



**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE VARIEDADES  
DE CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DO  
ESTRESSE SALINO**

**LAVRAS – MG  
2021**

**GILBERTO ARAÚJO VIEIRA NETO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM  
FUNÇÃO DO ESTRESSE SALINO**

Monografia apresentada a 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

Antônia Almeida da Silva  
Coorientadora

**LAVRAS, MG  
2021**

**GILBERTO ARAÚJO VIEIRA NETO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM  
FUNÇÃO DO ESTRESSE SALINO**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

**APROVADO em 22 de fevereiro de 2021**

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel - UFLA

MSc. Antônia Almeida da Silva - UFLA

Dr. João Paulo Pennacchi - UFLA

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel  
Orientador

**LAVRAS, MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e a Nossa Senhora, por me fortalecerem durante esta caminhada, dando-me sabedoria, força e serenidade para encarar todas as dificuldades.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade concedida para a minha formação em Agronomia.

Aos meus pais, Bartolomeu e Rozelene, pelo imenso apoio e por sempre se fazerem presentes em minha vida.

Aos meus amigos e irmãos da República Mula Manca, pelos ensinamentos e acolhimento desde minha chegada a Lavras, e também a todas amigas adquiridas durante a graduação.

Ao professor Guilherme Vieira Pimentel, pela orientação, amizade, paciência e ensinamentos transmitidos.

Aos meus coorientadores Paulo Cássio Alves Linhares, Antônia Almeida da Silva e João Paulo Pennacchi, pelo apoio e ensinamentos durante a condução do meu trabalho de conclusão de curso.

Aos membros do Núcleo de Estudos em Cana de Açúcar, pelo aprendizado e acolhimento durante os anos de participação.

Enfim, a todos que contribuíram para que eu concluísse esta importante etapa em minha vida.

Meus sinceros agradecimentos, pois todos fazem parte dessa história.

**MUITO OBRIGADO!!!**

## RESUMO

A cana-de-açúcar é uma cultura mundialmente importante. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e se destaca na comercialização e exportação de açúcar e etanol originados a partir desta cultura. Os diferentes estresses abióticos alteram negativamente o desenvolvimento e produção dessas plantas e, dentre estes, a salinidade de solos se apresenta pela grave redução de produtividade, sendo o principal fator estressante em regiões de clima árido e semiárido. Diante desse cenário, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento e a produção de biomassa em seis variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), a fim de identificar variedades menos sensíveis ao estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no setor de Grandes Culturas da Universidade Federal de Lavras, durante o ano de 2019. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial  $2 \times 6$ , com 8 repetições, sendo os fatores duas concentrações de cloreto de sódio e seis variedades de cana de açúcar. Foram avaliados os caracteres porcentagem de brotação, número de folhas, diâmetro de colmo e altura de plantas. As plantas foram coletadas aos 57 dias após o plantio, sendo separadas em raiz, colmo e folhas, para determinação da massa seca de folha (MSF), de raiz (MSR), de colmo (MSC) e total (MST). Foi possível concluir que a variedade CTC9001 se apresentou com maiores acúmulos de biomassa total, índice de tolerância, e desempenho morfológico superior aos demais materiais, apresentando como principal justificativa a obtenção de uma maior distância de dissimilaridade fenotípica. Portanto, tal variedade, é considerada como potencial a ser implantada em regiões semiáridas, ou seja, ambientes com níveis de salinidade próximos aos aplicados neste estudo. A variedade CV7870 apresentou-se com maiores índices de sensibilidade ao estresse salino, devido aos menores índices de tolerâncias relacionados aos menores acúmulos de biomassa seca total e de raiz, além também da menor distância de dissimilaridade fenotípica comparado aos outros materiais. Diante disso, essa variedade não é recomendada para o plantio em regiões semi-áridas ou com altos teores de salinidade.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp. Cloreto de sódio. Sodicidade. Salinidade

