



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

MILENA DE ALMEIDA BASTOS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SORGO SOB IRRIGAÇÃO
DEFICITÁRIA COM ÁGUA SALOBRA**

MOSSORÓ- RN

2021

MILENA DE ALMEIDA BASTOS DO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SORGO SOB IRRIGAÇÃO
DEFICITÁRIA COM ÁGUA SALOBRA**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-colheita

Orientador: Edna Maria Mendes Aroucha, Prof^a. Dra.

Co-orientador: José Francismar de Medeiros, Prof. Dr.

MOSSORÓ- RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N244a Nascimento, Milena de Almeida Bastos do.
AVALIAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SORGO SOB
IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA COM ÁGUA SALOBRA / Milena
de Almeida Bastos do Nascimento. - 2021.
53 f. : il.

Orientadora: Edna Maria Mendes Aroucha.
Coorientadora: José Francismar de Medeiros.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2021.

1. Sorgo. 2. Biocombustíveis. 3. Físico-químicas.
4. Condições de estresse. I. Aroucha, Edna Maria
Mendes, orient. II. Medeiros, José Francismar de
, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AVALIAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SORGO SOB IRRIGAÇÃO DEFICITÁRIA COM ÁGUA SALOBRA

Dissertação apresentada ao
Mestrado em Fitotecnia do Programa
de Pós-Graduação em Fitotecnia da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção
do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-
colheita

Defendida em: 31 / 05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA



José Francismar de Medeiros, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



José Gustavo Lima de Almeida, Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



José Nildo Tabosa, Prof. Dr. (IPA)
Membro Examinador



Andréa Raquel Fernandes Carlos da Costa, Prof^a. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Ao meu esposo, Marlon Moreira do Nascimento,
aos meus pais, José André E. Bastos
e Otaciana Bastos, minha base aqui na terra.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir ao longo de toda a minha vida;

Ao meu marido, por todo apoio ao longo desses anos, compreensão e paciência;

Aos meus pais, que são responsáveis pela ajuda na minha formação como pessoa e profissional;

Agradeço à Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela estrutura e suporte oferecido para cursar o mestrado;

Agradeço a CAPES, pela concessão da bolsa no desenvolvimento da pesquisa;

Agradeço ao CNPq, Edital Universal, pelo auxílio financeiro para realização da pesquisa;

Agradeço a professora e orientadora Prof^a. Dra. Sc. Edna Maria Mendes Aroucha, e ao coorientador, Prof. D. Sc. José Francismar de Medeiros, por toda a paciência e conhecimentos compartilhados;

Agradeço à Banca Examinadora, em nome Prof. Dr. José Francismar de Medeiros, Dr. José Gustavo Lima de Almeida, Prof^a. Dra. Andréa Raquel Fernandes Carlos da Costa e Prof. Dr. José Nildo Tabosa;

Agradeço ao grupo de pesquisa: Rodrigo Rafael, Maria Vanessa, Leonardo Vieira, por toda a ajuda na condução dos experimentos;

À Cristiane Alves de Paiva e Brenda Nathália, por tudo que fizeram por mim em Mossoró, sempre muito solícitas em me ajudar no que fosse necessário;

Ao Técnico José Gustavo Lima de Almeida, por toda a ajuda no laboratório, ao Nicolas Oliveira de Araújo, pelo auxílio na estatística.

Muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 - Área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN.	26
Figura 2 - Evapotranspiração da cultura (ETc) diária estimada pela metodologia da FAO (ALLEN et al., 2006) para cultivar de sorgo cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.....	27
Figura 3 - Coeficiente de Cultura (Kc) diário estimado pelo método do Kc dual (ALLEN et al., 2006) para a cultivar de sorgo cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.....	28
Figura 4 - Dados climáticos (temperaturas média - Tmed, máxima – Tmax e mínima diária - Tmin, umidade relativa média diária - URmed, radiação global diária - Rg) e evapotranspiração de referência – Eto, calculada por Penman-Monteith modificada pela FAO (ALLEN et., 2006) a partir do plantio do sorgo. Fonte de dados: Estação climatológica de Ipanguaçu – Inmet, distância cerca de 35 km.....	28
Figura 5 - Lâmina total de irrigação aplicada diariamente para as diferentes lâminas de irrigação utilizadas (L ₁ a L ₄).	29
Figura 6 - Superfície de resposta para matéria seca total (A) e rendimento total (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação, avaliadas aos 68 dias após o plantio. Upanema-RN/2019.....	33
Figura 7 – Matéria seca total (A) e rendimento total (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L ₁ : 295 mm; L ₂ : 402 mm; L ₃ : 509 mm; L ₄ : 676 mm.	35
Figura 8 - Matéria fresca de colmo (MFC) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliados aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L ₁ : 295 mm; L ₂ : 402 mm; L ₃ : 509 mm; L ₄ : 676 mm.	36
Figura 9 - Porcentagem de caldo (A) e fibra (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L ₁ : 295 mm; L ₂ : 402 mm; L ₃ : 509 mm; L ₄ : 676 mm.	37
Figura 10 - Sólidos solúveis (A), açúcares solúveis totais (B), açúcares redutores (C), açúcares não redutores (D) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90	

dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm..... 39

Figura 11 - Açúcares totais recuperáveis (ATR) em kg t⁻¹ (A) e kg ha⁻¹ (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm..... 42

Figura 12 - pH (A), acidez titulável (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm. 43

Figura 13 - Biplot da análise de componentes principais (A) e scores (B) para as variáveis de rendimento e qualidade da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação. Upanema-RN/2019..... 45

Tabela 1 – Dados meteorológicos médios observados durante o ciclo da cultura. 29

ABREVIATÓES

RT – Rendimento total

MST – Matéria seca total

MFC – Matéria fresca do colmo

CE – Condutividade elétrica

LI – Lâmina de irrigação

SS – Sólidos solúveis

AST – Açúcar solúvel total

AR – Açúcar redutor

ANR – Açúcar não redutor

ATR – Açúcar teórico recuperável

pH – Potencial hidrogeniônico

AT – Acidez titulável

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERENCIAL TEÓRICO	11
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	11
CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE	12
EFEITO DA SALINIDADE NAS PLANTAS	13
EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS	14
CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO	15
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE	16
REFERÊNCIAS	17
RESUMO	22
ABSTRACT	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	25
LOCAL E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	25
PREPARO DO SOLO E ADUBAÇÃO	25
TRATAMENTOS DE DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	26
MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	26
PREPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES SALINAS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO ...	29
ANÁLISES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE	30
ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
AVALIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUTIVIDADE	32
MATÉRIA SECA TOTAL E RENDIMENTO TOTAL	32
MATÉRIA FRESCA DE COLMO (MFC)	35
CALDO E FIBRA (%)	36
CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE NO CALDO DO SORGO	37
SÓLIDOS SOLÚVEIS E AÇÚCARES SOLÚVEIS	37
AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL (ATR kg t ⁻¹ e ATR kg ha ⁻¹)	41

pH e ACIDEZ TITULÁVEL (%).....	42
ANÁLISE MULTIVARIADA	43
CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional associado às condições de altas temperaturas, elevadas taxas de evapotranspiração, déficit hídrico e salinidade da água, sobretudo no semiárido brasileiro, tem causado gargalos na produção de alimentos e biocombustíveis. Devido à alta demanda de consumo, faz-se necessária a inserção de novas culturas que venham atender as necessidades do mercado, em especial a de bioenergia (LEITE et al., 2020). Em um estudo realizado nas Filipinas, descobriu-se que o sorgo pode produzir etanol com custos inferiores aos da cana-de-açúcar (MENDOZA, 2008), em decorrência do seu curto ciclo reprodutivo (100 a 130 dias), com menos tempo de manejo, além de ser uma cultura menos exigente às condições climáticas. O Brasil é o segundo maior produtor de etanol, do mundo com 8 bilhões de galões (predominantemente da cana-de-açúcar), atrás apenas dos Estados Unidos, com 16,1 bilhões de galões (RFA, 2019).

Diante disso, torna-se fundamental aprimorar a produção de etanol, a fim de minimizar os contratempos sofridos. Nesse sentido, já existe um programa de melhoramento pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na seleção de híbridos de sorgo para a produção de bioetanol (WHITFORD et al., 2013). Sua produção no Brasil em 2020/21 deve totalizar 2,594 milhões de toneladas, 4% acima da safra anterior. Na produção nacional de sorgo, o estado de Goiás se mantém na primeira colocação com 49,7% (CONAB, 2020). Mesmo diante desses valores, o estado do Rio Grande do Norte possui uma produção de apenas 0,9 toneladas (CONAB, 2019).

Apesar disso, seu cultivo vem apresentando área de expansão na região (SILVA et al., 2014), sendo muito utilizada pelos produtores rurais devido ao seu potencial produtivo e características adaptativas (tolerante aos estresses abióticos) à região do semiárido (GUIMARÃES et al., 2019). Existem trabalhos relacionados ao cultivo de sorgo sob condições salinas, com o desenvolvimento de diversos genótipos que têm apresentado satisfatória tolerância à salinidade, o que evidencia a necessidade de realizar estudos futuros para avaliar seu potencial produtivo, submetido a essas condições (SILVA et al., 2019).

As plantas tolerantes à salinidade, assim como o sorgo, estão associadas ao desenvolvimento de mecanismos que diminuem o estresse salino (GUIMARÃES et al., 2019).

No entanto, para que um genótipo de sorgo seja considerado apto à produção de biocombustível, são levados em consideração alguns parâmetros de interesse industrial, como: Sólidos solúveis (15-19%), fibra (12-20%), sacarose (8-13%), açúcar redutor (1-3%) (EMBRAPA, 2012).

A qualidade da sua matéria prima pode ser destinada à alimentação humana e animal, além de ser uma fonte promissora de energia (MACHADO, 2012). A produção de etanol pode ser utilizada por duas vias de produção: a partir da sacarose extraída do colmo da planta e por meio da biomassa vegetal (ainda em fase de aperfeiçoamento), através da degradação da biomassa em açúcares simples, identificados como etanol de 1º e 2º geração, respectivamente (EMBRAPA, 2010; TEIXEIRA et al., 2017; SILVA et al., 2019).

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da cultura do sorgo sob influência da salinidade e lâminas de irrigação nos parâmetros de qualidade e produtividade.

REFERENCIAL TEÓRICO

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo e o quarto no Brasil (IBGE, 2010; SANCHEZ, 2003). Na África e Ásia, o sorgo constitui a principal fonte de proteínas, calorias e minerais (DICKO et al., 2006; MOHAMMED et al., 2010) na alimentação humana. A cultura vem ganhando destaque na produção nacional de grãos, tendo apresentado, segundo dados do IBGE (2019), produtividade de 3.163 kg/ha, demonstrando aumento gradual ao longo dos últimos cinco anos. Além disso, a cultura apresenta potencial econômico para atividades forrageiras, produção de biomassa e alimentação humana.

O Brasil exportou 335 toneladas de grãos de sorgo, no valor de US\$ 85.472. Esse volume foi totalmente destinado aos Emirados Árabes Unidos (CONAB, 2018). Na estimativa de produção de grãos de 2020/21, o estado de Goiás se encontra no ranking como maior produtor, com 1.304,4 mil toneladas

(CONAB, 2020). As últimas previsões da FAO sobre o comércio de grãos devem aumentar 2,4% em relação ao ano de 2019, com quase 209 milhões de toneladas, incluindo outros grãos além do sorgo, aumentando as expectativas de importações de sorgo pela China (FAO, 2020). A região do Rio Grande do Norte apresentou produção de 12.783 toneladas, com rendimento médio de 2.758 kg/ha (IBGE, 2019).

Para atender a demanda do mercado, é necessário retomar a expansão da capacidade industrial, aumentar o cultivo da matéria-prima, resultando em produtividades adequadas e diminuindo os custos da produção de matéria-prima (LIRA et al., 2015). Diante disso, apesar do aumento da produtividade nos últimos anos, é necessária expansão da sua capacidade industrial e seleção de cultivares atendendo às necessidades da região.

CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE

O sorgo granífero sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) é originado na região da África e Ásia; a planta se apresenta como alternativa promissora na medida em que possui grande aproveitamento nas mais diversas cadeias produtivas (VENKATESWARAN et al., 2019). O sorgo pertence ao grupo de plantas C4, possui metabolismo mais eficiente (regulação da abertura dos estômatos), sendo mais tolerante a altas temperaturas, respondendo com altas taxas fotossintéticas (CUNHA; SEVERO FILHO, 2010).

