

DANIEL RODRIGUES CAVALCANTE FEITOSA

**TROCAS GASOSAS, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE SORGO
SACARINO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA
SALOBRA E DOSES DE POTÁSSIO**

RECIFE - PE

2019

DANIEL RODRIGUES CAVALCANTE FEITOSA

**TROCAS GASOSAS, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE
SORGO SACARINO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM
ÁGUA SALOBRA E DOSES DE POTÁSSIO**

Tese de doutorado apresentada pelo Doutorando Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva

RECIFE - PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

F311t Feitosa, Daniel Rodrigues Cavalcante.
Trocas gasosas, crescimento e produção de sorgo sacarino sob lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio / Daniel Rodrigues Cavalcante Feitosa. - Recife, 2019.
74 f.: il.

Orientador(a): Ênio Farias de França e Silva.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. *Sorghum bicolor* (L.) Moench 2. Salinidade 3. Potássio
4. Fotossíntese 5. Etanol I. Silva, Ênio Farias de França e, orient.
II. Título

CDD 630

DANIEL RODRIGUES CAVALCANTE FEITOSA

**TROCAS GASOSAS, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO SOB
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA E DOSES DE POTÁSSIO**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

DEFENDIDA e APROVADA em 28 / 02 / 2019.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva (Presidente/Orientador)
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Daniel da Costa Dantas
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. José Nildo Tabosa
Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA)

Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto
Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)

A toda minha família, em especial a minha
esposa Michelle e meu filho Joaquim

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as coisas boas proporcionadas em nosso dia-a-dia.

Ao meu filho Joaquim e minha esposa Michelle, pelo amor, apoio incondicional, por serem insubstituíveis e fundamentais em todas as minhas conquistas.

À toda minha família, em especial aos meus pais José Rodrigues e Maria Neuza, e ao meu irmão Danilo Rodrigues, que mesmo de longe se fazem presentes em mais um objetivo conquistado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de realização dos estudos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte na realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio ao fomento da pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade (INCTSal), pelo apoio fundamental a pesquisa.

Ao Professor Ênio Farias de França e Silva, pela valiosa amizade e orientações durante essa jornada na pós-graduação.

Aos examinadores, Prof. Dr. Daniel da Costa Dantas, Prof. Dr. Manassés Mesquita da Silva, Prof. Dr. José Nildo Tabosa e Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto, pela atenção e empenho na correção do trabalho.

A todos os amigos do Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela troca de experiências e maravilhosos momentos vividos durante esses quatro anos.

A todos os professores e funcionários da Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela agradável companhia.

RESUMO GERAL

FEITOSA, Daniel Rodrigues Cavalcante. **Trocas gasosas, crescimento e produção de sorgo sacarino sob lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio**. 2019. 74 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

O uso racional da água muitas vezes não é realizado em muitas lavouras, ocasionando a escassez dos recursos hídricos. Além disso, o elevado saldo de energia solar disponível ao processo de evapotranspiração, juntamente com a adoção da irrigação, pode resultar em altas concentrações de sais no solo. Com isso, o uso de água salobra associado a adubação potássica, exige uma série de cuidados, pois poderá limitar a produção agrícola, reduzindo a produtividade das culturas, especialmente em regiões áridas e semiáridas. Dessa maneira, a compreensão dos efeitos desses insumos nas plantas de sorgo torna-se relevante para o entendimento dos mecanismos fisiológicos que a planta utiliza para tolerar o estresse. Objetivou-se então avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação com água salobra, e de diferentes doses de potássio, no cultivo do sorgo sacarino na região do Sertão Pernambucano, averiguando os aspectos fenológicos, produtivos e fisiológicos das plantas. O delineamento experimental empregado em campo consistiu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), cinco lâminas de irrigação com água salobra (40, 70, 100, 130 e 160% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% do recomendado para a cultura), com quatro repetições. O incremento na aplicação de lâminas com água salobra e de doses potássicas aumentaram as trocas gasosas foliares, proporcionando melhores índices de crescimento e produção do sorgo. O estudo revela que o uso da lâmina de irrigação correspondente a 160% da ETc, proporcionou ganhos produtivos de até 43,71 Mg ha⁻¹, podendo dessa forma a aplicação de água salobra ser uma alternativa de utilização na irrigação do sorgo sacarino, possibilitando economia de água de abastecimento urbano, proporcionando crescimento adequado. A adubação potássica nas plantas de sorgo com a dose recomendada pelo IPA (2008) (20 kg ha⁻¹ de K₂O), proporcionou de modo geral os melhores incrementos nas variáveis analisadas, estando desta forma atual e adequada para a variedade testada (IPA SF15) e condições de manejo do estudo.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Salinidade. Potássio. Fotossíntese. Etanol.

GENERAL ABSTRACT

FEITOSA, Daniel Rodrigues Cavalcante. **Gas exchange, growth and production of saccharine sorghum under irrigation blades with brackish water and potassium doses.** 2019. 74 f. Thesis (Ph.D. in Agricultural Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife.

The careful use of water does not often carry out in many farming's, causing a shortage of hydric resources. In addition, the high balance of solar energy available to the evapotranspiration processes, jointly with the irrigation adoption, can result in higher concentrations of salt in the soil. Thus, the use of the brackish water associated with the potassium fertilisation requires a lot of cares, since agricultural production might be restricted, reducing cultivation productions by anti-economic levels, especially in arid and semi-arid regions. That way, the comprehension of these raw materials effects in the sorghum is relevant to understand physiological mechanisms that the plant uses to tolerate the stress. Therefore, the goal of this study is to evaluate the irrigation depth effects with brackish water and doses of potassium in the growth and sweet sorghum in the semi-arid region of Pernambuco-Brazil. The experimental design was a randomized block (CBC) arranged in factorial structure (5 x 5), five irrigation depth with brackish water (40, 70, 100, 130, and 160% of the ETc), and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200% recommended to the cultivation) with four repetitions. The plant height, stem diameter, stem green mass, leaf green mass, panicle green mass and total green mass was observed. Increasing water replenishment with brackish water associated with doses of potassium increased the leaf gas exchange and generated larger sorghum growth and productivity. The study reveals the use of irrigation depth that corresponds to 160% of Etc provided productive gains up to 43, 71 Mg ha⁻¹, and therefore, the use of water saline in the sorghum cultivation can be an option to use in the irrigation. The potassium fertilization with the IPA doses recommendation (20kg ha⁻¹ of K₂O) provided better increments in the variables that were analysed and was thus adapted for the tested variety (IPA SF15) and the management conditions.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Salinity. Potassium. Photosynthesis. Ethanol.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	v
GENERAL ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO I – Introdução Geral e Revisão	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 HIPÓTESES.....	11
3 OBJETIVOS	11
3.1 Geral.....	11
3.2 Específicos	11
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
4.1 A cultura do sorgo	12
4.2 Irrigação	14
4.3 Uso de água salobra na agricultura	16
4.4 Comportamento do potássio em plantas sob estresse salino.....	18
4.5 Trocas gasosas em plantas sob estresse	20
REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO II – Trocas gasosas do sorgo sacarino sob doses de potássio e lâminas de irrigação com água salobra.....	24
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO III – Crescimento e produção do sorgo sacarino irrigado com água salobra e sob adubação potássica.....	48
RESUMO.....	49
ABSTRACT.....	50
1 INTRODUÇÃO.....	51
2 MATERIAL E MÉTODOS	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4 CONCLUSÕES.....	68
REFERÊNCIAS.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	74

CAPÍTULO I

Introdução Geral e Revisão

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento de fundamental importância para o desenvolvimento de qualquer cultura e o seu uso adequado favorece a obtenção de altos rendimentos. Com isso, irrigar adequadamente uma lavoura é maximizar a produtividade sem, contudo, causar danos ao meio ambiente, fazendo o uso racional da água e dos demais insumos, minimizando custos, proporcionando umidade ao solo e condições fitossanitárias favoráveis ao bom desenvolvimento das culturas.

Entretanto, o uso racional da água muitas vezes não é realizado em muitas lavouras, ocasionando a escassez dos recursos hídricos. Além disso, a elevada taxa de evapotranspiração em regiões semiáridas, juntamente com a adoção da irrigação, pode resultar em acúmulo de sais no solo.

Na região Nordeste, boa parte da água utilizada para a irrigação provém de poços rasos, sendo considerada de baixa qualidade por apresentar salinidade média de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$. Neste caso, sua utilização na agricultura fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao correto manejo da irrigação.

Baseado nesta prerrogativa, o sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma espécie vegetal considerada moderadamente tolerante à salinidade e está entre as espécies cultivadas que possuem genótipos com diferentes graus de tolerância ao estresse salino. É ainda uma espécie que apresenta elevada tolerância a seca e a alta temperatura, e quando irrigado, apresenta rápido desenvolvimento foliar e incremento de produção.

No entanto, o excesso de sais pode perturbar as funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, inibindo o crescimento das mesmas, em função dos efeitos osmóticos e tóxicos dos íons, causando distúrbios nas relações hídricas e alterações na absorção e na utilização de nutrientes essenciais para as plantas.

As interações iônicas que afetam a disponibilidade, absorção e transporte de nutrientes, são altamente complexas, em condições normais de campo. Com a utilização de águas salinas, adiciona-se um novo nível de complexidade para a nutrição mineral das culturas, afetando a atividade dos íons em solução e os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição. Com isso, a utilização da adubação potássica, visando a atenuação do estresse salino sobre as plantas, poderá ser uma alternativa viável para se elevar a produtividade das culturas nesses ambientes.

De qualquer modo, a irrigação de culturas com água salobra também implica numa série de alterações no sistema solo, sejam estas químicas, físicas ou biológicas. Com isso, é de

fundamental importância compreender as alterações metabólicas e fisiológicas que ocorrem nas plantas submetidas à irrigação com este tipo de água, a fim de identificar sua tolerância ou sensibilidade a este tipo de prática.

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

2 HIPÓTESES

As variáveis fisiológicas, produtivas e de crescimento do sorgo serão comprometidas com a aplicação de águas salobras e doses de potássio.

A adubação potássica ao solo minimizará o efeito da salinidade sobre as plantas, constatado através dos melhores índices produtivos nas diferentes lâminas de irrigação com água salobra.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação com água salobra, e de diferentes doses de potássio, no cultivo do sorgo sacarino na região do Sertão Pernambucano, averiguando os aspectos fenológicos, produtivos e fisiológicos das plantas.

3.2 Específicos

- a) Avaliar a combinação de diferentes lâminas de irrigação com água salobra e de doses de potássio que maximizam as trocas gasosas foliares do sorgo;
- b) Comparar o desempenho no crescimento do sorgo sacarino em função da aplicação de cinco lâminas de irrigação com água salobra e cinco doses de potássio;
- c) Determinar a melhor combinação dos fatores lâminas de irrigação e adubação potássica que maximizam a produção do sorgo em condições semiáridas;
- d) Verificar se a adubação potássica está associada aos maiores incrementos produtivos, em plantas submetidas ao estresse salino.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura do sorgo

Segundo a estimativa de safra realizada pela CONAB (2017), a produção brasileira de sorgo granífero na safra 2016/2017 atingirá a marca de 1.856.300 toneladas, com uma produtividade média de 2.937 kg ha⁻¹ em uma área plantada de 632.100 ha. Ainda segundo o mesmo levantamento, o Estado de Goiás é o maior produtor nacional da cultura, seguido por Minas Gerais, Bahia e Mato Grosso. Na região Nordeste, assim como também no Brasil de forma geral, o Estado de Pernambuco detém os piores índices de produção e produtividade da cultura do sorgo granífero, com previsão para a safra 2016/2017 de 800 toneladas e 155 kg ha⁻¹, respectivamente.

Já com relação ao sorgo sacarino, na safra 2011/2012 foram plantados no Brasil cerca de 20.000 hectares, com rendimentos variáveis de 40 a 65 toneladas de biomassa e rendimento de 2.000 a 3.000 litros de etanol por hectare (DURÃES et al., 2012).

Trata-se de uma planta C4, pertencente a família *Gramineae* (*Poaceae*), gênero *Sorghum*. Para um bom desenvolvimento da cultura, a grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21 °C. Já temperaturas acima de 38 °C ou inferiores a 16 °C limitam o desenvolvimento das cultivares.

A cultura do sorgo vem se destacando a nível nacional no contexto agropecuário pela sua excelente produtividade e por seus componentes energéticos, com elevada digestibilidade e adaptação a ambientes quentes e secos. Pode-se utilizar a planta da maneira mais variada possível, com uso na forma de silagem ou corte verde, diretamente em pastejo, os grãos para fabricação de rações animais e para o consumo humano, e mais recentemente no uso industrial na fabricação de álcool (sorgo sacarino) (BUSO et al., 2011).

O sorgo sacarino é uma planta semelhante ao sorgo forrageiro (porte alto, poucas sementes na panícula), podendo inclusive ser também utilizada como forrageira, porém, apresenta como principal característica o colmo doce e suculento como o da cana-de-açúcar. Este tipo de sorgo é hoje uma das espécies mais promissoras para elevar a quantidade de etanol produzido anualmente no Brasil.

Juntamente com a cana-de-açúcar, o sorgo sacarino apresenta-se como opção sob o ponto de vista agrônomo e industrial para a produção de etanol por oferecer uma série de vantagens como, rapidez no ciclo (em torno de quatro meses), cultura totalmente mecanizável,

colmos suculentos com açúcares diretamente fermentáveis, utilização do bagaço como fonte de energia, dentre outras (MAY et al., 2012).

O sorgo, apesar de ser considerada uma cultura resistente ao estresse hídrico, a planta também poderá sofrer efeitos do déficit hídrico, podendo reduzir consideravelmente a produtividade. Além disso, a baixa disponibilidade de água na planta poderá influenciar vários processos metabólicos, como o fechamento estomático, redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e transpiração, levando a reduções na taxa de crescimento (KIRCHNER, 2016).

Com isso, a lâmina de água requerida pela cultura durante o seu ciclo está entre 380 e 600 mm (SANS et al., 2003). No entanto, a determinação da lâmina de irrigação que reflete os melhores desempenhos produtivos e qualitativos da planta, varia de acordo com a região, sendo de fundamental importância sua determinação visando a sustentabilidade do cultivo.

Outro fator que merece destaque no que diz respeito à obtenção de produções satisfatórias na cultura do sorgo, refere-se à disponibilidade de nutrientes no solo. Sob condições naturais, poucos solos tem a capacidade de suprir a demanda de nutrientes para as culturas sem a aplicação de fertilizantes. Com isso, a adubação é uma das principais tecnologias usadas para o aumento da produtividade e da rentabilidade de uma lavoura, embora represente um custo significativo e possa aumentar o risco de investimento feito na lavoura. (PEREIRA FILHO et al., 2011).

Dentre os nutrientes essenciais, o potássio é o segundo mais requerido pelo sorgo e desempenha uma série de funções vitais para o pleno desenvolvimento da cultura.

Andriolo et al. (2010) comentam que, fisiologicamente o potássio participa no metabolismo de carboidratos, influenciando diretamente na produtividade, e mantém a turgescência das folhas, razão pela qual é essencial no transporte interno de açúcares, principalmente para os frutos, e no equilíbrio eletroquímico da planta.

O suprimento inadequado de potássio acarreta, dentre outras coisas, o funcionamento irregular dos estômatos, diminuindo assim a assimilação de CO₂, a taxa fotossintética, e conseqüentemente, a produção de fotoassimilados, ocasionando assim quedas produtivas (MESQUITA, 2014).

4.2 Irrigação

A água constitui uma das mais importantes substâncias para os processos vitais. Para os vegetais, uma singular importância é atribuída à água, pois o protoplasma das plantas chega a alcançar 95% ou mais de seu peso total, onde participa de processos metabólicos como a fotossíntese e a fosforilação oxidativa, por exemplo. Sendo a água considerada um solvente universal, possibilita a maioria das reações químicas a nível celular e nas plantas ainda assumem a primordial missão de desencadear o crescimento e o desenvolvimento vegetal (TAIZ et al., 2016).

Já sob condições de deficiência hídrica, as plantas são induzidas a utilizar o mecanismo de fechamento dos estômatos no intuito de restringir a perda de água reduzindo a transpiração. Com isso, a absorção de CO₂ é pronunciadamente sacrificada, acarretando como consequência reduções nas taxas fotossintéticas, uma vez que para as plantas se torna mais oportuno restringir à entrada de CO₂ em detrimento da perda de água. Dentre as reações mais relevantes das plantas ao déficit hídrico temos ainda a redução da produção de área foliar, a antecipação da senescência e abscisão das folhas. Assim, os processos fisiológicos são desencadeados de tal forma que permita a manutenção da água no solo, de forma a economizar para períodos futuros (TAIZ et al., 2016).

Com a finalidade de assegurar um abastecimento hídrico adequado para as plantas, em várias regiões, a técnica da irrigação passou a ser uma valiosa componente para tornar viável a agricultura.