## ABSTRACT

Sugarcane is a globally important crop. Brazil is the world's largest producer of sugarcane and stands out in the commercialization and exportation of sugar and ethanol originated from this culture. The different abiotic stresses negatively alter the development and production of these plants and, among these; the salinity of soils is presented by the severe reduction in productivity, being the main stressor in arid and semi-arid regions. Given this scenario, the objective of this work was to evaluate the growth and production of biomass in six varieties of sugar cane (*Saccharum* spp.), In order to identify varieties less sensitive to salt stress. The experiment was carried out in a greenhouse, in the Large Cultures sector of the Federal University of Lavras, during 2019. The design was in randomized blocks, in a  $2 \times 6$  factorial scheme, with 8 repetitions, the factors being two concentrations of sodium chloride and six varieties of sugarcane. The characters percentage of sprouting, number of leaves, stem diameter and plant height were evaluated. The plants were collected at 57 days after planting, being separated into root, stem and leaves, to determine the dry mass of leaf (DML), root (DMR), stem (DMC) and total (DMT). It was possible to conclude that CTC9001 presented with greater accumulations of total biomass, tolerance index, and morphological performance superior to the other materials, presenting as main justification the obtaining of a greater distance of phenotypic dissimilarity. Therefore, such a variety is considered as a potential to be implanted in semi-arid regions, that is, environments with salinity levels close to those applied in this study. CV7870 showed higher indices of sensitivity to salt stress, due to the lower tolerance indices related to the smaller accumulations of total dry biomass and root, in addition to the shorter distance of phenotypic dissimilarity compared to other materials. Therefore, this variety is not recommended for planting in semi-arid regions or with high levels of salinity.

**Keywords:** *Saccharum* spp. Sodium chloride. Sodicity. Salinity

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Porcentagem de brotação em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada histograma representa o valor médio ( $n = 8 \pm$ erro padrão) .....	18
Figura 2 - Número de folhas (NF, A e B), diâmetro do colmo (DC, C e D) e altura da planta (AP, E e F) de variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada ponto representa o valor médio ( $n=8$ ) $\pm$ erro padrão.....	20
Figura 3 - Massa seca da parte aérea (MSPA, A), massa seca de raiz (MSR, B) e massa seca total (MST, C) em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada ponto representa o valor médio ( $n=8$ ) $\pm$ erro padrão .....	21
Figura 4 - Índice de tolerância (IT %) de raiz (A) e de biomassa total (B) em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada histograma representa o valor médio ( $n= 8$ ) $\pm$ erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos (Tukey, $p < 0,05$ ) .....	22
Figura 5 - Dendrograma de dissimilaridade fenotípica (A) e <i>heatmap</i> de agrupamento (B) de variedades de cana-de-açúcar sob salinidade. MSR = massa seca da raiz; MSPA = massa seca da parte aérea; MST = massa seca total; ITMSR= índice de tolerância ao estresse (massa seca da raiz) e ITMST = índice de tolerância ao estresse (massa seca total) .....	24

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.</b>	<b>Importância da cana-de-açúcar .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.</b>	<b>Salinidade dos ambientes de produção agrícola .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.</b>	<b>Estresse salino nas plantas .....</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.</b>	<b>Condução do experimento .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.</b>	<b>Características avaliadas .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>26</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) se destaca pela sua importância e grande influência no agronegócio brasileiro uma vez que, além da produção em larga escala de etanol e açúcar, e vem sendo conhecida e utilizada como uma cultura que causa menor impacto ambiental pela substituição dos combustíveis fósseis e, ainda, pelo aproveitamento de seus resíduos, como a vinhaça, torta de filtro e bagaço. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo São Paulo o estado que lidera esta produção. (CONAB, 2020). A utilização da cultura é crescente ao longo dos anos, conduzindo a expansão da sua produção em ambientes que não são propícios ao seu cultivo e a preocupação em se estudar e mitigar/amenizar os efeitos causados. Entre estes ambientes, salientam-se aqueles que causam estresses abióticos nas plantas, como o estresse por temperatura, o estresse hídrico e o estresse salino.

O estresse salino é um dos mais importantes estresses abióticos que causam diminuição de produção e rendimento das culturas (PATADE et al., 2011; JAMES et al., 2002) e ocorre, basicamente, de duas formas (MUNNS; TESTER, 2008). A salinidade pode causar deficiência hídrica por diminuir o potencial da água no solo e pela absorção de íons tóxicos, como o  $\text{Na}^+$ . As plantas apresentam tolerância ao sal quando respondem fisiologicamente de forma a minimizar seus efeitos. Neste sentido, há alguns compostos chamados osmólitos compatíveis, ou osmoprotetores, que atuam no ajuste osmótico das células. Entre estes, pode-se citar o aminoácido prolina, a amina quaternária, glicina, betaína e o dissacarídeo sacarose, importantes osmólitos compatíveis encontrados nas plantas. Estas substâncias, quando em grandes quantidades dentro da planta, não alteram negativamente seu metabolismo e se acumulam de forma a ajustar a quantidade de água na célula, evitando perdas excessivas pelo controle do potencial osmótico (SZABADOS et al., 2011).