Além disso, possui mecanismos para adaptação ao déficit hídrico, sistema radicular profundo e ramificado, o qual é eficiente na extração de água do solo. Já sob estresse hídrico, a planta diminui seu metabolismo, e quando o estresse é interrompido a planta se recupera (EMBRAPA, 2015). É um cereal que acumula açúcares no colmo e fornece bagaço semelhante à cana-de-açúcar (FONTES et al., 2011). É cultivado por meio de sementes, com um ciclo vegetativo em torno de 90 a 130 dias (HAN et al., 2013). Para o aumento de produtividade, o melhoramento genético se mostra extremamente importante, na identificação de genótipos capazes de melhor se adaptarem às condições do semiárido (REDDY; REDDY, 2018).

O sorgo é classificado de acordo com a aptidão e características da cultura, sendo divididos em cinco grupos: granífero, forrageiro (silagem e pastejo), sacarino, biomassa e vassoura. Os grupos se diferem pelo

desenvolvimento da parte da planta (colmo, folhas e grãos), capacidade de formação de forragem, rendimento do caldo pelo colmo e teor de sólidos solúveis (EMBRAPA, 2015).

Existem diversos genótipos com aptidão forrageira/sacarina, com destaque para o BRS Ponta Negra. A cultivar BRS Ponta Negra foi desenvolvida pela Embrapa e Emparn, sendo adaptada à região do semiárido nordestino, tolerante à seca, com potencial de produção de 40 a 60 t/ha de massa verde e cerca de 12 a 15 t/ha de massa seca, além de apresentar ciclo total em torno de 110 a 120 dias (EMBRAPA, 2016). O sorgo sacarino é definido pelo teor de sólidos solúveis (°Brix), que geralmente varia de 12 a 22 °Brix ao passo que o sorgo forrageiro possui alta produtividade de matéria verde e é utilizado como volumoso, principalmente na forma de silagem (EMBRAPA, 2015).

EFEITO DA SALINIDADE NAS PLANTAS

Dependendo da espécie vegetal, o crescimento e produtividade podem ser leve ou severamente influenciados pelo manejo do solo e água no campo (SANTANA et al., 2007). Os três maiores estresses abióticos que afetam o crescimento da planta são o frio, a seca e a salinidade (MAHAJAN e TUTEJA, 2005). Quando submetidas a estresse salino, as plantas apresentam comportamentos distintos (REIS et al., 2016). O sorgo é caracterizado por sua tolerância moderada ao estresse salino (LACERDA et al., 2005).

O desenvolvimento da cultura é afetado pela salinidade por diversas razões; na presença de quantidades consideráveis de sais, o potencial osmótico do solo torna-se mais negativo e, conseqüentemente, maior será a energia gasta pela planta para absorver água e demais elementos vitais (COELHO et al., 2013). O acúmulo de espécies iônicas no solo, como o Na^+ e Cl^- , pode causar toxidez (BATISTA et al., 2002) e desbalanço de soluto, incluindo diminuição da relação potássio/sódio (K/Na) e acúmulo desses no citosol (BLUMWALD et al., 2000). Isso pode acarretar mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar os íons essenciais ao seu crescimento (MUNNS, 2002), causando alterações irreversíveis na

estrutura de membrana e inibição de atividade de enzimas-chave no metabolismo celular (ARAGÃO et al., 2010).

A instabilidade climática na região do semiárido afeta severamente a produção agrícola. As principais causas de salinização do solo nesses ambientes são: alta taxa de evaporação, baixo índice pluviométrico e drenagem insuficiente (DASGAN et al., 2002). As plantas submetidas a essas condições acabam sendo expostas a estresses abióticos, que impedem o crescimento e desenvolvimento da planta (BELTRÁN, 2016).

Os solos salinos representam 20% das áreas cultivadas no mundo e metade delas é altamente salinizada (FLOWERS, 2004), inviabilizando o cultivo de boa parte das culturas sensíveis ao estresse salino. Os seus efeitos adversos causam uma série de alterações na morfologia, fisiologia e bioquímica da planta (DING et al., 2018).

Esses transtornos causam redução do potencial hídrico, desidratação celular, citotoxicidade iônica, produção de EROs, inibição fotossintética, redução da atividade metabólica e expansão celular/foliar (TAIZ et al., 2017). As plantas tolerantes à salinidade são classificadas como halófitas, compondo um grupo de plantas que se ajustam osmoticamente com o acúmulo de NaCl (DIAS et al., 2016).

Os critérios que definem uma cultura como tolerante são: capacidade de sobrevivência da planta ao estresse salino, rendimento satisfatório da planta e produção relativa (RICHARDS, 1954), optando-se pela inserção de culturas como o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), que podem tolerar diferentes tipos de estresses ambientais (MARSALIS et al., 2010). Tais afirmações corroboram com Costa et al. (2019), que avaliaram a viabilidade de variedades de sorgo (BRS 506 e Ponta Negra) com dupla aptidão sob diferentes lâminas de irrigação com água salina.

EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS

A disponibilidade hídrica é um dos principais componentes responsáveis pelo desenvolvimento da planta e pela alteração nos processos metabólicos (GUIMARÃES et al., 2019). O déficit hídrico reduz significativamente o desenvolvimento e produção do sorgo, de acordo com a intensidade e estágio vegetativo (GANO et al., 2021). No estágio de pós-floração do sorgo, a

restrição hídrica tem efeito negativo sobre o acúmulo de açúcar no colmo, o rendimento de biomassa e grãos (TOVIGNAN et al., 2020 ;VENKATESWARAN; ELANGO VAN; SIVARAJ, 2018)

Esses efeitos são pronunciados em regiões semiáridas, que demonstram limitação hídrica, devido aos baixos índices pluviométricos e elevadas temperaturas, além de influenciarem a oferta de água de boa qualidade na agricultura (MEDEIROS et al.,2010). No estado do Rio Grande do Norte, em especial no município de Mossoró-RN, os produtores buscam fontes alternativas de água em poços no calcário de Jandaíra-RN para suprir o manejo das culturas (MEDEIROS et al., 2003).

A inserção de culturas capazes de se adaptar à seca e salinização dos solos é de extrema importância para viabilizar a produção em áreas de desertificação. Esses requisitos podem ser atendidos pela cultura do sorgo graças à alta produtividade e à tolerância ao déficit hídrico (CHEN et al., 2018). Sob essas condições, as plantas são induzidas ao fechamento estomático, a fim de minimizar a perda de água e, conseqüentemente, a transpiração, como também a abscisão foliar e outros (TAIZ et al., 2016).

No entanto, torna-se relevante determinar a necessidade hídrica da cultura para potencializar a produtividade e melhorar a eficiência do uso da água (FERNANDES et al., 2014; SIMÕES et al., 2016), sem causar perdas significativas de produção (COSTA et al., 2017).

CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO

Atualmente, os países em desenvolvimento têm sofrido com a necessidade de aumentar sua produção de insumos para atender a demanda do mercado (YANG et al., 2020), sendo necessária a inserção de culturas cada vez mais produtivas nas condições adversas do meio (estresse hídrico e salino). Diante disso, o sorgo desponta como alternativa promissora no fornecimento de matéria-prima para a produção de etanol, açúcar e material forrageiro em regiões semiáridas, onde o estresse hídrico e salino limita o desenvolvimento da maioria das culturas (SILVA et al., 2018; POLTRONIERE et al., 2021). O sorgo apresenta ciclo de cultivo rápido, com alto potencial forrageiro, com colmos de elevados teores de açúcares, semelhantes à cana-de-açúcar (PARELLA, 2011).

Apesar dos estresses abióticos serem fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas (CUI et al., 2018), existem culturas como o sorgo capazes de se ajustarem às pressões ambientais no ambiente semiárido, a partir dos mecanismos adaptativos da planta em compartimentalizar os íons tóxicos (CHEN et al., 2018).

Além disso, as características fisiológicas são relevantes no acúmulo de matéria seca, matéria fresca do colmo e fibras no sorgo, pois, dependendo das condições submetidas, seus teores podem variar significativamente (DING et al., 2013). Segundo Martins et al. (2017), estimar os teores de fibras são relevantes na extração de caldo, no fornecimento de energia de segunda geração e minimização do acamamento da planta.

Em suma, verificou-se que a redução em 23% na lâmina de irrigação não foi prejudicial ao rendimento total e massa fresca dos colmos para as cultivares BRS 506, Ponta Negra, e a IPA 2502 não sofreu influência significativa no rendimento total e de colmos de 27,9 e 15,1 Mg ha⁻¹, respectivamente (COSTA et al., 2019). Segundo Macêdo et al. (2018), o genótipo BRS 655 apresentou características agrônomicas desejáveis, com produção satisfatória e alta adaptabilidade às condições de estresse hídrico no semiárido.

CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE

Para que a produção de biocombustível seja relevante, são levados em consideração alguns parâmetros físico-químicos de interesse industrial, tais como: teores de sólidos solúveis (SS), teor de açúcares redutores (AR), representado em sua maioria por glicose e frutose, além do teor de açúcares não redutores (ANR), representado pela sacarose, servindo de substrato no processo fermentativo para a obtenção do etanol (EMBRAPA, 2012).

A presença de elevado conteúdo de açúcares fermentáveis no caule do sorgo permite seu aproveitamento tanto para a produção de energia (SOLANO et al., 2018), quanto para etanol e até bebidas alcoólicas. Todavia, a quantidade de açúcares solúveis no colmo pode ser afetada por condições ambientais (ROSA et al., 2009) como a temperatura (SABALLOS, 2008). Para combater os estresses abióticos, as plantas desenvolvem vias metabólicas

complexas envolvendo genes, que participam na homeostase dos carboidratos (SADDHE; MANUKA; PENNA, 2021).

As principais vantagens do sorgo estão relacionadas à manutenção da homeostase dos íons Na^+ nas raízes, proteção dos fotossistemas e açúcares nos colmos (YANG et al., 2020). Os teores de açúcares redutores e açúcares redutores totais, bem como o teor de sólidos solúveis, variam conforme a cultivar, sendo detectados em cultivar BRS 508, respectivamente, 0,82%, 151,06 Kg/ha e 23,5% (VIANA et al., 2017).

Dentre outras variáveis, o açúcar total recuperável (ATR) representa a qualidade do sorgo e sua capacidade de conversão de açúcar ou álcool, conseqüentemente maior produtividade e retorno financeiro (CONSECANA, 2006). Segundo Viana et al. (2017), a cultivar BRS 508 apresentou aumento (em torno de 144,56 kg/ha) no teor de ATR quando utilizado etefon (0,7 L/ha) e sulfometu-rom metil (0,02 kg/ha) como maturadores químicos.

Masson et al. (2015) constataram que o genótipo de sorgo sacarino CVSW80007 apresentou pH recomendado para o processamento na faixa de 4,8 a 5,5, e para acidez total (AT) foram obtidos valores médios de 0,17%. Tais parâmetros são responsáveis pela fermentação, desenvolvimento de leveduras e na inibição de microorganismos (MASSON et al., 2015; MARCHINI, 2001).

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R. M. et al. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 14, p. 100-106, 2010.

BATISTA, M. J. et al. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2.ed. rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002.

BELTRÁN, J. M. Abordagem integrada para resolver problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e básicos**. Fortaleza, CE: INCTSal, 2016. p. 3-7.

BENEVIDES, C. M. de J. et al. Fatores antinutricionais em alimentos: revisão. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 67–79, 2015.

BLUMWALD, E.; AHARON, G. S.; APSE, M. P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, p.140-151, 2000.

CHEN, M. et al. Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications. **Int. J. Mol. Sci.**, v. 19, n. 3668, p. 1-13, 2018.

COELHO, J. B. M. et al. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 379-385, 2013.

CUI, F. et al. Identification of Metabolites and Transcripts Involved in Salt Stress and Recovery in Peanut. **Front Plant Sci.**, v. 9, p. 217, 2018.

CONSECANA. Conselho dos produtores de cana-de-açúcar. **Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo**: Manual de instruções. 5.ed. Piracicaba, 2006. 54 p.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento 2017. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos safra 2016/2017 – 1º levantamento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlaCMS/uploads/arquivos/http://www.conab.gov.br/OlaCMS/uploads/arquivos/17_10_16_16_34_39_graos_outubro_2017.pdf. Acesso em: 10 nov. 2019.

CONAB - Companhia brasileira de abastecimento -. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar, safra 2018/19. Terceiro levantamento, Brasília, v. 5, n. 3, p. 1-71, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 6 jan. 2019.

CONAB - Companhia nacional de abastecimento 2017. **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos safra 2020/2021 – 1º levantamento. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/graos/270773-primeiro-levantamento-dasafra-20202021-da-conab-estima-crescimento-de-175-na-producao-de-sorgo.html#.YJP4x7VKjIV>. Acesso em: 10 nov. 2020.

COSTA, J. P. N. et al. Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 449, 2017.

COSTA, J. P. N. et al. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417–428, 2019.