Segundo Silva e Coelho (2003), irrigar adequadamente uma lavoura é maximizar a produtividade sem, contudo, causar danos ao meio ambiente, fazendo o uso racional da água e dos demais insumos, minimizando custos, proporcionando umidade ao solo e condições fitossanitárias favoráveis ao bom desenvolvimento das culturas. O projeto de qualquer sistema de irrigação requer o conhecimento prévio da quantidade de água a ser fornecida ao conjunto solo-planta para satisfazer as necessidades hídricas da cultura. Os aspectos agronômicos básicos envolvidos no manejo se resumem a duas questões, necessárias para o pleno desenvolvimento das culturas. A primeira é a estimativa da quantidade de água útil admitida pelo solo, que depende basicamente das características físicas e hídricas do solo, como também do tipo da cultura a implantar. A segunda é a quantificação das necessidades hídricas da planta.

A quantificação das necessidades hídricas das plantas pode ser realizada por diversas formas, e os métodos mais utilizados se baseiam no solo ou em dados climáticos, com a possibilidade de combinar ambos os elementos. Em se tratando nos métodos que se utilizam

de dados climáticos, a evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, tendo papel importantíssimo no ciclo hidrológico em termos globais. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano, etc), dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva) e a transpiração dos vegetais (MENEGUETTI, 2006).

Para suprir essa perda de água das plantas para atmosfera é necessário repor esta água ao solo a fim de garantir um bom desenvolvimento das culturas, de forma natural (chuva) ou artificial (irrigação).

A evapotranspiração de referência (ET_o), é um importante parâmetro agrometeorológico, principalmente para planejamento e manejo de irrigação, mas, também, é considerada elemento climático de demanda hídrica, daí sua aplicação em estudos meteorológicos, climatológicos e hidrológicos. A literatura apresenta diversos métodos para a estimativa da ET_o, desde aqueles mais simples, com base puramente empírica, até aqueles que apresentam embasamento físico consistente sobre o fenômeno, contudo, há sempre algum empirismo presente. Esta diversidade de métodos ocorre devido à complexidade da transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, aos diferentes climas presentes no mundo e à dificuldade de obtenção dos elementos meteorológicos necessários para a alimentação destes métodos. O método Penman-Monteith-FAO é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da ET_o, sendo adotado como padrão e que já vem sendo usado há duas décadas. Este método, além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície (CARVALHO et al., 2011).

Embasado em tudo que foi exposto até aqui e conjuntamente com as determinações de evapotranspiração, o estudo de diferentes lâminas de irrigação constitui uma maneira bastante prática para se determinar as necessidades hídricas de uma espécie em certa região, para que a mesma cresça e produza dentro dos limites impostos por seu potencial genético. Por meio das diferentes lâminas de irrigação e do conhecimento do comportamento agrônomico das plantas em função das variações na disponibilidade hídrica do solo, se torna possível optar pela aplicação de uma lâmina de água que atenda totalmente ou parcialmente as necessidades hídricas da cultura, desde que seja mais conveniente para o produtor, uma vez que nem sempre a aplicação da lâmina de irrigação que promove a maior produtividade é sinônimo de maior rentabilidade (SILVA et al., 2011).

4.3 Uso de água salobra na agricultura

A irrigação é uma técnica agrícola milenar que objetiva a aplicação artificial de água no solo, com a finalidade de assegurar um abastecimento hídrico adequado para as plantas, que aliada a outras práticas de condução da cultura em condições de campo como fertilização, mecanização e controle fitossanitário, asseguram maiores produções por área e elevadas rentabilidades aos cultivos (ACOSTA, 2009). Entretanto, a mesma demanda uma grande quantidade de água. Como os recursos hídricos se encontram cada vez mais escassos e as operações indispensáveis à sua aplicação acarretam elevados dispêndios com energia elétrica, se torna cada vez mais necessário manejar de forma racional este recurso (ANA, 2009).

Com isso, é de se esperar que a adoção de cultivos e tecnologias mais eficientes no uso de água, associado a investimentos maciços em prevenção da poluição, terão importância crescente a fim de amenizar a pressão e apropriação humana dos recursos hídricos disponíveis (TILMAN et al., 2002). Neste contexto, o uso de água salobra emerge como uma prática alternativa, seja a fim de se estabelecer um uso mais eficiente dos recursos hídricos, seja a fim de garantir a segurança e incremento da produção mundial de alimentos.

O uso de água salobra pode ser considerado como um recurso hídrico complementar a ser utilizado em algumas aplicações, possibilitando a disponibilização das águas de melhor qualidade para outros fins. Entretanto, o uso de água salobra exige uma série de cuidados, pois poderá limitar a produção agrícola, reduzindo a produtividade das culturas a níveis antieconômicos, especialmente em regiões áridas e semiáridas. A irrigação não planejada com este tipo de água resulta ainda efeito adverso nas relações solo-água-plantas, ocasionando restrição severa nas atividades fisiológicas e no potencial produtivo das plantas cultivadas. Em condições de altos níveis de sais solúveis na solução do solo, o crescimento, a expansão da superfície foliar e o metabolismo do carbono primário de muitas culturas são afetados negativamente devido ao efeito osmótico, déficit hídrico, toxicidade de íons e desequilíbrio nutricional (MACIEL et al., 2012).

Os sintomas de toxicidade nas plantas devido, por exemplo, ao sódio, aparecem em forma de queimaduras ou necrose, ao longo das bordas. As concentrações de sódio nas folhas alcançam níveis tóxicos após vários dias ou semanas e os sintomas aparecem, de início, nas folhas mais velhas e em suas bordas e, à medida que o problema se intensifica, a necrose se espalha progressivamente na área internerval, até o centro das folhas (GHEYI et al., 2016).

A toxicidade ao sódio é diagnosticada pelo teor de sódio na água ou porcentagem de sódio trocável (PST) no solo. A Tabela 1 classifica a tolerância de várias culturas ao Na, utilizando-se três níveis de PST, segundo Ayers e Westcot (1994).

Tabela 1. Tolerância relativa das culturas ao sódio trocável

Sensíveis (PST < 15)	Semi-tolerantes (PST de 15 a 40)	Tolerantes (PST > 40)
Caupi	Trigo	Capim de Rhodes
Grão de bico	Tomate	Capim Angola
Amendoim	Espinafre	Algodão
Lentilha	Sorgo	Capim bermuda
Tangerina	Centeio	Beterraba açucareira
Pêssego	Arroz	Beterraba
Laranja	Rabanete	Cevada
Pomelo (grapefruit)	Cebola	Alfafa
Ervilha	Aveia	
Milho	Mostarda	
Algodão (germinação)	Trevo	
Feijão	Cana-de-açúcar	
Noz	Milheto	
Frutas caducifólias	Alface	
Abacate	Fetusca	
	Cenoura	

*Listada em ordem crescente de tolerância

Diante disso, o sucesso do uso de água salobra para irrigação das culturas agrícolas requer práticas de manejo adequadas como, a seleção de culturas tolerantes a salinidade e a adoção de estratégias de aplicação de água que evitem o acúmulo de sais no solo e/ou mantenha a concentração de sais na zona radicular abaixo da tolerada pela cultura explorada. Com isso, faz-se necessário a realização de estudos objetivando o uso sustentável deste recurso.

Costa e Medeiros (2017), avaliando a produção de colmos, matéria seca, açúcar, açúcar teórico recuperável, energia pela queima da biomassa e etanol gerado de duas cultivares de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra), submetidas a diferentes concentrações salinas da água de irrigação (0,8; 2,4; 3,4 e 4,8 dS m⁻¹) e lâminas de irrigação (306, 378 e 490 mm), verificaram que a redução de até 23% da lâmina de irrigação considerada potencial para a cultura, não prejudica o rendimento de colmos e energia do sorgo. E ainda que, a cultivar BRS 506 é mais sensível a salinidade do que a cultivar Ponta Negra.

Coelho (2013), avaliando o crescimento e teores foliares de Na⁺ e Cl⁻ em dez genótipos de sorgo forrageiro ('F305', 'BRS 14 655', 'BRS 610', 'Volumax', '1.015.045',

‘1.016.005’, ‘1.016.009’, ‘1.016.013’, ‘1.016.015’ 15 e ‘1.016.031’), submetidos a irrigações com águas salinizadas (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5 dS m⁻¹), constataram que o crescimento dos genótipos foram similarmente afetados pelo aumento da salinidade, havendo certa relação com a elevação dos teores de íons Na⁺ e Cl⁻ nas folhas.

Por fim, Sá et al. (2018), avaliando a influência de doses de adubação fosfatada (0; 10; 20 e 30 mg dm⁻³ de Super Fosfato Simples) sob o crescimento e acúmulo de biomassa em plantas de sorgo sacarino irrigado com água salobra (0,6 e 3,0 dS m⁻¹), verificaram que o aumento da salinidade da água afeta o crescimento e o acúmulo de matéria seca das plantas, porém a adubação fosfatada reduz a salinidade e sodicidade do solo, amenizando o efeito do estresse salino sobre as plantas de sorgo sacarino.

As perspectivas para irrigação de culturas agrícolas com águas salinas são bastante promissoras, demandando, entretanto, que todos os riscos envolvidos sejam adequadamente mensurados e que estratégias específicas de manejo sejam aplicadas, objetivando a minimização de possíveis efeitos deletérios à qualidade do solo e à estabilidade da produtividade dos cultivos.

4.4 Comportamento do potássio em plantas sob estresse salino

A inibição do crescimento das plantas sob condições salinas ocorre tanto devido ao déficit hídrico provocado pela redução do potencial osmótico do solo, quanto pelo efeito causado pelo acúmulo de determinados íons no protoplasma, podendo causar problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais ou ambos (MUNNS, 2011).

Segundo Munns (2002), dentre as principais consequências observadas a partir do acúmulo de íons Na⁺ e Cl⁻ nas folhas pode-se citar necrose nos tecidos foliares e a aceleração da senescência de folhas maduras, reduzindo assim a área destinada à fotossíntese. Dessa forma, haverá limitação da atividade fotossintética não só a partir do fechamento estomático ocasionado pelo estresse osmótico, mas também pelo efeito dos sais sobre as folhas.

Em plantas que crescem em solos afetados por sais, por exemplo, observa-se a diminuição da concentração de K⁺ no citosol celular ocasionada pelo maior aumento da concentração de Na⁺ (ZHU, 2003). Essa menor absorção de K⁺ tem sido atribuída à maior competição entre o Na⁺ e o K⁺ pelos sítios de adsorção ou a um maior efluxo de K⁺ das raízes (MARSCHNER, 1995).

Zhu (2001) e Yoshida (2002) relatam que, incrementos na concentração de NaCl na solução do solo prejudicam a absorção radicular de nutrientes, principalmente de K e Ca, e interferem nas suas funções fisiológicas.

Na maioria dos casos, segundo Mansour (2003), os genótipos que são tolerantes à salinidade, têm a capacidade de manter altas relações K/Na nos tecidos. Com isso, pelo aumento na absorção de K e conseqüente redução na absorção de Na, o K contribui para manter assim a relação K/Na alta na planta, conforme resultados observados em plantas de pimentão (RUBIO et al., 2003).

Então, como a concentração de nutrientes no solo aumenta com a aplicação de fertilizantes, alguns autores tem afirmado que a aplicação de fertilizantes em quantidade maior do que a quantidade recomendada para a cultura, poderia trazer benefícios em condições de salinidade moderada, pois haveria maior absorção de nutrientes, aumentando as relações K/Na, Ca/Na e NO_3/Cl (CUARTERO e MUÑOZ, 1999).

Em contrapartida, existem divergências sobre o aumento da tolerância das culturas à salinidade pelo aumento da adubação. Verificam-se em muitos estudos, conduzidos com solos ou substrato deficiente em N, P e/ou K que, os efeitos benéficos de altas doses de nutrientes não implicam em aumento da tolerância das culturas à salinidade, uma vez que estas respondem positivamente aos níveis crescentes de fertilizantes mesmo nos tratamentos não-salinos. E plantas que se desenvolvem em solos férteis podem parecer mais tolerantes aos sais em relação àquelas que crescem em solos deficientes, pois a fertilidade é o principal fator limitante do crescimento (GRATTAN E GRIEVE, 1999).

As principais funções do potássio na planta estão relacionadas com a ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese, manutenção do equilíbrio iônico e da turgidez das células, controle da abertura e do fechamento dos estômatos, síntese e degradação de amido, transporte de carboidratos no floema, resistência da planta à geada, seca, salinidade do solo e doenças, além de melhorar a qualidade dos frutos (GURGEL et al., 2010).

Com isso, levando em consideração a importância do K^+ para as plantas, e de como o K^+ e o Na^+ concorrem diretamente entre si dentro e fora do ambiente celular, o manejo da adubação potássica em plantas irrigadas com águas salinas poderia ser mais uma estratégia a fim de minimizar os efeitos dos sais sobre as culturas.

4.5 Trocas gasosas em plantas sob estresse

A fotossíntese constitui a base da produção de uma cultura. Estima-se que 90% da matéria seca total de um vegetal resultem diretamente do processo fotossintético. Durante o estresse salino, as mudanças nas relações hídricas associadas com o acúmulo de íons no interior dos tecidos fotossintéticos têm implicações consideráveis para a atividade fotossintética das plantas. Vários estudos mostram que a redução no crescimento das plantas pode ser acompanhada por decréscimo na taxa de fotossíntese (AZEVEDO NETO et al., 2004).

A fotossíntese, junto com o crescimento celular, estão entre os processos primários que mais são afetados pelo estresse salino. O déficit hídrico e a limitação da difusão do CO₂ induzidos pela salinidade podem diminuir a atividade fotossintética a partir da redução na abertura estomática, ou por efeitos nas reações associadas aos cloroplastos (CHAVES et al., 2009).

A transpiração também é afetada pelo déficit hídrico o que interfere na produtividade das plantas, pois esta auxilia na translocação de compostos dentro da célula, sendo um importante fator no resfriamento dos tecidos. O resultado do estresse hídrico sobre a transpiração produz significativas diferenças entre plantas sob deficiência hídrica e irrigadas. Com a queda da disponibilidade de água no solo a transpiração diminui, devido à perda de água enquanto os estômatos estão abertos. A vegetação e o estágio de crescimento também são fatores que modificam a taxa de transpiração. Quando o solo está sob condições adequadas de umidade, a transpiração se mantém numa taxa potencial, determinada pelas condições meteorológicas. Outros fatores tais como temperatura, umidade relativa, correntes de vento também podem influenciar as taxas de transpiração (COELHO et al., 2014).

Apesar do sorgo, em geral, ser classificado como tolerante à salinidade, as espécies reagem de forma distinta à salinidade, podendo variar entre cultivares, idade da planta, condições ambientais, tempo de exposição, concentração salina, manejo da irrigação, fertilidade do solo ou outros estresses, assim, nenhuma planta será plenamente adaptável a todos os sistemas. A compreensão dos efeitos da salinidade torna-se relevante para o entendimento dos mecanismos fisiológicos que a planta utiliza para tolerar o estresse, possibilitando o melhoramento genético de cultivares e ampliando a capacidade de cultivo dessas espécies em diferentes condições ambientais (MUNNS, 2011).

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi – RN**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, 2009: Demandas de uso consuntivo**. 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 02 de Outubro de 2016.
- ANDRIOLO, J.L.; JANISCH, D.I.; SCHMITT, O.J.; DAL PICIO, M.D.; CARDOSO, F.L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, v. 40, p. 267-272, 2010.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water Quality for Agriculture**. 3. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage, Paper 29).
- AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, p. 31-38, 2004.
- BUSO, W. H. D. et al. Utilização do sorgo forrageiro na alimentação animal. **PUBVET**, v. 5, n. 23, Ed. 170, Art. 1145, 2011.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.
- COELHO, D.S.; MARQUES, M. A. D.; BEZERRA, J. A. da S.; GARRIDO, M. da S.; CARVALHO, P. G. S. Respostas fisiológicas em variedades de feijão caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, p. 14-19, 2014.
- COELHO, D. S. **Influência da salinidade nos aspectos nutricionais e morfofisiológico de genótipos de sorgo forrageiro**. 2013. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 4 – Safra 2016/17, n. 9 – Nono levantamento, Brasília, p. 1-161, junho 2017.
- COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salobra como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p.169-177, 2017.

CUARTERO, J.; MUÑOZ, R. F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1-4, p. 83-125, 1999.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema agroindustrial do sorgo sacarino no Brasil e a participação público-privada: oportunidades, perspectivas e desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 76 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 138).

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2 ed. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v. 78, p. 127-157, 1999.

GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 3-10, 2010.

KIRCHNER, J. H. **Influência de diferentes lâminas de irrigação na produção de sorgo forrageiro**. 2016. 139p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

MACIEL, M. P.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; REZENDE, E. P. L.; OLIVEIRA, G. X. S. Produção de girassol ornamental com uso de águas salobras em sistema hidropônico NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 165-172, 2012.

MANSOUR, M. M. F. Transport proteins and salt tolerance in plants. **Plant Science**, v. 164, p. 891-900, 2003.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889p.

MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G – Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 139).

MENEGUETTI, A. M. **Manejo da irrigação para a produção do minimilho através do tanque Classe A**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2006.

MESQUITA, J. B. R. **Influência de lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação na cultura do milho**. 2014. 85p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

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

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

PEREIRA FILHO, J. V.; BEZERRA, F. M. L.; SILVA, A. R. A.; FREITAS, C. A. S.; SOUSA, C. C. M.; SANTOS, P. B. Desempenho produtivo da mamoneira sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio, no Vale do Curú, CE. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 115-124, 2011.

