



ALEXANDRE DE CASTRO SILVA

**EFEITO DO ESTRESSE SALINO NO
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CULTIVARES DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

**LAVRAS-MG
2023**

ALEXANDRE DE CASTRO SILVA

**EFEITO DO ESTRESSE SALINO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE
CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências
do curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

Eng. Agr. Luiz Daniel Rodrigues da Silva
Coorientador

**LAVRAS-MG
2023**

ALEXANDRE DE CASTRO SILVA

**EFEITO DO ESTRESSE SALINO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE
CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR
EFFECT OF SALINE STRESS ON THE INITIAL DEVELOPMENT OF
SUGARCANE CULTIVARS**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências
do curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 06 de novembro de 2023.

Dr. Guilherme Vieira Pimentel – UFLA

Eng. Agr. Luiz Daniel Rodrigues da Silva – UFLA

Eng. Agr. Elisabete da Cruz Silva Watanabe – UFLA

Me. Amanda Santana Chales – UFLA

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, deixando suas marcas em minha trajetória acadêmica e tornando esta conquista ainda mais especial.

Aos meus pais e minha irmã, que ao longo desses anos sempre demonstraram um amor incondicional, apoio incansável e palavras de encorajamento que foram os pilares sólidos que sustentaram minha jornada. Vocês foram o alicerce e inspiração para alcançar este objetivo.

À minha namorada Lívia, dirijo minha gratidão por seu amor e companheirismo. Sua presença em minha jornada tem sido uma fonte de equilíbrio e motivação constante, sempre me ajudando a enfrentar os desafios acadêmicos com coragem e determinação.

Ao professor Guilherme Vieira Pimentel, meu orientador, pela sua paciência e orientação valiosa ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste trabalho e durante minha iniciação científica. Suas contribuições desempenharam um papel fundamental no meu crescimento profissional e como pesquisador, proporcionando-me as ferramentas necessárias para expandir meus horizontes.

Ao Núcleo de Estudos em Cana-de-Açúcar (NECANA), por disponibilizar recursos vitais e um apoio técnico imprescindível para a condução minuciosa das análises e experimentos realizados neste estudo. Sua colaboração inestimável foi de extrema importância para impulsionar o progresso do conhecimento sobre a cultura da cana-de-açúcar, permitindo-me explorar novas fronteiras e obter resultados notáveis que contribuem de forma significativa para minha formação profissional.

À Universidade Federal de Lavras, pelo ambiente acadêmico propício ao aprendizado e pela infraestrutura que possibilitou a realização deste trabalho.

Também aos membros da banca avaliadora pelo cuidado dedicado à leitura e avaliação minuciosa deste trabalho, assim como pelos comentários e sugestões valiosas que enriqueceram a qualidade deste estudo. Sua atenção e contribuições foram fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa, guiando-me na busca pela excelência acadêmica.

Por fim, expresso minha gratidão às agências de fomento FAPEMIG, CAPES e CNPQ, pelas contribuições financeiras que tornaram possível a realização deste trabalho de pesquisa.

OBRIGADO!

RESUMO

A presença de sodicidade no solo representa um fator limitante ao desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, principalmente em suas fases iniciais. O acúmulo de sódio no solo pode ter diversas causas, sendo o uso inadequado da irrigação uma das principais. Diante desse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar a brotação de dez cultivares de cana-de-açúcar e identificar quais apresentam maior tolerância à sodicidade do solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada no Centro de Desenvolvimento e Transferência Tecnologia (CDTT), pertencente à Universidade Federal de Lavras - UFLA, no município de Ijaci, em Minas Gerais. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2×10 , sendo o primeiro fator correspondente a dois tratamentos: controle (concentração natural de sódio encontrado no solo) e T1 (solo enriquecido com 100 mM de cloreto de sódio - NaCl), considerando $n=10$, totalizando 200 plantas. O segundo fator foi representado pelos cultivares: CTC15, CTC9001, CTC9002, CTC9003, IAC86-2210, IAC86-2480, IAC87-3396, IAC91-1099, VERTIX2 e VERTIX3, cujos minitoletes foram plantados em bandejas com capacidade de $0,135 \text{ dm}^3$ e submetidas a avaliações de índice de velocidade de brotação. Ao final de 33 dias após o plantio, foram finalizadas as análises de brotação, estimando-se os índices de tolerância à brotação e de tolerância da parte aérea ao estresse salino. Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$), homogeneidade das variâncias (Bartlett e Levene, $p > 0,05$) e análises de variância (teste F, $p < 0,05$), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR®. Foi observado diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, logo, a presença de sódio no solo afeta significativamente a brotação e a tolerância das plantas ao estresse salino. Desta forma, diferentes cultivares de cana-de-açúcar demonstraram respostas variadas à presença de sódio, o que sugere a existência de variações genéticas em relação à tolerância à sodicidade. Os cultivares CTC9002, IAC86-2210 e VERTIX2 apresentaram tolerância a sodicidade na fase de brotação, contudo, com a manutenção do ambiente salino, o cultivar VERTIX2 demonstrou menor acúmulo de biomassa aérea.

Palavras-chave: Sodicidade. *Saccharum* spp. Tolerância. Salinidade.

ABSTRACT

The presence of sodicity in the soil represents a limiting factor in the development of sugarcane cultivation, especially in its initial phases. The accumulation of sodium in the soil can have several causes, with inadequate use of irrigation being one of the main ones. Given this context, the aim of this study was to evaluate the sprouting of ten sugarcane cultivars and identify which ones have greater tolerance to soil sodicity. The experiment was conducted in a greenhouse located at the Technology Development and Transfer Center (CDTT), belonging to the Federal University of Lavras - UFLA, in the municipality of Ijaci, in Minas Gerais. The experimental design adopted was completely randomized (DIC), in a 2×10 factorial scheme, with the first factor corresponding to two treatments: control (with natural sodium concentration in the soil) and T1 (with soil enriched with 100 mM sodium chloride - NaCl), considering $n=10$, totaling 200 plants. The second factor was represented by the cultivars: CTC15, CTC9001, CTC9002, CTC9003, IAC86-2210, IAC86-2480, IAC87-3396, IAC91-1099, VERTIX2 and VERTIX3, in which the mini billets were planted in trays with a capacity of 0.135 dm³ and subjected to sprouting speed index evaluations. At the end of 33 days after planting, the sprouting analyzes were completed, estimating the sprouting tolerance and shoot tolerance indexes to saline stress. The data obtained were subjected to normality tests (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), homogeneity of variances (Bartlett and Levene, $p > 0.05$) and analysis of variance (F test, $p < 0.05$), and the means were compared using the Scott-Knott test ($p < 0.05$) using the SISVAR® statistical program. A statistically significant difference was observed between treatments, therefore, the presence of sodium in the soil significantly affects sprouting and plant tolerance to saline stress. Thus, different sugarcane cultivars demonstrated varied responses to the presence of sodium, which suggests the existence of genetic variations in relation to tolerance to sodicity. The cultivars CTC9002, IAC86-2210 and VERTIX2 showed tolerance to sodicity in the budding phase, however, with the maintenance of the saline environment, the cultivar VERTIX2 demonstrated lower accumulation of aerial biomass.

Keywords: Sodicity. *Saccharum* spp. Tolerance. Salinity.