CUNHA, S. P.; FILHO, W. A. S. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Tecno-Lógica**, v. 14, n. 2, p. 69–75, 2010.

DICKO, M. H. et al. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

DASGAN, H. Y. et al. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, n. 4, p. 695–703, 2002.

DING, T. L. et al. The cultivation technique for increasing the stalk sugar content of energy plant sweet sorghum in Yellow River delta. **Adv Mat Res.**, n. 724, p. 437–442, 2013.

DING, T. et al. Evaluation of salt-Tolerant germplasm and screening of the salt-Tolerance traits of sweet sorghum in the germination stage. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 10, p. 1073–1081, 2018.

EMBRAPA – Milho e Sorgo. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol BRS1G – **Tecnologia Qualidade Embrapa**. Documentos 139. 2012.

EMBRAPA. Sorgo: **500 perguntas/500 respostas**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Sweet Sorghum in China**. Rome. 2020.

GANO, B. et al. Adaptation Responses to Early Drought Stress of West Africa Sorghum Varieties. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 443, 2021.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Ambiental Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water Biometria e produção de variedades de sorgo granífero irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 285–290, 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010, 17 de março. Produção agrícola estadual. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/. Acesso em: 6 jan. 2019.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. Em julho, IBGE prevê alta de 5,8% na safra de 2019. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25160-em-julho-ibge-preve-alta-de-5-8-na-safra-de-2019>. Acesso em: 6 jan. 2019.

LEITE, P. S. S. et al. Intrapopulation recurrent selection in sweet sorghum for improving sugar yield. **Industrial Crops and Products**, v. 143, n. October 2019, 2020.

LIRA, R. M. de et al. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama Environmental Sciences**, p. 62–83, 2015.

MACEDO, A. J. S. et al. Morphometric and productive characteristics of sorghum genotypes for forage production in the Brazilian semi-arid. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v. 19, n. 3, p. 256-267, 2018.

MACHADO S., S. Tecnologia da Fabricação do Açúcar. **Universidade Federal de Santa Maria**, p. 56, 2012.

MEDEIROS, J. F. de et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 469–472, 2003.

MENDOZA, T.C. Agronomic features, ethanol yields & resource use of four feedstocks for ethanol production in the Philippines. **Phillipine J. Crop Sci.**, n. 33, p. 21–36, 2008.

MASSON, I. D. S. et al. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 9, p. 1695–1700, 2015.

POLTRONIERE, S. C. et al. Integrated planning for planting and harvesting sugarcane and energy-cane for the production of sucrose and energy. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 184, n. September 2020, 2021.

REDDY, P. S.; REDDY, B. V. S. History of sorghum improvement. **Breeding sorghum for diverse end uses**, p. 61–75, 2018.

RFA - Renewable Fuels Association, 2019. Powered With Renewed Energy – 2019 **Ethanol Industry Outlook**. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2019/02/RFA2019Outlook.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2019.

ROSA, M. et al. Soluble sugars-metabolism, sensing and abiotic stress a complex network in the life of plants. **Plant Signaling and Behavior**, v. 4, n. 5, p. 388–393, 2009.

SABALLOS, A. Development and utilization of sorghum as a bioenergy crop. In: VERMERRIS, W. (org.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer: New York, 2008. p. 211-248.

SADDHE, A. A.; MANUKA, R.; PENNA, S. Plant sugars: Homeostasis and transport under abiotic stress in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 171, n. 4, p. 739–755, 2021.

SILVA, J. L. A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. suppl, p. 66–72, 2014.

SILVA, M. J. D. et al. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, n. July, p. 379–385, 2018.

SILVA, M. L. D. S. et al. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 41, n. 1, p. 1–9, 2019.

SIMILI, F. F. et al. Hydrocyanic acid content and growth rate of sorghum x sudangrass hybrid during fall. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 4, p. 299–305, 2013.

SOLANO, C. S. et al. Qualidade do caldo para produção de etanol em cultivares de sorgo sacarino sob adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 388-400, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, T. P. M. et al. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and Products**, v. 109, n. August, p. 579–586, 2017.

TOVIGNAN, T. K. et al. Terminal drought effect on sugar partitioning and metabolism is modulated by leaf stay-green and panicle size in the stem of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 1, n. 1, p. 1–11, 2020.

VENKATESWARAN, K.; ELANGO VAN, M.; SIVARAJ, N. **Origin, domestication and diffusion of Sorghum bicolor**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2018.

VENKATESWARAN, K.; M, ELANGO VAN.; SIVARAJ, N. **Origin, Domestication and Diffusion of Sorghum bicolor**, 2019.

VIANA, S. et al. Aspectos tecnológicos de sorgo-sacarino submetido à aplicação de maturadores químicos. Technological aspects of sweet sorghum submitted to the application of ripeners chemicals. **Científica**, Jaboticabal, v. 45, n. 3, p. 204–213, 2017.

YANG, Z. et al. Photosynthetic Regulation Under Salt Stress and Salt-Tolerance Mechanism of Sweet Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. January, p. 1–12, 2020.

WHITFORD, R. et al. Hybrid breeding in wheat: technologies to improve hybrid wheat seed production. **J. Exp. Bot.**, v. 64, p. 5411–5428, 2013.

NASCIMENTO, Milena de Almeida Bastos do. **Avaliação física e química do sorgo sob irrigação deficitária com água salobra** 2021. 53f Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2021.

RESUMO

O sorgo tem se destacado nas regiões do semiárido brasileiro graças à sua adaptabilidade às condições de estresse hídrico e salino. A cultura apresenta atributos promissores na produção de alimentos, biocombustíveis, despontando como alternativa para minimizar os gargalos sofridos com a demanda populacional. Tais características favorecem seu desenvolvimento em regiões áridas e semiáridas, com baixos índices pluviométricos, altas temperaturas, mas muitas vezes a água disponível para a irrigação provém de aquíferos com elevadas concentrações de sais, como é o caso do aquífero Jandaíra, podendo afetar não somente a produção, como também as características de qualidade da planta. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo determinar os níveis de salinidade e lâmina de irrigação considerados ideais na avaliação das características físico-químicas de cultivar de sorgo BRS Ponta Negra em condições semiáridas. O experimento foi instalado no município de Upanema – RN, região Oeste do Rio Grande do Norte, numa área de 48 x 78 m. Foi adotado o delineamento experimental em esquema fatorial (4 x 4) em blocos ao acaso com três repetições, sendo quatro níveis de salinidade (1,5 – 3,0 – 4,5 – 6,0 dS m⁻¹) e quatro lâminas de irrigação (295 - 402 - 509 - 676 mm), definidas de acordo com a Evapotranspiração da cultura - ET_c (51,3; 70,6; 90,0 e 118,4%). Foram avaliados os seguintes parâmetros de qualidade: Sólidos solúveis (SS), Açúcar solúvel total (AST), Açúcares redutores (AR), Açúcares não redutores (ANR), Açúcar total recuperável (ATR), pH e Acidez total; parâmetros de produtividade: Caldo (%), Fibra (%), Matéria fresca de colmo (MFC), Matéria seca total (MST) e Rendimento total (RT). Verificou-se que o genótipo apresentou características promissoras para produção de etanol, sendo capaz de se desenvolver no ambiente semiárido e de produzir açúcares que variaram de acordo com os tratamentos, em virtude da sua capacidade adaptativa em compartimentalizar os íons Na⁺ e Cl⁻ e na participação das enzimas nesse processo. Portanto, para os principais parâmetros de qualidade no caldo do sorgo evidenciou-se melhor eficiência nas lâminas de irrigação (LI) de 295 e 402 mm, equivalentes a 50 e 70% da ET_c, respectivamente, sob CE de 4,5 dS m⁻¹. Em relação ao rendimento da planta, massa fresca do colmo e matéria seca, apesar das condições de estresse, obteve-se rendimento máximo sob a LI de 509 mm, correspondendo a 90% da ET_c na CE de 6,0 dS m⁻¹.

Palavras-chave: Sorgo, biocombustíveis, físico-química, condições de estresse.

Nascimento, Milena de Almeida Bastos do. **Physical and chemical evaluation of sorghum under deficient irrigation with brackish water** 2021. 53f (Master in Phytotechnics) - Federal Rural University of the Semi-Arid (UFERSA), Mossoró-RN, 2021.

ABSTRACT

Sorghum has stood out in the Brazilian semiarid regions due to its adaptability to water and saline stress conditions. The crop has promising attributes in the production of food, biofuels, emerging as an alternative to minimize the bottlenecks suffered by population demand. Such characteristics favor its development in arid and semi-arid regions, with low rainfall, high temperatures, but often the water available for irrigation comes from aquifers with high concentrations of salts, such as the Jandaíra aquifer, which may affect not only the production, as well as the quality characteristics of the plant. In this sense, the present work aimed to determine the salinity levels and irrigation depth considered ideal in the evaluation of the physicochemical characteristics of BRS Ponta Negra sorghum cultivar in semiarid conditions. The experiment was installed in the municipality of Upanema –RN, western region of Rio Grande do Norte, in an area of 48 x 78 m. The experimental design was a factorial scheme (4 x 4) in randomized blocks with three replications, with four levels of salinity (1.5 – 3.0 – 4.5 - 6.0 dS m⁻¹) and four slides of irrigation (295 – 402 – 509 – 676 mm), which were defined according to Crop Evapotranspiration – ET_c (51.3; 70.6; 90.0 e 118.4%). The following quality parameters were evaluated: Soluble Solids (SS), Total Soluble Sugar (AST), Reducing Sugars (AR), Non-reducing Sugars (ANR), Total Recoverable Sugar (ATR), pH and Total Acidity; productivity parameters: Broth (%), Fiber (%), Fresh stem stalk (MFC), Total dry matter (MST) and Total yield (RT). It was found that the genotype presented promising characteristics for ethanol production, being able to develop in the semiarid environment and produce sugars that varied according to the treatments, due to its adaptive capacity to compartmentalize Na⁺ and Cl⁻ ions and the participation of enzymes in this process. Therefore, for the main quality parameters in the sorghum broth, there was better efficiency in irrigation depths (LI) of 295 and 402 mm, equivalent to 50 and 70% of ET_c, respectively, under EC of 4.5 dS m⁻¹. With respect to plant yield, stalk fresh mass and dry matter, despite the stress conditions, maximum yields were obtained under the LI of 509 mm, corresponding to 90% of the ET_c in the EC of 6.0 dS m⁻¹.

Keywords: Sorghum, biofuels, physicochemical, stress conditions.

INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma cultura com grande versatilidade e nos últimos anos tem apresentado ascensão econômica, na medida em que, além da alimentação humana e animal, sua matéria-prima pode ser utilizada como fonte de energia renovável (MACHADO et al., 2012). Em ambos os empregos, além do desempenho produtivo, as características físico-químicas da matéria prima – como sólidos solúveis, açúcares solúveis totais, açúcares redutores, açúcares não redutores, pH, acidez e fibra – são atributos importantes na medida em que interferem no rendimento e qualidade do etanol produzido (BENEVIDES et al., 2015; SIMILI et al., 2013; RAY et al., 2019).

No semiárido brasileiro, em especial na microrregião de Mossoró-RN, as características edafoclimáticas associadas a solos jovens pouco profundos (alta temperatura, elevadas taxas de evaporação e baixos índices de precipitação) favorecem o processo natural de salinização (MEDEIROS et al., 2010). Nessas condições, o desenvolvimento de grande parte das culturas agrícolas é afetado (ARAGÜESA et al., 2014). Ademais, o efeito do déficit hídrico somado ao efeito da salinidade potencializa o estresse ambiental à cultura, ocasionando vários distúrbios fisiológicos e bioquímicos, destacando-se a inibição do crescimento e da fotossíntese junto à perda de água pelas plantas, além das desordens nutricionais (TAIZ et al., 2017). Portanto, a inserção de culturas tolerantes à salinidade pode constituir alternativa viável para essas regiões.

Em contraste às demais culturas cerealíferas, o sorgo é uma típica espécie vegetal conhecida pela sua tolerância moderada a várias pressões ambientais, especialmente a hídrica e salina (VASILAKOGLU et al., 2011). Embora o nível de tolerância varie significativamente de acordo com o genótipo, a cultivar BRS Ponta Negra, que possui dupla aptidão (biomassa e biocombustível), é bastante promissora, pois foi desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo especificamente para fins de exploração em condições áridas e semi-áridas (LIMA, 2005). Seu pequeno porte, associado à sua precocidade e boa proporção de panículas na massa total, garante ótimo desempenho produtivo em condições adequadas de cultivo. No entanto, seu rendimento em matéria seca reduz em 10,7 g a cada incremento de 1 dS m⁻¹ de condutividade

elétrica (SOUSA et al., 2005). Embora os efeitos da salinidade sobre o desempenho produtivo do sorgo sejam bem caracterizados, o conhecimento acerca dos efeitos da salinidade sobre a produtividade e qualidade da biomassa, variando a disponibilidade hídrica, permanece escasso.