RUBIO, F.; FLORES, P.; NAVARRO, J. M.; MARTINEZ, V. Effects of Ca^{+2} , K^{+} and cGMP on Na^{+} uptake in pepper plants. **Plant Science**, v. 165, p. 1043-1049, 2003.

SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; MELO, U. A.; PAIVA, E. P.; BERTINO, A. M. P.; MOREIRA, R. C. L. Crescimento e biomassa em plantas de sorgo sacarino irrigados com água salobra sob adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p.2561-2569, 2018.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. (Comunicado Técnico). MAPA. Sete Lagoas. 2003.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. C. M.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Desempenho de cultivares de girassol sob diferentes lâminas de irrigação no Vale do Curu, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2011.

SILVA, J. G. F. da; COELHO, E. F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. da (Eds). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, p. 163-198, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed., Artmed, 2016. 888 p.

TILMAN, D.; CASSMAN, K.G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671-677, 2002.

YOSHIDA, K. Plant biotechnology genetic engineering to enhance plant salt tolerance. **Journal Bioscience Bioengineering**, v. 94, n. 4, p. 585-590, 2002.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441-445, 2003.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, p. 66-71, 2001.

CAPÍTULO II

Trocas gasosas do sorgo sacarino sob doses de potássio e lâminas de irrigação com água salobra

TROCAS GASOSAS DO SORGO SACARINO SOB DOSES DE POTÁSSIO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA SALOBRA

RESUMO

Sob estresse, o sorgo apresenta características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas e, após o término deste período, as plantas podem até se recuperar mais rapidamente do que as que não passaram por tal limitação. Com isso, o monitoramento das trocas gasosas auxilia no entendimento de estratégias utilizadas pelas plantas sob manejos de água e nutrientes. Objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da irrigação com água salobra e doses de potássio nas trocas gasosas foliares do sorgo sacarino no semiárido pernambucano. O delineamento experimental empregado consistiu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), cinco lâminas de irrigação com água salobra ($CE = 1,92 \text{ dS m}^{-1}$) (40, 70, 100, 130 e 160% da ET_c) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% do recomendado para a cultura, equivalentes a aplicação de 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha^{-1}), com quatro repetições. Avaliaram-se a condutância estomática ao vapor d'água (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória foliar (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Com os dados de g_s , E e A , foram estimadas a eficiência intrínseca no uso de água (A/g_s , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$), e a eficiência momentânea no uso de água (A/E , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$). Com base na interação lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio, as variáveis fisiológicas foram comprometidas pela aplicação em excesso das doses de potássio (150 e 200% da recomendação para a cultura), por estarem associadas à intensificação dos efeitos osmóticos no solo devido à irrigação com água salobra. Com base na taxa de assimilação de CO_2 (A), a lâmina de irrigação com água salobra para repor 160% da ET_c associada a dose correspondente a 100% da recomendação de potássio, é a que propiciou maior valor desse parâmetro fisiológico. Os maiores valores para a condutância estomática, transpiração foliar e taxa de assimilação de CO_2 , foram obtidos com a reposição hídrica superior à necessidade da cultura (100% da ET_c), associadas as doses de potássio, indicando assim que a máxima eficiência dos parâmetros fotossintéticos do Sorgo sacarino IPA SF15, cultivado no Semiárido Pernambucano, dependem de um manejo com aplicações suplementares deste insumo. A reposição de potássio ao solo, seguindo o que recomenda o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (20 kg ha^{-1}), foi responsável por proporcionar os maiores valores de trocas gasosas nas diferentes lâminas de irrigação com água salobra.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Fotossíntese. Salinidade. Manejo da adubação.

GAS EXCHANGE OF SACCHARINE SORGHUM UNDER POTASSIUM DOSES AND IRRIGATION BLADES WITH BRACKISH WATER

ABSTRACT

Sorghum under stress presents physiological characteristics that allow stopping the growth or reduce its metabolic activities and, after the end of this period the plants can strengthen faster than the ones that weren't under stress. Thus, the gas exchange monitoring assists the strategies used by the plants under water and nutrients management. Therefore, the goal of this study is to evaluate the irrigation depth effects with brackish water and doses of potassium in the growth and sweet sorghum in the semi-arid region of Pernambuco-Brazil. The experimental design was a randomized block (CBC) arranged in factorial structure (5 x 5), five irrigation depth with brackish water ($EC = 1,92 \text{ dS m}^{-1}$)(40, 70, 100, 130, and 160% of the E_{Tc}), and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200% recommended to the cultivation) with four repetitions. The water vapour stomatal conductance ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), leaf transposition rate (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and liquid assimilation rate of CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) were observed. With g_s , E and A data the intrinsic efficiency in the water use (A/g_s , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) and momentaneous efficiency in the water use (A/E , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$) were evaluated. Based on the irrigation depth interaction with brackish water and potassium doses, the physiological variables were committed by the surplus application of doses of potassium (150 and 200% recommended to the cultivation), because they are associated by the osmotic effect's intensification in the soil due to the irrigation with brackish water. Based on the assimilation rate of CO_2 (A), the irrigation depth with brackish water that replaces 160% of the E_{Tc} associated to the doses corresponding to 100% of the potassium recommendation provided a high value of this physiological parameters. The higher values for stomatal conductance, leaf transposition and assimilation rate of CO_2 were obtained with the water replacement superior to the cultivation need (100% of E_{Tc}), associated to the doses of potassium, indicating that the maximum efficiency of the photosynthetic parameters of sweet sorghum IPA SF15, cultivated in the semi-arid of Pernambuco, depend on a management with supplemental applications of this raw material. The potassium fertilization with the IPA doses recommendation (20kg ha^{-1} of K_2O) provided better increments in the variables that were analysed and was thus adapted for the tested variety (IPA SF15) and the management conditions.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Photosynthesis. Salinity. Fertilization management.

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem sua origem na parte central da África e parte da Ásia, e devido as suas características, já é há algum tempo uma excelente alternativa de produção em regiões de baixa disponibilidade hídrica. Além de apresentar elevada tolerância a seca e a alta temperatura, quando irrigado apresenta rápido desenvolvimento foliar e incremento de produção (CARVALHO et al., 2000).

Diante das características citadas, nas regiões áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro, onde predominam baixos índices pluviométricos e irregularidade das chuvas, o conteúdo de sais nas águas é aumentado durante o período da estiagem, resultando em mais uma adversidade às plantas. Com a baixa oferta de água de boa qualidade para irrigação nestas regiões, a adoção de pesquisas recentes vem viabilizando o uso de águas salinas na exploração de plantas alimentícias e não alimentícias (SOUTO et al., 2015).

Sob estresse, o sorgo apresenta características fisiológicas que permitem paralisar o crescimento ou diminuir as suas atividades metabólicas e, após o término deste período, as plantas podem até se recuperar mais rapidamente do que as que não passaram por tal limitação (TINGTING et al., 2010). Com isso, o monitoramento das trocas gasosas auxilia no entendimento de estratégias utilizadas pelas plantas sob manejos de água e nutrientes, uma vez que os processos fisiológicos são diretamente influenciados por esses fatores (LIMA, 2018).

Moreira et al. (2013), estudando a resposta do sorgo sacarino a diferentes intensidades de irrigação relata que, a imposição de déficit hídrico afeta diretamente as taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, com respostas positivas da cultura com o incremento da irrigação na primeira fase de crescimento.

Do mesmo modo, o potássio possui reconhecida importância na fisiologia das plantas, pois, além de promover a abertura estomática, é também participante de processos vitais como a fotossíntese, regulação osmótica, balanço eletroquímico, transporte de solutos no xilema e floema, cofator para atividades enzimáticas, síntese de proteínas e resistência ao estresse (SHABALA e POTTOSIN, 2014).

Vários relatos indicam que as taxas fotossintéticas de plantas superiores se alteram consideravelmente em diferentes concentrações de potássio. A sua deficiência levaria a modular negativamente a expressão do conteúdo e atividade de Rubisco, a transpiração (E) e as condutâncias estomática (gs) e do mesófilo (gm) (WANG et al., 2012).

Portanto, com base nas informações anteriores, e da importância do manejo adequado da água e nutrientes na cultura do sorgo, visando a sustentabilidade dos cultivos,

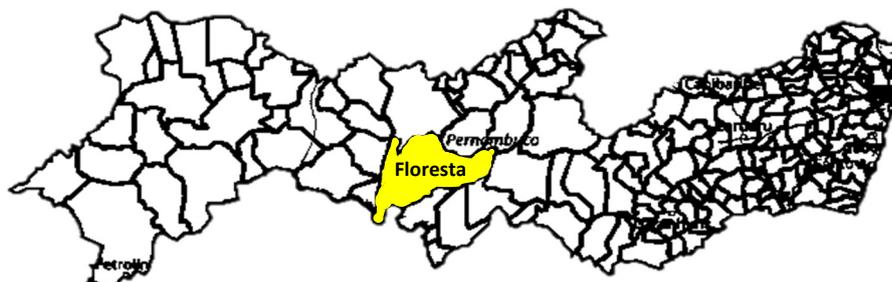
objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água salobra e doses de potássio nas trocas gasosas foliares do sorgo sacarino no semiárido pernambucano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Vale Ouro, localizada no município de Floresta, PE, à aproximadamente 433,0 km de distância da capital Recife (Figura 1). A sede municipal encontra-se a 316 metros em relação ao nível do mar e tem sua posição geográfica determinada pelo paralelo de 08° 36' 02" E e 38° 34' 05" S, com vegetação predominante de Caatinga Hiperxerófila.

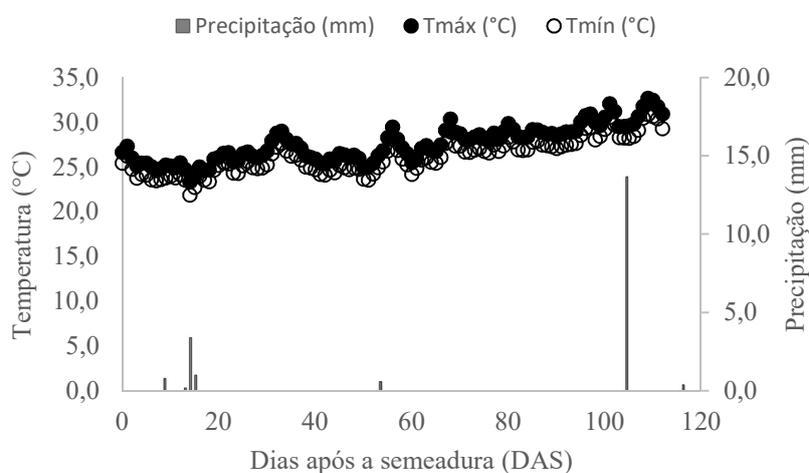
Figura 1. Localização geográfica do município de Floresta-PE.



O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h' (muito quente, semiárido, tipo estepe). A temperatura média anual é de 26,5°C e as precipitações variam em torno de 623 mm, concentrando-se nos meses de Janeiro a Maio, sendo Março e Abril os mais chuvosos. A Evapotranspiração Potencial média é de 1646 mm ao ano, com déficit hídrico anual de 1023 mm (EMBRAPA, 2001).

Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 20,0 mm e temperatura média de 26,9 °C (Figura 2).

Figura 2. Registros diários de precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante o período experimental.



Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema et al. (2011), cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental

Camada	Ext. Sat. CE/25°C	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	H+Al	T	Al ³⁺	V
(cm)	(dS m ⁻¹)	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	cmol _c dm ⁻³								(%)
0 - 20	2,20	7,60	74	0,42	7,2	2,4	1,91	11,94	0,0	11,94	0,0	100
20 - 40	3,30	7,40	24	0,37	7,8	2,0	1,78	11,98	0,0	11,98	0,0	100

Com base na análise de solo, foi determinado o Percentual de Sódio Trocável (PST), de acordo com a metodologia de Richards (1954); Ayers e Westcot (1994) (Equação 1). Para tanto, foi obtida inicialmente uma média dos elementos presentes em cada camada de solo, para então se determinar tal variável.

$$PST = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + H^+ + Al^{3+})} \times 100 \quad \text{eq. (1)}$$

Feito isso, o valor do PST encontrado para o solo em questão foi de 15,4%, se enquadrando como “mediamente sódico”, segundo a classificação do solo quanto à sodicidade de Massoud (1971), citado por Pizarro Cabello (1985; 1996).

2.2 Caracterização da fonte hídrica

Para efeito de conhecer e justificar as possíveis influências da água salobra utilizada nos diferentes tratamentos, foi realizada análise físico-química da mesma no início do experimento seguindo recomendações da American Public Health Association (2012), conforme podemos observar na Tabela 2. Para a classificação da salinidade (C) e sodicidade (S), utilizou-se a metodologia do Laboratório de Salinidade do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USSL), segundo Richards (1954).

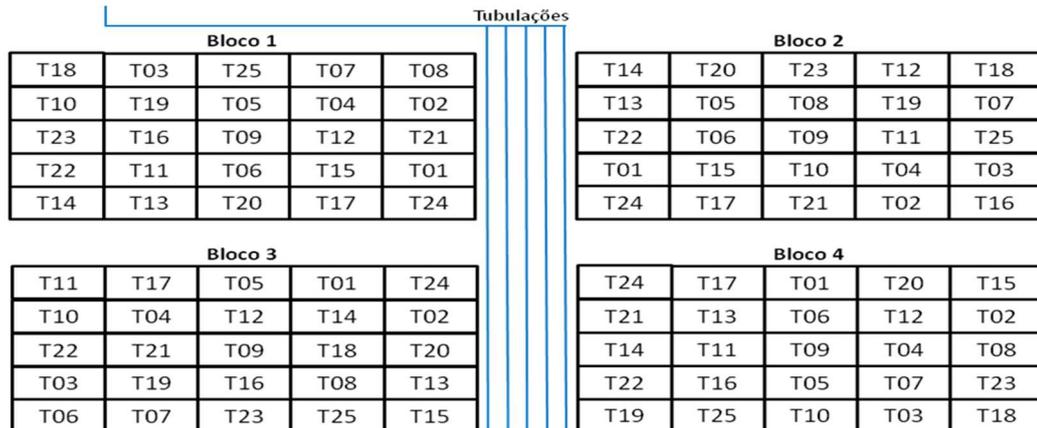
Tabela 2. Caracterização físico-química da água salobra de poço profundo utilizada.

Parâmetro	Unidade	Concentração
Cálcio	mmol L ⁻¹	6,55
Magnésio	mmol L ⁻¹	6,75
Sódio	mmol L ⁻¹	10,87
Potássio	mmol L ⁻¹	0,17
Carbonatos	mmol L ⁻¹	0,00
Bicarbonatos	mmol L ⁻¹	4,54
Sulfatos	mmol L ⁻¹	3,21
Cloretos	mmol L ⁻¹	22,00
pH	-	7,58
CE - 25°C	dS m ⁻¹	1,92
Dureza Total - CaCO ₃	mg L ⁻¹	66,50
Relação Adsorção de Sódio - RAS		2,67
Classificação Dureza da Água (CaCO ₃)		Branda
Classificação da Água Analisada		C3S1

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

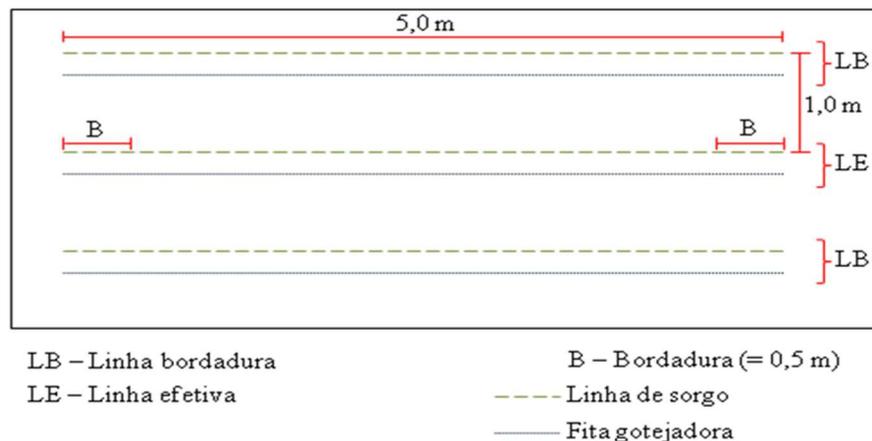
O delineamento experimental empregado consistiu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), compondo vinte e cinco (25) tratamentos e quatro (4) repetições, totalizando 100 parcelas experimentais em uma área de 1500 m² (Figura 3).

Figura 3. Delineamento experimental com distribuição dos tratamentos adotados.



Cada parcela foi compreendida por uma área de 15,0 m², sendo composta por três linhas simples de plantio de sorgo, com 5 m de comprimento linear e espaçamento entre fileiras de 1,0 m. Das três linhas simples que representam a parcela, apenas a linha central foi considerada como útil (efetiva) para as diferentes variáveis a serem analisadas, sendo as outras duas linhas consideradas como bordadura. Além disso, também foi considerado como bordadura os 0,5 m de cada extremidade das linhas (Figura 4).

Figura 4. Esquema de uma parcela experimental.