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1. | Cana-de-açúcar | 9 |
| 2.1.1. | Aspectos gerais e importância no Brasil e no mundo | 9 |
| 2.1.2. | Botânica e fenologia..... | 11 |
| 2.2. | Sodicidade | 12 |
| 2.3. | Tolerância das plantas à sodicidade | 15 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS | 18 |
| 3.1. | Local de condução do experimento..... | 18 |
| 3.2. | Descrição do material utilizado..... | 18 |
| 3.3. | Índice de velocidade de brotação (IVB) | 18 |
| 3.4. | Brotação em porcentagem aos 33 dias após o plantio | 19 |
| 3.5. | Índice de tolerância | 19 |
| 3.6. | Análise Estatística | 19 |
| 3.7. | Análise de grupamento | 20 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 21 |
| 4.1. | Índice de velocidade de brotação (IVB) | 21 |
| 4.2. | Porcentagem de brotação | 22 |
| 4.3. | Índices de tolerância..... | 24 |
| 4.4. | Análise de grupamento | 25 |
| 5. | CONCLUSÃO..... | 26 |
| 6. | REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO | 27 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil lidera a produção global de cana-de-açúcar, e o setor sucroenergético movimentou cifras milionárias anualmente por meio da produção, principalmente, de açúcar e etanol. Essa realidade evidencia a significância dessa cultura, cuja produção no Brasil durante a safra 2022/2023 foi de aproximadamente 637,1 milhões de toneladas, aumento de 4,4% em comparação à safra anterior (CONAB, 2023).

O país ocupa a liderança global na produção e exportação de açúcar, contribuindo com 18% da produção total e abrangendo cerca de 36% do comércio mundial do produto. Além disso, ocupa a segunda posição no ranking de produção e exportação de etanol, sendo responsável por aproximadamente 29,5% de toda a produção mundial (VIDAL, 2020).

Além do Brasil, a Nicarágua também é um país em que a produção de cana-de-açúcar tem importante função econômica e social. Cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) nicaraguense é proveniente dessa cultura, que desempenha um importante papel social e econômico no país, com milhares de pessoas beneficiadas com empregos diretos e indiretos (CNPA, 2023).

De acordo com dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a safra de 2021 na Nicarágua alcançou uma produção de cerca de 7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, colhida em uma área de aproximadamente 76 mil hectares. No país o principal produto obtido da cana-de-açúcar é o açúcar, que na safra de 2022/2023 teve uma produção estimada de 700 mil toneladas (CNPA, 2023).

Entre as principais usinas de produção de açúcar na Nicarágua, destaca-se a unidade CASUR (Compañía Azucarera del Sur S.A.), que atualmente cultiva aproximadamente 10.664 ha de cana-de-açúcar e grande parte da produção é exportada para países da Europa, Ásia e América. O manejo do grupo tem cerca de 650 ha dessas áreas irrigadas por sistemas como gotejamento, pivôs e gravidade. A utilização da irrigação é uma forma de assegurar a máxima produção agrícola em escassez de chuvas. No entanto, o uso de águas ricas em sódio (Na^+) causam mudanças na estrutura física e química dos solos, reduzindo a fertilidade e tornando-os inaptos para práticas agrícolas, sendo esse um dos principais desafios enfrentados nessa região (CASUR, 2023).

Os danos causados pela elevada concentração de sódio no crescimento e desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar, resultam na redução no número de folhas, perturbação da atividade enzimática e diminuição da concentração de clorofila (LACERDA et al., 2012).

Uma das formas de mitigar os danos causados pela sodicidade do solo é através do

manejo varietal. Com uso de cultivares adaptadas ao tipo de solo e região podemos garantir de forma estratégica a integridade biológica da cultura e conseguir altas produtividades. No entanto, apesar dos graves impactos decorrentes da sodicidade do solo ainda existem poucos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar que visam a obtenção de cultivares tolerantes a esse estresse abiótico.

Com base nessas considerações, o objetivo com este estudo foi avaliar o desenvolvimento inicial de dez cultivares de cana-de-açúcar e identificar aqueles que demonstram maior tolerância à alta sodicidade do solo. O propósito final é possibilitar novas pesquisas, no intuito de explorar as capacidades desses materiais genéticos, visando a implementação na usina CASUR e melhorar o desempenho agrônômico da cana-de-açúcar nesse tipo específico de solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cana-de-açúcar

2.1.1. Aspectos gerais e importância no Brasil e no mundo

O Brasil se destaca como maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Durante a safra 2022/23, a produção de cana-de-açúcar no país atingiu a marca de 610,1 milhões de toneladas, com uma produção de cerca de 37 milhões de toneladas de açúcar e 27,37 bilhões de litros de etanol. Esses dados ressaltam a relevância da cana-de-açúcar no setor agrícola brasileiro, que gera milhares empregos, movimentando o comércio interno e contribuindo para a balança comercial brasileira (CONAB, 2023; NACHILUK, 2021).

Com intuito de desenvolver cultivares adaptados e tecnologias que visam um aumento da produção de forma sustentável, no Brasil destacam-se instituições de grande relevância para o setor sucroenergético, como o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), entre outras. Essas instituições desempenham papéis cruciais na adaptação aos fatores bióticos e abióticos, garantindo a posição de destaque do país na produção de açúcar e etanol (DE CARVALHO et al., 2013).

Além do desenvolvimento de novos cultivares, o IAC realiza o censo varietal, que proporciona o levantamento das principais cultivares de cana-de-açúcar utilizadas pelos produtores em cada região específica do Brasil. Na safra 2021/2022, na região centro-sul do país a cultivar mais amplamente adotada foi a RB86-7515, abrangendo 15,2% da área cultivada, seguida de perto pela CTC 4, com 13,4%. Logo em seguida, vemos a RB96-6928 com 13,3%, a CTC9001 com 6,4%, e a RB92-579 com 3,8%. Quando se trata de renovar os canaviais, mais de 1 milhão de hectares foram revitalizados, e as cultivares mais preferidas para essa finalidade foram a RB86-7515, RB96-6928, CTC 4, RB97-5242 e CTC9001 (BRAGA JÚNIOR et al., 2023).

Segundo Landell (2016), é de suma importância o conhecimento do censo varietal para realizar um manejo correto. Uma vez que, a diversidade de cultivares é uma forma estratégica de assegurar que, diante de eventuais invasões de pragas e doenças, a integridade biológica da cultura seja preservada.

Em países da América Central que possuem grandes empresas sucroalcooleiras, no qual a produção de cana-de-açúcar assume um papel significativo, como é o caso do grupo CASUR na Nicarágua, ainda não existem programas de melhoramento genético específicos para a cultura, o que resulta na necessidade de estabelecer contratos de parceria e importar

cultivares de outros países.

Um levantamento realizado por Zocal (2021), no município de Potosí, Departamento de Rivas, onde o grupo CASUR possui aproximadamente 10 mil hectares, demonstra que o cultivar CP72-2086 ocupou a maior área cultivada, representando 37,8% da produção total na safra 2019/20. Em seguida, os cultivares RB84-5210 e NA56-42 responderam por 22,1% e 13,8%, respectivamente, totalizando 73,7% da área total plantada. Esses dados indicam um índice de concentração varietal (ICV) indesejável, superior a 50%, que indica que a maioria das áreas cultivadas é dominada por poucos cultivares, o que pode tornar a produção mais vulnerável a riscos fitossanitários e/ou a adversidades climáticas.

Soluções relacionadas à formação, avaliação e introdução de cultivares de cana-de-açúcar, bem como a diversificação e seleção de cultivares mais produtivos e adequados a cada local devem ser priorizadas para aumentar a competitividade de empresas do setor sucroalcoleiro. No entanto, a empresa CASUR enfrenta uma demanda específica por materiais genéticos que apresentem tolerância à sodicidade. Isso ocorre devido ao manejo de irrigação por inundação nos canaviais, em que a água captada possui elevados níveis de condutividade elétrica e altos teores de sódio, causando a sodificação do solo, conforme pode ser visualizado no quadro 1.

