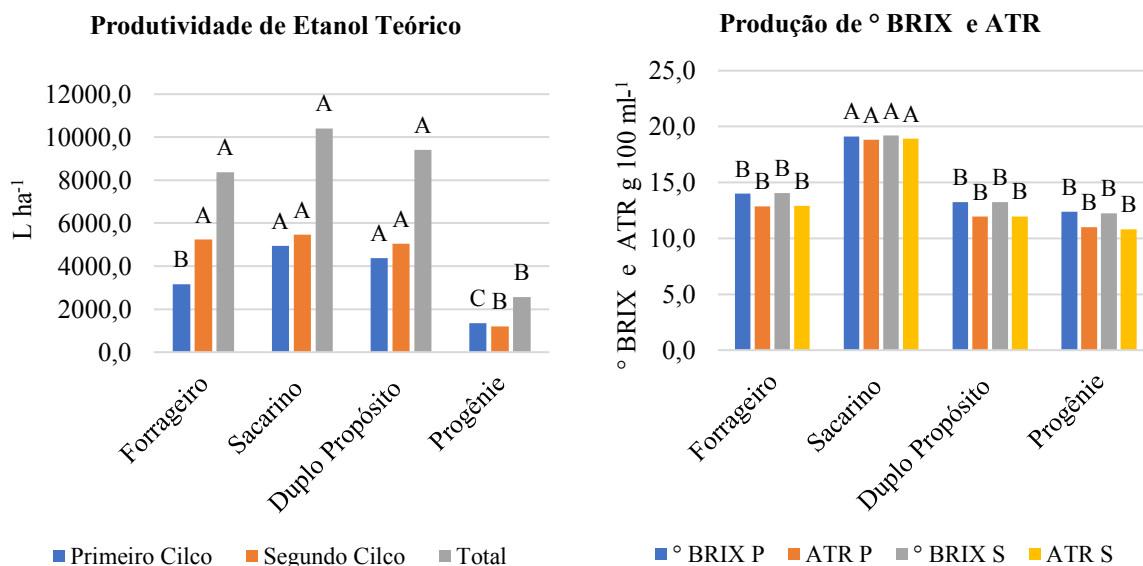
*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

ETP= etanol teórico estimado da planta; **ETS**= etanol teórico estimado da soca; **ETT**= etanol teórico estimado total; **°BRIXP**= teor de sólidos solúveis totais da planta; **°BRIXS**= teor de sólidos solúveis totais da soca; **ATRP**= açúcar total recuperável da planta; **ATRS**= açúcar total recuperável da soca.

A produtividade de etanol teórico das plantas de sorgo sacarino e duplo propósito, no primeiro corte, foram maiores (p<0,05) que as dos tipos do forrageiro e progênie. Na soca

apenas os resultados das plantas do tipo progênie foi inferior ($p < 0,05$), o mesmo vale para a soma da produtividade de etanol nos dois cortes (Figura 10 A).

Figura 10- Produtividade do etanol teórico no primeiro, segundo e a soma dos dois ciclos produtivo, também a produção do teor de sólidos solúveis totais e açúcar total recuperado do sorgo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie. Irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão-PE.



O aumento na produtividade de colmo verificada no segundo em relação ao primeiro ciclo, também se refletiu no incremento de 536; 673 e 2080 L de etanol teórico do sorgo sacarino, duplo propósito e forrageiro, respectivamente.

No grupo sacarino, mesmo com uma menor produção de colmo em relação ao grupo de duplo propósito, verificou-se uma produção total média de etanol teórico maior, quando se somou os resultados dos dois ciclos, de 10.408 L. Isso decorre que a produção do etanol está diretamente relacionada com o teor de sólidos solúveis totais (°BRIX) e açúcar total recuperável (ATR) (Figura 10B). Campi et al. (2016) compararam a produção de etanol teórico do sorgo irrigado com água doce e residuária e constataram um aumento significativo do etanol de 500 L ha⁻¹ nas plantas irrigadas com água residuária para a primeira safra, já na segunda o incremento de 1440 L ha⁻¹, dados esses que corroboram aos encontrados nesta pesquisa. Em estudo realizado por Zhao et al. (2009) em que investigaram a produção e qualidade de etanol antes e depois da antese utilizando água doce em cultivares de sorgo, encontraram o valor médio estimado para dois anos de cultivo de 4.729 L ha⁻¹. Dutra et al. (2013) que avaliaram a produção de etanol por fermentação em sorgo sacarino constataram rendimentos teóricos de 3142,51 L ha⁻¹.

O cultivo do sorgo sacarino pode ser mais uma alternativa na complementação da produção de etanol, visto que, no processamento industrial do sorgo sacarino a extração é realizada de forma muito similar ao da cana-de-açúcar, sendo necessários pequenos ajustes operacionais. O etanol também é produzido por meio de tecnologia de fermentação, modo semelhante a cana, podendo utilizar mesma infraestrutura e maquinário da indústria canavieira. Ademais, as características da cultura de tolerância a diferentes condições de estresses ambientais, precocidade, poder de rebrota, plantio via semente e necessidade hídrica inferior à cana reforçar ainda cultivo (TABOSA et al., 2010).

Em relação aos parâmetros químicos do solo, observa-se, na Tabela 6, que há diferença significativa para o: sódio e potássio solúvel, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e potencial hidrogeniônico. Ou seja, a água residuária utilizada na irrigação teve influência preponderante nas variáveis químicas solo durante o período experimental.