O efeito da salinidade sobre o solo caracteriza-se pela perda da fertilidade e aumento da susceptibilidade à erosão, além da contaminação das reservas hídricas subterrâneas. Nas plantas, o sal provoca as perdas de produtividade e de qualidade, ou perda total da produção (GHEYI et al., 2010). Sabe-se, no entanto, que a salinidade afeta o crescimento das plantas pelo estresse osmótico e pela toxicidade causada pelo acúmulo excessivo de sais nas folhas. (SIRIPORNADULSIL et al., 2012). Como resistência ao estresse sofrido, as plantas criam mecanismos de defesa antioxidante

que agem na ativação de um complexo sistema enzimático e não enzimático, capazes de neutralizar a citotoxicidade das espécies reativas de oxigênio (AGARWAL; PANDEY, 2004).

Nesse contexto, torna-se de extrema importância a identificação de variedades de cana-de-açúcar tolerantes ao estresse salino e adaptadas aos mais diversos ambientes. Com isso, objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento e a produção de biomassa em seis variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), a fim de identificar variedades menos sensíveis ou tolerantes ao estresse salino.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Importância da cana-de-açúcar**

Desde o período colonial a agricultura brasileira tem a produção de cana-de-açúcar como uma de suas principais atividades. Com o passar dos anos a importância do setor cresceu ainda mais, como consequência do surgimento de novas tecnologias, melhor aproveitamento e rendimento de produção e desenvolvimento de novos produtos a partir da matéria prima, como biocombustível e energia. Isso propiciou que o setor atingisse uma relevância econômica e social ainda maior no país e no mundo. O agronegócio e a indústria brasileira da cana-de-açúcar têm papel de destaque na economia nacional, principalmente, pela produção de açúcar, etanol e bioenergia. Portanto, o Brasil é considerado líder no complexo cana-de-açúcar, tanto nacionalmente como internacionalmente (CARVALHO; OLIVEIRA, 2006; PEREIRA, 2017). No ranking mundial, o Brasil ocupa a primeira colocação em termos de produção de cana-de-açúcar. Mesmo com uma pequena redução em área plantada com relação à safra anterior, a safra 2020/2021 é estimada em 8.605 mil hectares. A produção média nacional no setor sucroenergético fica em torno de 76,3 t ha<sup>-1</sup> e, para a safra 2020/2021, espera-se um incremento de 0,3% com relação ao valor final da safra anterior (CONAB, 2020).

No aspecto social, a cadeia sucroenergética apresenta importante colaboração na geração de empregos. Segundo dados fornecidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), 3,2% do total dos trabalhadores ocupados no agronegócio no ano de 2017, ocupavam funções na cadeia sucroenergética. Isso ocorre principalmente pelo fato de grande parte do setor ainda demandar mão de obra para a colheita e processamento da cana-de-açúcar, muitas vezes ainda não mecanizado. Outro ponto a se destacar, é o alto nível de formalização, contendo 8% de todos os empregos com carteira assinada no agronegócio no mesmo ano.

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais promissoras na conversão de energia solar em energia química (TEW; COBILL, 2008). Essa conversão é uma opção interessante para o Brasil na produção de biomassa energética, porque a cana-de-açúcar é economicamente competitiva em relação a outras culturas produtoras de biomassa, como capim elefante e eucalipto. Além disso, fatores como domínio da técnica de cultivo e parque industrial estruturado com elevado número de usinas espalhados pelo país, favorecem a utilização da cana-de-açúcar como opção da matriz bioenergética. Pesquisas realizadas concomitantemente têm por interesse associar

produtividade energética e garantir sustentabilidade, reduzindo os impactos ao meio ambiente. Assim, a cultura é considerada como uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e diminuição da utilização dos combustíveis fósseis (CGEE, 2001; CGEE, 2020). Nesse cenário, muitas usinas em atividade estão produzindo energia elétrica a partir dos resíduos (palha, ponteira e bagaço) ou subproduto da cana-de-açúcar.