No semiárido brasileiro, especialmente na região de Mossoró-RN, a precipitação pluviométrica média anual em longo prazo é de 650 mm, concentrando 75% nos meses de fevereiro a abril. Nesse aspecto, a irrigação torna-se uma prática fundamental para garantir o pleno desenvolvimento e elevar os índices produtivos do sorgo. Para o melhor gerenciamento dos recursos hídricos, é necessário conhecer a resposta da cultivar considerando o binômio salinidade vs. disponibilidade hídrica, avaliando tanto parâmetros produtivos quanto de qualidade. A hipótese testada foi de que os efeitos deletérios causados pela salinidade sobre o desempenho do sorgo podem ser mitigados pelo aumento da oferta hídrica. No entanto, para reduzir a pressão dos cultivos irrigados sobre os recursos hídricos objetivou-se definir a menor lâmina de irrigação (sob diferentes níveis de salinidade) que garante produtividades satisfatórias sem comprometer a qualidade da matéria prima destinada à produção de biocombustíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

LOCAL E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em área agrícola da região de Upanema – RN no período de agosto a dezembro de 2019, região do agropolo Mossoró-Açu, localizada nas coordenadas 5°35'S e 37°12' W. A cultura utilizada na pesquisa foi o Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), cultivar BRS Ponta Negra. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é quente e seco, do tipo BSw^h, com temperatura média de 27,4°C e precipitações pluviométricas irregulares (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995). O solo da área é classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018)

PREPARO DO SOLO E ADUBAÇÃO

A área foi preparada 15 dias antes da instalação do experimento com uma aração seguida por uma gradagem, abertura dos sulcos de plantios e realização da adubação de fundação com 180 kg ha⁻¹ de MAP (10-50-00).

Realizou-se a adubação de acordo com o recomendado nos resultados da análise de solo e exigências nutricionais da cultura. Na fertirrigação, aplicou-se 60 kg ha^{-1} de N, 30 kg ha^{-1} de K_2O , utilizando-se como fonte a ureia e KCl, respectivamente. Os fertilizantes foram divididos em três aplicações aos 21, 28 e 35 dias após o plantio. O sorgo foi plantado em uma área de 3.744 m^2 ($48 \times 78 \text{ m}$), com espaçamento em fileira dupla $1,35 \times 0,3 \times 0,15 \text{ m}$, com três sementes por cova, comprimento da parcela de 8m (Figura 1).



Figura 1 - Área experimental localizada na zona rural do município de Upanema-RN.

TRATAMENTOS DE DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com três repetições. A cultivar de sorgo escolhida para ser estudada foi a Ponta Negra, com aptidões produtivas sacarina/forageira, constituídas de dois fatores, com quatro níveis de salinidade (condutividade elétrica de 1,5, 3,0, 4,5 e $6,0 \text{ dSm}^{-1}$), com quatro lâminas de irrigação (295, 402, 509 e 676 mm).

MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

As lâminas de irrigação foram determinadas (51,3; 70,6; 90,0 e 118,4%) de acordo com proporção da evapotranspiração da cultura (ETc) (Figura 2), ajustando-se às condições de campo e sistema de irrigação utilizando-se o método proposto pela FAO (ALLEN et al., 2006), representado por S_1 , S_2 , S_3 e

S₄ para salinidade e L₁, L₂, L₃ e L₄ para lâminas de irrigação. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento com linhas laterais espaçadas de 1,65 m, que supria duas fileiras de plantas. Utilizou-se emissores com diferentes combinações de vazões (1,6 a 3,1 L h⁻¹) e espaçamentos (0,2 a 0,4 m) para proporcionar as diferentes lâminas de irrigação, conforme os tratamentos estudados.

O coeficiente da cultura (K_c) diário foi determinado pelo método do K_c dual (Figura 3), utilizando os coeficientes de cultura basal recomendados por Allen et al. (2006), que foram 0,15, 1,0 e 0,70 para as fases inicial, intermediária e para o final do ciclo e o comprimento das fases fenológicas ajustadas às condições de campo de 20, 20, 39 e 10 dias. A lâmina bruta foi calculada baseada na eficiência de irrigação de 95%. A evapotranspiração de referência (E_{To}) foi estimada a partir dos dados coletados diariamente de uma estação meteorológica localizada próxima ao local do experimento (Figura 4), cujos valores médios durante o ciclo da cultura estão apresentados na Tabela 1, conforme equação de Penman-Monteith FAO. Utilizou-se no experimento o sistema de irrigação por gotejamento, com emissores de diferentes vazões (1,69; 1,65; 3,46 e 3,90 Lh⁻¹), de acordo com a lâmina de irrigação a ser aplicada na parcela. Diante disso, foi definida a lâmina de irrigação diária aplicada (Figura 5).

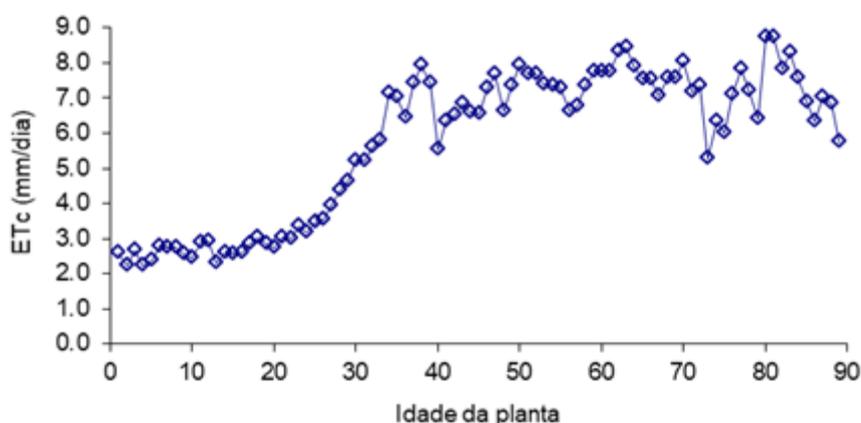


Figura 2 - Evapotranspiração da cultura (ET_c) diária estimada pela metodologia da FAO (ALLEN et al., 2006) para cultivar de sorgo cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.

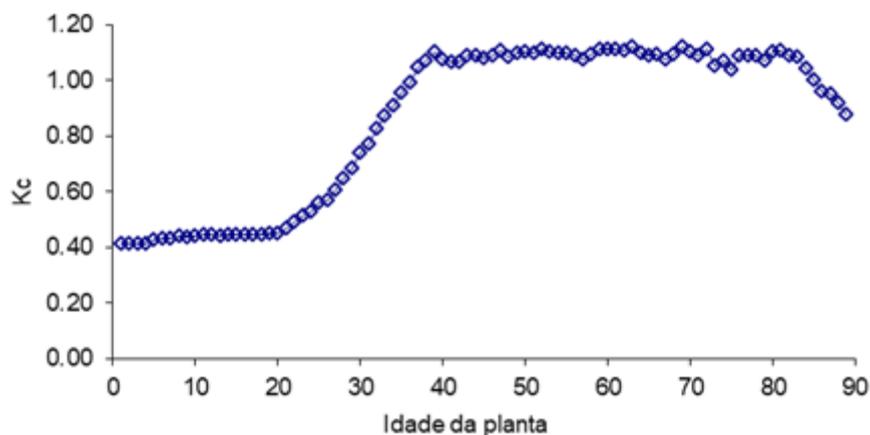


Figura 3 - Coeficiente de Cultura (K_c) diário estimado pelo método do K_c dual (ALLEN et al., 2006) para a cultivar de sorgo cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.

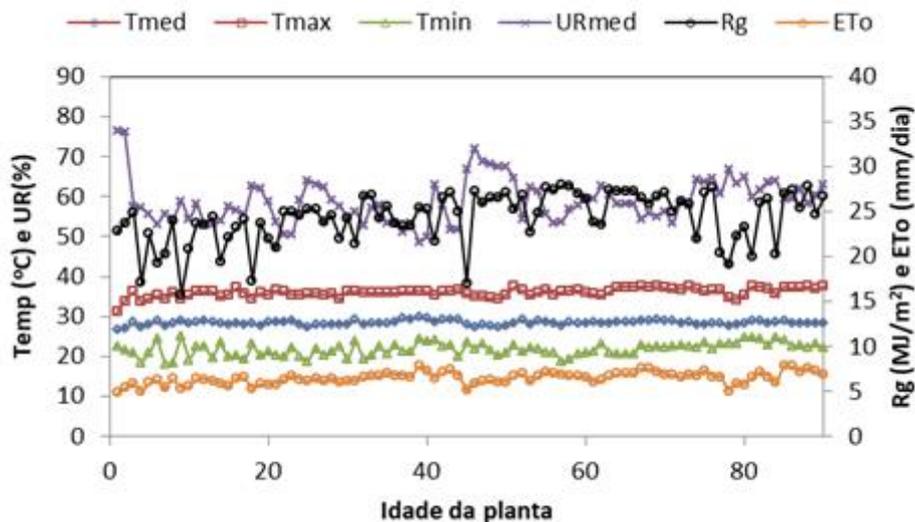
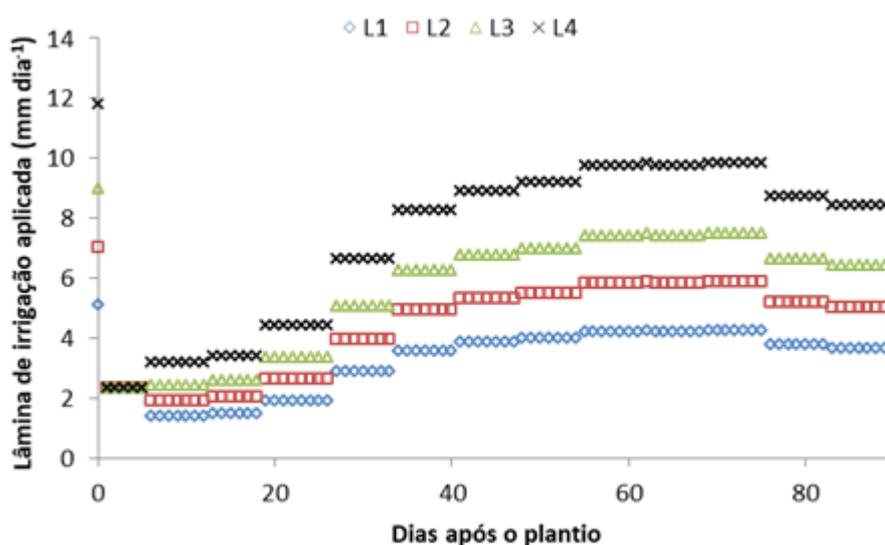


Figura 4 - Dados climáticos (temperaturas média - T_{med} , máxima - T_{max} e mínima diária - T_{min} , umidade relativa média diária - UR_{med} , radiação global diária - R_g) e evapotranspiração de referência - E_{to} , calculada por Penman-Monteith modificada pela FAO (ALLEN et al., 2006) a partir do plantio do sorgo. Fonte de dados: Estação climatológica de Ipanguaçu - Inmet, distância cerca de 35 km.

Tabela 1-Dados meteorológicos médios observados durante o ciclo da cultura.

Tmed	Tmax	Tmin	Urmed	Urmx	Urmin	V10	Rg	ETo
-----°C-----			-----%-----			(m/s)	(MJ/m ² /d)	(mm/d)
28,4	36,0	21,7	58,9	84,6	31,2	3,1	24,3	6,5

**Figura 5** - Lâmina total de irrigação aplicada diariamente para as diferentes lâminas de irrigação utilizadas (L₁ a L₄).

PREPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES SALINAS DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Para o fator concentração de sais, a água de menor concentração proveio de poço tubular que explora o aquífero calcário Jandaíra; por sua vez, a água de maior concentração foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para um rendimento potencial de cerca de 50%, de acordo com Ayers; Westcot (1999).

Foi produzida previamente a solução com a adição de sais (NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgSO₄.7H₂O) para ficar com uma proporção molar de cargas de 7:2:1 de Na, Ca e Mg, representando a composição média das águas salobras

do semiárido nordestino, e as de concentração intermediária, também com adição dos mesmos sais, de modo a se ter composição similar e concentração de sais equidistantes entre os limites estabelecidos. Diariamente as águas foram monitoradas com auxílio de um condutivímetro portátil e aplicadas via irrigação.

As unidades experimentais foram constituídas de duas fileiras duplas de sete metros, sendo as fileiras externas de cada unidade a bordadura. O acúmulo de biomassa seca e avaliação da produção foi analisado em metade das duas fileiras centrais e a outra metade foi utilizada para parâmetros tecnológicos da cultura do sorgo.