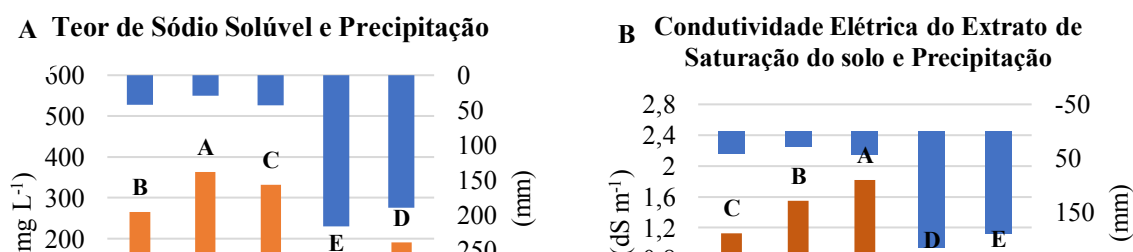
Tabela 6 -Resumo da análise de variância das variáveis: concentrações de sódio (Na⁺) e potássio (K⁺) solúvel, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica (MO). Obtidas em solo cultivado com 12 genótipos de sorgos, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM				
		Na ⁺	K ⁺	CEe	pH	MO
Bloco	2	---	---	---	---	---
Tratamento	4	288521,29**	7816,83**	7,50**	0,94**	6,45**
Resíduo	173	1839,57	186,62	0,09	0,05	0,28
Total	179					
CV%		16,2	32,3	24,2	2,3	2,8

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; NS – Não significativo.

A aplicação de água residuária no solo tende a aumentar o aporte de alguns íons, a exemplo do sódio. Nesse estudo foi constatado um incremento significativo na concentração desse íon no solo em função do tempo (Figura 11A). O aumento entre a primeira coleta e a segunda foi de 36,97%, o excesso de sódio pode diminuir a permeabilidade do solo, reduzindo o processo de infiltração de água e sua absorção pela planta bem como causar toxidez e reduzir a produção. Posteriormente observa-se uma redução significativa entre as coletas a partir da segunda. Isso decorrer dos eventos de chuvas que se sucederam e que promoveu a lixiviação dos íons o que resultou em uma concentração de sódio final, no solo, inferior ao início do experimento.

Figura 11- Comparação da média das diferentes coletas do teor de sódio e potássio solúvel, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e potencial hidrogeniônico do solo irrigado com água residuária e cultivado com sorgo, Vitória de Santo Antão- PE.



Col.1= coleta 1; Col. 2= coleta 2; Col.3= coleta 3; Col. 4= coleta 4; Col.5 = coleta 5.

Dessa forma, as plantas do segundo ciclo ficaram expostas a uma menor concentração de sódio em relação as do primeiro ciclo produtivo. Porém, outros autores observaram um aumento na concentração de sódio, Urbano et al. (2015) que avaliaram a passagem de água de reúso de esgoto doméstico pelo Latossolo Vermelho distrófico, em cinco ciclos de cultivo de alface constataram o aumento do sódio com tendência à salinização, mas não observaram danos às propriedades físicas do solo. Nascimento; Filho (2015) avaliando os efeitos das águas

residuárias nas variáveis de crescimento e de produção do algodoeiro observaram um incremento no teor de sódio no solo no final do experimento de 812,9% proporcionado pela irrigação com água residuária. Os autores também não constataram toxidez nas plantas durante o experimento.

A estimativa da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), geralmente, reflete a extensão da salinidade do solo. Esse parâmetro é bastante sensível às alterações da dinâmica de íons acarretada pela aplicação de água residuária no solo. A irrigação com água de reúso propiciou o aporte de íons e que por sua vez incrementou a CEes de forma significativa ao longo do tempo (Figura 11B). Nota-se que a taxa incremental da CEes tendeu a linearidade entre a primeira e terceira coleta conforme a Figura 11 B, também decresceu significativamente com o aumento da precipitação e lixiviação dos íons. Adrover, Moyà e Vadell (2017), Dahmouni et al. (2019) e Ahmad et al. (2020) investigaram as propriedades químicas e biológicas de solos irrigados com águas residuais tratadas, em termos de variação sazonal, constaram valores significativamente maiores durante o período de irrigação do que no período chuvoso. Esses dados corroboram com os encontrados no presente estudo.

Os teores de potássio solúvel foram bastante variáveis em função do tempo mesmo a água de irrigação tendo uma concentração média de $7,3 \text{ mg L}^{-1}$, a tendência de redução, na camada de 0-20 cm, foi significativa (Figura 11C). Essa redução se deu devido a maior capacidade de extração do nutriente pela planta e pela lixiviação com os eventos de precipitação. Doblinski et al. (2010) que avaliaram a lixiviação de nitrogênio, fósforo e potássio na cultura do feijão irrigado com água residuária, verificaram que a mobilidade no perfil do solo é maior para o potássio, seguido do nitrogênio e do fósforo. Freitas et al. (2004) e Melo et al., (2006) observaram que a textura do solo influenciou a retenção dos cátions potássio, sódio, cálcio e magnésio em solo argiloso, em relação ao solo arenoso e franco-arenoso. Isso ratifica os resultados encontrados para a progressiva redução na concentração de sódio e potássio com o aumento da precipitação, visto que, as plantas foram cultivadas em um solo franco-arenoso.

A variável pH também tendeu a aumentar significativamente com a aplicação de água residuária no solo não tendo mais diferença estatística a partir da terceira coleta (Figura 11D). O incremento no pH se deu, possivelmente, devido a contribuição de cátions básicos como cálcio e magnésio, por meio da água de irrigação. Musazura et al. (2019) investigaram a dinâmica de nitrogênio e fósforo em solo irrigado com efluente tratado e cultivado com a cultura da banana. Os autores também observaram um incremento significativo do pH e atribuíram ao aporte de cátions básicos fornecidos pelo efluente.

Esses resultados estão validados por pesquisadores que, anteriormente, constataram a influência da água residuária sobre o pH do solo (AYDIN et al., 2015; SAHAY et al., 2019 e JAHANY; REZAPOUR, 2020). Khai et al. (2008) afirmam que o pH das águas residuais aplicadas afetam o pH do solo a longo prazo e, conseqüentemente, o pH do solo influencia a capacidade de troca catiônica, a disponibilidade de nutrientes e a mineralização da matéria orgânica. Regelink et al. (2015) encontraram uma correlação negativa consistente entre o pH do solo com a estrutura do solo, isto é, o pH alto do solo resulta na dissolução da matéria orgânica, na desintegração dos agregados do solo e aumenta a extensão da compactação do solo.