Quadro 1. Média de 253 análises de solo CASUR.

| Parameter | Unit | Average | Max |
|--------------------|-----------------|---------------|---------------|
| pH | - | 6,7 | 8,6 |
| Organic Matter | % | 2,1 | 4,6 |
| Phosphorum (P) | ppm | 16,0 | 156,3 |
| Potassium (K) | meq/100g | 0,6 | 1,6 |
| Calcium (Ca) | meq/100g | 27,2 | 36,9 |
| Magnesium (Mg) | meq/100g | 13,8 | 24,8 |
| Iron (Fe) | ppm | 79,9 | 213,2 |
| Copper (Cu) | ppm | 8,4 | 82,2 |
| Zinc (Zn) | ppm | 3,0 | 27,0 |
| Manganese (Mn) | ppm | 46,6 | 468,0 |
| Boron (B) | ppm | 0,3 | 2,8 |
| Sodium (Na) | meq/100g | 0,7 | 10,4 |
| Sulfur (S) | ppm | 17,9 | 109,0 |
| Ca/K | - | 46,1 | 168,8 |
| Ca+Mg/K | - | 83,0 | 282,4 |
| Ca/Mg | - | 2,2 | 7,6 |
| DP g/ml | g/ml | 1,4 | 1,6 |
| Clay | % | 54,4 | 80,4 |
| Loamy | % | 23,5 | 46,6 |
| Sandy | % | 22,1 | 49,0 |
| CEC | Meq/100g | 41,9 | 61,8 |
| EC us/cm | us/cm | 1272,4 | 3263,3 |
| PSI | % | 1,7 | 16,7 |
| PMgl | % | 33,0 | 40,0 |

DP = Densidade aparente; CEC = CTC (Capacidade de Troca Catiônica); EC = Condutividade Elétrica.

Fonte: PEREIRA, M. R., 2020.

2.1.2. Botânica e fenologia

No intuito de entender os fatores que podem influenciar no manejo da cana-de-açúcar é fundamental a compreensão da botânica e fenologia dessa cultura. Em resumo, a cana-de-açúcar, pertencente à família botânica Poaceae, é considerada uma cultura de caráter semi-perene, já que, após a colheita, as plantas possuem a habilidade de rebrotar, permitindo um novo ciclo de crescimento. Os atuais cultivares de cana-de-açúcar disponíveis no mercado possuem uma estrutura genômica complexa resultantes de híbridos obtidos a partir de cruzamentos entre espécies do gênero *Saccharum*, principalmente *S. officinarum* e *S. spontaneum* que foram a base para programas de melhoramento de cana-de-açúcar em todo o mundo (MORAIS, 2015).

De acordo com DA MATA (1993), a cana-de-açúcar é classificada como uma planta do tipo C4, o que lhe confere uma alta capacidade de aproveitamento das condições de altas

temperaturas e intensa luminosidade. Essa particularidade permite que a planta acumule uma quantidade significativamente maior de açúcar em seus colmos, em comparação as plantas C3. Os estádios de desenvolvimento da cultura podem ser definidos em emergência, estabelecimento, desenvolvimento e maturação. Durante decorrer a fase de emergência ocorre a brotação da gema e o estabelecimento inicial da planta; Na etapa de estabelecimento, ocorre o processo de perfilhamento, promovendo o crescimento conjunto de novas plantas; No estágio de desenvolvimento, temos o encerramento do perfilhamento e o crescimento dos colmos, tornando-os mais robustos; E, por último, na fase de maturação, dá-se o início da acumulação de açúcar nos colmos, sinalizando a prontidão para a colheita.

2.2 Sodicidade

A sensibilidade da cana-de-açúcar à sodicidade do solo é percebida em diversas etapas do seu crescimento, resultando em impactos bioquímicos e fisiológicos consideráveis, que impactam seu desenvolvimento (GRANJA et al. 2018). De forma geral, a salinização do solo representa um desafio significativo para diversas culturas, e causa prejuízos em aproximadamente 20% das terras cultivadas e 33% das áreas com sistemas de irrigação em todo o mundo. Em 2050, projeções indicam que cerca de 50% das terras aráveis enfrentarão problemas relacionados à salinidade (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017). Essa tendência coloca em evidência a necessidade de buscar soluções sustentáveis para lidar com essa questão, a fim de garantir a segurança alimentar global e a viabilidade da produção agrícola a longo prazo.

Segundo CERQUEIRA (2021), a salinização pode ocorrer de forma natural ou induzida pelo ser humano. A salinização primária é independente da ação humana e está relacionada a características do solo, como o material de origem e a falta de água devido à seca ou alta taxa de evapotranspiração das plantas, sendo totalmente influenciada pelas condições do ambiente em que o solo se encontra.

Por outro lado, a salinização secundária é resultado do uso inadequado do solo ou dos recursos hídricos pelo ser humano. É uma forma de salinização induzida e pode ser atribuída a diversos fatores mencionados anteriormente, como irrigação inapropriada com água contendo altos níveis de sais ou má gestão do processo, uso excessivo de fertilizantes químicos e sistemas de drenagem do solo pouco eficientes (CERQUEIRA et al., 2021).

A área de terras salinizadas tem registrado um crescimento de dois milhões de hectares por ano (SINGH, 2018). Dentre as principais causas estão o aumento dos níveis de água subterrânea com concentrações elevadas de sais, bem como o uso de sistemas de irrigação

com água de baixa qualidade (RENGASAMY, 2006). Apesar dos danos significativos da salinidade no solo às culturas, observa-se pouco esforço no desenvolvimento de genótipos tolerantes a esse estresse abiótico (SILVEIRA, et al., 2010).

A influência da salinidade nas plantas é resultado da interação entre dois fatores distintos: o fator osmótico, que se origina da alta concentração de solutos na solução do solo, gerando um déficit hídrico devido à diminuição do potencial osmótico do solo, e o segundo fator é o iônico, que surge dos níveis elevados de Na^+ e Cl^- , assim como nas mudanças de proporção de alguns nutrientes (WILLADINO, CAMARA; 2010).

Na fase inicial, os sais externos têm um impacto sobre o crescimento da planta e são regulados por sinalização, principalmente pelo Ácido Abscísico (ABA), proveniente das raízes. A segunda fase é marcada pela desaceleração do crescimento devido ao acúmulo de sais dentro da planta, que excede a capacidade da mesma de isolá-los no vacúolo, o que resulta um aumento desses sais no citoplasma, inibindo as atividades enzimáticas em diversas vias metabólicas (PRISCO; GOMES FILHO, 2010).

Como alternativa ao armazenamento no vacúolo, os sais podem ser transportados para a parede celular, o que pode levar à desidratação celular (MUHLING; LAUCHLI, 2002; LUO et al., 2017). O acúmulo de sais ocorre, principalmente, nos ápices e nas folhas devido ao transporte via xilema de água com alta concentração de sais. Quando a planta transpira, ela libera a água, mas os sais ficam retidos nas bordas das folhas e nos ápices das plantas, resultando em um acúmulo de sal, que causam perdas significativas de produtividade (GHEYI; DIAS; LACERDA, 2010).