ANÁLISES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE

A colheita foi feita em duas ocasiões: aos 68 e 90 dias após o plantio (DAP). Aos 90 dias após o plantio, também foram avaliadas as características de qualidade do caldo do sorgo. Aos 68 DAP, foram avaliados massa seca e rendimentos em comparação com os 90 DAP. No laboratório, foram analisadas as seguintes características de qualidade no caldo do sorgo: sólidos solúveis (SS), açúcares solúveis totais (AST), açúcar redutor (AR), açúcar não redutor (ANR), açúcar total recuperável (ATR), pH, acidez titulável (AT), além das variáveis de produtividade: matéria fresca de colmo (MFC), matéria seca total (MST), rendimento total de biomassa verde (RT), porcentagem do caldo e fibra.

No caldo do sorgo, as características físico-químicas de sólidos solúveis (SS) foram determinadas com auxílio do refratômetro digital modelo SCHMIDT+HAENSCH, ao passo que açúcares solúveis totais (AST) foram determinados pelo método da Antrona, conforme metodologia de Yemn; Willis (1954). Nos açúcares redutores (AR), seguiu-se a metodologia proposta por Nelson (1960), ao passo que o teor de açúcar não redutor (ANR) foi expresso pela diferença entre AST e AR. O açúcar total recuperável (ATR) foi determinado com base em Consecana (2006) em kg/t e kg/ha, dados pelas equações 1 e 2.

$$ATR (kg/t) = \frac{\text{Total do caldo}}{100 \times AST} / 100 * 1000$$

$$ATR (kg/ha) = \text{Valor de ATR kg/t} * MFC (t/ha)$$

Sendo:

ATR: açúcar total recuperável

AST: açúcar solúvel total (%)

MFC: matéria fresca de colmo (t/ha)

O pH (potencial hidrogeniônico) foi determinado diretamente no caldo, e acidez titulável (AT) foi determinada com o auxílio do potenciômetro digital até o pH atingir 8,1 por titulação com solução de NaOH a 0,02N, ambas de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (1985). Foram amostradas aleatoriamente quatro plantas, sem panícula e sem palhas, colhidas na área útil da parcela. Depois foram pesadas, posteriormente foi retirada uma subamostra de 500g colocados em uma moenda para extração do caldo e análise físico-química.

Os dados de produtividade foram obtidos a partir da contagem do número de plantas e pesagem do material vegetal (colmos, folhas e cachos) colhido em três metros de fileira de planta. Para determinação da massa seca total, separou-se duas plantas por parcela, e determinou-se o teor de matéria seca na amostra usando estufa de secagem com circulação e renovação de ar à temperatura de 65°C, por 72 horas ou até atingirem peso constante. A produção de matéria seca foi obtida pelo produto da produção de biomassa fresca pelo teor de massa seca. Ao final, os valores da produtividade de massa fresca e seca foram convertidos em toneladas por hectare.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram interpretados por meio de análise de regressão simples e superfície de resposta, gerados pelo *software* Table curve e R studio, respectivamente. As médias dos fatores lâminas de irrigação e níveis de salinidade foram comparadas por meio do teste T a 5% de probabilidade,

desdobrando-se as condutividades elétricas em função das lâminas de irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

AVALIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUTIVIDADE

MATÉRIA SECA TOTAL E RENDIMENTO TOTAL

Verificou-se, pela análise de variância na primeira colheita, efeito interativo da lâmina de irrigação (LI) e condutividade elétrica (CE) para a massa seca total (MST) e rendimento total (RT) (Figura 6). Não obstante, na segunda colheita, houve efeito isolado de CE para os teores de MST e efeito interativo da LI e CE para o RT (Figura 7).

Na primeira colheita (68 dias), os teores de MST e RT exibiram comportamentos semelhantes em função da CE e LI. Para ambas as variáveis, enquanto o aumento da CE propiciou efeito quadrático, o incremento da LI proporcionou efeito linear crescente (Figuras 6A e 6B). Os valores máximos de MST ($12,82 \text{ t ha}^{-1}$) e RT ($46,18 \text{ t ha}^{-1}$) foram verificados nas mesmas condições de CE e LI, ou seja, em $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ e 676 mm , respectivamente. Por outro lado, em condições de baixa LI (295 mm) e alta CE ($6,0 \text{ dS m}^{-1}$), a MST e RT foram drasticamente reduzidas para valores de $6,01$ e $24,48 \text{ t ha}^{-1}$, representando decréscimos de $46,87$ e $53,00\%$, respectivamente.

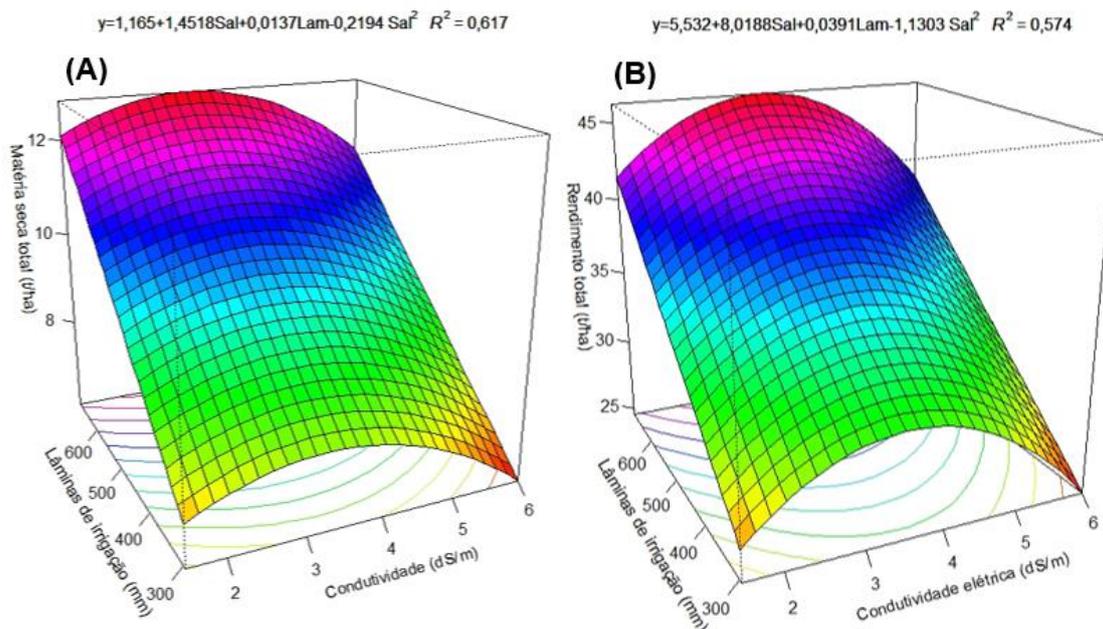


Figura 6 - Superfície de resposta para matéria seca total (A) e rendimento total (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação, avaliadas aos 68 dias após o plantio. Upanema-RN/2019.

A partir desses resultados, evidenciou-se que o estresse hídrico e salino pode ter causado distúrbios fisiológicos e bioquímicos que afetaram negativamente o crescimento e acúmulo de matéria seca da planta. Sob essas condições de estresse, os íons tóxicos se acumulam no citosol, comprometendo a absorção de águas pelas raízes (SÁ et al., 2018; CUI et al., 2018), limitando o desenvolvimento da planta e seu rendimento no início do florescimento (SANTOS et al., 2012).

No Semiárido Brasileiro, a restrição hídrica e o estresse salino são as principais pressões ambientais que afetam o crescimento, produtividade e qualidade dos produtos vegetais (SILVA et al., 2014). Nessa região, a exploração tradicional do sorgo como forrageira para alimentação animal é vantajosa devido às suas características agrônômicas, que incluem alta produtividade de biomassa, ciclo rápido, elevada eficiência do uso da água e tolerância moderada a estresse salino (SILVA et al., 2019). No entanto, as informações sobre o potencial da cultura do sorgo como matéria-prima para a produção de biocombustível nas condições típicas da região permanecem limitadas. Portanto, estabelecer as condições ideais de disponibilidade hídrica e condutividade elétrica da água de irrigação para o sorgo sacarino são fatores

importantes que podem auxiliar a produção nacional de etanol, sobretudo como complemento no período da entressafra da cana-de-açúcar (MASSON et al., 2015).

Em contraste aos dados de produção da primeira colheita, na segunda colheita (90 dias), apenas o RT ajustou-se a um modelo de superfície de resposta, ao passo que a MST se ajustou a um modelo de regressão linear simples (Figuras 7A e 7B). Independentemente da LI, a MST pouco variou com o incremento da CE, com exceção da LI de 509 mm (Figura 7A), na qual a MST foi reduzida em 24,23% com o incremento da salinidade até a CE crítica de 3,02 dS m⁻¹, a partir da qual a MST aumentou até a CE 6 dS m⁻¹, cujo valor superou em 61,55 % a obtida na LI de 402 mm.

Para o RT da segunda colheita (90 dias), houve ajuste de modelo de superfície resposta com efeito simples e de interação dos fatores estudados (Figura 7B). O aumento gradual da CE em baixa LI (295 mm) elevou o RT em até 37,30%. Por outro lado, em condições de alta disponibilidade hídrica (676 mm), o incremento da salinidade de 1,5 dS m⁻¹ para 6 dS m⁻¹ reduziu o RT de 50,00 t ha⁻¹ para 46,67 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 7B). Embora o aumento da CE tenha reduzido o RT em condições de alta LI, essa redução é de apenas 7,13% em relação a 50 t ha⁻¹ obtidas em condições de CE de 1,5 dS m⁻¹ e LI de 676 mm. Dessa maneira, tais resultados evidenciam que o sorgo é capaz de produzir satisfatoriamente em condições de elevada CE, desde que haja maior disponibilidade hídrica para a cultura. Em condições de estresse salino, a planta utiliza uma combinação de processos adaptativos (baixo transporte de Na⁺ e Cl⁻ para as folhas e a compartimentalização desses íons em vacúolos, evitando a toxicidade) que possibilitam seu desenvolvimento sem perdas severas (CHEN. et al., 2018; YANG et al., 2020).

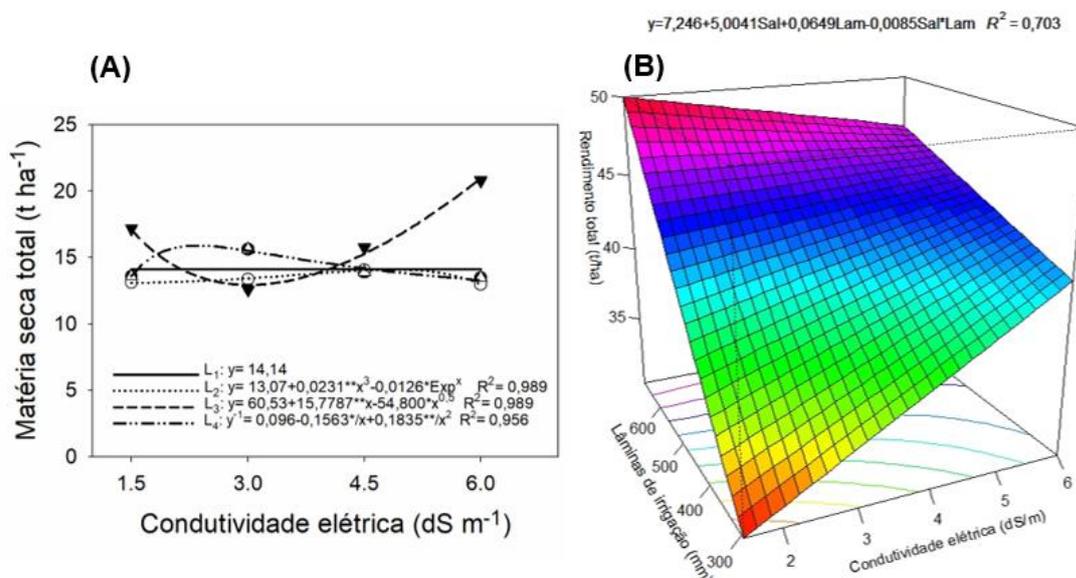


Figura 7 – Matéria seca total (A) e rendimento total (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm.