Em relação a matéria orgânica (MO), a água residuária influenciou de forma significativa sua concentração no solo (Figura 11E). Observa-se entre a primeira coleta e terceira um aumento progressivo, posteriormente uma redução e tendência a estabilização, ou seja, inicialmente a taxa de aporte era maior que a decomposição posteriormente aconteceu um equilíbrio dinâmico. O incremento da MO no solo resultou em vantagens por esta ser constituída de vários elementos essenciais às plantas como, por exemplo, o nitrogênio que é considerado um nutriente de alto valor econômico e de alta instabilidade no solo, tornando-se um dos fatores limitantes à produção agrícola. Desse modo, o aumento progressivo no teor de MO possivelmente implicou no incremento de nitrogênio no solo o que refletiu em uma maior produção de colmo e etanol teórico no segundo ciclo produtivo (Figuras 11E, 9C e 10A). A redução da MO, constatada a partir da terceira coleta, se deu devido a maior mineralização em função da ação microbiana transformando o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável pela planta, conforme ressalta Duarte et al. (2008). Barreto et al. (2013) analisou as mudanças nos atributos químicos de um solo irrigado com água residuária. Os resultados encontrados evidenciaram um aumento significativo dos teores de fósforo, cálcio, potássio e matéria orgânica, principalmente na camada superficial do solo.

Dentre os pigmentos analisados, apenas o teor de clorofila b e teor de carotenoides totais da soca apresentaram diferença significativa entre os grupos de sorgo, conforme se observa na Tabela 7.

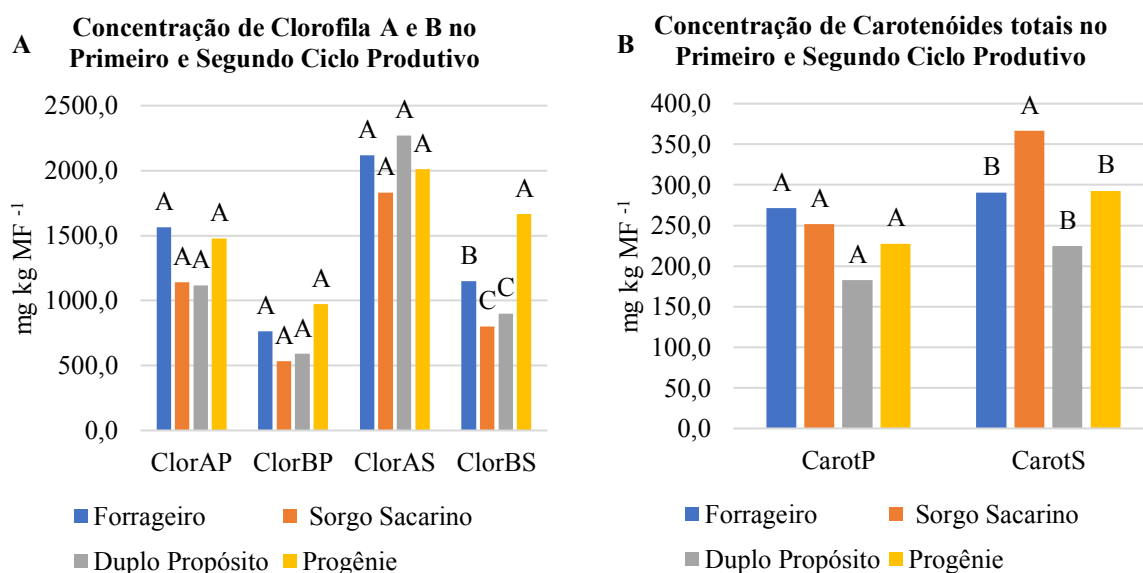
Tabela 7- Resumo da análise de variância das variáveis de pigmentos fotossintéticos clorofila a da planta (ClorAP) e clorofila b (ClorBP) e soca (ClorAS) e (ClorBS), carotenoides totais da planta (CarotP) e soca (CarotS). Obtidos do cultivo de 12 genótipos de sorgo irrigados com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM					
		ClorAP	ClorBP	ClorAS	ClorBS	CarotP	CarotS
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	1501632 ^{ns}	897819 ^{ns}	915822 ^{ns}	3250356 **	33967 ^{ns}	87003*
Resíduo	30	6777512	3782118	5403208	2991482	179179	190740
Total	35						
CV%		30,6	51	20,9	29	31	26,12

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns – Não significativo.

O teor de clorofila A não variou ($p > 0,05$) na comparação entre os grupos de cultivares no primeiro e segundo corte. O teor de clorofila B também não variou na comparação entre os grupos de cultivares na planta, mas na soca, verificou-se ($p < 0,01$) teores no grupo da progênie até 43% maiores que a média dos outros grupos (Figura 12A).

Figura 12- Comparação da média das diferentes coletas da concentração de clorofila A, B e carotenoides totais no primeiro e segundo ciclo produtivo de diferentes tipos de sorgos irrigados com água residuária, Vitória de Santo Antão- PE.



A concentração dos carotenoides não variou entre os grupos de sorgo no primeiro corte, mas no segundo corte, chegou a ser até 38% maior que no grupo duplo propósito (Figura 12B).

Quando se compara os teores de pigmentos fotossintetizantes clorofilas e carotenoides entre os ciclos constatou-se um aumento na concentração desses em todos os tipos de sorgo, do primeiro para o segundo corte (Figuras 12 A e B). O aporte de matéria orgânica no solo, via água residuária, e sua mineralização amentou a concentração de nitrogênio, transitoriamente, na solução do solo que por sua vez esse nutriente faz parte da molécula de clorofila visto que há estreita relação entre os teores de N e de clorofila na folha (TAIZ; ZEIGER 2013).

Dessa forma, o incremento no teor dos pigmentos possibilitou que a planta passasse a fixar maior quantidade de energia química e gás carbônico refletindo em uma maior produção de colmo e etanol teórico. Rekik et al. (2017) comparando o cultivo de sorgo irrigado com água residuária e potável observaram um aumento significativo do teor de clorofila e carotenóides totais para as plantas irrigadas com água residuária. Monteiro et al. (2018) avaliaram o conteúdo de pigmentos fotossintéticos em plantas de sorgo irrigadas com água salina, e encontraram valores semelhantes a esse estudo, para os teores de pigmentos de clorofila a e b na condutividade elétrica de 2,5 dS m⁻¹.

A irrigação do sorgo com água residuária acarretou em diferença significativa em algumas variáveis relacionadas às trocas gasosas e relações hídricas conforme a Tabela 8.