Desse modo, os tratamentos adotados foram distribuídos de acordo com a lâmina de irrigação com água salobra a ser aplicada na cultura (L1 = 40%, L2 = 70%, L3 = 100%, L4 = 130% ou L5 = 160% da ETc) e com a dose de adubação potássica empregada (D1 = 0%, D2 = 50%, D3 = 100%, D4 = 150% ou D5 = 200% da quantidade sugerida para a cultura (IPA, 2008)). A seguir, tem-se a distribuição dos diferentes tratamentos utilizados na área experimental.

T01 – L1D1: Tratamento onde foi aplicada uma lâmina de irrigação com água salobra correspondente a 40% da Evapotranspiração da Cultura (ETc), combinado ainda com uma dose de adubação potássica de 0% da quantidade sugerida para a cultura segundo IPA (2008).

Portanto, para os demais tratamentos temos: **T02 - L1D2; T03 - L1D3; T04 - L1D4; T05 - L1D5; T06 - L2D1; T07 - L2D2; T08 - L2D3; T09 - L2D4; T10 - L2D5; T11 - L3D1; T12 - L3D2; T13 - L3D3; T14 - L3D4; T15 - L3D5; T16 - L4D1; T17 - L4D2; T18 - L4D3; T19 - L4D4; T20 - L4D5; T21 - L5D1; T22 - L5D2; T23 - L5D3; T24 - L5D4; T25 - L5D5.**

As doses de potássio (K_2O) foram fornecidas utilizando-se o adubo mineral cloreto de potássio (KCl, 60% de K_2O), fornecendo-se 50% da dose em fundação e os outros 50% em cobertura 40 dias após o plantio. A adubação de cobertura foi realizada em sulcos localizados à 10,0 cm das linhas de plantio, na profundidade de 10,0 cm.

2.4 Sistema e manejo da irrigação

A água salobra utilizada para irrigação, era captada de um poço profundo instalado próximo a área experimental. Para a sucção da água salobra do poço profundo, foi utilizada bomba submersa com potência de 1,0 cv. Esta, por sua vez, conduzia a água para um reservatório superficial de onde era novamente bombeada para o sistema de irrigação (Figura 5).

Figura 5. Captação, armazenamento e distribuição da água salobra utilizada no experimento.



O método de irrigação utilizado em campo foi o localizado por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição, foram utilizadas tubulações de polietileno de 16 mm de diâmetro onde foram instalados gotejadores autocompensantes com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$ para pressões nominais variando na faixa de 5 a 40 mca, espaçados a cada 0,25 m de modo a perfazer a faixa molhada durante seu funcionamento (Figura 6).

Figura 6. Detalhe das linhas laterais de irrigação instaladas em campo.



Com relação ao manejo da irrigação, as lâminas aplicadas em cada tratamento corresponderam a um percentual da evapotranspiração da cultura (ET_c), como descrito no item anterior. Com isso, o cálculo da ET_c tomou por base a evapotranspiração de referência diária (ET_o) estimada por meio do modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) (Equação 2) e o coeficiente de cultivo (K_c) adotado para cada fase fenológica da cultura do sorgo, de acordo com Doorenbos e Kassam (1979) (Tabela 3), em que dados climáticos foram obtidos da estação agrometeorológica de aquisição automática de dados (marca CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_0 = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

ET_0 – evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

R_n – radiação líquida na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

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

T_2 – temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s – pressão de saturação de vapor, KPa;

e_a – pressão atual de vapor, KPa;

$(e_s - e_a)$ – déficit de pressão de saturação de vapor, KPa;

Δ – declividade da curva de pressão vapor de saturação versus temperatura, KPa °C⁻¹;

γ – constante psicrométrica, KPa °C⁻¹;

Tabela 3. Coeficiente de cultivo (K_c) para o sorgo

Estádios de desenvolvimento	Coeficiente de cultivo (K_c)*
I – Emergência até 10% da cobertura da superfície do solo (CSS)	0,3 – 0,4
II – 10% da CSS até 80% da CSS	0,7 – 0,75
III – 80% da CSS até 100% da CSS (inclusive com frutos)	1,0 – 1,15
IV – Maturação fisiológica	0,75 – 0,8
V - Colheita	0,5 – 0,55

*Primeiro número: sob alta umidade ($UR_{min} > 70\%$) e vento fraco ($U < 5 \text{ m s}^{-1}$); Segundo número: sob baixa umidade ($UR_{min} < 20\%$) e vento forte ($U > 5 \text{ m s}^{-1}$).

Fonte: Doorenbos e Kassam, 1979.

Para o cálculo da ET_0 , foram utilizados os valores de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa média e radiação solar. Com isso, a estimativa da ET_c foi calculada de acordo com a Equação 3, como segue.

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

ET_C – evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

ET_O – evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ;

K_C – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

A diferenciação das lâminas de irrigação para cada tratamento foi estabelecida de acordo com o tempo de irrigação (T_i), sendo T_i calculado pela Equação 4, adotando-se um turno de rega (TR) de 2 dias.

$$T_i = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

T_i – tempo de irrigação, min;

F – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,40, 0,70, 1,00, 1,30 e 1,60;)

ET_C – evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

E_{LL} – espaçamento entre linhas laterais, m;

E_g – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

q_g – vazão do emissor, L h^{-1} ;

E_a – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

2.5 Cultura

A cultivar de sorgo sacarino estudada foi a IPA SF 15, oriunda do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA) (Figura 7). A correção e adubação do solo foram realizadas em fundação e cobertura conforme recomendações do IPA (2008). Os tratos fitossanitários e a manutenção de erva daninha foram realizados conforme necessidade da cultura e monitoramento constante.

Figura 7. Sorgo sacarino IPA SF 15 em pleno desenvolvimento e detalhe da panícula.



2.6 Preparo da área e plantio

Antes do plantio, foram realizadas algumas práticas a fim de facilitar e garantir a qualidade de instalação do experimento. Dentre elas, inicialmente foram feitas as demarcações de todas as parcelas experimentais. Posteriormente, para o plantio da cultivar em questão, foram abertos sulcos com profundidade média de 0,05 m e espaçados à 1,0 m entre linhas, dispondo as sementes nos mesmos de modo a perfazer uma densidade final de 15 plantas por metro linear. Após a etapa de plantio, todos os sulcos foram fechados e nivelados manualmente com o auxílio de enxada.

2.7 Variáveis analisadas

Aos 73 DAE, foi medida a condutância estomática ao vapor d'água (gs , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória foliar (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Com os dados de gs , E e A , foram estimadas a eficiência intrínseca no uso de água (A/gs , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$), e a eficiência momentânea no uso de água (A/E , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$).

As medições de trocas gasosas foliares foram realizadas entre 10:00h e 13:00 h em folhas saudáveis, totalmente expandidas, sendo padronizada a folha n. 4 a contar do ápice para a base, considerando como primeira, àquela emitida mais recentemente. As medições foram obtidas por meio de um analisador de gás no infra-vermelho (IRGA, modelo LI-6400 XT)

realizadas aleatoriamente em uma planta da área útil de cada parcela, com a finalidade de minimizar os erros.

Os dados foram coletados em sistema aberto com a câmara foliar ajustada para densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, temperatura ambiente e concentração de CO₂ capsular, aproximadamente, de $1800 \pm 267 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $31 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $500 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$, respectivamente.

2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância à 0,05 de probabilidade. Nos casos em que as lâminas (L) e doses (D) foram significativas, as médias foram submetidas a análise de regressão, selecionando o polinômio que melhor reflete o fenômeno biológico estudado. Quando constatado efeito significativo da interação entre os fatores estudados, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando as lâminas (L) e as doses (D) como variáveis independentes.

Nos casos em que o coeficiente de determinação (R²) da regressão múltipla foram inferiores a 50%, efetuou-se o desdobramento.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM para análise de variância, PROC REG para análise de regressão e PROC RSREG, para análise de superfície de resposta (ZIMMERMANN, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificada interação significativa entre os fatores lâmina de irrigação (ID) e dose de potássio (KR) a $p < 0,01$ para condutância estomática (gs), transpiração foliar (*E*) e taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*). Já para a eficiência intrínseca no uso de água (*A/g_s*), houve apenas resposta significativa desta variável isoladamente para o fator dose de potássio, assim como também para a eficiência momentânea no uso de água (*A/E*), apresentando resposta significativa isolada apenas para o fator lâmina de irrigação (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da significância estatística para a condutância estomática (gs), transpiração foliar (E), taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), eficiência intrínseca no uso de água (A/gs) e eficiência momentânea no uso de água (A/E).

Fontes de Variação	GL	$P > F$				
		gs	E	A	A/gs	A/E
Bloco	3	0,2718	0,0237	0,7945	0,0605	0,0050
Lâmina (ID)	4	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0779	0,0139
<i>reg. linear</i>	1	-	-	-	-	0,041
<i>reg. quadrática</i>	1	-	-	-	-	0,022
Dose (KR)	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0094	0,2918
<i>reg. linear</i>	1	-	-	-	0,176	-
<i>reg. quadrática</i>	1	-	-	-	0,007	-
ID x KR	16	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,1659	0,3638
Erro	72	-	-	-	-	-
CV (%)		19,98	15,40	12,69	25,11	16,80

O aumento da reposição hídrica até a lâmina correspondente à 886 mm (160% da ETc) combinado com a dosagem de potássio 20 kg ha⁻¹ (100% da dosagem recomendada para a cultura), estimularam a condutância estomática até o máximo valor de 0,244 mol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 8A).

Figura 8. Condutância estomática do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 8A):

$$\hat{y}(\bullet) = 0,021135 + 0,0002666**x - 0,000001**x^2; R^2=0,3084$$

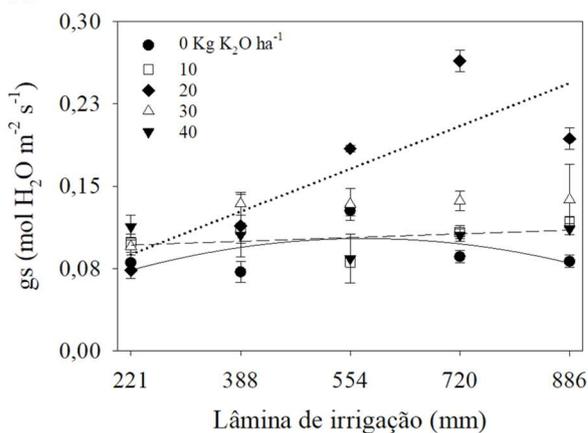
$$\hat{y}(\square) = 0,092040 + 0,000020*x; R^2=0,1407$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 0,035921 + 0,000235**x; R^2=0,6921$$

$$\bar{y}(\triangle) = 0,1275$$

$$\bar{y}(\blacktriangledown) = 0,1038$$

A.



Equações (Figura 8B):

$$\hat{y}(\bullet) = 0,080065 + 0,000614*x; R^2 = 0,3836$$

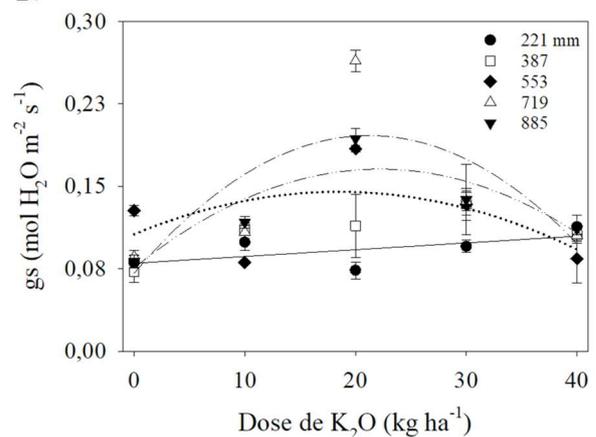
$$\bar{y}(\square) = 0,107340$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 0,106272 + 0,004203**x - 0,000114**x^2; R^2=0,2680$$

$$\hat{y}(\triangle) = 0,070834 + 0,011827**x - 0,000279**x^2; R^2 = 0,5524$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 0,075674 + 0,008128**x - 0,000183**x^2; R^2 = 0,7702$$

B.



No desdobramento das adubações potássicas dentro de cada lâmina de irrigação (Figura 8B), o maior valor de condutância estomática foi de $0,196 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, utilizando uma dose de potássio de $21,19 \text{ kg ha}^{-1}$ combinada com a lâmina de irrigação de 719 mm (130% da ETc). O excesso de insumos (lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio superiores a 20 kg ha^{-1} (100% da dosagem recomendada para a cultura), pode ter levado as plantas de sorgo ao estresse, comprometendo assim os valores de condutância estomática na maioria dos tratamentos (Figura 8B), como o observado por Lima (2018), onde constatou efeito semelhante para a cultura do algodoeiro colorido no semiárido Pernambucano.

Prazeres et al. (2015), avaliando o crescimento e as respostas fisiológicas de duas cultivares de feijão-caupi, irrigadas com água salina e submetidas a diferentes níveis de potássio, em condições de ambiente protegido, verificaram que, maiores doses de potássio em conjunto com a salinidade proporcionaram efeito depressivo na condutância estomática, em comparação ao efeito isolado da salinidade, sendo um indicativo da intensificação dos efeitos osmóticos.

Doses excessivas de adubo potássico podem acarretar lixiviação do cátion K^+ , provocar um efeito salino no solo e um desequilíbrio catiônico no complexo de trocas do solo, afetando principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} (AQUINO, 2003), o que pode desta forma explicar a diminuição da condutância estomática nas maiores dosagens de potássio aplicadas.

A existência de interações entre salinidade e potássio é um indicativo de que a dose ótima desse nutriente depende da salinidade na zona radicular das plantas, sendo uma informação importante para o manejo de cultivos em ambientes salinos, por minimizar os efeitos da salinidade.

Dentro dos níveis estudados de cada fator, a combinação da lâmina de 886 mm (160% da ETc) e da dose de 20 kg ha^{-1} de K_2O (100% do recomendado para a cultura com base na análise de solo) foi a que proporcionou o maior valor para transpiração foliar (E), com máximo de $11,46 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, de acordo com a equação de regressão (Figura 9A).

Figura 9. Transpiração foliar do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 9A):

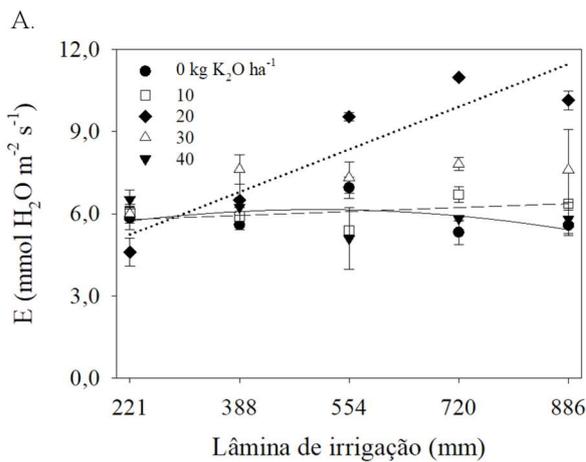
$$\hat{y}(\bullet) = 4,847939 + 0,005169 * x - 0,000005 * x^2; R^2 = 0,2092$$

$$\hat{y}(\square) = 5,605662 + 0,000868 * x; R^2 = 0,2142$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 3,167395 + 0,009367 * x; R^2 = 0,8339$$

$$\bar{y}(\triangle) = 7,27$$

$$\bar{y}(\blacktriangledown) = 5,90$$



Equações (Figura 9B):

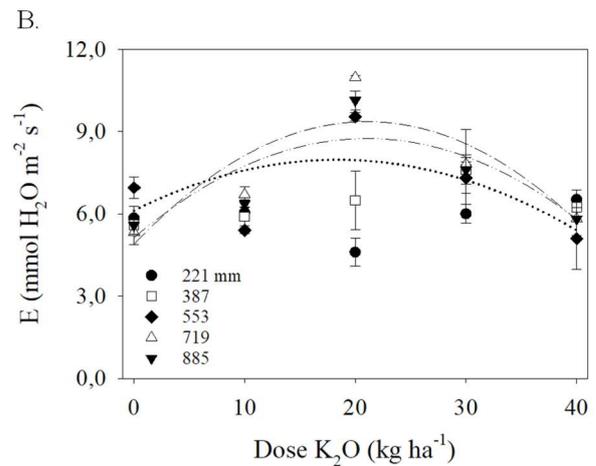
$$\bar{y}(\bullet) = 5,80$$

$$\bar{y}(\square) = 6,37$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 6,123929 + 0,202189 * x - 0,005505 * x^2; R^2 = 0,3599$$

$$\hat{y}(\triangle) = 4,887500 + 0,425675 * x - 0,010113 * x^2; R^2 = 0,7319$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 5,130000 + 0,344000 * x - 0,008175 * x^2; R^2 = 0,6904$$



O comportamento da transpiração se assemelha muito ao da condutância estomática, o qual é reforçado por Gonçalves et al. (2010), onde ressalta que existe uma relação direta entre transpiração e condutância estomática, tendo em vista que há diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, a medida que se fecham os estômatos.

Os efeitos e justificativas para a transpiração são semelhantes aos da condutância estomática, pois doses excessivas de potássio (maiores do que os 20 kg ha^{-1} de K_2O recomendados para a cultura) intensificam os efeitos osmóticos, promovendo o decréscimo na taxa de transpiração das plantas com o aumento da dosagem na maioria dos tratamentos (Figura 9B).