MATÉRIA FRESCA DE COLMO (MFC)

Houve efeito interativo das variáveis estudadas (LI e CE) para a matéria fresca de colmo (MFC) (Figura 8). A MFC sob as diferentes lâminas de irrigação foi analisada por análise de regressão linear simples tendo a CE como a variável independente (Figura 8). Sob as LI de 295 e 402 mm, a MFC se comportou de forma quadrática, reduzindo até a CE de 2,87 e 4,46 dS m⁻¹, respectivamente. A partir dessas LI críticas, a MFC aumentou até a CE de 6 dS m⁻¹, sobretudo na LI de 295 mm. Por outro lado, enquanto a MFC nas condições de LI de 509 mm não tenha sido alterada com a elevação da CE, o maior valor de MFC (40,32 t ha⁻¹) foi obtido na LI de 676 mm e CE de 3,16 dS m⁻¹ (Figura 8). Observou-se que nas maiores LI (509 e 676 mm) a oferta hídrica influenciou no acúmulo de MFC.

O acúmulo de biomassa no caule foi significativamente reduzido pelo déficit hídrico (42% após secagem), em razão da diminuição no comprimento do colmo e da redução da parede celular (PERRIER et al., 2017). Esses resultados podem ser justificados por Calone et al. (2020), os quais, em cultivo de sorgo com água salina, constataram que a irrigação mitigou os efeitos nocivos dos íons Na⁺ e Cl⁻. Também é possível o colmo atuar como órgão

tampão no processo de homeostase dos cátions (K, Ca e Mg) a fim de minimizar a alocação de Na^+ das raízes para as folhas, atestando-se que apesar do incremento de CE a planta foi capaz de se desenvolver sob condições de estresse.

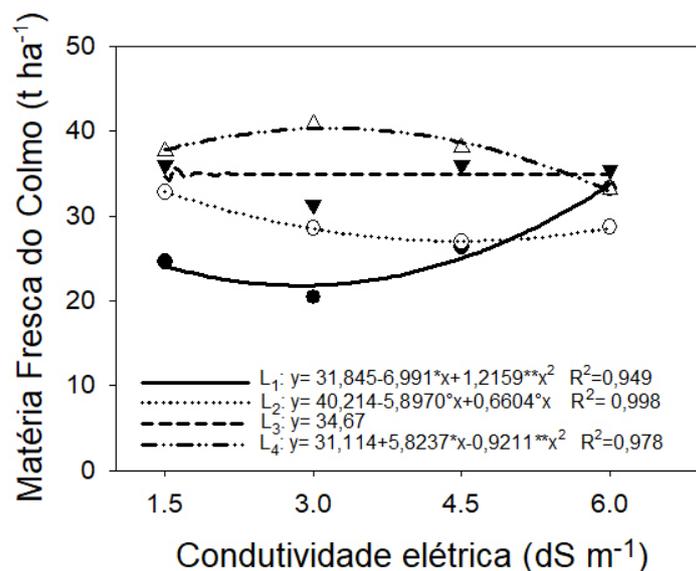


Figura 8 - Matéria fresca de colmo (MFC) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm.

CALDO E FIBRA (%)

A porcentagem de caldo aos 90 dias não sofreu influência dos fatores estudados, sendo o valor médio geral de 87,50 % (Figura 9A). Porém, os resultados apresentados divergem dos dados de Batista et al. (2018), os quais afirmam que a baixa disponibilidade hídrica afetou negativamente o volume de caldo extraído no sorgo. De acordo com Teixeira et al. (2017), o teor de caldo do sorgo varia com o estágio fenológico da planta, cultivar escolhida, condições de cultivo e umidade.

De modo semelhante ao teor de caldo, os teores de fibra em função da CE não se ajustaram a modelos de regressão nas diferentes LI estudadas, com exceção da LI de 402 mm (Figura 9B). Na L₂, o teor de fibra aumentou linearmente a uma taxa de 0,77% CE⁻¹ e superou em 9,96%, 1,15% e 21,29% os valores obtidos nas L₁, L₃ e L₄, respectivamente, sob CE de 6 dS m⁻¹. Os

teores de fibras identificados no presente trabalho estão dentro do recomendado de 12 a 20% (EMBRAPA, 2012). Câmara; Parella; Silva (2018) encontraram teores de fibra em genótipos de sorgo sacarino (CMSXS646 e BRS 511) variando de 17,2 a 20,5%, valores superiores aos encontrados no presente trabalho, possivelmente devido aos diversos fatores envolvidos, como clima, época de colheita, variedade e tratamentos utilizados. Em níveis adequados, a fibra evita o acamamento da planta, perda de qualidade (menor teor de açúcar no colmo), permite produção de energia de segunda geração (pelo bagaço), além de favorecer a extração do caldo e diminuir as impurezas durante a colheita (MARTINS et al., 2017).

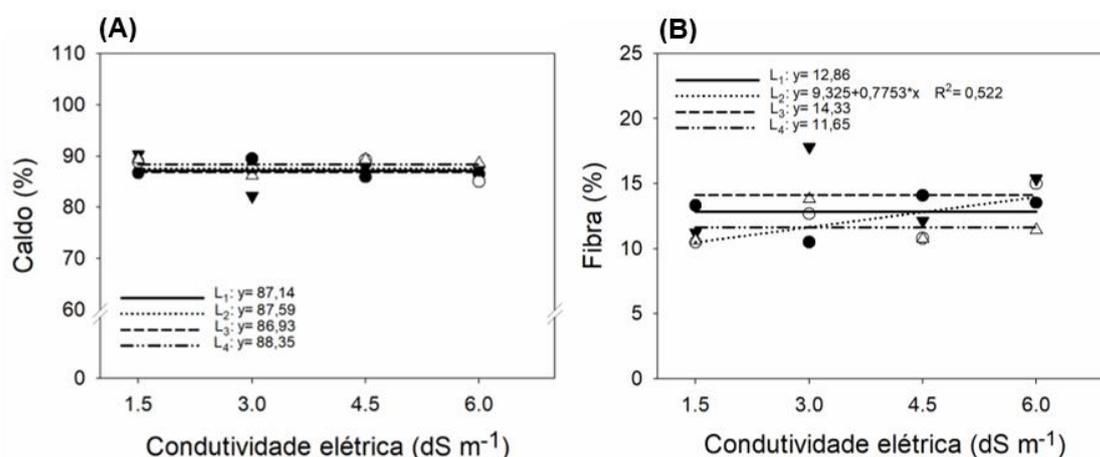


Figura 9 - Porcentagem de caldo (A) e fibra (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L1: 295 mm; L2: 402 mm; L3: 509 mm; L4: 676 mm.

CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE NO CALDO DO SORGO

SÓLIDOS SOLÚVEIS E AÇÚCARES SOLÚVEIS

Estimar o TSS no caldo do sorgo é um dos principais parâmetros indicativos de sua aptidão para produção de bioenergia, por se tratar de uma medida indireta do conteúdo de açúcares presente no caldo (RATNAVATHI et al., 2011). Houve efeito interativo das variáveis estudadas (LI e CE) para o teor de sólidos solúveis (SS), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) do caldo (Figura 10). Avaliando a superfície de resposta para a variável dependente de SS em função dos fatores LI e CE, nota-se que o efeito da disponibilidade hídrica foi o principal fator limitante ao acúmulo de SS. Tal afirmativa é evidenciada pela maior variação dos SS em função da LI,

representando 20,41% quando comparada ao incremento de CE de 5,94%. Em ambos os fatores estudados, a variação de SS foi quadrática, porém com ponto máximo para o fator de LI e de mínimo para a CE (Figura 10A).

Considerando a LI crítica de 357,5 mm e CE de 6,0 dS m⁻¹, foi possível estimar os SS máximos de 19,20%. Por outro lado, o menor teor de SS de 14,98% foi estimado na combinação da maior LI (676 mm) com a CE de 3,37 dS m⁻¹. Tais resultados demonstram que, em condições de maior disponibilidade hídrica, o teor de SS provavelmente é reduzido pela diluição dos açúcares, os principais constituintes dos SS (YANG et al., 2020). Já sob condições de maior CE e menor LI, foi obtido o maior teor de SS, possivelmente em virtude do efeito de concentração dos solutos orgânicos diante do menor crescimento das plantas e do consequente aumento da concentração de substâncias (açúcares, prolina e glicina betaína-GB) que auxiliam na proteção da estrutura e função celular (ALMODARES; AKHAVAN, 2011), sendo a GB considerada um marcador bioquímico-fisiológico de plantas sob estresse salino (VOLLET, 2006). Também é possível que haja influência da perda ou diminuição da panícula no aumento da concentração de açúcares no colmo, a partir da interrupção na distribuição dos carboidratos no enchimento dos grãos (GHATE et al., 2019; TOVIGNAN et al., 2020), tal como ocorreu durante o experimento, em virtude do ataque de pássaros.

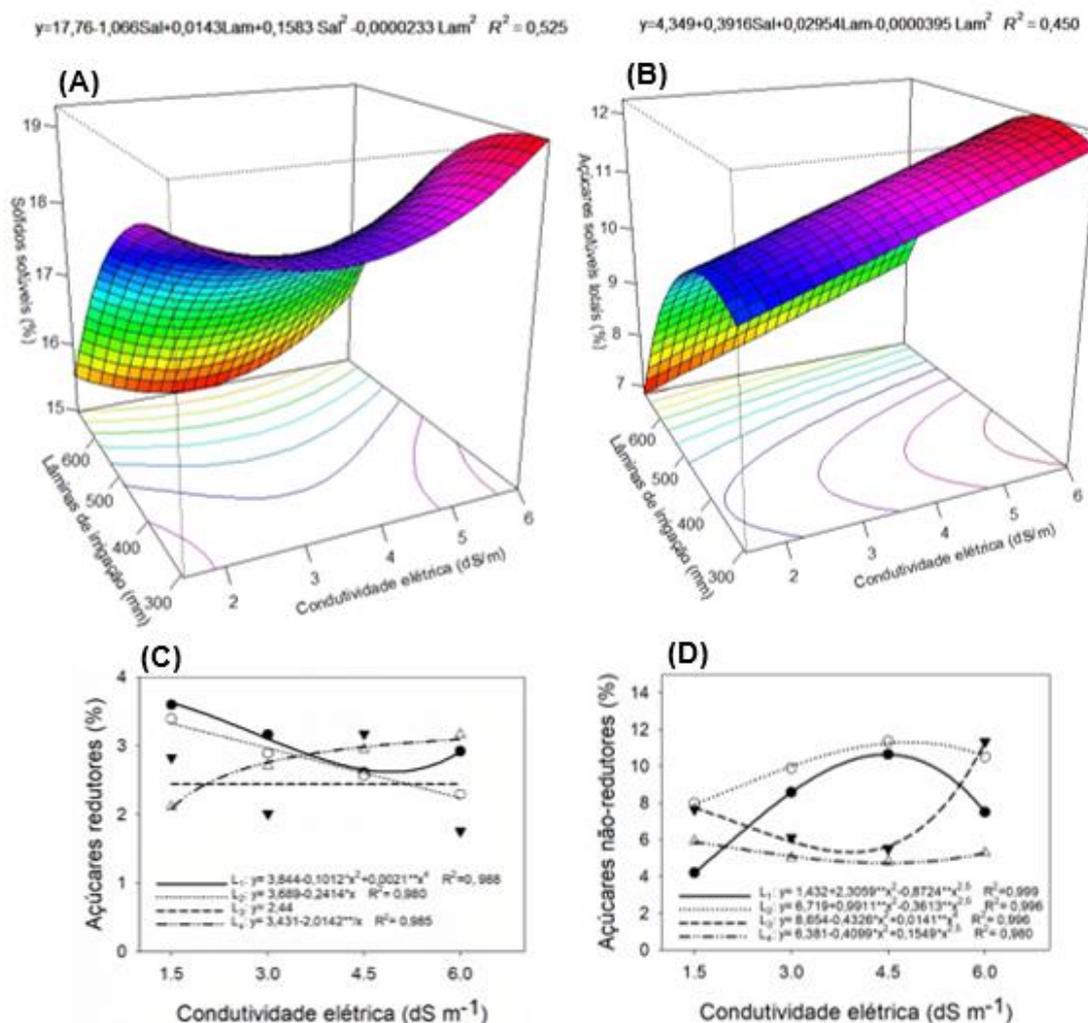


Figura 10 - Sólidos solúveis (A), açúcares solúveis totais (B), açúcares redutores (C), açúcares não redutores (D) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm.

Para os açúcares solúveis totais (AST), verificou-se efeito quadrático para LI e efeito linear para o fator CE (Figura 10B). Nas condições experimentais, o maior teor de AST (12,22%) foi obtido com a CE de 6,0 dS m⁻¹ e LI de 380 mm. Não obstante, a concentração de AST diminuiu severamente em 78,39% sob a CE de 1,5 dS m⁻¹ e LI de 676 mm, em comparação ao maior teor obtido. Conforme visualizado, o AST foi significativamente influenciado pela variação de LI, limitando o acúmulo desses solutos. Diante dos parâmetros avaliados, o AST está incluído nos parâmetros de interesse para produção de etanol em sorgo (EMBRAPA, 2012), devido à capacidade dessas moléculas orgânicas serem convertidas em energia (ALMODARES; HADI,

2009).