Com relação ao desequilíbrio nutricional causado pelas altas concentrações de íons, é observado principalmente deficiências de íons como potássio, cálcio, magnésio, fósforo e nitrato. Entre os efeitos mais estudados destaca-se a diminuição de potássio (K^+) (WILLADINO; CAMARA, 2010). Esse problema é causado pelo excesso de Na^+ e o seu efeito antagônico com K^+ . Isso significa que o aumento das concentrações de Na^+ no solo leva a uma redução na absorção de K^+ pelas plantas e, conseqüentemente, à diminuição das concentrações no citoplasma das células (CRUZ et al., 2018; RASHEED et al., 2016). A alta relação K^+/Na^+ é fundamental, pois o K^+ desempenha funções essenciais nas plantas, incluindo ativação enzimática, fotossíntese, osmorregulação, transporte de floema, equilíbrio cátion-ânion, regulação estomática e resistência ao estresse (ZORB et al., 2014).

A diminuição do potencial de água do solo ocorre em função do desequilíbrio osmótico, causado pelo excesso de sais, que dificulta a absorção de água pelas plantas (CRUZ, et al., 2018). Esse efeito é conhecido como "efeito osmótico" ou "déficit hídrico da

salinidade" (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017). Na condição de sodicidade no solo íons como carbonatos e bicarbonatos elevam o pH do solo e causam a precipitação de cálcio e magnésio. Isso leva ao aumento do teor relativo de sódio solúvel e disponível no solo (LEITE, et al., 2010).

Além da retenção de água no solo, a salinização causa efeitos negativos no solo que incluem desestruturação, aumento da densidade aparente, diminuição da infiltração e redução da fertilidade físico-química (DIAS; BLANCO, 2010). Em solos com alto conteúdo de argila e sódio trocável há desafios na permeabilização da água devido à formação de agregados. Isso ocorre porque uma dupla camada iônica se forma em torno das partículas de argila com carga negativa, resultando em uma camada mais espessa no solo, que dificulta a infiltração (DIAS; BLANCO, 2010).

Como efeitos indiretos o acúmulo de sais impacta de forma negativa na fotossíntese, que é um dos mais fundamentais processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (MAJEED; MUHAMMAD, 2019). Em suma, o déficit hídrico causado pela sodicidade resulta no fechamento dos estômatos, o que restringe a entrada de dióxido de carbono (CO_2) e, conseqüentemente, sua fixação no ciclo de Calvin. Esse processo leva a uma redução na produção de carboidratos e, conseqüentemente, no crescimento e desenvolvimento da planta (DABROWSKA et al., 2007). Além disso, devido ao acúmulo excessivo de sódio (Na^+) no interior das células, ocorre uma diminuição nos níveis de clorofila, o que tem um impacto na cadeia transportadora de elétrons. A clorofila é responsável pela absorção da energia solar e pela transferência de elétrons durante a fase fotoquímica da fotossíntese. Portanto, a redução dos teores de clorofila prejudica a eficiência do processo fotossintético (ACOSTA-MOTOS, et al., 2017).

Em decorrência dos efeitos iniciais provocados pela salinidade, pode surgir um estresse de natureza oxidativa. Esse efeito ocorre em função do acúmulo de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs). De maneira geral, durante a cadeia de transporte de elétrons na membrana do tilacóide, um elétron da ferredoxina reduzida, que normalmente seria transferido para o NADP para formar NADPH, acaba sendo redirecionado para o oxigênio (O_2) gerado pelo fotossistema II (PSII). Isso resulta na formação do radical superóxido (O_2^-) no lado acceptor do fotossistema I (PSI). Isso causa um desequilíbrio na homeostase celular que resulta na degradação de diversos componentes celulares, como lipídios, proteínas e clorofila (RASHEED et al., 2016; LI et al., 2019; SIDDIQUI et al., 2020).

Com base nisso, é possível observar que os danos causados pela salinidade provocam significativos desequilíbrios no metabolismo das plantas. Em função disso, uma diversa gama

de processos biomoleculares é impactada pelo estresse salino, tornando complexa a identificação da sequência de eventos que representam os “gargalos” do processo, uma vez que, o metabolismo opera como uma rede de reações bioquímicas interligadas (SILVEIRA, et al., 2010).

2.3 Tolerância das plantas à sodicidade

Com base na capacidade de tolerar o estresse salino, as plantas têm sido categorizadas em dois grupos distintos: as halófitas, que são capazes de suportar altas concentrações de sais, e as glicófitas, que englobam a maioria das plantas cultivadas e são sensíveis a esse tipo de estresse (CHINNUSAMY; JAGENDORF; ZHU, 2005). A cana-de-açúcar é classificada como uma glicófita, ou seja sensível a esse tipo de estresse (PATADE et al., 2008).

Quando submetida em irrigação com águas salinas foram observados efeitos negativos sobre o rendimento e a qualidade da cana-de-açúcar. O rendimento foi reduzido em 50% quando a condutividade elétrica do solo (CE) atingiu 7 dS m^{-1} (GOMATHI; THANDAPANI, 2014; WATANABE et al., 2020). Em relação à qualidade, a cada aumento de 1 dS.m^{-1} na condutividade elétrica do solo (CE), o teor de Brix da cana-de-açúcar é reduzido em aproximadamente 0,6% (LINGLE; WIEGAND, 1997). Essa situação ocorre porque a elevada salinidade desencadeia nessas plantas uma série de respostas em níveis morfológicos, fisiológicos e moleculares, devido ao estresse provocado pelo desequilíbrio osmótico e iônico (RAO et al., 2021).

A resposta ao estresse é influenciada por características específicas da planta, como estágio de desenvolvimento, genótipo e identidade do órgão ou tecido. A tolerância ao estresse salino apresenta cinco formas específicas, sendo uma delas exclusiva das plantas halófitas. Em primeiro lugar, há uma seletividade na absorção de nutrientes e sais do solo. Além disso, a translocação do íon K^+ ocorre predominantemente pelo xilema. Ainda, a planta é capaz de remover os sais do xilema em partes superiores das raízes, caule ou colmo, e também nas folhas. Outra forma é a retranslocação dos íons que causam o estresse salino (como o íon Na^+), movendo-os do xilema para o floema, garantindo que não haja uma alta concentração desses sais nas folhas. A característica exclusiva das plantas halófitas é a excreção dos sais por glândulas ou pelos vesiculares (WILLADINO; CAMARA, 2010). Vale ressaltar que esses mecanismos podem acontecer de forma complexa e simultânea.

Apesar das distinções entre as plantas glicófitas e halófitas, ambas empregam mecanismos similares para reduzir sua sensibilidade aos níveis de sal no solo. Entre esses

mecanismos mais estudados, destacam-se o controle e exclusão dos íons Na^+ e Cl^- , a segregação de íons em diferentes órgãos celulares e a preservação de nutrientes essenciais, como nitrogênio (N) e potássio (K) (XAVIER et al., 2021). Em ambientes onde ocorre o estresse salino, é crucial que as células das plantas controlem o fluxo iônico para manter baixa a concentração de íons de Na^+ e alta a concentração de íons essenciais, como o potássio (K^+). As plantas tolerantes ao estresse salino conseguem manter uma alta razão K^+/Na^+ no interior das células, especialmente nos tecidos responsáveis pela fotossíntese (FAROOQ et al., 2017).

A tolerância das plantas glicófitas à salinidade depende, de modo geral, da sua habilidade em controlar o acúmulo e o transporte do íon Na^+ . Para alcançar esse controle, as plantas adotam mecanismos citados anteriormente. Primeiramente, elas demonstram seletividade na absorção de íons nas células das raízes, buscando evitar o excesso de Na^+ em suas estruturas. Além disso, quando o Na^+ é absorvido, as plantas são capazes de excluí-lo ou compartimentaliza-lo nas células das raízes, minimizando seu efeito tóxico. Em contrapartida, elas priorizam o carregamento de íons K^+ no xilema, em detrimento do Na^+ , o que auxilia na manutenção do equilíbrio iônico. Adicionalmente, as plantas também removem o Na^+ da seiva do xilema, evitando sua translocação para as partes aéreas em crescimento (MUNNS; TESTER, 2008; MAATHUIS; AHMAD; PATISHTAN, 2014).