Verificou-se ainda uma tendência linear crescente da transpiração com o aumento das lâminas de irrigação, quando estas estavam combinadas com a adubação potássica de 10 e 20 kg ha^{-1} de K_2O (Figura 9A). No entanto, o efeito da deficiência hídrica causou redução sobre a taxa de transpiração, isso ocorre devido à redução do potencial da água na folha, onde a diminuição desse potencial provoca o fechamento dos estômatos, diminuindo a condutância estomática e conseqüentemente o decréscimo na transpiração (TAIZ et al., 2016).

Levando em consideração a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), houve interação significativa para esta variável entre os fatores estudados (lâminas de irrigação com água salobra versus adubação potássica). Com isso, a combinação da lâmina 886 mm (160% da E_Tc) com a dose de 20 kg ha^{-1} de K_2O (referente a 100% da dose recomendada para a cultura) foi a que proporcionou o maior valor de taxa de assimilação líquida de CO_2 , atingindo incremento da ordem de $41,22 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 10A).

Figura 10. Taxa de assimilação líquida de CO_2 do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 10A):

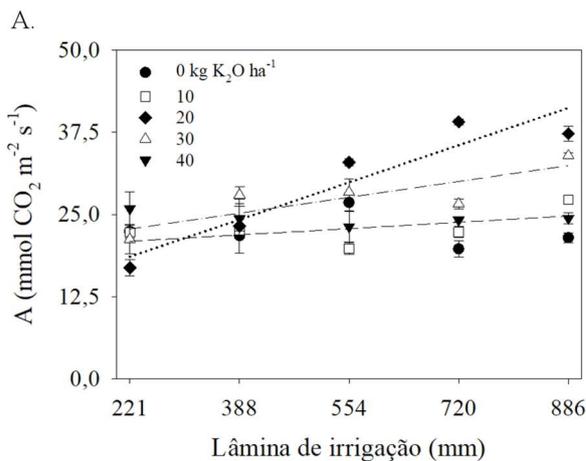
$$\bar{y}(\bullet) = 22,45$$

$$\hat{y}(\square) = 19,640349 + 0,005836**x; R^2=0,3187$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 11,031545 + 0,034078**x; R^2=0,8871$$

$$\hat{y}(\blacktriangle) = 19,603626 + 0,014516**x; R^2=0,7036$$

$$\bar{y}(\blacktriangledown) = 24,40$$



Equações (Figura 10B):

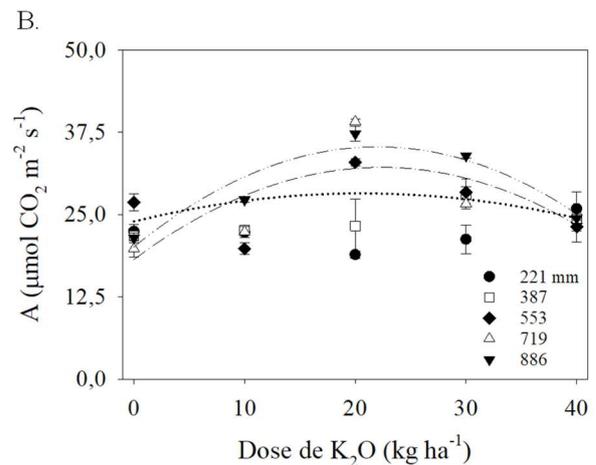
$$\bar{y}(\bullet) = 22,15$$

$$\bar{y}(\square) = 24,00$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 23,9646 + 0,4139*x - 0,0100*x^2; R^2= 0,1421$$

$$\hat{y}(\blacktriangle) = 18,1630 + 1,2557**x - 0,0281**x^2; R^2 = 0,5631$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 20,0683 + 1,3849**x - 0,0314**x^2; R^2=0,8879$$



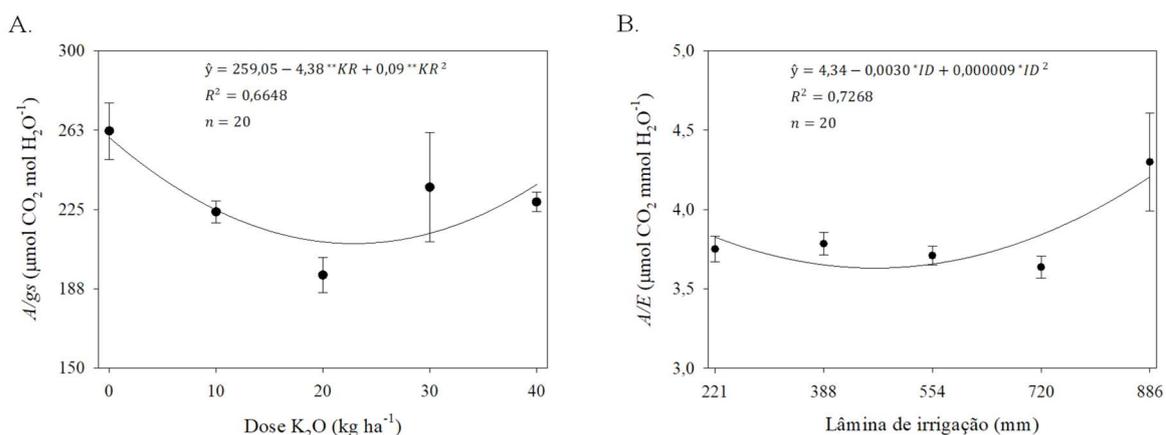
Constatou-se que, doses de potássio acima do recomendado para a cultura (maiores do que 20 kg ha^{-1} de K_2O), mesmo com a aplicação das maiores lâminas de irrigação, promoveu a redução na taxa fotossintética na maioria dos tratamentos (Figura 10B), o que por sua vez, pode ser devida ao fechamento parcial dos estômatos, associado aos efeitos osmóticos da salinidade (NEVES et al., 2009). Porém, de acordo com Kurban et al. (1999), as reduções nas taxas fotossintéticas pelo estresse salino podem estar mais relacionadas com os danos no aparelho fotossintético e/ou no sistema enzimático de fixação do CO_2 , causadas pela toxidez iônica sobre o metabolismo do que, propriamente, com as limitações estomáticas.

Com relação as lâminas de irrigação aplicadas, houve um aumento linear das taxas de assimilação líquida com o incremento das lâminas, quando estas estavam combinadas com a adubação potássica de 10, 20 e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 10A), o qual corrobora com Silva et al. (2010), onde, analisando as trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica (reposição de 100, 50 e 25% da evapotranspiração), constataram que as plantas que receberam 25% da água perdida por evapotranspiração apresentaram reduções nos níveis de assimilação fotossintética.

Em condições de deficiência hídrica, as taxas fotossintéticas são negativamente afetadas, principalmente, devido ao mecanismo de fechamento estomático. Com o fechamento estomático, as plantas não só reduzem as perdas de água por transpiração, como também reduzem o suprimento de CO₂ para as folhas e, como consequência, a produção de biomassa das plantas é comprometida (SILVA et al., 2013).

Avaliando as eficiências no uso de água pelas plantas de sorgo, foi observado diferença significativa (p<0,01) para eficiência intrínseca no uso de água apenas para o fator isolado dose de potássio. Já para a eficiência momentânea no uso de água, foi observado diferença significativa (p<0,05) apenas para o fator isolado lâmina de irrigação, conforme pode-se observar na Figura 11.

Figura 11. Eficiência intrínseca (A) e momentânea (B) no uso de água do sorgo sacarino IPA SF15 em função das lâminas de irrigação com água salobra (ID) e doses de potássio (KR).



Com relação a eficiência intrínseca no uso de água, foram observados maiores valores da mesma com a aplicação das menores doses de potássio, atingindo seu valor mínimo com a dose de 20 kg ha⁻¹ de K₂O. Tal valor mínimo de eficiência intrínseca, está associado ao fato de que, com a aplicação da dose de potássio de 100% da recomendada para a cultura, temos

os maiores valores de condutância estomática, sendo esta dose então a que proporcionou a maior abertura estomática e conseqüentemente a maior atividade metabólica do sorgo na produção de fotoassimilados, refletindo dessa maneira na menor eficiência intrínseca do uso de água (A/g_s).

Já com a aplicação das maiores doses de potássio (30 e 40 kg ha⁻¹ de K₂O; 150 e 200% da dose recomendada para a cultura, respectivamente), observou-se novamente o aumento da eficiência intrínseca. Tal aumento pode ser explicado pelo fato de que, embora a fotossíntese seja reduzida com o aumento da salinidade, proporcionado pelas doses excessivas de potássio, o fechamento parcial dos estômatos faz elevar a eficiência intrínseca, podendo se relacionar também com a eficiência momentânea, pois o fechamento parcial dos estômatos em função do aumento da salinidade reduz a transpiração foliar, acarretando em menores perdas de água e conseqüente aumento da eficiência momentânea (BRANCO, 2016).

Para a eficiência momentânea no uso de água, observou-se comportamento semelhante aos dados apresentados para a eficiência intrínseca, pois o comportamento das duas estão intimamente relacionados no estudo em questão. Porém, para a maior lâmina de irrigação aplicada (886 mm, relativo a reposição de 160% da ET_c), foi constatado um aumento substancial na eficiência momentânea em relação as demais lâminas aplicadas. Este comportamento está associado ao fato das plantas responderem rapidamente aos incrementos das lâminas de irrigação aplicadas proporcionando elevadas taxas fotossintéticas em comparação a transpiração foliar (SILVA et al., 2015).

Soares et al. (2012) relatam que, a eficiência no uso de água ou o coeficiente transpiratório varia de acordo com as espécies de plantas, sendo as plantas C₄ mais eficientes do que as C₃ na economia da água.

4 CONCLUSÕES

Com base na interação lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio, as variáveis fisiológicas foram comprometidas pela aplicação de doses de potássio acima (150 e 200%) e abaixo (0 e 50%) da recomendação para a cultura.

Com base na taxa de assimilação de CO₂ (A), a lâmina de irrigação com água salobra para repor 160% da ET_c associada a dose correspondente a 100% da recomendação de potássio, é a que propiciou maior valor desse parâmetro fisiológico.

Os maiores valores para a condutância estomática, transpiração foliar e taxa de assimilação de CO₂, foram obtidos com a reposição hídrica superior à necessidade da cultura

(100% da ETc), associadas a dose de potássio correspondente a 20 kg ha⁻¹ de K₂O, indicando assim que a máxima eficiência dos parâmetros fotossintéticos do Sorgo sacarino IPA SF15, cultivado no semiárido Pernambucano, dependem de um manejo com aplicações suplementares de irrigação.

A reposição de potássio ao solo, seguindo o que recomenda o Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA) (20 kg ha⁻¹), foi responsável por proporcionar de maneira geral os maiores valores de trocas gasosas nas diferentes lâminas de irrigação com água salobra, estando desta forma atual e adequada para a variedade testada (IPA SF15).

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.
- AQUINO, B. F. **Adubos e Adubação**. Fortaleza: UFC. 2003. 241p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water Quality for Agriculture**. 3. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage, Paper 29).
- BRANCO, L. M. C. **Produção de mudas a partir de rizomas de *Bambusa vulgaris* sob irrigação com água salobra**. 2016. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- CARVALHO, L. F.; MEDEIROS FILHO, S.; ROSSETTI, A. G.; TEÓFILO, E. A. Condicionamento osmótico em sementes de sorgo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 1, p. 185-192, 2000.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Riego e Drenaje, 33).
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnóstico ambiental do Município de Floresta, Pernambuco**. Rio de Janeiro – RJ: EMBRAPA, 2001. 19p. (Circular Técnica, ISSN 1517-5146).
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. B.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.
- IPA – INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3 ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212 p.
- KURBAN, H.; SANEOKA, H.; NEHIRA, K.; ADILLA, R.; PREMACHANDRA, G. S.; FUJITA, K. Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). **Soil Science and Plant Nutrition**, v.45, p.851-862, 1999.
- LIMA, B. L. C. **Cultivo do algodoeiro BRS Rubi com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no semiárido pernambucano**. 2018. 141p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

MOREIRA, L. R.; ERVILHA, J. D. C.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL, J. G.; OGLIARI, J.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, L. F. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes intensidades de irrigação. **Revista Vértices**, v. 15, n. 2, p. 39-48, 2013.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salobra em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, (Suplemento), p. 873-881, 2009.

PIZARRO CABELLO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. 2. ed. Madrid: Editorial Agrícola Española S. A., 1985. 542 p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 471p.

PRAZERES, S. S.; LACERDA, C. F.; BARBOSA, F. E. L.; AMORIM, A. V.; ARAUJO, I. C. S.; CAVALCANTE, L. F. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. **Revista Agro@ambiente**, On line, v. 9, n. 2, p. 111-118, 2015.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Handbook, 60).

SHABALA, S.; POTTOSIN, I. Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. **Physiologia plantarum**, v. 151, n. 3, p. 257-279, 2014.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; SILVA JÚNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. M.; BRITO, M. E. B.; ANDRADE, E. M. G.; SÁ, F. V. S.; SILVA, E. C. B. Influência de diferentes lâminas de irrigação nas trocas gasosas do tomateiro na fase vegetativa. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 3, p. 118-122, 2012.

SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, B. L. M. T.; MESQUITA, F. O.; NASCIMENTO, J. A. M.; LIMA NETO, A. J. Água salobra e biofertilizante bovino na produção de frutos e alocação de biomassa em noni (*Morinda citrifolia* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 2, p. 340-349, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed., Artmed, 2016. 888 p.

TINGTING, X.; PEIXI, S.; LISHAN, S. Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. **Pakistan. Journal of Botany**, v. 42, p. 3981-3994. 2010.

WANG, Y.; LI, B.; DU, M.; ENEJI, A. E.; WANG, B.; DUAN, L.; LI, Z.; TIAN, X. Mechanism of phytohormone involvement in feedback regulation of cotton leaf senescence induced by potassium deficiency. **Journal Experimental Botany**. 63, 5887–5901. 2012.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

CAPÍTULO III

Crescimento e produção do sorgo sacarino irrigado com água salobra e sob adubação potássica

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DO SORGO SACARINO IRRIGADO COM ÁGUA SALOBRA E SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA

RESUMO

Dentre as espécies cultivadas, o sorgo é reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino, e desse modo pode ser utilizado como alternativa para o aproveitamento de águas salinas via irrigação localizada. Porém, há de se ter cuidado com o uso destas águas, pois os sais, além de afetarem a absorção de água, podem ainda causar toxidez à planta, dependendo do sal e do genótipo vegetal. Com isso, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio no crescimento e produção do sorgo sacarino no Semiárido Pernambucano. O delineamento experimental empregado consistiu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), cinco lâminas de irrigação com água salobra (CE = 1,92 dS m⁻¹) (40, 70, 100, 130 e 160% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% do recomendado para a cultura, equivalentes a aplicação de 0, 10, 20, 30 e 40 kg ha⁻¹), com quatro repetições. Avaliaram-se a altura da planta, diâmetro do colmo, massa verde do colmo, massa verde da folha, massa verde da panícula e massa verde total. O aumento da reposição hídrica com água salobra associada às doses de potássio promove maior crescimento e produtividade das plantas de sorgo no Semiárido Pernambucano, exceto para a massa verde do colmo e massa verde da folha, onde nesta última o comportamento da variável independe da suplementação potássica. O uso da adubação potássica diminuiu a intensidade do efeito osmótico na solução do solo, proporcionado pelo uso da água salobra, refletindo em melhores desempenhos produtivos e de crescimento do sorgo. A adubação potássica nas plantas de sorgo com a dose recomendada pelo IPA (20 kg ha⁻¹ de K₂O), proporcionou de modo geral os melhores incrementos nas variáveis analisadas, estando desta forma adequada para a variedade testada (IPA SF15) e condições de manejo do estudo. O estudo revela que o uso de água salobra na cultura do sorgo pode ser uma alternativa de utilização na irrigação, possibilitando economia de água de abastecimento urbano, proporcionando crescimento adequado.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Salinidade. Biomassa. Lâmina de irrigação. Manejo da adubação.

GROWTH AND PRODUCTION OF SACCHARINE SORGHUM IRRIGATED WITH BRACKISH WATER AND UNDER POTASSIUM FERTILIZATION

ABSTRACT

Among the crop species, the sorghum is recognized by its moderated tolerance to the salt stress and, consequently, it can be used as an option to the brackish waters' exploitation by trickle irrigation. However, there is a need for caution with the utilisation of this kind of waters, because salts can affect the water absorption and cause nutritional disorders in the plants, depending on the salt and the vegetal genotype. Therefore, the goal of this study is to evaluate the irrigation depth effects with brackish water and doses of potassium in the growth and sweet sorghum in the semi-arid region of Pernambuco-Brazil. The experimental design was a randomized block (CBC) arranged in factorial structure (5 x 5), five irrigation depth with brackish water ($EC = 1,92 \text{ dS m}^{-1}$)(40, 70, 100, 130, and 160% of the ET_c), and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200% recommended to the cultivation) with four repetitions. The plant height, stem diameter, stem green mass, leaf green mass, panicle green mass and total green mass was observed. Increasing water replenishment with brackish water associated with doses of potassium generates larger sorghum growth and productivity in the semi-arid of Pernambuco, except for the stem green mass and leaf green mass, because of this last one the variable behaviour is independent of the potassium supplementation. The use of potassium fertilization decreased the intensity of the osmotic effect on the soil solution, provided brackish water using, and it results in better productive performances and better sorghum growth. The potassium fertilization with the IPA doses recommendation (20kg ha^{-1} of K_2O) provided better increments in the variables that were analysed and was thus adapted for the tested variety (IPA SF15) and the management conditions. Finally, the study reveals that the use of water saline in the sorghum cultivation can be an option to use in the irrigation because it's possible to save up water supply in the urban region and offer an appropriate growth.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Salinity. Biomass. Irrigation depth. Fertilization management.