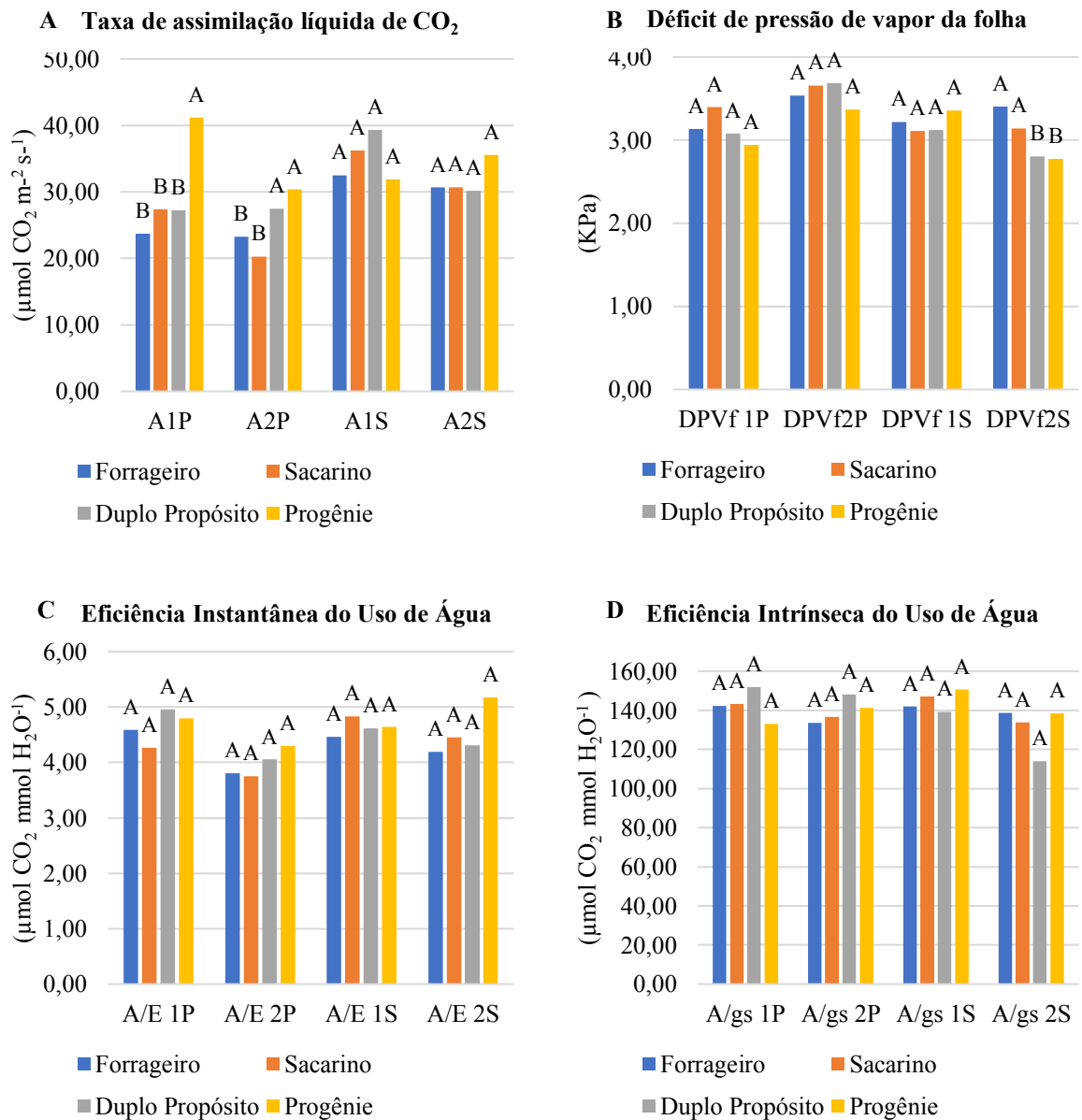
Tabela 8- Resumo da análise de variância para a taxa de assimilação líquida (A), déficit de pressão de vapor da folha (DPV), eficiência instantânea (A/E) e também a intrínseca (A/gS) do uso da água de quatro grupos de sorgo forrageiro, sacarino, duplo propósito e progênie irrigados com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

FV	GL	QM					
		A1P	A1P	A1S	A2P	DPVf1P	DPVf2P
Bloco	2	---	---	---	---		
Tratamento	3	1268*	489**	260 ^{ns}	124 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Resíduo	30	2402	685	1255	989	5	4,3
Total	35						
CV%		31,1	19,7	18,61	18,29	13,5	9,21
		DPVf1S	DPVf2S	A/E1P	A/E2P	A/E1S	A/E2S
Bloco	2	---	---	---	---		
Tratamento	3	0,29 ^{ns}	2,31*	48**	2,34 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Resíduo	30	2,51	6,61	136	8,64	10,94	2,65
Total	35						
CV%		9,02	15,09	11,73	15,44	6,41	15,70
		A/gS1P	A/gS2P	A/gS1S	A/gS2S	---	---
Bloco	2	---	---	---	---	---	---
Tratamento	3	1063 ^{ns}	907 ^{ns}	534 ^{ns}	2732 ^{ns}	---	---
Resíduo	30	12802	9159	4317	9784	---	---
Total	35						
CV%		14,36	12,63	8,29	13,58		

*, ** Significativo, pelo teste de F, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; NS – Não significativo. Taxa de assimilação líquida primeira leitura da planta (A1P), taxa de assimilação líquida segunda leitura na planta (A2P), taxa de assimilação líquida primeira leitura da soca (A1S), taxa de assimilação líquida segunda leitura na soca (A2S), déficit de pressão de vapor da folha primeira leitura da planta (DPVf1P), déficit de pressão de vapor da folha segunda leitura da planta (DPVf2P), déficit de pressão de vapor da folha primeira leitura da soca (DPVf1S), déficit de pressão de vapor da folha segunda leitura da soca (DPVf2S), eficiência instantânea do uso da água primeira leitura da planta (A/E1P), eficiência instantânea do uso da água segunda leitura da planta (A/E2P), eficiência instantânea do uso da água primeira leitura da soca (A/E1S), eficiência instantânea do uso da água segunda leitura da soca (A/E2S), eficiência intrínseca do uso da água primeira leitura da planta (A/gS1P), eficiência intrínseca do uso da água segunda leitura da planta (A/gS2P), eficiência intrínseca do uso da água primeira leitura da soca (A/gS1S), eficiência intrínseca do uso da água segunda leitura da soca (A/gS2S).