Quando a questão é superar o baixo potencial osmótico dos solos com alta concentração salina, as plantas desenvolvem uma estratégia de tolerância através do acúmulo de metabólitos chamados "solutos compatíveis", que desempenham um papel fundamental na regulação do equilíbrio osmótico e permite que as plantas minimizem os efeitos adversos provocados pela alta presença de íons (TURKAN; DEMIRAL, 2009; Yan et al., 2013).

Para controlar os efeitos secundários causados pelas EROs, as células vegetais possuem enzimas antioxidantes distribuídas em diferentes compartimentos celulares. As principais enzimas desse sistema são a superóxido dismutase (SOD), responsável por constituir a primeira linha de defesa contra as EROs, ao catalisar a transformação do radical superóxido (O_2^-) em peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Outra importante enzima é a catalase (CAT), que tem a capacidade de decompor diretamente o H_2O_2 em água (H_2O) e oxigênio (O_2), essencial na desintoxicação. Além disso, as enzimas ascorbato peroxidase (APX), de suma importância na remoção do H_2O_2 tanto no citosol como nos cloroplastos, e a APX, que utiliza o ascorbato como doador específico de elétrons para reduzir o H_2O_2 a H_2O , participando do ciclo conhecido como ascorbato-glutationa (GILL; TUTEJA, 2010).

Todas as respostas das plantas ao estresse salino são o resultado de uma sequência complexa de eventos bioquímicos e regulação da expressão gênica. Diversos mecanismos e

vias de sinalização são ativados para permitir que as plantas superem essa condição (SILVEIRA, et al., 2010). Os efeitos da sodicidade são variados em diferentes espécies vegetais, assim como em genótipos dentro de uma mesma espécie. Essas diferenças se devem à capacidade de adaptação osmótica de algumas plantas, que conseguem absorver e acumular íons para sintetizar compostos orgânicos, além de apresentarem maior habilidade em absorver água, mesmo em condições de baixo potencial osmótico.

Essa variabilidade genética é útil, pois permite a seleção de espécies e cultivares mais tolerantes à salinidade, capazes de obter rendimentos economicamente viáveis nessas condições (MARINHO; FERNANDES; GHEYI, 1998). Dessa forma, é fundamental encontrar quais os genótipos comercializados de cana-de-açúcar possuem características de tolerância ao estresse salino, como estudo base que irá otimizar a produção e melhorar a eficiência do cultivo de cana nesse tipo de ambiente, o que permitirá que empresas como a CASUR alcancem maior competitividade no mercado sucroenergético.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de condução do experimento

A pesquisa foi realizada em uma casa de vegetação localizada no Centro de Desenvolvimento e Transferência Tecnológica (CDTT) pertencente ao Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA, situada no município de Ijaci - MG. As coordenadas geográficas do local são latitude 21°09'49"S, longitude 44°54'59"W e a altitude é de 889 metros.

3.2. Descrição do material utilizado

Foram identificadas e selecionadas dez cultivares de cana-de-açúcar (CTC15, CTC9001, CTC9002, CTC9003, IAC86-2210, IAC87-3396, IAC86-2480, IAC91-1099, VERTIX2 e VERTIX3). Após a coleta, os colmos foram cuidadosamente selecionados e cortados em mini-toletes de 5 cm de comprimento. Em seguida, esses mini-toletes foram plantados em bandejas com capacidade para 0,135 dm³, contendo uma mistura de solo e areia na proporção de 2:1, respectivamente. Antes do plantio, foi realizada uma análise química do solo para garantir a correção nutricional adequada.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 × 10, sendo o primeiro fator correspondente a dois tratamentos: controle (com concentração natural de sódio no solo) e T1 (com solo enriquecido com 100 mM de cloreto de sódio - NaCl). O segundo fator foi representado pelas 10 cultivares. Foram utilizadas 10 repetições de cada tratamento, totalizando 200 plantas no experimento.

3.3. Índice de velocidade de brotação (IVB)

Durante a realização do experimento, foi avaliado o índice de velocidade de brotação (IVB). Esse índice foi determinado por meio da contagem diária das plântulas que brotaram ao longo do experimento. Para o cálculo do IVB em dias, utilizou-se a equação proposta por Maguire (1962):

$$IVB = G1/N1 + G2/N2 + \dots + Gn/Nn, \text{ em que:}$$

IVB= índice de velocidade de brotação (dias);

G= número de plântulas brotadas observadas em cada contagem;

N= número de dias após o plantio em cada contagem;

3.4. Brotação em porcentagem aos 33 dias após o plantio

Foi realizado o cálculo da porcentagem de brotação, que representa a relação entre o número de plântulas que brotaram e o número total de gemas plantadas, no período de 33 dias após o plantio. Em seguida, as plantas foram cuidadosamente coletadas e separadas em duas partes: raiz e parte aérea. Essas partes foram submetidas a um processo de secagem em uma estufa com circulação de ar a uma temperatura de 70 °C, pelo período de 72 horas.

3.5. Índice de tolerância

Em seguida, as plantas foram pesadas em uma balança analítica para determinar a massa seca da parte aérea (MSPA) em gramas. Vale ressaltar que a massa seca da parte radicular foi desconsiderada, uma vez que as raízes dos toletes não foram cortadas, isolando assim o efeito do peso dos mini-toletes, o qual é influenciado pelo cultivar.

Com base nas massas secas da parte aérea dos tratamentos com sódio e sem sódio, o índice de tolerância à salinidade (IT) foi calculado em porcentagem. Esse cálculo foi realizado comparando os dados do tratamento salino com o controle, utilizando a seguinte equação:

$$IT_PA (\%) = (\text{Produção de MS no tratamento salino}) / (\text{Produção de MS no tratamento controle}) \times 100.$$

Para o cálculo do índice de brotação, foram consideradas as porcentagens de brotação obtidas aos 33 dias após o plantio nos tratamentos com sódio e sem sódio. Esse cálculo foi realizado comparando os dados do tratamento salino com o controle, utilizando a seguinte equação:

$$IT_Bro (\%) = (\text{Brotação no tratamento salino}) / (\text{Brotação no tratamento controle}) \times 100.$$

3.6. Análise Estatística

Os dados coletados foram submetidos a análises estatísticas para verificar sua adequação aos pressupostos necessários. Inicialmente, foi realizado testes de normalidade (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$), homogeneidade das variâncias (Bartlett e Levene, $p > 0,05$) e análises de variância (teste F, $p < 0,05$), e quando houve efeito significativo as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

3.7. Análise de grupamento

Além disso, foi realizada uma análise de agrupamento e gerado um dendrograma, por meio do software Past3 (PAleontological STatistics, Version 3.20, Oslo, Noruega), que consiste em um programa computacional utilizado em trabalhos estatísticos desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Oslo, Noruega (HAMMER et al., 2001), na qual o índice de similaridade Euclidiana foi calculado para cada combinação de duas amostras. Sendo que as matrizes foram padronizadas, dividindo-se o valor de cada elemento pelo desvio padrão da respectiva matriz, com a finalidade de reduzir a amplitude de variação em cada uma delas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Índice de velocidade de brotação (IVB)