1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas se caracterizam pelos baixos índices pluviométricos, elevados níveis de evapotranspiração e temperaturas médias mensais superiores a 25°C. Além disso, os recursos hídricos dessas regiões são escassos, e as águas subterrâneas apresentam elevados níveis de salinidade. Entretanto, essa fonte de água salobra, poderá se tornar necessária para a agricultura irrigada, devido à baixa disponibilidade de água doce e do aumento da demanda (VALE e AZEVEDO, 2013).

Dentre as espécies não-halófitas, o sorgo, reconhecido por sua tolerância moderada ao estresse salino (OLIVEIRA E GOMES FILHO, 2011), pode ser utilizado como alternativa para o aproveitamento de águas salinas via irrigação localizada.

Segundo Pereira Filho et al. (2013), o sorgo sacarino, (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), é uma monocotiledônea da família *Poaceae*, e apresenta o caule dividido em nós e entrenós com alto teor de sacarose nos colmos, sendo esta sua principal característica. Além disso, possui elevada produção de massa verde total. O sorgo é considerado uma “smart crop” em função de produzir combustível através da biomassa e açúcares fermentáveis que, industrializados, transformam-se em etanol.

Sob condições irrigadas, o sorgo vem apresentando bons rendimentos, como constatado por Tabosa et al. (2013), onde foram obtidos valores da ordem de 50,3 Mg ha⁻¹ de matéria seca com a variedade SF15 de colmo sacarino em um único corte na localidade de Canindé do São Francisco, Sergipe. Porém, para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas de sorgo, Dias e Blanco (2010) afirmam que, a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo não deve ultrapassar 4 dS m⁻¹.

Os sais, além de afetarem a absorção de água, podem ainda causar distúrbios nutricionais na planta, dependendo do sal e do genótipo vegetal. A presença de íons em excesso pode impedir a absorção de elementos essenciais ao crescimento da planta, causando um desbalanceamento nutricional (GURGEL et al., 2010).

Dentre os nutrientes essenciais, o potássio é um dos mais requeridos pelas plantas e desempenha uma série de funções vitais para o pleno desenvolvimento das culturas. Fisiologicamente o potássio participa no metabolismo de carboidratos, influenciando diretamente na produtividade, e mantém a turgescência das folhas, razão pela qual é essencial no transporte interno de açúcares, principalmente para os frutos, e no equilíbrio eletroquímico da planta (ANDRIOLO et al., 2010).

O suprimento inadequado de potássio acarreta, dentre outras coisas, o funcionamento irregular dos estômatos, diminuindo assim a assimilação de CO₂, a taxa fotossintética, e conseqüentemente, a produção de fotoassimilados, ocasionando assim quedas produtivas (MESQUITA, 2014).

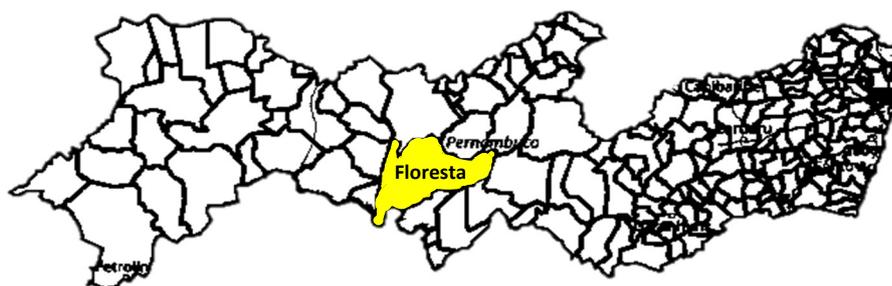
Diante do exposto e da importância de se conhecer as relações existentes entre a aplicação de águas salobras e manejo nutricional da cultura do sorgo, visando a sustentabilidade dos cultivos, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito de lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio no crescimento e produção do sorgo sacarino no Semiárido Pernambucano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo na Fazenda Vale Ouro, localizada no município de Floresta, PE, à aproximadamente 433,0 km de distância da capital Recife (Figura 1). A sede municipal encontra-se a 316 metros em relação ao nível do mar e tem sua posição geográfica determinada pelo paralelo de 08° 36' 02" E e 38° 34' 05" S, com vegetação predominante de Caatinga Hiperxerófila.

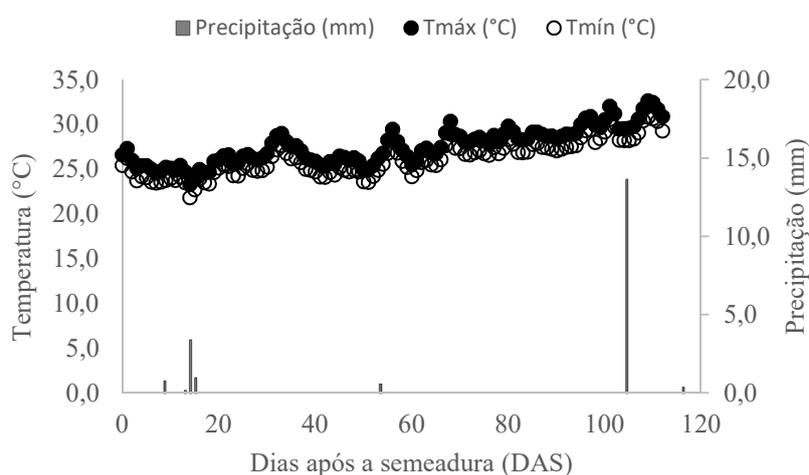
Figura 1. Localização geográfica do município de Floresta-PE.



O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h' (muito quente, semiárido, tipo estepe). A temperatura média anual é de 26,5°C e as precipitações variam em torno de 623 mm, concentrando-se nos meses de Janeiro a Maio, sendo Março e Abril os mais chuvosos. A Evapotranspiração Potencial média é de 1646 mm ao ano, com déficit hídrico anual de 1023 mm (EMBRAPA, 2001).

Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 20,0 mm e temperatura média de 26,9 °C (Figura 2).

Figura 2. Registros diários de precipitação, temperaturas máximas e mínimas durante o período experimental.



Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema et al. (2011), cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental

Camada	Ext. Sat. CE/25°C	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	H+Al	T	Al ³⁺	V
(cm)	(dS m ⁻¹)	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)	cmol _c dm ⁻³					(%)			
0 - 20	2,20	7,60	74	0,42	7,2	2,4	1,91	11,94	0,0	11,94	0,0	100
20 - 40	3,30	7,40	24	0,37	7,8	2,0	1,78	11,98	0,0	11,98	0,0	100

Com base na análise de solo, foi determinado o Percentual de Sódio Trocável (PST), de acordo com a metodologia de Richards (1954); Ayers e Westcot (1994) (Equação 1). Para tanto, foi obtida inicialmente uma média dos elementos presentes em cada camada de solo, para então se determinar tal variável.

$$PST = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + H^+ + Al^{3+})} \times 100 \quad \text{eq. (1)}$$

Feito isso, o valor do PST encontrado para o solo em questão foi de 15,4%, se enquadrando como “mediamente sódico”, segundo a classificação do solo quanto à sodicidade de Massoud (1971), citado por Pizarro Cabello (1985; 1996).

2.2 Caracterização da fonte hídrica

Para efeito de conhecer e justificar as possíveis influências da água salobra utilizada nos diferentes tratamentos, foi realizada análise físico-química da mesma no início do experimento seguindo recomendações da American Public Health Association (2012), conforme podemos observar na Tabela 2. Para a classificação da salinidade (C) e sodicidade (S), utilizou-se a metodologia do Laboratório de Salinidade do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USSL), segundo Richards (1954).

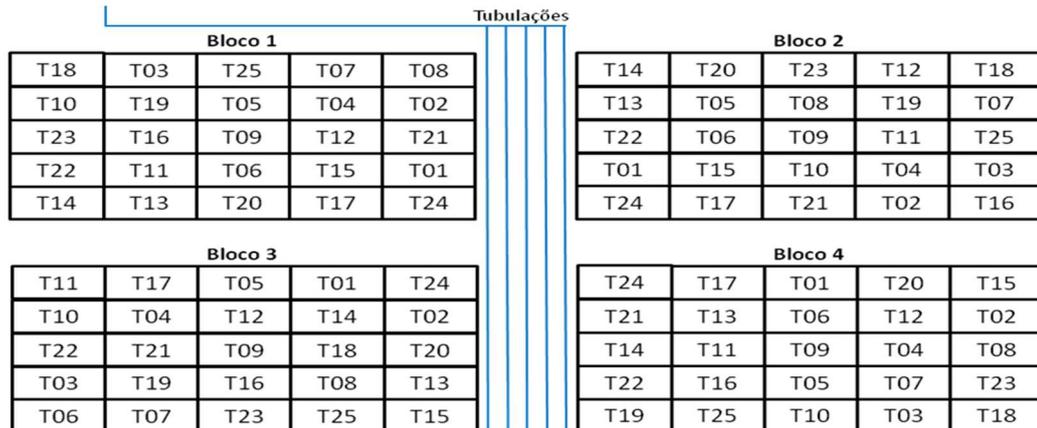
Tabela 2. Caracterização físico-química da água salobra de poço profundo utilizada.

Parâmetro	Unidade	Concentração
Cálcio	mmol L ⁻¹	6,55
Magnésio	mmol L ⁻¹	6,75
Sódio	mmol L ⁻¹	10,87
Potássio	mmol L ⁻¹	0,17
Carbonatos	mmol L ⁻¹	0,00
Bicarbonatos	mmol L ⁻¹	4,54
Sulfatos	mmol L ⁻¹	3,21
Cloretos	mmol L ⁻¹	22,00
pH	-	7,58
CE - 25°C	dS m ⁻¹	1,92
Dureza Total - CaCO ₃	mg L ⁻¹	66,50
Relação Adsorção de Sódio - RAS		2,67
Classificação Dureza da Água (CaCO ₃)		Branda
Classificação da Água Analisada		C3S1

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

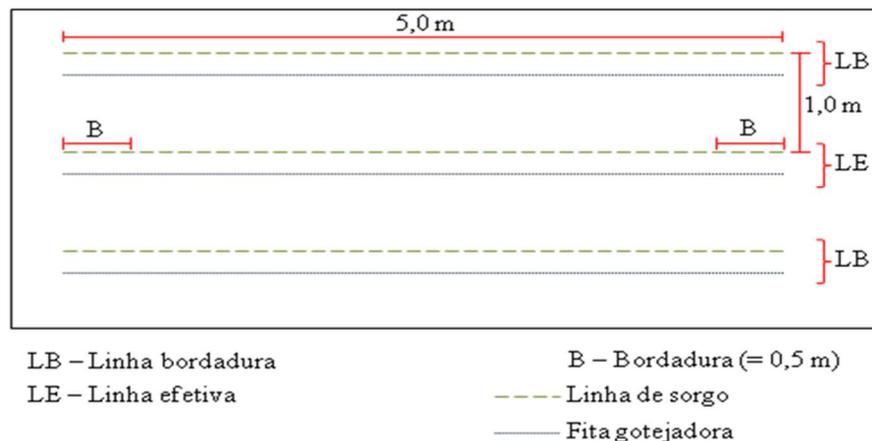
O delineamento experimental empregado consistiu em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial (5 x 5), compondo vinte e cinco (25) tratamentos e quatro (4) repetições, totalizando 100 parcelas experimentais em uma área de 1500 m² (Figura 3).

Figura 3. Delineamento experimental com distribuição dos tratamentos adotados.



Cada parcela foi compreendida por uma área de 15,0 m², sendo composta por três linhas simples de plantio de sorgo, com 5 m de comprimento linear e espaçamento entre fileiras de 1,0 m. Das três linhas simples que representam a parcela, apenas a linha central foi considerada como útil (efetiva) para as diferentes variáveis a serem analisadas, sendo as outras duas linhas consideradas como bordadura. Além disso, também foi considerado como bordadura os 0,5 m de cada extremidade das linhas (Figura 4).

Figura 4. Esquema de uma parcela experimental.



Desse modo, os tratamentos adotados foram distribuídos de acordo com a lâmina de irrigação com água salobra a ser aplicada na cultura (L1 = 40%, L2 = 70%, L3 = 100%, L4 = 130% ou L5 = 160% da ETc) e com a dose de adubação potássica empregada (D1 = 0%, D2 = 50%, D3 = 100%, D4 = 150% ou D5 = 200% da quantidade sugerida para a cultura (IPA, 2008)). A seguir, tem-se a distribuição dos diferentes tratamentos utilizados na área experimental.

T01 – L1D1: Tratamento onde foi aplicada uma lâmina de irrigação com água salobra correspondente a 40% da Evapotranspiração da Cultura (ETc), combinado ainda com uma dose de adubação potássica de 0% da quantidade sugerida para a cultura segundo IPA (2008).

Portanto, para os demais tratamentos temos: **T02 - L1D2; T03 - L1D3; T04 - L1D4; T05 - L1D5; T06 - L2D1; T07 - L2D2; T08 - L2D3; T09 - L2D4; T10 - L2D5; T11 - L3D1; T12 - L3D2; T13 - L3D3; T14 - L3D4; T15 - L3D5; T16 - L4D1; T17 - L4D2; T18 - L4D3; T19 - L4D4; T20 - L4D5; T21 - L5D1; T22 - L5D2; T23 - L5D3; T24 - L5D4; T25 - L5D5.**

As doses de potássio (K_2O) foram fornecidas utilizando-se o adubo mineral cloreto de potássio (KCl, 60% de K_2O), fornecendo-se 50% da dose em fundação e os outros 50% em cobertura 40 dias após o plantio. A adubação de cobertura foi realizada em sulcos localizados à 10,0 cm das linhas de plantio, na profundidade de 10,0 cm.

2.4 Sistema e manejo da irrigação

A água salobra utilizada para irrigação, era captada de um poço profundo instalado próximo a área experimental. Para a sucção da água salobra do poço profundo, foi utilizada bomba submersa com potência de 1,0 cv. Esta, por sua vez, conduzia a água para um reservatório superficial de onde era novamente bombeada para o sistema de irrigação (Figura 5).

Figura 5. Captação, armazenamento e distribuição da água salobra utilizada no experimento.



O método de irrigação utilizado em campo foi do tipo localizado por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição, foram utilizadas tubulações de polietileno de 16 mm de diâmetro onde foram instalados gotejadores autocompensantes com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$ para pressões nominais variando na faixa de 5 a 40 mca, espaçados a cada 0,25 m de modo a perfazer a faixa molhada durante seu funcionamento (Figura 6).

Figura 6. Detalhe das linhas laterais de irrigação instaladas em campo.



Com relação ao manejo da irrigação, as lâminas aplicadas em cada tratamento corresponderam a um percentual da evapotranspiração da cultura (ET_c), como descrito no item anterior. Com isso, o cálculo da ET_c tomou por base a evapotranspiração de referência diária (ET_o) estimada por meio do modelo de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) (Equação 2) e o coeficiente de cultivo (K_c) adotado para cada fase fenológica da cultura do sorgo, de acordo com Doorenbos e Kassam (1979) (Tabela 3), em que dados climáticos foram obtidos da estação agrometeorológica de aquisição automática de dados (marca CAMPBELL SCIENTIFIC, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_0 = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

ET_0 – evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

R_n – radiação líquida na superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

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

T_2 – temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

u_2 – velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s – pressão de saturação de vapor, KPa;

e_a – pressão atual de vapor, KPa;

$(e_s - e_a)$ – déficit de pressão de saturação de vapor, KPa;

Δ – declividade da curva de pressão vapor de saturação versus temperatura, KPa °C⁻¹;

γ – constante psicrométrica, KPa °C⁻¹;

Tabela 3. Coeficiente de cultivo (K_c) para o sorgo

Estádios de desenvolvimento	Coeficiente de cultivo (K_c)*
I – Emergência até 10% da cobertura da superfície do solo (CSS)	0,3 – 0,4
II – 10% da CSS até 80% da CSS	0,7 – 0,75
III – 80% da CSS até 100% da CSS (inclusive com frutos)	1,0 – 1,15
IV – Maturação fisiológica	0,75 – 0,8
V - Colheita	0,5 – 0,55

*Primeiro número: sob alta umidade ($UR_{min} > 70\%$) e vento fraco ($U < 5 \text{ m s}^{-1}$); Segundo número: sob baixa umidade ($UR_{min} < 20\%$) e vento forte ($U > 5 \text{ m s}^{-1}$).

Fonte: Doorenbos e Kassam, 1979.