No primeiro ciclo, verificou-se que a A média do grupo progênie 36,5% maior (p<0,01) que a média dos demais grupos na fase de prefloração e, na fase de grãos leitoso-pastoso essa diferença foi de 22 %. No segundo ciclo não houve diferença significativa (p>0,05) entre os grupos de cultivares (Figura 13A).

Figura 13- Comparação da média das diferentes leituras da taxa de assimilação líquida, déficit de pressão de vapor da folha, eficiência instantânea do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água de diferentes tipos de sorgo irrigados com água residuária e cultivado com sorgo, Vitória de Santo Antão- PE.



No primeiro ciclo não se verificou diferença ($p > 0,05$) significativa entre o DPVf dos grupos de cultivares. No segundo ciclo, na fase de prefloração esta influência também não foi constatada ($p > 0,05$), porém na fase de grão leitoso-pastoso a média do DPVf verificada nos grupos forrageiro e sacarino foram 14,6% maiores que a média dos demais grupos (Figura 13B). Essa variação pode estar relacionada a eventual sensibilidade destes grupos de cultivares, notadamente no segundo corte e na fase de grão pastoso leitoso, isso por que o DPVf é calculado em função da temperatura e da umidade relativa do ar, sendo também influenciado

pela umidade do solo. Portanto, com o aporte de matéria orgânica e nutrientes no solo via água residuária e a ocorrência de eventos de chuvas mais frequentes em comparação ao primeiro ciclo tornou o ambiente de cultivo mais favorável ao desenvolvimento e crescimento das plantas evidenciado na maior produtividade de colmo e etanol teórico (Figuras 9C e 10A). Kakani et al., (2011) encontraram taxas de fotossíntese de 35 a 45 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ em plantas de sorgo que não foram submetidas a estresse ambiental. Resultado semelhante foi encontrado por Xie; Su, (2012), que avaliaram folhas de sorgo sacarino em horas de pico de radiação e sob estresse não aparente.

Em relação a eficiência instantânea do uso da água, as plantas de todos os tipos de sorgo no primeiro ciclo apresentaram uma redução da leitura, fase de prefloração para a segunda, de grão leitoso-pastoso, comportamento similar também foi observado no segundo ciclo, exceto para as plantas da progênie que apresentou um aumento na eficiência, porém não refletiu em aumento de produção. Quanto a eficiência intrínseca comparada no ciclo observa-se uma redução para todos os tipos, com exceção da progênie, já no segundo ciclo todas reduzem. Essa redução não foi devido ao aporte de íons de sais por meio da irrigação com água residuária visto que não atingiu a salinidade limiar da cultura do sorgo que é 4,5 dS m^{-1} , portanto a redução é atribuída ao processo de senescência natural da planta. Coelho et al (2018) avaliaram as trocas gasosas foliares, clorofila e soluto orgânico em dez genótipos de sorgo forrageiro irrigados com soluções de diferentes níveis de salinidade, e evidenciaram o incremento na eficiência intrínseca do uso de água com o aumento do nível de sal.

Com a aplicação da análise de componentes principais foi possível identificar as variáveis que melhor descrevem os efeitos da água residuária relacionados aos aspectos do solo, produção vegetal e relações hídricas, explicando 55,4% da variância total dos dados em duas componentes principais (Tabela 9).

Tabela 9- Resultados dos autovetores que definem a direção dos eixos para as duas componentes principais e percentual de proporção e acumulado de cada componente, obtidas da análise de 26 variáveis padronizadas da cultura do sorgo, irrigado com água residuária, em Vitória de Santo Antão-PE.

Variáveis	CP1	CP2	Variáveis	CP1	CP2
-----------	-----	-----	-----------	-----	-----

MFTP	0,269	-0,081	ClorBS	-0,176	0,075
MFTS	0,274	-0,044	Na3	0,046	-0,112
MSTP	0,259	-0,071	K3	-0,159	0,033
MSTS	0,264	-0,019	Na4	-0,146	0,304
MFCP	0,279	-0,043	K4	-0,178	0,207
MFCS	0,278	-0,017	CE4	-0,178	0,202
MSCP	0,258	-0,022	pH4	0,095	-0,301
MSCS	0,266	0,032	K5	-0,235	0,034
ETS	0,235	0,124	CE5	-0,13	0,143
° BRIXS	0,135	0,325	A2S	-0,147	0,113
ATRS	0,135	0,325	DPVf2P	0,148	0,219
ClorAP	-0,145	-0,295	A/EP2	-0,119	-0,257
ClorBP	-0,167	-0,321	A/gS1	0,021	0,364
Autovalor	11,17	3,21	Autovalor	11,17	3,21
Proporção (%)	43,00	12,4	Proporção (%)	43,00	12,4
Acumulado (%)	43,00	55,4	Acumulado (%)	43,00	55,4