O índice de velocidade de brotação (IVB) é uma importante ferramenta de medição da capacidade de adaptação das plantas ao ambiente. Nesse índice houve interação significativa dos fatores cultivar \times sodicidade. Os resultados obtidos indicam que, ao comparar os cultivares nos dois tratamentos, quatro cultivares, o VERTIX2, IAC87-3396, CTC9002, CTC9003 e CTC15, mantiveram seu IVB inalterado na presença de sódio, uma vez que, não houve diferença estatisticamente significativa, como pode ser observado na tabela 1. No entanto, ao comparar esses cultivares no tratamento com sal, os cultivares VERTIX2 e CTC9002 apresentaram os melhores índices, o que confere tolerância desses materiais à sodicidade no solo. Porém, no tratamento controle o cultivar CTC9002 teve o IVB intermediário, em função da baixa taxa de brotação nesse tratamento (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação do Índice de Velocidade de Brotação (IVB) dos cultivares sob ambos os tratamentos, com e sem adição de sal.

| Cultivar | Sodicidade | | Média |
|--------------------|------------|---------|--------|
| | Sem | Com | |
| CTC15 | 0,21 Ac | 0,00 Ab | 0,11 d |
| CTC9001 | 0,90 Aa | 0,32 Bb | 0,61 b |
| CTC9002 | 0,40 Ab | 0,57 Aa | 0,48 b |
| CTC9003 | 0,14 Ac | 0,08 Ab | 0,11 d |
| IAC86-2210 | 0,71 Aa | 0,30 Bb | 0,50 b |
| IAC86-2480 | 0,52 Ab | 0,06 Bb | 0,29 c |
| IAC87-3396 | 0,42 Ab | 0,15 Ab | 0,28 c |
| IAC91-1099 | 0,69 Aa | 0,06 Bb | 0,38 c |
| VERTIX2 | 0,91 Aa | 0,75 Aa | 0,83 a |
| VERTIX3 | 0,34 Ab | 0,00 Bb | 0,17 d |
| Média Geral | 0,52A | 0,23B | |
| C.V. (%) | | 80,88 | |

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os demais cultivares, IAC86-2210, IAC91-1099, IAC86-2480, VERTIX3 e CTC-9001, tiveram redução estatisticamente significativa do IVB quando na presença de sódio no solo, quando comparado individualmente o cultivar nos dois tratamentos, o que representa uma sensibilidade à sodicidade do solo (Tabela 1).

Com relação à influência do genótipo ao estresse salino, vale destacar que o VERTIX2 é considerado uma cana-energia. De acordo com Kim e Day (2011), esse tipo de cultivar

representa um híbrido entre a cana-de-açúcar comercial e um cultivar selvagem e é desenvolvido visando um elevado teor de fibras e baixa quantidade de sacarose. Embora pertença ao mesmo gênero da cana-de-açúcar, a cana energia apresenta características distintas, como maiores taxas de fibras, colmos mais finos e mais altos.

Dessa forma, por ser considerado uma cana energia é evidente que esse tipo de cultivar possui características de rusticidade, o que pode ter conferido a alta velocidade de brotação e a não redução do índice quando na presença de sódio no solo (Tabela 1).

Em suma, o cultivar VERTIX3 também é considerado uma cana-energia, no entanto se mostrou sensível à sodicidade do solo, o que evidencia que dentro desse tipo de cultivar considerado “rústico” também há variabilidade genética, fato que influencia diretamente na tolerância ao solo salino.

4.2. Porcentagem de brotação

A análise da porcentagem de brotação aos 33 dias após o plantio revela diferenças significativas entre os cultivares, bem como uma interação complexa entre os tratamentos e os cultivares. Ao analisar os cultivares CTC9002, CTC9003, IAC86-2210, IAC91-1099 e VERTIX2, é visto que apresentaram o mesmo comportamento em ambos os tratamentos (Tabela 2). Dentre os cinco cultivares, os que apresentaram melhores resultados no tratamento salino foram os CTC9002, IAC86-2210, IAC91-1099 e VERTIX2, o que corresponde a tolerância desses cultivares ao estresse salino.

Vale ressaltar que o cultivar CTC9002, juntamente com os cultivares CTC15, CTC9003, IAC87-3396, apresentou menor resultado quando comparamos os cultivares dentro do tratamento controle, em função das falhas de brotação (Tabela 2).

Tabela 2. Porcentagem de brotação aos 33 dias após o plantio dos cultivares.

| Cultivares | % Brotação - 33 dias | | Média Geral |
|--------------------|----------------------|---------|-------------|
| | sem | com | |
| CTC15 | 70,0 Ab | 0,00 Bc | 35,0 b |
| CTC9001 | 90,0 Aa | 50,0 Ba | 70,0 a |
| CTC9002 | 60,0 Ab | 60,0 Aa | 60,0 b |
| CTC9003 | 30,0 Ab | 20,0 Ab | 25,0 b |
| IAC86-2210 | 100,0 Aa | 80,0 Aa | 90,0 a |
| IAC86-2480 | 80,0 Aa | 20,0 Bb | 50,0 b |
| IAC87-3396 | 70,0 Ab | 30,0 Bb | 50,0 b |
| IAC91-1099 | 90,0 Aa | 60,0 Aa | 75,0 a |
| VERTIX2 | 100,0 Aa | 80,0 Aa | 90,0 a |
| VERTIX3 | 90,0 Aa | 0,00 Bc | 45,0 b |
| Média Geral | 78,0 A | 40,0 B | |
| C.V. (%) | | 67,80% | |

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scoot-Knott a 5% de probabilidade.

A brotação da cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, incluindo condições ambientais; fatores genéticos e fisiológicos; e práticas agrícolas realizadas no campo, que compõem os aspectos fitotécnicos (SERAFIM et al., 2012). Essa fase representa um estágio importante, uma vez que essa fase bem-sucedida marca o início promissor que, por sua vez, resultará em plantas vigorosas na área cultivada. Essas plantas robustas, ao final do ciclo, culminarão em uma colheita recompensadora (SILVA et al., 2004).

Na brotação, como em qualquer outro processo biológico, há requerimento de energia. Essa energia é obtida através da decomposição das substâncias armazenadas no colmo, por meio do processo de respiração, que envolve o consumo de moléculas de oxigênio. Durante um período de aproximadamente 60 dias, as reservas contidas nos toletes desempenham um papel fundamental no avanço da brotação, reduzindo gradualmente essa dependência à medida que o sistema radicular se desenvolve e aumenta sua superfície de absorção ativa de água e nutrientes do solo (MAGRO et al., 2011).

4.3. Índices de tolerância

Houve diferenças significativas dos fatores, para os parâmetros avaliados, índices de tolerância, tanto de brotação, quanto de parte aérea. A avaliação do índice baseada na matéria seca da parte aérea revelou que CTC9002 e IAC86-2210 são os cultivares com maior capacidade de produzir biomassa aérea mesmo sob estresse salino (Tabela 3). Esse resultado sugere que esses cultivares possuem mecanismos adaptativos eficientes para minimizar os efeitos negativos da salinidade na produção de biomassa. Tais mecanismos podem incluir a regulação do balanço de íons no interior da planta, a manutenção da integridade das membranas celulares e a preservação da atividade fotossintética (SILVEIRA et al., 2010).