Considerando o efeito das LI em baixa CE ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$), os maiores teores de açúcares redutores (AR) foram obtidos nas LI de 295 e 402 mm, quando comparados às LI de 509 e 676 mm (Figura 10C). Por outro lado, sob alta CE (6 dS m^{-1}), os AR obtidos na LI de 676 mm superaram em 5,82%, 37,95% e 26,64% os valores encontrados nas lâminas de 295, 402 e 509 mm, respectivamente (Figura 10C). Considerando o efeito crescente da CE, os AR obtidos com a LI de 295 mm apresentaram comportamento quadrático com valor mínimo de 2,62% na CE de $4,9 \text{ dS m}^{-1}$.

No entanto, sob a LI de 402 mm, o aumento da CE reduziu linearmente os AR, alcançando valor de 2,24% na salinidade de 6 dS m^{-1} , para LI 509 mm os dados de AR não se ajustaram ao modelo de regressão; sob a LI 676 mm houve aumento do teor de AR com os níveis crescentes de CE, obtendo-se valor de 3,09% na CE de 6 dS m^{-1} . A determinação de AR torna-se importante na medida em que seu alto teor influencia no processo de cristalização da sacarose, sendo uma interferência no processo industrial (ANDRADE; MEDEIROS; BORGES, 2018; GENEROSO et al., 2009). O AR varia em função do genótipo escolhido e do desenvolvimento da planta. Os valores encontrados são semelhantes à faixa indicativa de 1 a 3% (EMBRAPA, 2012). De acordo com Yang et al. (2020), sob condições de estresse (hídrico e salino) o sorgo desenvolve mecanismos capazes de minimizar efeitos osmóticos e iônicos na planta, tais como a síntese e manutenção dos produtos fotossintéticos, sua absorção de íons tóxicos no vacúolo e o acúmulo de solutos orgânicos (sacarose, glicose e frutose) no citosol da célula.

Conforme a Figura 10D, em condições de baixa LI (295 e 402 mm), o teor de ANR aumentou até a CE de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, cujos valores obtidos foram de 10,65 e 11,26%, respectivamente. Por outro lado, sob as LI de 509 e 676 mm, o teor de ANR reduziu com a elevação da CE, obtendo-se pontos de mínimo de 5,34 e 4,73% na CE de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados corroboram com Batista et al. (2018), os quais observaram que os índices elevados de SS se correlacionam com o teor de sacarose existente no caldo do sorgo. Dessa forma, constatou-se a influência da água na diluição desses compostos orgânicos. No conteúdo dos colmos, a sacarose é o principal açúcar acumulado na fotossíntese (GNANSOUNOU; DAURIAT,

2005). A associação dos fatores atesta os mecanismos adaptativos da cultura (YUAN et al., 2016b) em acumular açúcares fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose) no colmo (SUI et al., 2015). Esse processo é possível graças à exclusão dos íons Na^+ para os vacúolos das raízes, limitando seu transporte para as demais partes da planta (YANG et al., 2018). Além disso, outro mecanismo envolvido é a ação das enzimas que atuam no metabolismo de carboidratos, cujos produtos das reações, como a clivagem da sacarose em glicose e frutose pelas invertases, ajudam a proteger estruturas dos fotossistemas em condições de estresse (SUI et al., 2015).

AÇÚCAR TOTAL RECUPERÁVEL (ATR kg t^{-1} e ATR kg ha^{-1})

Os teores de ATR, em kg t^{-1} , com incremento de CE comportaram-se de forma contrastante nas LI de 402 e 509 mm. Observou-se maior ATR $119,65 \text{ kg t}^{-1}$ e ponto mínimo de $65,53 \text{ kg t}^{-1}$ na CE de $4,33$ e $3,81 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 11A), ao passo que na LI de 676 mm os teores de ATR pouco variaram com o aumento de CE. Não obstante, os valores de ATR ficaram dentro do proposto como padrão na literatura, intervalo de 80 a 127 kg t^{-1} (EMBRAPA, 2012). Para os conteúdos de ATR em kg ha^{-1} , verificou-se maior variação com o incremento de CE, na LI de 509 mm e CE de $3,6 \text{ dS m}^{-1}$, com ponto mínimo de $1861,21 \text{ kg ha}^{-1}$. Na LI de 402 mm e CE de $3,8 \text{ dS m}^{-1}$, o ponto máximo foi de $3100,11 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 11B). O açúcar total recuperável (ATR) é um indicativo relevante que define o preço de comercialização dos produtos finais derivados do sorgo, como o açúcar ou álcool (CONSECANA, 2006), expressos em kg t^{-1} e kg ha^{-1} e baseados no conteúdo de caldo extraído e pelo rendimento de matéria fresca de colmo.

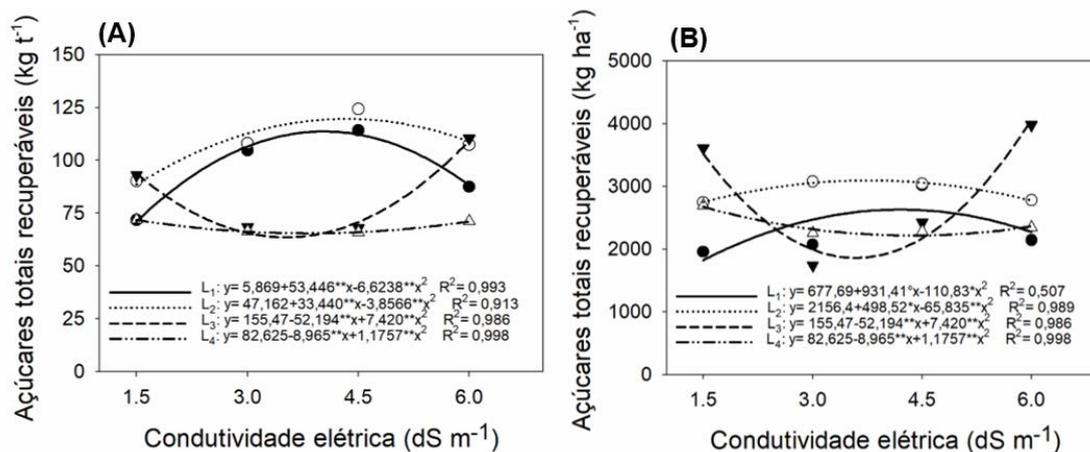


Figura 11 - Açúcares totais recuperáveis (ATR) em kg t⁻¹ (A) e kg ha⁻¹ (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm.

Câmara et al. (2018), comparando as cultivares BRS 511 e Ponta Negra, observaram teores semelhantes de ATR 122,4 kg t⁻¹ para a BRS 511 na ausência de estresse abiótico. De acordo com Costa et al. (2017), a cultivar BRS 506, na comparação com a BRS Ponta Negra sob efeito da salinidade, apresentou maior capacidade de produção de etanol, embora a produção de colmos, açúcares e ATR (31,05, 3,04 e 3,17 Mg ha⁻¹) demonstrem redução significativa com o incremento de CE. Para Costa et al. (2017), nem todas as cultivares são afetadas da mesma forma quando submetidas aos estresses abióticos, pois cada planta apresenta um comportamento de absorção de água pelas raízes, fechamento estomático e ajuste osmótico (DIAS; BLANCO, 2011), o que pode determinar a maior ou menor sensibilidade, por exemplo, ao estresse salino.

pH e ACIDEZ TITULÁVEL (%)

Houve pouca variação do pH e acidez titulável (AT), independentemente das LI, com o incremento da CE (Figura 12A e 12B). Sob as LI de 292 e 402 mm, o pH do caldo foi reduzido em apenas 0,42% com o aumento da CE até 6 dS m⁻¹, e em 3,73% com a elevação da CE até 4,19 dS m⁻¹, respectivamente. Por outro lado, em condições de LI de 509 e 676 mm, o aumento da CE até 4,66 e 2,72, respectivamente, foi responsável por aumentar o pH do caldo do

sorgo (Figura 12A). Masson et al. (2015), avaliando o pH no caldo do sorgo, consideraram que teores recomendados entre 4,5 a 5,5 favorecem o processo fermentativo e desenvolvimento de leveduras na conversão de etanol.

Em relação à acidez titulável, foi observado comportamento oposto do pH, exceto na LI de 676 mm, na qual o incremento da CE não alterou a acidez (Figura 12B). Por outro lado, enquanto nas LI de 295 e 509 mm ocorreram respostas quadráticas, com ponto de mínimo em 3,5 e 4,5 dS m⁻¹, sob a LI de 402 mm houve resposta quadrática com ponto máximo em 5,1 dS m⁻¹ (Figura 12B). A acidez é um parâmetro importante que pode influenciar no desenvolvimento de microrganismos (MARCHINI, 2001). Nesse contexto, estes resultados assemelham-se aos obtidos por Masson et al. (2015), de 0,17 e 0,10% no sorgo sacarino e cana-de-açúcar, respectivamente. Apesar das diferentes condições de tratamento, observou-se que os fatores estudados não influenciaram no pH e acidez.

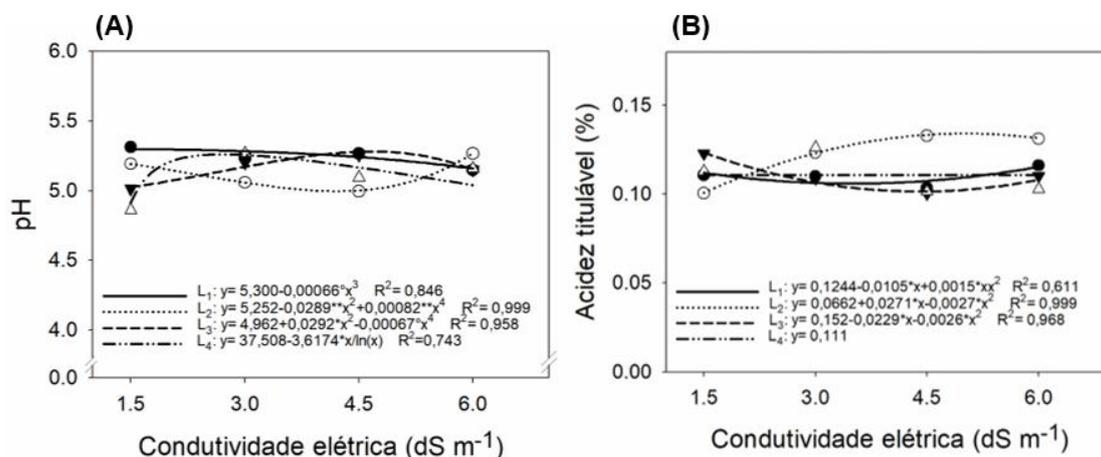


Figura 12 - pH (A), acidez titulável (B) da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra, em função da condutividade elétrica e lâmina de irrigação, avaliadas aos 90 dias após o plantio. Upanema-RN/2019. L₁: 295 mm; L₂: 402 mm; L₃: 509 mm; L₄: 676 mm.

ANÁLISE MULTIVARIADA

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada às variáveis de rendimento e qualidade do sorgo para averiguar as possíveis relações entre

elas e os tratamentos de CE e LI (Figura 13A). Os dois primeiros componentes principais (PC1 PC2) foram suficientes para explicar 63,75% da variação total dos dados. O CP1 explicou 38,98% da variância total, correlacionando positivamente com as variáveis associadas ao conteúdo de açúcares (especialmente os SS, AST, ANR e ATR1) e negativamente com as variáveis de produção da cultura, como RD1, RD2, MS1 e MFC. Por outro lado, o CP2 explicou 24,77% da variação e apresentou correlação positiva forte principalmente com MS2 e ATR2, e negativa com AR, pH e % de caldo. O ângulo obtuso entre as variáveis de rendimento e qualidade denota correlação negativa entre grande parte das variáveis de produtividade e de qualidade, ou seja, ganho de rendimentos implica baixa qualidade do caldo, especialmente em menor conteúdo de ANR.

Para facilitar a interpretação da análise multivariada aplicada, os scores obtidos das LI em cada um dos CP foram plotados em função da CE (Figura 13B). Altos scores em PC1 sugerem alto conteúdo de açúcares, especialmente os ANR e ATR (kg t^{-1}), de maneira que sob as LI de 295 e 405 mm o aumento da CE até em torno de $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ é vantajoso para o acúmulo do principal carboidrato de interesse para produção de biocombustível, a sacarose. Por outro lado, como altos scores em PC2 sugerem baixo conteúdo de AR, considerados carboidratos indesejáveis à produção de etanol, o cultivo do sorgo em baixa disponibilidade hídrica (295 e 402 mm) com água salina ($4,5 \text{ dS m}^{-1}$) contribuiu para a redução do teor de glicose e frutose no caldo.