Para o cálculo da ET_0 , foram utilizados os valores de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa média e radiação solar. Com isso, a estimativa da ET_c foi calculada de acordo com a Equação 3, como segue.

$$ET_c = ET_0 K_c \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

ET_C – evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

ET_O – evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ;

K_C – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

A diferenciação das lâminas de irrigação para cada tratamento foi estabelecida de acordo com o tempo de irrigação (T_i), sendo T_i calculado pela Equação 4, adotando-se um turno de rega (TR) de 2 dias.

$$T_i = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (4)}$$

Em que:

T_i – tempo de irrigação, min;

F – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,40, 0,70, 1,00, 1,30 e 1,60;)

ET_C – evapotranspiração da cultura, mm dia^{-1} ;

E_{LL} – espaçamento entre linhas laterais, m;

E_g – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

q_g – vazão do emissor, L h^{-1} ;

E_a – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

2.5 Cultura

A cultivar de sorgo sacarino estudada foi a IPA SF 15, oriunda do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (Figura 7). A correção e adubação do solo foram realizadas em fundação e cobertura conforme recomendações do IPA (2008). Os tratos fitossanitários e a manutenção de erva daninha foram realizados conforme necessidade da cultura e monitoramento constante.

Figura 7. Sorgo sacarino IPA SF 15 em pleno desenvolvimento e detalhe da panícula.



2.6 Preparo da área e plantio

Antes do plantio, foram realizadas algumas práticas a fim de facilitar e garantir a qualidade de instalação do experimento. Dentre elas, inicialmente foram feitas as demarcações de todas as parcelas experimentais. Posteriormente, para o plantio da cultivar em questão, foram abertos sulcos com profundidade média de 0,05 m e espaçados à 1,0 m entre linhas, dispondo as sementes nos mesmos de modo a perfazer uma densidade final de 15 plantas por metro linear. Após a etapa de plantio, todos os sulcos foram fechados e nivelados manualmente com o auxílio de enxada.

2.7 Variáveis analisadas

Para as medições biométricas, foi realizada ao final do ciclo do sorgo (101 DAE) a avaliação da altura do colmo (dois colmos escolhidos aleatoriamente em cada parcela, medidos com o auxílio de uma trena) e diâmetro do colmo (dois colmos escolhidos aleatoriamente em cada parcela, medidos com o auxílio de um paquímetro à 0,10 m da superfície do solo).

Foi analisada ainda no momento da colheita a produção de massa verde total (pesando todas as plantas existentes em 1 m linear da linha útil de plantio de cada parcela, extrapolando para Mg ha^{-1}). A partir da amostra coletada para a determinação de massa verde total, fez-se a separação das partes das plantas em colmo, folha e panícula, determinando as respectivas massas individualmente, extrapolando posteriormente para Mg ha^{-1} .

2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância à 0,05 de probabilidade. Nos casos em que as lâminas (L) e doses (D) foram significativas, as médias foram submetidas a análise de regressão, selecionando o polinômio que melhor reflete o fenômeno biológico estudado. Quando constatado efeito significativo da interação entre os fatores estudados, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando as lâminas (L) e as doses (D) como variáveis independentes.

Nos casos em que o coeficiente de determinação (R^2) da regressão múltipla foram inferiores a 50%, efetuou-se o desdobramento.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM para análise de variância, PROC REG para análise de regressão e PROC RSREG, para análise de superfície de resposta (ZIMMERMANN, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificada interação significativa entre os fatores lâmina de irrigação (ID) e dose de potássio (KR) a $p < 0,01$ para altura da planta (ALT), diâmetro do colmo (DC) e massa verde da panícula (MVP), e a $p < 0,05$ para massa verde total (MVT). Para a massa verde do colmo (MVC), houve resposta significativa desta variável quando submetida a lâmina de irrigação e dose de potássio, ambas isoladamente, assim como também para massa verde da folha (MVF), onde esta respondeu significativamente apenas ao fator lâmina (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da significância estatística para altura de planta (*ALT*), diâmetro do colmo (*DC*), massa verde do colmo (*MVC*), massa verde da folha (*MVF*), massa verde da panícula (*MVP*) e massa verde total (*MVT*).

Fontes de Variação	GL	<i>P>F</i>					
		<i>ALT</i>	<i>DC</i>	<i>MVC</i>	<i>MVF</i>	<i>MVP</i>	<i>MVT</i>
Bloco	3	0,0915	0,4689	0,0057	0,3830	0,8370	0,0306
Lâmina (ID)	4	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0045	<0,0001	<0,0001
<i>reg. linear</i>	1	-	-	<0,001	0,010	-	-
<i>reg. quadrática</i>	1	-	-	0,005	0,046	-	-
Dose (KR)	4	<0,0001	<0,0001	0,0007	0,0878	0,0014	0,0005
<i>reg. linear</i>	1	-	-	0,004	-	-	-
<i>reg. quadrática</i>	1	-	-	0,946	-	-	-
ID x KR	16	<0,0001	<0,0001	0,0563	0,2895	<0,0001	0,0369
Erro	72	-	-	-	-	-	-
CV (%)	-	4,27	12,05	19,58	25,68	21,59	18,01

Houve incremento da altura da planta a medida que se aumentou a lâmina de irrigação até o valor máximo de 2,82 m utilizando uma reposição de água salobra de 554 mm (100% da ET_c) combinada com a dosagem de 40 kg ha⁻¹ de K₂O (200% do recomendado para a cultura) (Figura 8).

Figura 8 – Altura de planta do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 8A):

$$\hat{y}(\bullet) = 1,490590 + 0,001231**x; R^2=0,8150$$

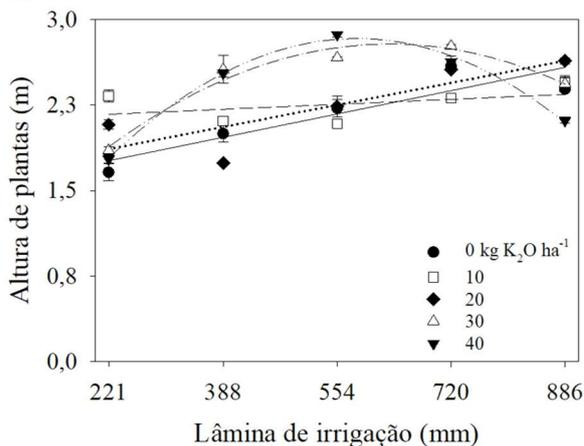
$$\hat{y}(\square) = 2,111916 + 0,000263**x; R^2=0,2015$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 1,607081 + 0,001165**x; R^2=0,7009$$

$$\hat{y}(\triangle) = 0,644636 + 0,006793**x + 0,000005**x^2; R^2=0,9647$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 0,103241 + 0,009373**x + 0,000008**x^2; R^2=0,9933$$

A.



Equações (Figura 8B):

$$\hat{y}(\bullet) = 1,783786 + 0,039168**x - 0,001041**x^2; R^2=0,5596$$

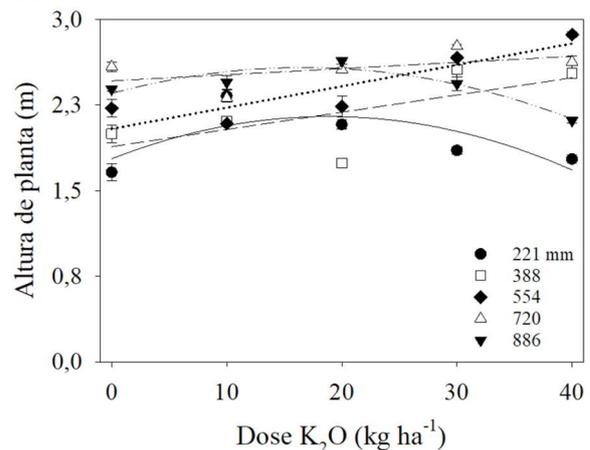
$$\hat{y}(\square) = 1,888000 + 0,015100**x; R^2=0,4611$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 2,046000 + 0,018625**x; R^2=0,7885$$

$$\hat{y}(\triangle) = 2,465500 + 0,005400**x; R^2=0,2661$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 2,353286 + 0,027543**x - 0,000829**x^2; R^2=0,8928$$

B.



A maior disponibilidade de água no solo, proporcionada pelo uso das maiores lâminas de irrigação, desencadeia uma série de mudanças fisiológicas na planta, permitindo uma maior abertura estomática, aumentando a entrada de CO₂ no mesófilo, incrementando o processo fotossintético, com reflexos em uma maior altura da planta (TARDIN et al., 2013).

A altura de plantas é um parâmetro altamente influenciado pela salinidade da água de irrigação. Trabalhos na literatura evidenciam reduções de 6 a 72% na altura das plantas de sorgo quando submetidas à salinidade (MIRANDA et al., 2008; VIEIRA et al., 2005). Porém, o que pode ter contribuído também para a obtenção das maiores alturas das plantas com as maiores reposições de água salobra, foi o fato de que estas lâminas estão associadas a frações de lixiviação que retiram boa parte do sódio presente na solução do solo, proporcionando uma maior absorção dos cátions essenciais pela cultura (LIRA et al., 2018).

Os resultados obtidos corroboram com Sousa et al. (2017) onde, avaliando o efeito nos fatores de crescimento do sorgo submetido a diferentes lâminas de irrigação, constataram que a altura da planta aumenta com o incremento das lâminas aplicadas, alcançando valores máximos de 2,81 m com uma lâmina de irrigação total reposta de 821,14 mm.

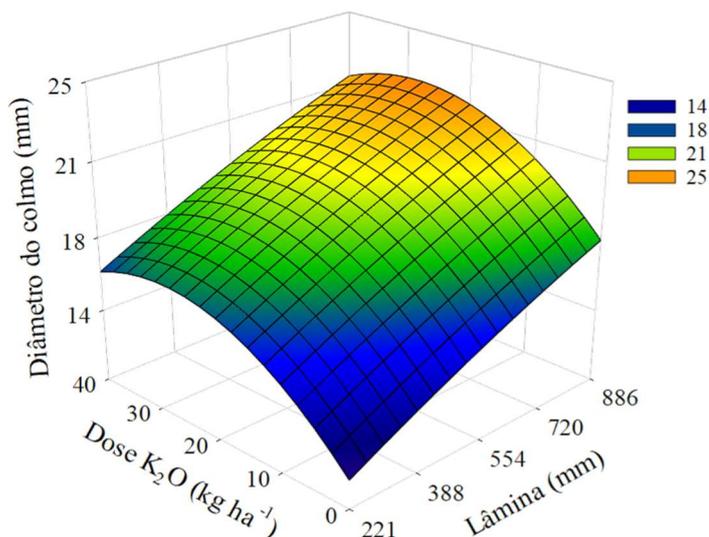
Avaliando o desempenho produtivo de variedades de sorgo forrageiro irrigadas com água não salina, Santos e Grangeiro (2013) obtiveram médias de altura das plantas que variaram de 1,29 a 2,98 m.

Houve uma tendência linear crescente do diâmetro do colmo (DC) em função do aumento das lâminas de irrigação com água salobra (ID) e resposta quadrática para a fertilização potássica (KR). Dentro dos níveis estudados de cada fator, a combinação da lâmina de 886 mm (160% da ETc) e da dose de 30 kg ha⁻¹ de K₂O (150% do recomendado para a cultura com base na análise de solo) foi a que proporcionou o maior DC, com valor de 24,1 mm, de acordo com a equação de regressão obtida (Figura 9).

Figura 9 - Superfície de resposta para diâmetro do colmo (DC) do sorgo sacarino, em função das lâminas de irrigação com água salobra (ID) e doses de potássio (KR).

$$DC = 12,9649 + 0,0046*ID + 0,1618*KR - 0,000002^{ns}ID^2 - 0,006314^{**}KR^2 + 0,000357^{**}IDKR$$

$$R^2 = 0,6155$$



O comportamento do diâmetro do colmo diante da interação dos fatores lâmina de irrigação com água salobra e doses de potássio, se assemelha ao observado para altura da planta, pois, a manutenção de uma umidade mais elevada do solo com a aplicação das maiores lâminas de irrigação, intensificam a abertura dos estômatos, permitindo uma maior taxa de assimilação de CO₂, promovendo assim um maior crescimento em diâmetro do colmo.

Com relação ao comportamento quadrático apresentado para as doses de potássio no diâmetro do colmo, ressalta-se que, o K⁺ é o principal nutriente relacionado a funções osmóticas das plantas, com isso, sob estresse salino, o melhor desempenho de alguns genótipos tem sido associado a uma nutrição potássica adequada, porém, o aumento da proporção de K⁺, em meio contendo NaCl, nem sempre resulta em efeitos benéficos para as plantas, podendo inclusive a salinidade provocada por altas concentrações de K⁺ ser mais prejudicial que a provocada por altas concentrações de sódio (GURGEL et al., 2010).

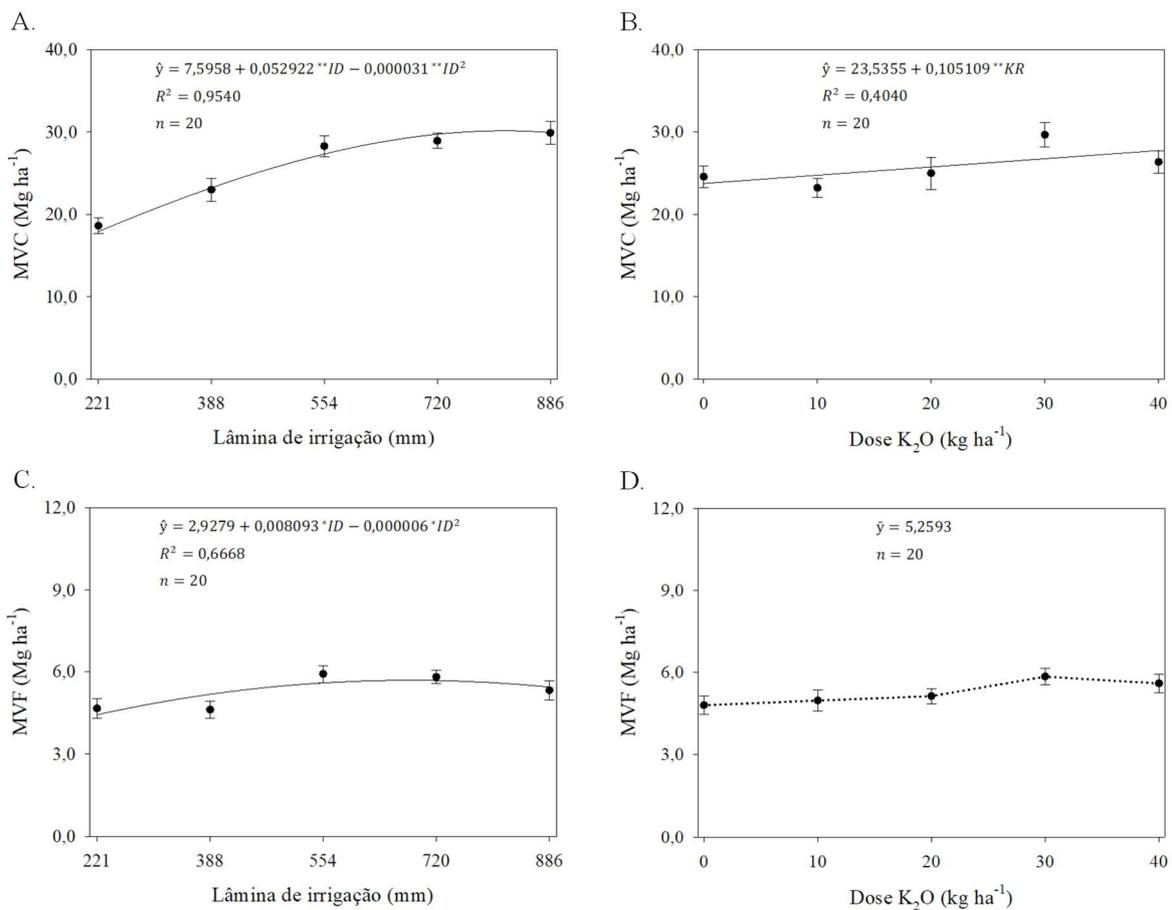
Guimarães (2014), avaliando o efeito de frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura, em variedades de sorgo forrageiro em condições semiáridas, foi observado diâmetro médio do caule nas diferentes variedades de 13,4 mm, diâmetro este menor do que o observado na maioria das interações lâmina versus dose de potássio do presente estudo.

Para as variáveis Massa Verde do Colmo (MVC) e Massa Verde das Folhas (MVF), não foi observado interação significativa dos fatores lâminas de irrigação e doses de potássio

durante o período experimental. No entanto, a MVC foi influenciada significativamente pelos fatores isolados (ID e KR), obedecendo uma resposta quadrática para as diferentes lâminas de irrigação com água salobra e tendência linear na aplicação da adubação potássica. Já para a MVF, houve efeito significativo apenas para o fator lâmina de irrigação.