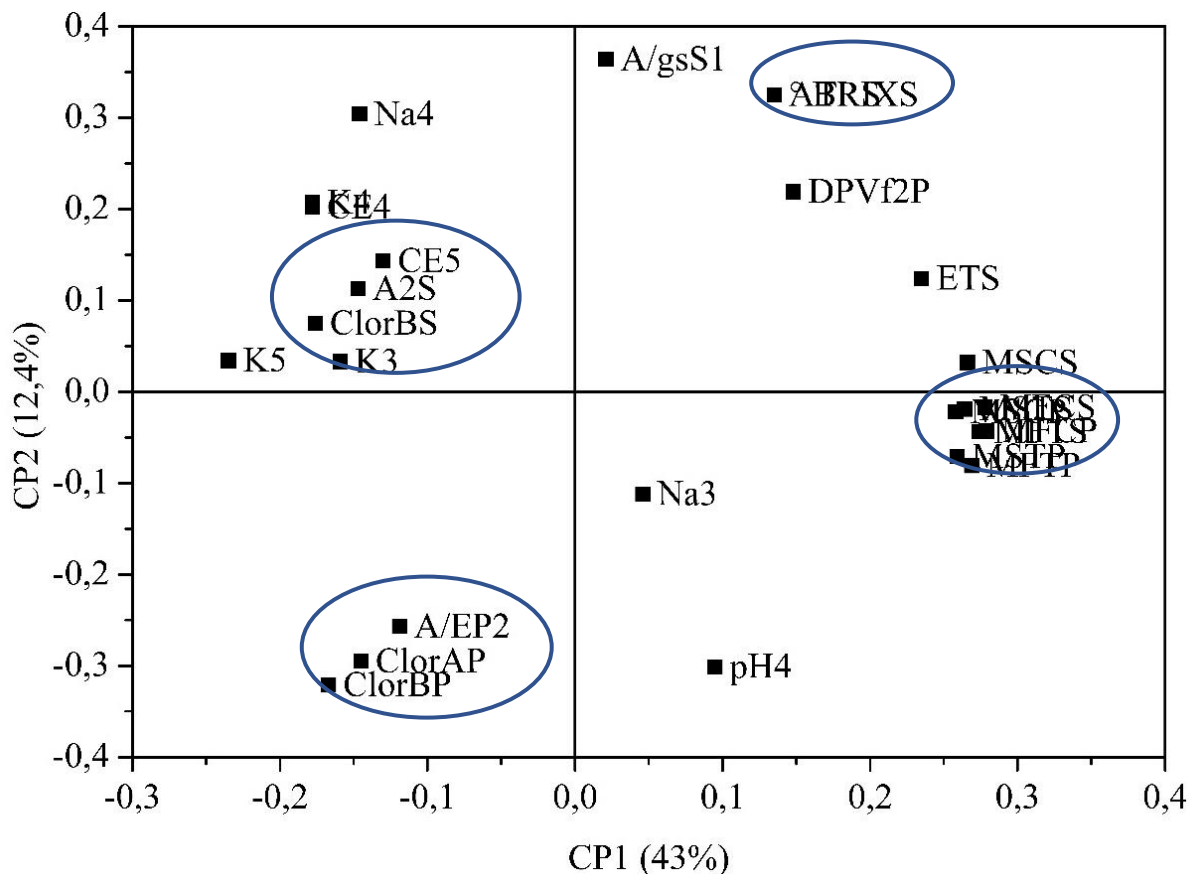
MFTP= matéria fresca total da planta; **MFTS**= matéria fresca total da soca; **MSTP**= matéria seca total da planta; **MSTS**= matéria seca total da soca; **MFCP**= matéria fresca do colmo planta; **MFCS**= matéria fresca do colmo soca; **MSCP**= matéria seca do colmo planta; **MSCS**= matéria seca do colmo soca; **ETS**= etanol teórico soca; **°BRIXS**= teor de sólidos solúveis totais da soca; **ATRS**= açúcares totais recuperáveis soca; **ClorA**= clorofila a planta; **ClorBP**= clorofila b planta; **ClorBS**= clorofila b soca; **Na3**= sódio 3ª coleta; **K3**= potássio 3ª coleta; **Na4**= sódio 4ª coleta; **K4**= potássio 4ª coleta; **CE4**= condutividade do extrato de saturação do solo 4ª coleta; **pH4**= potencial hidrogeniônico 4ª coleta; **K5**= potássio 5ª coleta; **A2S**= taxa de assimilação líquida 2ª leitura da soca; **DPVf2P**= déficit de pressão de vapor da folha 2ª leitura planta; **A/EP2**= eficiência instantânea do uso de água planta 2ª leitura; **A/gS1**= eficiência intrínseca do uso de água soca 1ª leitura.

Não exista um critério consensual sobre o número de componentes principais que devem ser extraídos da análise, Kaiser (1960) sugere a extração dos componentes com autovalor ≥ 1 . Já Hair et al. (2007) sugerem que o número de componentes extraídos represente uma variância acumulada de no mínimo 50% o que dá uma ideia aceitável da variância original. Na avaliação das componentes para os dois ciclos produtivos foram atendidos ambos os critérios (Tabela 8).

A primeira componente principal (CP1), que é formada principalmente pelos autovetores relacionados a produção fotossintética sendo formado por MFCP, MFCS, MFTS, MFTP, dentre outros, explicam 43 % da variância total dos dados (Tabela 9). Enquanto que a componente principal (CP2) que é composta preponderantemente pelos autovetores formados pelo °BRIXS, ATRS que são associados a produção agroindustrial, bem os autovetores ligados a teores de clorofila ClorAP, ClorBP e os ligados a química do solo. Silva et al. (2016) também encontraram valores altos para os autovetores que representam as variáveis do MFC, MSC MSF e MFF quando testaram diferentes doses de condicionadores de solo no cultivo de milho.

Na Figura 14 está apresentado o gráfico biplot das duas primeiras componentes (CP1 e CP2), exibindo os seus respectivos pesos, possibilitando uma visualização dos principais agrupamentos no conjunto de variáveis.

Figura 14- Biplot dos autovetores correspondentes aos dados de produção total e partes da planta, do solo e das trocas gasosas dos tipos de sorgo cultivados com água residuária, em Vitória de Santo Antão- PE.



MFTP= matéria fresca total da planta; **MFTS**= matéria fresca total da soca; **MSTP**= matéria seca total da planta; **MSTS**= matéria seca total da soca; **MFCP**= matéria fresca do colmo planta; **MFCS**= matéria fresca do colmo soca; **MSCP**= matéria seca do colmo planta; **MSCS**= matéria seca do colmo soca; **ETS**= etanol teórico soca; **°BRIXS**= teor de sólidos solúveis totais da soca; **ATRS**= açúcares totais recuperáveis soca; **ClorA**= clorofila a planta; **ClorBP**= clorofila b planta; **ClorBS**= clorofila b soca; **Na3**= sódio 3ª coleta; **K3**= potássio 3ª coleta; **Na4** sódio 4ª coleta; **K4**= potássio 4ª coleta; **CE4**= condutividade do extrato de saturação do solo 4ª coleta; **pH4**= potencial hidrogeniônico 4ª coleta; **K5**= potássio 5ª coleta; **A2S**= taxa de assimilação líquida 2ª leitura da soca; déficit de pressão de vapor da folha 2ª leitura planta; **A/EP2**= eficiência instantânea do uso de água planta 2ª leitura; **A/gS1**= eficiência intrínseca do uso de água soca 1ª leitura.