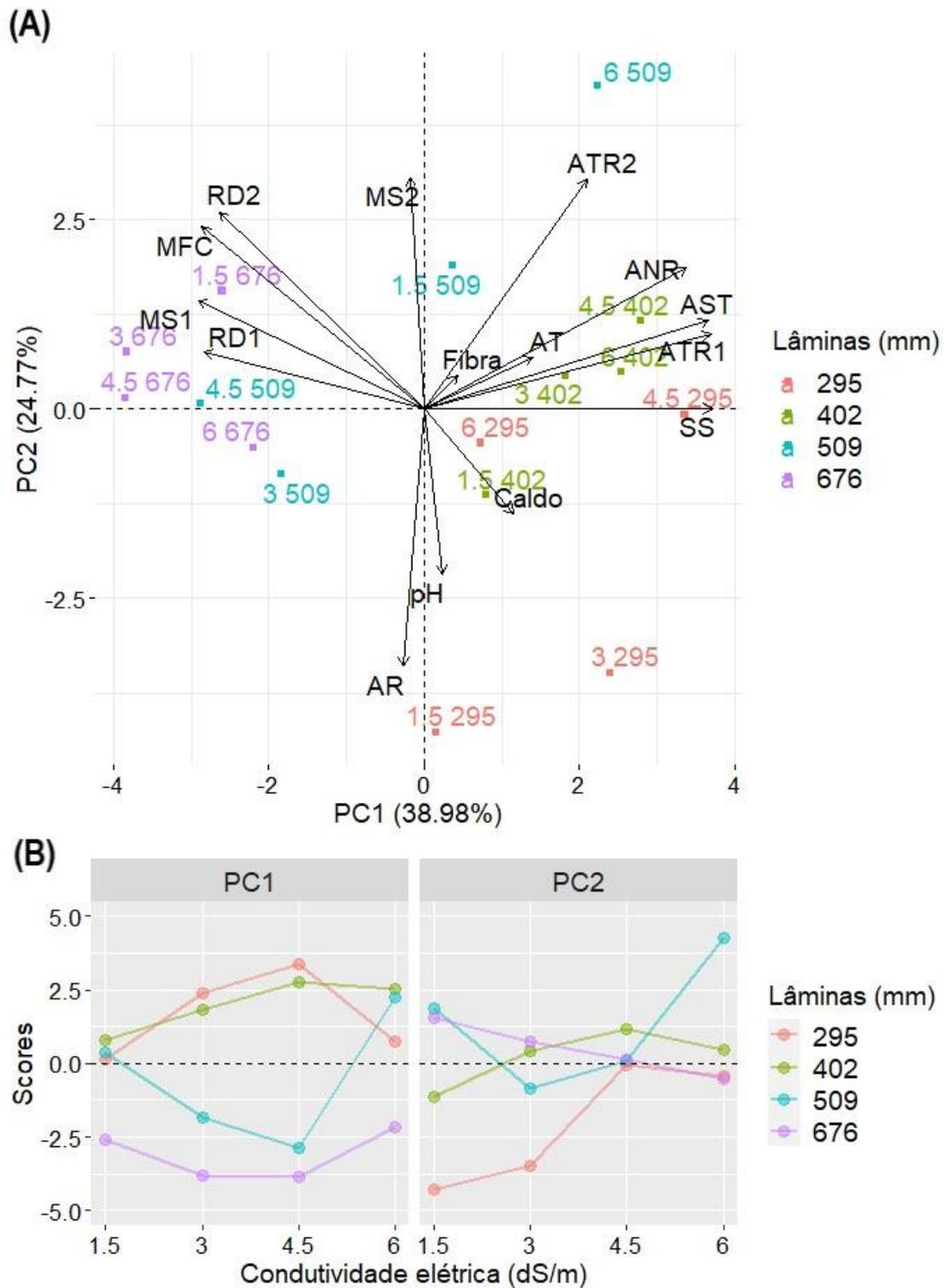


Figura 13 - Biplot da análise de componentes principais (A) e scores (B) para as variáveis de rendimento e qualidade da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra em função da condutividade elétrica da água de irrigação e lâminas de irrigação. Upanema-RN/2019.

CONCLUSÃO

O Sorgo BRS Ponta Negra apresenta rendimento satisfatório para as condições de uso de água salina e irrigação deficitária na região do semiárido, sem perdas severas. Com o incremento de CE e redução na lâmina de irrigação, verificou-se maiores conteúdos de SS%, AST%, AR%, ANR%, principalmente nas LI de 295 mm e 402 mm, correspondendo a 50% e 70% da ETc, respectivamente, e condutividade elétrica de 4,5 dS m⁻¹.

Foi observado que a concentração salina da água de irrigação até 6,0 dS m⁻¹ não reduziu significativamente a produtividade para matéria seca, matéria fresca do colmo, rendimento total, sob condições hídricas consideradas ideais para a cultura. Porém, o estresse hídrico foi o principal fator limitante ao acúmulo dessas características. Dessa forma, os maiores valores foram obtidos na LI de 509 mm, correspondendo a 90% da ETc e condutividade elétrica de 6,0 dS m⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENDES, M. C. Época de semeadura do sorgo forrageiro em duas localidades do estado de Minas Gerais, **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 116-125, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo**: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 2006, 298p. FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, África, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R.; AKHAVAN, Z. Sweet Sorghum: Salt Tolerance and High Biomass Sugar Crop. **Biomass - Detection, Production and Usage**, n. September, 2011.
- ANDRADE, L. A. et al. Avaliação das características físico-químicas do açúcar mascavo adicionado de açúcar bruto de alta polarização. Braz. J. **Food Technol.** [online], v. 21, e2017199, 2018.
- ARAGÜÉSA, R. et al. Regulated deficit irrigation, soil salinization and soil sodification in a table grape vineyard drip-irrigated with moderately saline waters. **Agricultural Water Management**. v. 134, p. 84-93, 2014.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, FAO, 1999.
- BORGES, I. D. et al. A. Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar de sorgo sacarino BRS 506 (*Sorghum bicolor* L.). Em: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 28., 2010, Goiânia. Anais. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 1010-1017, 2010.
- CALONE, R. et al. Salt tolerance and na allocation in sorghum bicolor under variable soil and water salinity. **Plants**, Basel, v. 9, n. 5, p. 20, 2020.
- CÂMARA, T. M. M.; PARRELLA, R. A. D. C.; SILVA, H. D. É. Qualidade Industrial E Rendimento De Etanol De Genótipos De Sorgo Sacarino Em Planta E Rebrotada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 216, 2018.
- CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA O. F. **Mossoró**: um município do semiárido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (Coleção Mossoroense, série b), 1995. 62p.
- CHEN, M. et al. Adaptation mechanism of salt excluders under saline conditions and its applications. **Int. J. Mol. Sci.** 19, 3668, 2018.

CONSECANA – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5. ed. Piracicaba: **Consecana**, 2006. 112p.

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.

CUI, F. et al. Identification of metabolites and transcripts involved in salt stress and recovery in peanut. **Front. Plant Sci.**, n. 9, v. 217, 2018.

COELHO, D. S. et al. Accumulation and distribution of nutrients in forage sorghum genotypes under salinity. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, p. 178–192, 2017.

COSTA, J. P. N. et al. Crescimento E Produção Da Primeira Rebrotada De Cultivares De Sorgo Sob Diferentes Lâminas De Irrigação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 3, p. 449, 2017.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. cap. 9, p. 130-141.

EMBRAPA – Milho e Sorgo. Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo Sacarino para Bioetanol BRS1G – **Tecnologia Qualidade Embrapa**. Documentos 139. 2012.

FERNANDES, P. G. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em Sete Lagoas – MG**. 2013. 89f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GENEROSO, W.C. et al. **Avaliação microbiológica e físico-química de açúcares mascavo**. Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso), v. 68, p. 93-102, 2009.

GHATE, T. et al. Role of ABA Signaling in Regulation of Stem Sugar Metabolism and Transport under Post- Flowering Drought Stress in Sweet Sorghum. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 37, n. 4, p. 303–313, 2019.

GUIMARÃES, M. J. M. et al. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water Biometria e produção de variedades de sorgo granífero irrigado com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 285–290, 2019.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. Ethanol fuel from biomass: a review. **Journal of Scientific and Industrial Research**, Nova Deli, v. 64, p. 809-821, 2005.

LIMA, J.M.P. BRS Ponta Negra - **Sorgo com grande potencial forrageiro**. Emparn/Embrapa. Folder. Natal, RN, 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: IAL, 1985.

MACHADO S. S. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MARCHINI, L. C. **Caracterização de amostras de méis de Apis mellifera L. 1758 (Hymenoptera-Apidae) do Estado de São Paulo, baseada em aspectos físicoquímicos e biológicos**. Livre Docência, Piracicaba – SP, 2001, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MARTINS, A. M. et al. Período De Utilização Industrial De Cultivares De Sorgo Sacarino Visando a Produção De Etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 217, 2017.

MASSON, I.D.S et al. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 9, p. 1695–1700, 2015.

MEDEIROS, J. F.; NASCIMENTO, I. B. GHERY, H. R. Manejo do solo-água-planta em área afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 280-302.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R. D.; CUNHA, J. C. Fluorescence of chlorophyll a and photosynthetic pigments in Atriplex nummularia under abiotic stresses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 232-237, 2017a.

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

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, Bethesda, Md, v. 153, n. 2, p. 375-380, fev. 1960.

PERAZZO, A. F. et al. Características agrônômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 10, p. 1771–1776, 2013.

PEREIRA BATISTA, V. A. et al. Produção de açúcares no caldo de sorgo sacarino avaliado em duas épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 263, 2018.

PERRIER, L. et al. Plasticity of sorghum stem biomass accumulation in response to water deficit: A multiscale analysis from internode tissue to plant level. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. September, p. 1–14, 2017.

RATNAVATHI, C.V. et al. Sweet Sorghum as Feedstock for Biofuel Production: A Review. **Sugar Tech**, n. 13, p. 399–407, 2011.

RAY, R. C. et al. **Forest Policy and Economics**. [s.l.] Elsevier Inc., 2019.

SÁ, F. V. S. et al. Crescimento e biomassa em plantas de sorgo sacarino irrigados com água salina sob adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2561–2569, 2018.

SANTOS, D. D. et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 836-842, 2012.

SHAKERI, E. et al. Evaluation of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) lines/cultivars under salinity stress using tolerance indices. **International Journal of Plant Production**, v. 11, n. 1, p. 101–116, 2017.

SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Embrapa Solos**, p. 353, 2018.

SILVA, J. L. A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. suppl, p. 66–72, 2014.

SILVA, M. L. D. S. et al. Growth and photosynthetic parameters of saccharine sorghum plants subjected to salinity. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 41, n. 1, p. 1–9, 2019.

SIMILI, F. F. et al. Hydrocyanic acid content and growth rate of sorghum x sudangrass hybrid during fall. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 4, p. 299–305, 2013.

SOUSA, R. A. et al. Efeito da aplicação de biofertilizante líquido no desenvolvimento do sorgo irrigado com água salobra. **Revista Científica**, v. 46, n. 4, p. 380-397, 2018.

SUI, N. et al. Identification and transcriptomic profiling of genes involved in increasing sugar content during salt stress in sweet sorghum leaves. **BMC Genomics**, 16, 534, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, T. P. M. et al. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and**

Products, v. 109, n. agosto, p. 579–586, 2017.

TOVIGNAN, T. K. et al. Terminal drought effect on sugar partitioning and metabolism is modulated by leaf stay-green and panicle size in the stem of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **CABI Agriculture and Bioscience**, v. 1, n. 1, p. 1–11, 2020.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSIS, T. Produtividade do sorgo doce para biocombustíveis sob aumento da salinidade do solo e redução da irrigação. **Field Crops Research**, n. 120. v. 1, p. 38-46, 2011.

VOLLET, V. C. **Teores de glicina betaína no sistema radicular de genótipos de guandu sob efeito do estresse salino associado à poliamina exógena em Jaboticabal - SP**. 2006. 59f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

YANG, Z. et al. Transcriptome analysis of sweet Sorghum inbred lines differing in salt tolerance provides novel insights into salt exclusion by roots. **Plant Soil**, 430, 423–439, 2018.

YANG, Z. et al. Photosynthetic Regulation Under Salt Stress and Salt-Tolerance Mechanism of Sweet Sorghum. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. January, p. 1–12, 2020.

YEMN, E.W. & WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, London, n. 57, p. 508-514, 1954.

YUAN, F. et al. The transcriptome of NaCl-treated *Limonium bicolor* leaves reveals the genes controlling salt secretion of salt gland. **Plant Mol. Biol.**, n. 91, p. 241–256, 2016b.