Tabela 3. Índices de tolerância de brotação e índice de tolerância de parte aérea.

| Cultivar | IT_PA | IT_Bro |
|--------------------|--------------|---------------|
| CTC15 | 0,00 c | 0,00 b |
| CTC9001 | 32,83 b | 50,00 a |
| CTC9002 | 49,17 a | 60,00 a |
| CTC9003 | 11,67 c | 20,00 b |
| IAC86-2210 | 43,75 a | 80,00 a |
| IAC87-3396 | 0,00 c | 30,00 b |
| IAC86-2480 | 0,00 c | 20,00 b |
| IAC91-1099 | 5,00 c | 60,00 a |
| VERTIX2 | 30,42 b | 80,00 a |
| VERTIX3 | 0,00 c | 0,00 b |
| Média Geral | 17,28 | 40,00 |
| C.V. (%) | 63,78 | 104,75 |

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scoot-Knott a 5% de probabilidade.

Os cultivares CTC9001 e VERTIX2, tiveram índices intermediários, enquanto o restante dos cultivares restantes tiveram os menores índices, não diferindo entre si (Tabela 3). A potencial redução da superfície foliar desses cultivares pode ter ocorrido, uma vez que a folha é a estrutura encarregada da transpiração e da perda de água. Dessa forma, a planta tende a absorver quantidades menores de água quando na presença de alta quantidade de sódio no solo, o que justifica a diminuição da área foliar como um mecanismo de prevenção contra a perda excessiva de água, conforme indicado por Lira (2016).

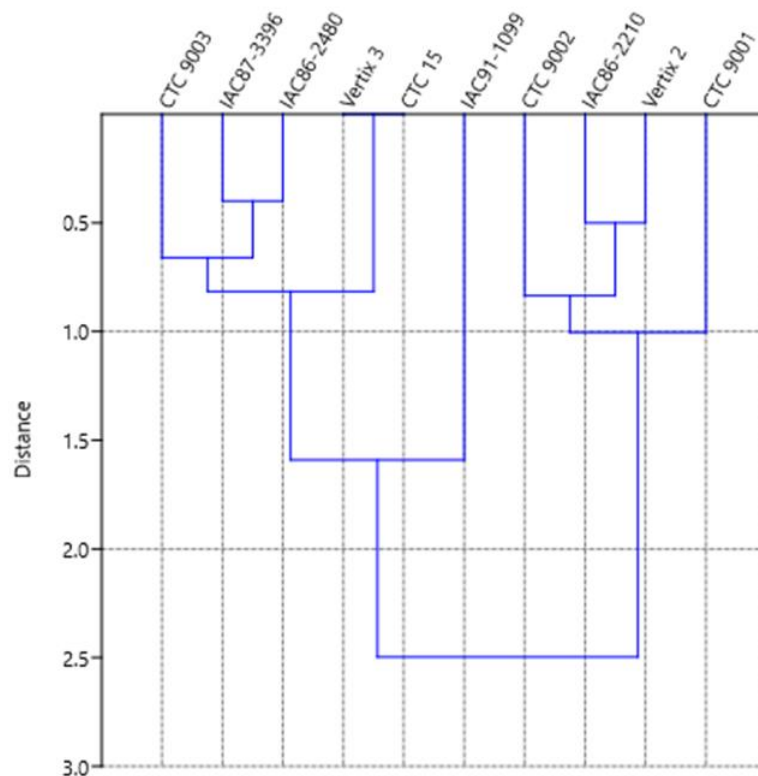
O caractere índice de tolerância de brotação atingiu valores máximos de 80, contudo o coeficiente de variação foi elevado, devido às falhas de brotação. Deste modo, observa-se que os cultivares CTC15, CTC9003, IAC87-3396, IAC86-2480 e VERTIX3 apresentaram

menores índice de brotação, com valores médios variando de 0,00 a 30,00, diferindo dos demais cultivares que tiveram valores entre 50,00 a 80,00 (Tabela 3). Quando os índices de IT_PA e IT_Bro se aproximam de 100, isso sinaliza que o material genético demonstra uma maior capacidade de tolerância à sodicidade.

4.4. Análise de grupamento

Para a análise de agrupamentos, com a aplicação do método Clássico, foi obtido o dendrograma, como mostra a Figura 1, para os valores médios de parâmetros, sendo considerado o índice de tolerância de brotação (IT_Bro) e índice de tolerância da parte aérea (IT_PA). Como pode ser visualizado, de forma inicial, podem ser indicados 3 (três) grupos, a partir da variância existente entre os cultivares de cana-de-açúcar.

Figura 1 - Dendrograma de dissimilaridade fenotípica



Os cultivares CTC9003, IAC87-3396, IAC86-2480, VERTIX3 e CTC15 (grupo 1), IAC1099 (grupo 2) e CTC9002, IAC86-2210, VERTIX2, CTC9001 (grupo 3), possuem valores mais discrepantes e foram classificados em um grupo distinto cada. Considerando o comportamento gerado no dendrograma, nota-se que o grupo 1 apresenta valores abaixo da média dos dois parâmetros avaliados. E o cultivar IAC91-1099 (grupo 2) caracterizado como intermediário.

Os cultivares do grupo 3 destacaram positivamente, com valores acima da média dos parâmetros avaliados, sendo o carácter IT_PA para o cultivar CTC9002, o que apresentou maiores valores médios e o carácter IT_Bro para o cultivar IAC86-2210 e VERTIX2, destacando valores médios acima dos demais cultivares de cana-de-açúcar como foi observado na tabela 3.

5. CONCLUSÃO

A presença de sódio no solo afeta significativamente a brotação e a tolerância das plantas ao estresse salino. Desta forma, diferentes cultivares de cana-de-açúcar demonstraram respostas variadas à presença de sódio, o que sugere a existência de variações genéticas em relação à tolerância à sodicidade.

Os cultivares CTC9002, IAC86-2210 e VERTIX2 apresentaram tolerância a sodicidade na fase de brotação, contudo, com a manutenção do ambiente salino, o cultivar VERTIX2 demonstrou menor acúmulo de biomassa aérea.

6. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ACOSTA-MOTOS, J. R. Et. al. **Plant Response to sal stress: Adaptive Mechanisms.** Agronomy, v. 7, n. 18, 2017.

BRAGA JÚNIOR, R. LANDELL, M. G. A., XAVIER, M. A., et al. **BOLETIM TÉCNICO IAC - Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - Safra 2021/22.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2023. 56p.

CERQUEIRA, P. R. S. et al. **Agricultura irrigada em ambientes salinos.** Codevasf, p.364, 2021.

CHINNUSAMY, V.; JAGENDORF, A.; ZHU, J. K. **Understanding and improving salt tolerance in plants.** Crop Science, Madison, v. 45, p. 437-448, 2005.

CNPA - COMITÉ NACIONAL DE PRODUCTORES DE AZÚCAR – NICARAGUA. Disponível em: < <https://cnpa.com.ni/importancia-economica/>>. Acesso em: 21 de julho de 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim cana-de-açúcar, 4º levantamento 2022/2023.** Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/47205_4d3411e94856841a815af389cab22b93. Acesso em: 29 de julho de 2023.

CASUR - COMPAÑÍA AZUCARERA DEL SUR. Disponível em: <<https://www.casur.com.ni/informacion-general/>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.

CRUZ, F. J. R.; COSTA, F. J. D; SANTOS, D. M. M. **Low salt stress affects physiological parameters and sugarcane plant growth.** Australian Journal of Crop Science, v. 12, n. 8, p. 1272-1279, 2018.

DA MATA, J. F. **Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba: FEALQ, p. 133-149, 1993.

DABROWSKA, G.; KATA, A.; GOC, A.; SZECHYŃSKA-HEBDA, M.; SKRZYPEK, E. **Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family.** Acta Biologica Cracoviensia, v.49, n.1, p.7-17, 2007.