A proximidade dos autovetores que estão em destaque indica que estes têm alta correlação positiva entre si. Enquanto, os que estão em quadrantes opostos apresentam uma correlação negativa, exemplo ClorBP, ClorAP e A/EP2 tem uma correlação negativa com os autovetores °BRIXS e ATR, ou seja, quando a planta aumenta a concentração de clorofila a, b e A/EP2 o teor de °BRIXS e ATR reduz. Em relação aos autovetores do solo Na3 e pH4 estão em uma correlação direta e inversa com os demais. Cabral et al. (2019) ao avaliarem a qualidade de água residuária utilizada na irrigação também encontram comportamento semelhante para os autovetores Na⁺ e pH em correlação direta e inversa com a CE.

Não há um padrão de correlação direta persistente dos parâmetros químicos do solo. Isto é, o sódio e a CEes deveriam apresentar uma correlação direta e inversa com as variáveis de

crescimento da planta. Não foi constatado esse comportamento devido a dinâmica de aplicação constante da água residuária bem como a absorção dos íons pelo sistema radicular das plantas e a interferência dos eventos de chuvas no momento da condução do experimento.

Com a técnica de análise de componentes principais permitiu reduzir a dimensionalidade dos dados, com a formação de 2 componentes principais explicando 55,4% da variância total dos dados originais, e com a redução no número de variáveis de 56 para 26, o que equivale a diminuição de 53,5% das variáveis analisadas (Tabela 9).

4. CONCLUSÕES

- O primeiro corte representa, em média, 75% da produção do colmo e o segundo corte 79,5%, sendo que esses ganhos se refletem na produção de etanol.
- O acúmulo de matéria orgânica no solo favorecida pela aplicação de água residuária, minimiza os efeitos tóxicos da presença do sódio no solo.
- A maior disponibilidade de nutrientes presentes na água de irrigação favorece o incremento dos teores de pigmentos fotossintéticos e na taxa de assimilação líquida de CO₂.
- A análise de componentes principais é possível explicar 55,4% da variância total em duas componentes relacionadas a produção fotossintética (43%) e à agroindustrial (12,4%).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADROVER, M.; MOYÀ, G.; VADELL, J. Seasonal and depth variation of soil chemical and biological properties in alfalfa crops irrigated with treated wastewater and saline groundwater. **Geoderma**, v. 286, p. 54–63, 2017.

AHMAD, A. et al. Seasonal variations of soil phosphorus and associated fertility indicators in wastewater-irrigated urban aridisol. **Chemosphere**, v. 239, p. 1-12, 2020.

ALMEIDA, A. C. DOS S. et al. Soil physical properties and yield of soybean and corn grown with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 843–848, 2018.

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

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

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).

AYDIN, M. E. et al. Effects of long-term irrigation with untreated municipal wastewater on soil properties and crop quality. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 23, p. 19203–19212, 2015.

BARRETO, A. N. et al. Changes in chemical attributes of a Fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 480–486, 2013.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9.ed. Viçosa: Editora UFV, 2019.545 p.

BOARETTO, A. E.; CHITOLINA, J. C.; RAIJ, B. VAN; SILVA, F. C.; TEDESCO, M. J.; CARMO, C. A. F. S. do (1999) Amostragem, acondicionamento e preparação das amostras de plantas para análise química. *In*: Silva, F.C. da (org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA – Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, p. 49-73.

BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA R. **Sorgo do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UV, 2014. 275 p.

CABRAL, J. H. DE A. et al. Estatística multivariada na qualidade da água residuária utilizadas na irrigação na região semiárida brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 4, p. 121–133, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 5 – Safra 2018/19, n. 4 – Quarto Levantamento, abr. 2019.69 p.

CAMPI, P. et al. Energy of biomass sorghum irrigated with reclaimed wastewaters. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 176–185, 2016.

COSTA, F. X. et al. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água

residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 687–693, 2009.

DAHMOUNI, M. et al. Spatio-temporal variability of hydrochemical parameters and heavy metals in shallow groundwater of the area of Cebala–Borj–Touil, irrigated with treated wastewater (Tunisia). **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 2, p. 0, 2019.

DOBLINSKI, A. F. et al. Nonpoint source pollution by swine farming wastewater in bean crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 87–93, 2010.

DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo : pH , matéria orgânica , fósforo e potássio 1 Effects of application of treated wastewater in soil : pH , organic matter , phosphorus and potassium. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 19, p. 302–310, 2008.

DUTRA, E. D. et al. Ethanol Production from the Stem Juice of Different Sweet Sorghum Cultivars in the State of Pernambuco, Northeast of Brazil. **Sugar Tech**, v. 15, n. 3, p. 316–321, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Processamento industrial do sorgo sacarino**, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas – MG, 2p., 2012.

FREITAS, W. DA S. et al. Efeito da aplicação de águas residuárias de suinocultura sobre a produção do milho para silagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 120–125, 2004.

GANJEGUNTE, G. et al. Treated urban wastewater irrigation effects on bioenergy sorghum biomass, quality, and soil salinity in an arid environment. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 3, p. 534–542, 2018a.

GANJEGUNTE, G. et al. Organic carbon, nutrient, and salt dynamics in saline soil and switchgrass (*Panicum virgatum* L.) irrigated with treated municipal wastewater. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 1, p. 80–90, 2018b.

GHASSEMISAHEBI, F. et al. Effect of utilization of treated wastewater and seawater with Clinoptilolite-Zeolite on yield and yield components of sorghum. **Agricultural Water Management**, v. 234, n. February, p. 106117, 2020.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese de Cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341–348, 2000.

GUIGOU, M. et al. Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3058–3062, 2011.