Com base nas equações de regressão (Figura 10), os maiores valores de MVC foram observados com a aplicação da lâmina de irrigação referente a 853 mm (equivalente a 154% da ETC) e administrando uma dose de potássio de 40 kg ha⁻¹ (referente a 200% da dose recomendada para a cultura), com valores máximos obtidos da ordem de 30,18 Mg ha⁻¹ e 27,73 Mg ha⁻¹, respectivamente. Por fim, para a MVF, o maior valor observado para esta variável foi de 5,65 Mg ha⁻¹, correspondente a aplicação de uma lâmina de irrigação de 674 mm (equivalente a 121% da ETC).

Figura 10. Massa verde do colmo (A e B) e das folhas (C e D) do sorgo sacarino IPA SF15 em função as lâminas de irrigação com água salobra (ID) e doses de potássio (KR).



Os maiores valores de massa verde do colmo, nas plantas de sorgo irrigadas com as maiores lâminas podem estar associada ao fato da manutenção de umidade ótima em campo,

assim como também por essas lâminas propiciarem a lixiviação do íon Na^+ para as camadas mais profundas do solo, reequilibrando as relações nutricionais existentes na solução do solo.

É fato que a salinidade afeta a produção de biomassa e altera a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (SILVA et al., 2003), porém, autores na literatura correlacionam a tolerância à salinidade com a manutenção adequada da nutrição potássica (TALEISNIK e GRUNBERG, 1994). Com isso, para o presente estudo, a MVC aumentou linearmente com o incremento das doses de potássio.

Já o aumento da massa verde das folhas propiciado pelos incrementos dos níveis de irrigação com água salobra, poderá estar associado ao acúmulo de fotoassimilados durante a fotossíntese (TSIALTAS et al., 2016).

A redução no crescimento foliar, até certo ponto, representa um mecanismo de defesa das plantas sob condições de estresse hídrico e salino, reduzindo as perdas de água por transpiração (TAIZ et al., 2016; SILVA et al., 2014).

Levando em consideração agora a massa verde da panícula, houve interação significativa para esta variável entre os fatores estudados (lâminas de irrigação com água salobra versus adubação potássica). Com isso, a combinação da lâmina 886 mm (160% da ETc) com a dose de 20 kg ha^{-1} de K_2O (referente a 100% da dose recomendada para a cultura) foi a que proporcionou o maior valor de MVP, atingindo incremento da ordem de $0,771 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Figura 11A).

Figura 11. Massa verde da panícula do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 11A):

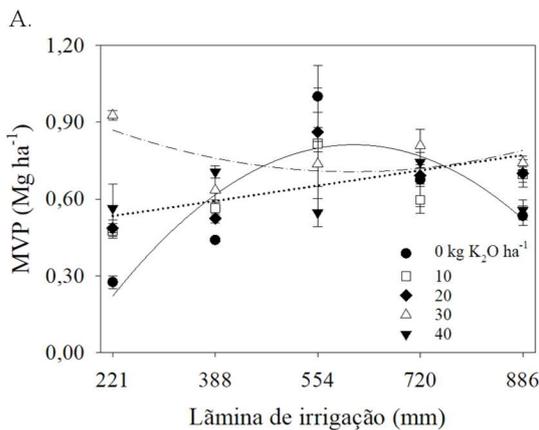
$$\hat{y}(\bullet) = -0,639603 + 0,004743**x - 0,000004**x^2; R^2=0,7221$$

$$\bar{y}(\square) = 0,63$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 0,454514 + 0,000358**x; R^2=0,3859$$

$$\hat{y}(\blacktriangle) = 1,108473 - 0,001319**x + 0,000001*x^2; R^2=0,3559$$

$$\bar{y}(\blacktriangledown) = 0,62$$



Equações (Figura 11B):

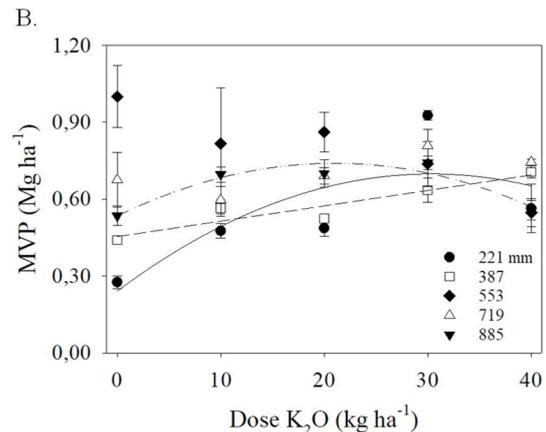
$$\hat{y}(\bullet) = 0,240885 + 0,030185**x - 0,000498**x^2; R^2=0,6175$$

$$\hat{y}(\square) = 0,453720 + 0,006026**x; R^2=0,8701$$

$$\bar{y}(\blacklozenge) = 0,79$$

$$\bar{y}(\blacktriangle) = 0,70$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 0,240885 + 0,030185**x - 0,000498**x^2; R^2=0,6175$$



A massa verde da panícula pode ser utilizada como indicador de qualidade da silagem que será produzida com a planta de sorgo, pois segundo Silva et al. (2011), a maior participação de panícula na planta de sorgo pode resultar em maior valor nutritivo das silagens, devido à maior quantidade de nutrientes digestíveis totais.

A dose de adubação potássica que proporciona os melhores desempenhos produtivos quanto à massa verde da panícula, está situada na dose recomendada para a cultura pelo IPA (2008). O suprimento deficiente de K pode provocar baixo vigor de plantas, por outro, normalmente, não há resposta pronunciada em produtividade de grãos pela adubação com altas doses de fertilizante potássico (COELHO, 2005).

Houve interação significativa entre os fatores estudados para a Massa Verde Total (MVT/Produtividade). Dentro dos níveis estudados de cada fator, a combinação da lâmina de 886 mm (160% da ETc) e da dose de 30 kg ha⁻¹ de K₂O (referente a 150% da dose recomendada para a cultura) foi a que proporcionou maior acúmulo de MVT, com o valor de 43,71 Mg ha⁻¹, de acordo com a equação de regressão obtida (Figura 12A).

Figura 12. Massa verde total do sorgo em função de lâminas de irrigação com água salobra (A) e dose de potássio (B).

Equações (Figura 12A):

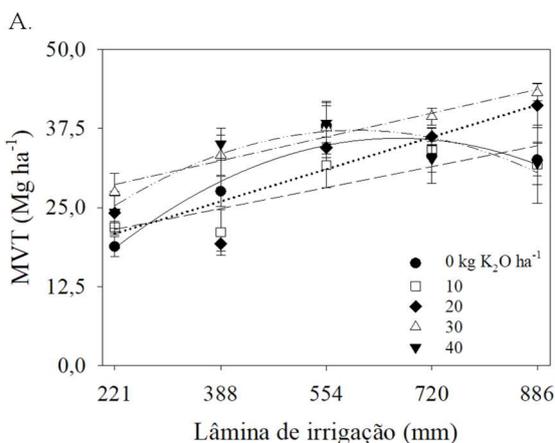
$$\hat{y}(\bullet) = -3,022734 + 0,116919**x - 0,000088**x^2; R^2=0,9085$$

$$\hat{y}(\square) = 17,148289 + 0,019924**x; R^2=0,7176$$

$$\hat{y}(\blacklozenge) = 14,083284 + 0,030681**x; R^2=0,7939$$

$$\hat{y}(\triangle) = 23,664824 + 0,022626**x; R^2=0,9659$$

$$\hat{y}(\blacktriangledown) = 7,382105 + 0,099249**x - 0,000083**x^2; R^2=0,8254$$



Equações (Figura 12B):

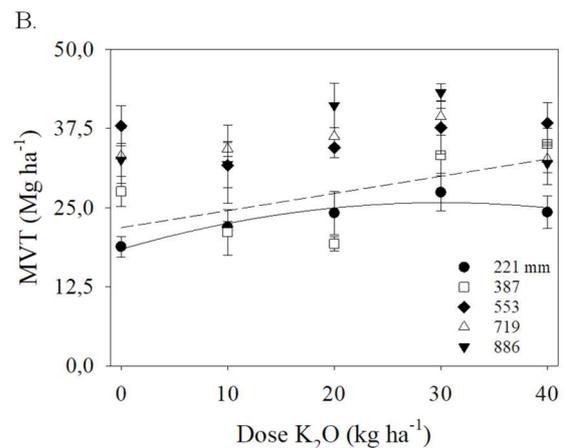
$$\hat{y}(\bullet) = 18,410714 + 0,492607*x - 0,008196*x^2; R^2=0,8977$$

$$\hat{y}(\square) = 21,86000 + 0,271000**x; R^2=0,3698$$

$$\bar{y}(\blacklozenge) = 36,04$$

$$\bar{y}(\triangle) = 35,16$$

$$\bar{y}(\blacktriangledown) = 36,17$$



Verifica-se que, a planta responde positivamente em termos de MVT ao incremento das lâminas de irrigação com água salobra. Este fato está associado, dentre outros fatores, as próprias características da espécie no uso eficiente da água por se tratar de uma planta C4, a qual se beneficia das condições ambientais impostas na área experimental. Além disso, as doses

de potássio aplicadas auxiliaram na minimização do efeito osmótico provocado pelos sais presentes na água salobra de irrigação.

Trabalhos na literatura relatam que o uso de adubação potássica, junto com a irrigação utilizando água salobra, poderá minimizar o efeito salino nas culturas e obter bons rendimentos, como podemos observar em Silva et al. (2016), onde avaliando o efeito de estresse salino (5 concentrações salinas entre 0,3 a 4,3 dS m⁻¹) e doses de potássio (4 doses entre 0,03 e 0,09 g) em mudas de romã, verificaram que, a romã mostrou melhores resultados utilizando água salobra com CE de até 2,3 dS m⁻¹ com a utilização de adubação de 0,03 g de nitrato de potássio.

Lima et al. (2018), avaliando o crescimento e a produção da aceroleira em função da irrigação com águas salinas e adubação potássica, verificaram que a irrigação com água de elevada salinidade reduziu acentuadamente o crescimento da aceroleira, porém, os efeitos prejudiciais da salinidade foram minimizados com a adubação potássica.

Nascimento et al. (2017), avaliando a produção de massa verde total de cultivares de sorgo sacarino sem o uso de água salobra, observaram média geral para a variável nas diferentes cultivares testadas de 50,5 Mg ha⁻¹.

Valores inferiores de produtividade de massa verde já eram esperados no presente trabalho devido a irrigação contínua com água salobra, mesmo assim, os dados apresentados são superiores a trabalhos que cultivam variedades de sorgo forrageiro em sistema de sequeiro no semiárido pernambucano, como observado em Elias et al. (2016).

4 CONCLUSÕES

O aumento da reposição hídrica com água salobra associada às doses de potássio promove maior crescimento e produtividade das plantas de sorgo no semiárido pernambucano, exceto para a massa verde do colmo e massa verde da folha, onde nesta última o comportamento da variável independe da suplementação potássica.

O uso da adubação potássica diminuiu a intensidade do efeito osmótico na solução do solo, proporcionado pelo o uso da água salobra, refletindo em melhores desempenhos produtivos e de crescimento do sorgo.

A adubação potássica nas plantas de sorgo com a dose de 20 kg ha⁻¹ de K₂O, proporcionou de modo geral os melhores incrementos nas variáveis analisadas, estando desta forma adequada para a variedade testada (IPA SF15) e condições de manejo do estudo.

O estudo revela que o uso de água salobra na cultura do sorgo pode ser uma alternativa de utilização na irrigação, possibilitando economia de água de abastecimento urbano, proporcionando crescimento adequado.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.
- ANDRIOLO, J. L.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; DAL PICIO, M. D.; CARDOSO, F. L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, v. 40, p. 267-272, 2010.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water Quality for Agriculture**. 3. ed. Rome: FAO, 1994. 174 p. (FAO. Irrigation and Drainage, Paper 29).
- COELHO A. M. **O potássio na cultura do milho**. In: Yamada, T.; T. L. Roberts (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos. p. 613-658, 2005.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Editores). Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 129-140.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Riego e Drenaje, 33).
- ELIAS, O. F. A. S.; LEITE, M. L. M. V.; AZEVEDO, J. M.; SILVA, J. P. S. S.; NASCIMENTO, G. F.; SIMPLÍCIO, J. B. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no semiárido de Pernambuco. **Revista Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 29-36, 2016.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnóstico ambiental do Município de Floresta, Pernambuco**. Rio de Janeiro – RJ: EMBRAPA, 2001. (Circular Técnica, ISSN 1517-5146).
- GUIMARÃES, M. J. M. **Cultivo sustentável do sorgo forrageiro irrigado com água de qualidade inferior em condições semiáridas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.
- GURGEL, M. T.; UYEDA, C. A.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; SILVA, F. V. Crescimento de meloeiro sob estresse salino e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 01, p. 3-10, 2010.

IPA – INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3 ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212 p.

LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; SOUZA, L. P.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Effects of brackish water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 3, p. 1-12, 2018.

LIRA, R. M.; GORDIN, L. C.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; DANTAS, D. C.; MORAIS, J. E. F. Leaching of cations in soil cultivated with sugarcane subjected to saline irrigation and leaching fractions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 09, p. 616-621, 2018.

MESQUITA, J. B. R. **Influência de lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação na cultura do milho.** 2014. 85p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MIRANDA, M.F.A.; PESSOA, L.G.M., FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Revista Caatinga**, v.21, n.5, p.18-25, 2008.

NASCIMENTO, M. F.; CAMPOS, M. C. C.; SILVA, D. M. P.; MANTOVANELLI, B. C.; GOMES, R. P.; WECKNER, F. C.; JORDÃO, H. W. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na região amazônica, Brasil. **Revista Nativa**, v. 5, n. 6, p. 381-385, 2017.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E. Cultivo hidropônico de plântulas de sorgo sob estresse salino com sementes envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas. **Revista Ciência Rural**, v.41, n.1, p.10-16, 2011.

PEREIRA FILHO, I.; PARRELLA, R.; MOREIRA, J.; MAY, A.; SOUZA, V.; CRUZ, J. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118-127, 2013.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión, exudación.** 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 471p.

PIZARRO CABELLO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos.** 2. ed. Madrid: Editorial Agrícola Espanhola S. A., 1985. 542 p.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: U. S. Department of Agriculture, 1954. 160 p. (Handbook, 60).

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T. Desempenho produtivo de cultivares de sorgo forrageiro e granífero na Paraíba. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n.2, p.49-55, 2013.

SILVA, I. M. A.; TRIGUEIRO, R. W. P.; REZZO, D. D. P. Z. Estresse salino e doses de potássio em mudas de Romã (*Punica granatum* L.). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 91-94, 2016.

SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, Suplemento, p. S66-S72, 2014.

SILVA, T. C.; SANTOS, E. M.; AZEVEDO, J. A. G.; EDVAN, R. L.; PERAZZO, A. F.; PINHO, R. M. A.; RODRIGUES, J. A. S.; SILVA, D. S. Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraíba. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1886-1893, 2011.

SILVA, J. V.; LACERDA, C. F.; AZEVEDO NETO, A. D.; COSTA, P. H. A.; PRISCO, J. T.; ENÉAS FILHO, J.; GOMES FILHO, E. Crescimento e osmoregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 33, p. 125-131, 2003.

SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M.; SOUSA, A. M.; COSTA, C. P. M.; AZEVEDO, B. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 04, p. 1528-1537, 2017.

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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed., Artmed, 2016. 888 p.

TALEISNIK, E.; GRUNBERG, K. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. **Physiologia Plantarum**, v. 92, p. 528-534, 1994.

TARDIN, F. D.; ALMEIDA FILHO, J. E.; OLIVEIRA, C. M.; LEITE, C. E. P.; MENEZES, C. B.; MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 102-117, 2013.

TSIALTAS, I. T.; SHABALA, S.; BAXEVANOS, D.; MATSI, T. Effect of potassium fertilization on leaf physiology, fiber yield and quality in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 193, p. 94–103, 2016.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Revista Holos**, v. 3, p. 181-195, 2013.

VIEIRA, M. R.; LACERDA, C. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; CARVALHO, P. L.; COSTA, R. N. T.; TABOSA, J. N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.42-46, 2005.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recomendação de adubação potássica para a cultura do sorgo sacarino sugerida pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (20 kg ha^{-1}), é perfeitamente indicada para as condições impostas no presente estudo. Porém, sugere-se que pesquisas utilizando outras fontes de potássio e que trabalhem com o parcelamento deste nutriente ao longo de todo o ciclo da cultura, sejam realizadas a fim de garantir melhores incrementos produtivos.

A utilização da fertilização potássica na cultura do sorgo sacarino em quantidades acima da recomendada, juntamente com o uso de águas salobras, pode acarretar no processo salinização secundária, de modo que, encorajamos novas pesquisas com o objetivo de monitorar continuamente e avaliar os potenciais riscos de salinização do solo pela irrigação com águas salobras e adubação potássica;

Muitos trabalhos na literatura mostram que a água utilizada na cultura é por sua vez confeccionada (água de boa qualidade adicionada de sais). Porém o referido estudo utilizou uma água salobra proveniente de um poço profundo presente na área experimental, conferindo-nos assim dados mais próximos da realidade do produtor rural, permitindo o uso sustentável deste recurso, destinando água de melhor qualidade para outros fins.

Lâminas de irrigação maiores do que 100% da ET_c , podem ser recomendadas para a cultura do sorgo por apresentarem as melhores respostas produtivas e fisiológicas, não se constatando a curto prazo sintomas mais severos de salinidade.