DE CARVALHO, S. A. D; FURTADO, A. T. **O melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e o desafio das mudanças climáticas globais.** Revista Gestão & Conexões, v. 2, n. 1, p. 22-46, 2013.

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.** Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 129- 146.

FAROOQ, M.; GOGOI, N.; HUSSAIN, M.; BARTHAKUR, S.; PAUL, S.; BHARADWAJ, N.; MIGDADI, H. M.; ALGHAMDI, S. S.; SIDDIQUE, K. H. M. **Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes.** Plant Physiology and Biochemistry, Amsterdam, v. 118, p.199–217, 2017

Ferreira, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFPA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – FAOSTAT. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

GHEYI, H. R; DIAS, N. S; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Salinidade, 2010. 472 p.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. **Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants**. Plant Physiology And Biochemistry, [s.l.], v. 48, n. 12, p.909-930, 2010

GOMATHI, R.; THANDAPANI, P. **Influence of salinity stress on growth parameters and yield of sugarcane**. IOSR J. Pharm. Biol. Sci, v. 9, p. 28-32, 2014.

GRANJA, M.M.C., et al. **Response to in vitro salt stress in sugarcane is conditioned by concentration and condition of exposure to NaCl**. Acta biologica Colombiana, v.23, n.1, p. 30–38, 2018.

Hammer, O, Harper, DAT e Rayan, PD. **PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis**. Paleontologia Electronica 4 (1), 9pp, 2001.

KIM, M.; DAY, D.F. **Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills**. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, v.38, n.7, p.803-807, 2011.

LACERDA, M. J. et al. **Efeito da salinidade em plantas de cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento**. Química Nova, v. 25, n. 3, p. 455-464, 2012.

LANDELL, M. G. A.; BRAGA JR, R. **IAC lança projeto Censo Varietal de Cana-de-açúcar**. Stab–Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 35, p. 22, 2016.

LEITE, E. M. et al. **Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola**. Revista Caatinga, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.

Li, X. et al., 2019. **RBOH1-dependent apoplastic H₂O₂ mediates epigallocatechin-3-gallate-induced abiotic stress tolerance in Solanum lycopersicum L**. Environment Experimental Botany, v. 161, p.357–366.

LINGLE, Sarah E.; WIEGAND, Craig L. **Soil salinity and sugarcane juice quality**. Field Crops Research, v. 54, n. 2-3, p. 259-268, 1997

LIRA, R. M. **Salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar**. 2016. 101 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MAATHUIS, F. J.; AHMAD, I.; PATISHTAN, J. **Regulation of Na⁺ fluxes in plants**. Frontiers in Plant Science, Lausanne, v. 5, p. 1-9, 2014.

- MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. **Soil Salinity: Effect on Vegetable Crop Growth**. Management Practices to Prevent and Mitigate Soil Salinization. *Horticulturae*, 3: 2-13, 2017.
- MAGRO, F.J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P.E.; TAKAMATSU, S.Y. **Biometria em cana-de-açúcar**. 2011. Produção de Cana-de-Açúcar, USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, jun. 2011.
- MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z. **Salinity: a major agricultural problem—causes, impacts on crop productivity and management strategies**. In: **Plant Abiotic Stress Tolerance**. Springer, pp. 83–99, 2019
- MARINHO, Francisco José Loureiro; FERNANDES, Pedro Dantas; GHEYI, Hans Raj. **Desenvolvimento inicial do abacaxizeiro, cv. Smooth Cayenne, sob diferentes condições de salinidade da água**. Revista brasileira de Engenharia agrícola e ambiental, v. 2, p. 1-5, 1998.
- MORAIS, L. K. et al. **Melhoramento genético de cana-de-açúcar**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, v.1, p. 1-38, 2015.
- MUNNS, R.; TESTER, M. **Mechanisms of salinity tolerance**. Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v. 59, p. 651–681, 2008.
- NACHILUK, K. **Alta na Produção e Exportações de Açúcar Marcam a Safra 2020/21 de Cana**. Análises e Indicadores do Agronegócio, v. 16, n. 6, p.1-5, 2021.
- PATADE, V.Y.; SUPRASANNA, P.; BAPAT, V.A. **Effects of salt stress in relation to osmotic adjustment on sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) callus cultures**. Plant Growth Regul, v.55, 1p.69–173, 2008.
- PEREIRA, M. R., **Manejo de cana-de-açúcar na America Central e Caribe**. Apresentação. Companhia Azucareira Del Sul S.A.(CASUR), p. 42, 2020.
- PRISCO, J. T. & GOMES FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.
- RAO, V. P.; SENGAR, R. S.; SINGH, R. B. **Identification of salt tolerant sugarcane cultivars through phenotypic, physiological and biochemical studies under abiotic stress**. Plant Physiology, Rep. (2021).
- RASHEED, R.; WAHID, A.; HUSSAIN, I.; MAHMOOD, S.; PARVEEN, A. **Partial repair of salinity-induced damage to sprouting sugarcane buds by proline and glycinebetaine pretreatment**. Protoplasma, v. 253, n. 3, p.803–813, 2016.
- RENGASAMY, P. **World salinization with emphasis on Australia**. J. Exp. Bot. v. 57, p. 1017–1023, 2006.
- SERAFIM, L.G.F. STOLF, R.; SILVA, J. R.; SILVA, L. C. F.; MANIERO, M. A. **Influência do plantio mecanizado no índice de brotação da cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 10., 2012, Londrina. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA –

CLIA/CONBEA, 41., 2012, Londrina. Anais...Londrina, [S.n.], 2012. p. 1- 4. CD-ROM.

SIDDIQUI, M.H.; ALAMRI, S.; ALSUBAIE, Q.D.; ALI, H.M. **Melatonin and gibberellic acid promote growth and chlorophyll biosynthesis by regulating antioxidant and methylglyoxal detoxification system in tomato seedlings under salinity.** J. Plant Growth Regul., p. 1–15, 2020.

SIERRA, R., SMITH, A., GRANDA, C., HOLTZAPPLE, M.T., 2008. **Producing fuels and chemicals from lignocellulosic biomass.** Chem. Eng. Prog. 104, 10.

SILVA, M. A.; CARLIN, S.D.; PERECIN, D. **Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar.** Revista Ceres, Viçosa, v.51, p. 457-466, 2004.

SINGH, A. **Alternative management options for irrigation-induced salinization and waterlogging under different climatic conditions.** Ecol. Indic. V.90, p.184–192, 2018.

SILVEIRA, Joaquim et al. **Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas.** Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados, v. 1, p. 161-18, 2010.

TÜRKAN I., DEMIRAL T. **Recent developments in understanding salinity tolerance.** Environ Exp Bot, 67, 2–9, 2009.

VIDAL, M. F. **Produção e mercado de açúcar.** Banco do Nordeste do Brasil, v. 5, n.122, 2020.

VIDAL, M. F. **Produção e mercado de etanol.** Banco do Nordeste do Brasil, v. 5, n.121, 2020.

WATANABE, Kenta et al. **Changes in agronomic and physiological traits of sugarcane grown with saline irrigation water.** Agronomy, v. 10, n. 5, p. 722, 2020.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. **Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos.** Enciclopédia biosfera, v. 6, n. 11, 2010.

XAVIER, J. F. et al. **Isolamento e caracterização de bactérias associadas a rizosfera de plantas halófitas.** 2021. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2021.

YAN K. et al. **Physiological adaptive mechanisms of plants grown in saline soil and implications for sustainable saline agriculture in coastal zone.** Acta Physiol Plant, 35, 2867–78, 2013.

Zocal, T. T. **Levantamento da matriz varietal safra 2019/20 CASUR.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Lavras. 32 p. 2021.