HAIR, J. F. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Trad. Santanna, A. S.; Chaves Neto, A. Porto Alegre: Bo-okman, 2005. 679 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO-IPA. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife, 2008. 212 p.

JAHANY, M.; REZAPOUR, S. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. **Ecological Indicators**, v. 109, n. May 2019, p. 105800, 2020.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141–151, 1960.

KAKANI, V. G. et al. Leaf photosynthesis and carbohydrates of CO₂-enriched maize and grain sorghum exposed to a short period of soil water deficit during vegetative development. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 18, p. 2169–2176, 2011.

KELLER, J.; KARMELI D. **Trickle irrigation design. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing**, 1975. 133 p.

KHAI, N. M. et al. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri - urban agricultural systems. **VNU Journal of Science, Earth Sciences**, v. 24, n. May 2014, p. 87–95, 2008.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomes. **Methods in enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**. v.18, n.6, p.409-424, 1977.

MELO, R. F. DE et al. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo 1 Miscible displacement of basic cations from

cassava processing wastewater in soil columns. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 456–465, 2006.

MONTEIRO, D. R. et al. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water TT - Fluorescência da clorofila a em sorgo sacarino irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 673–678, 2018.

MUSAZURA, W. et al. Nitrogen and phosphorus dynamics in plants and soil fertigated with decentralised wastewater treatment effluent. **Agricultural Water Management**, v. 215, n. January, p. 55–62, 2019.

NASCIMENTO, J. D. S.; FILHO, J. F. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 36–45, 2015.

NUNES, J. A. S.; SILVEIRA, M. H. D.; SILVA, T. J. A.; NUNES, P. C. M.; CARVALHO, K. S. Taxa De Infiltração Pelo Método Do Infiltrômetro De Anéis Concêntricos Em Latossolo Vermelho De Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, n. V.8, p. 1685–1692, 2012.

REBOUÇAS, J. R. L. et al. Crescimento Do Feijão-Caupi Irrigado Com Água Residuária De. **Revista Caatinga**, v. 2125, n. 23, p. 97–102, 2010.

REDDY, B. V. S. Sweet sorghum - A potential alternate raw material for bioethanol and bio-energy. **Sorghum Millets Newslett**, v.46, p.79-86, 2005.

REGELINK, I. C. et al. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. **Geoderma**, v. 247–248, p. 24–37, 2015.

REKIK, I. et al. Effects of untreated and treated wastewater at the morphological, physiological and biochemical levels on seed germination and development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), alfalfa (*Medicago sativa* L.) and fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Journal of Hazardous Materials**, v. 326, p. 165–176, 2017.

SAHAY, S. et al. Waste water irrigation in the regulation of soil properties, growth determinants, and heavy metal accumulation in different Brassica species. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 2, 2019.

SURI, M. R. et al. U.S. farmers' opinions on the use of nontraditional water sources for

agricultural activities. **Environmental Research**, v. 172, n. June 2018, p. 345–357, 2019.

TABOSA, J. N. R.; ODEMAR V.; NASCIMENTO, M. M. A. L.; SILVA J. M. P.; FILHO, F. G.; BRITO, J. G. S.; RODRIGUES, A. R. M. B., JOSÉ A. S. O Sorgo Sacarino no Semiárido Brasileiro: elevada Produção de Biomassa e Rendimento de Caldo. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia- GO, 2010.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, G. W. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília- DF: Embrapa, 2017.573 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 819 p.

TARI, I. et al. Response of sorghum to abiotic stresses: A review. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, n. 4, p. 264–274, 2013.

URBANO, V. R. et al. Efeitos físico-químicos da irrigação com água de reúso em um Latossolo. **Revista Ambiente e Agua**, v. 10, n. 4, p. 738–747, 2015.

VASILAKOGLU, I. et al. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crops Research**, v. 120, n. 1, p. 38–46, 2011.

XIE, T.; SU, P. Canopy and leaf photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under drought stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 59, n. 2, p. 224–234, 2012.

ZEMA, D. A. et al. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. **Agricultural Water Management**, v. 115, p. 55–65, 2012.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, v.40, p. 1-12, 2012.

ZHAO, Y. L. et al. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, v. 111, n. 1–2, p. 55–64, 2009.

1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos e expostos são imprescindíveis que novos estudos sejam desenvolvidos com o reúso de água voltados para a agricultura, pois a literatura é reduzida, principalmente, voltada para as condições edafoclimáticas brasileira em condições de campo.

É necessário que novos estudos sejam feitos em ambientes distintos com esses tipos de sorgo para se ter uma melhor compreensão do comportamento da cultura frente a irrigação com água residuária.

Conforme constatado nesse estudo a irrigação com água residuária utilizada no cultivo do sorgo não acarretou a salinização do solo ao longo do tempo. Tornando possível a utilização desse recurso de forma viável econômico e ambientalmente sustentável.

A reutilização de água é uma das alternativas para atender a demanda hídrica crescente, principalmente no setor da agricultura. No entanto, para o reúso da água de qualidade inferior requer a regulamentação dessa prática por meio de leis ordinárias, portarias e resoluções. No entanto, no Brasil não tem uma legislação específica para tal finalidade, as que existem são bastante genéricas, ou seja, traz apenas definições de conceitos.

Portanto, é fundamental que se desenvolva mais pesquisas para subsidiar uma possível política de reúso de água na agricultura com parâmetros estabelecidos ao menos para os tipos de solos de referências predominante no país. A regulamentação é necessária para evitar o uso indiscriminado dessas águas que pode causar contaminação do solo com metais pesados, sais e microrganismos provocando problemas de saúde pública. Todavia, torna-se fundamental estabelecer parâmetros específicos para os aspectos biológico, químico e físico, conforme o uso.

Mesmo diante de escassas informações e dos possíveis problemas originados pelo reúso de água nos atributos do solo e das plantas recomenda-se que, antes de utilizá-lo como fonte de água de irrigação total ou suplementar, seja analisada a qualidade química e biológica do esgoto e os atributos do solo, para que assim, se torne possível o estabelecimento de um manejo correto para a irrigação e, com isso, possa evitar e/ou reduzir alterações indesejáveis na qualidade do solo, nas plantas e dos riscos à saúde pública, desse modo mantendo o sistema de produção sustentável.