Para atingir essa eficiência almejada e aumentar a produtividade com a finalidade de suprir a demanda do mercado nacional e internacional por alimento, combustível e energia, superando os desafios e entraves existentes na cadeia, é fundamental a aplicação de mais tecnologia no campo. Deste cenário, fazem parte os programas de melhoramento, responsáveis pelo lançamento de variedades mais promissoras e adaptadas as diferentes condições ambientais brasileiras, bem como o desenvolvimento e aplicação de técnicas de manejo eficazes (manejo integrado).

Isso se faz necessário visto que, apesar da cadeia produtiva ser considerada estruturada e desenvolvida, muitos problemas impedem o alcance do seu verdadeiro potencial. Dentre eles, podemos destacar o baixo desempenho produtivo de variedades de cana-de-açúcar sob determinadas condições abióticas, como clima semi-árido, com baixas pluviosidades e solos salinos, que impedem a expansão da fronteira agrícola dessa cultura. Sabe-se que a cana-de-açúcar é considerada moderadamente sensível à salinidade, sendo que a diminuição do rendimento pode chegar a 50% em solos moderadamente salinizados, tendo oscilações entre as diferentes variedades (SIMÕES et al., 2019). Sendo assim, é fundamental a união e dedicação de instituições de pesquisa e profissionais da área agrícola para que consigamos, com maestria, variedades sem grandes limitações.

## **2.2. Salinidade dos ambientes de produção agrícola**

A salinização é um fator limitante para o desenvolvimento e produtividade de plantas principalmente em zonas áridas e semi-áridas. Segundo Williams (1987), dois tipos de salinização têm sido identificados, a primária e a secundária. A salinização primária é um processo natural onde ocorrem poucas chuvas, elevada evaporação e acúmulo gradual de íons oriundos do intemperismo. Já a salinização secundária é resultante de ação antrópica. Nesse segundo caso, enquadram-se muitos produtores que utilizam água salobra e/ou de baixa qualidade para irrigar os plantios bem como fazem a aplicação de quantidades excessivas de fertilizantes, que são umas das principais razões para o problema do aumento da salinidade do solo (DIAS; BLANCO, 2010).

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limitam o crescimento e a produtividade agrícola (FEIJÃO et al., 2013). Ela tem se agravado nas regiões semi-áridas brasileiras e se torna um entrave devido ao clima, geologia, qualidade da água e manejo da irrigação nessas regiões (ARAÚJO et al., 2010; SOUZA et al., 2016). O clima semi-árido do Nordeste do Brasil favorece a salinização do solo, mesmo se aplicada água de boa qualidade nos processos de irrigação (BARBOSA et al., 2012), devido às temperaturas e evaporação serem altas e a precipitação baixa. Portanto, observa-se nessas regiões a ocorrência tanto da salinidade primária como secundária. Apesar da importância da irrigação para o desenvolvimento da agricultura em regiões semi-áridas, seu manejo inadequado pode causar salinização do solo, prejudicando suas propriedades químicas e físicas (LACERDA et al., 2011). Além disso, a água por ser um recurso escasso, muitas vezes apresentam altos teores de sais, devido ao clima e ao material de origem dos solos, o que contribui significativamente para o agravamento do problema (BARBOSA et al., 2012; FURTADO et al., 2014; SILVA et al., 2016; COSTA, 2017).

Os efeitos da salinização sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, reduzindo seu crescimento e desenvolvimento, afetando a produtividade. Nos solos propriamente ditos, os efeitos nocivos da salinização envolvem desestruturação, aumento da densidade aparente e da retenção de água, redução as infiltrações e diminuição da fertilidade físico-química. Em termos práticos, a salinização provoca perda da fertilidade e deixa o solo suscetível a erosão. Como consequência nas plantas, os efeitos do solo salino provocam severa perda de produtividade e qualidade (DIAS; BLANCO, 2010).

O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal desse efeito é a expansão da argila quando úmida e a contração da mesma quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se a expansão for exagerada, poderá ocorrer a fragmentação das partículas, causando a dispersão das argilas e modificando a estrutura do solo. Assim, de modo generalizado, os solos com excesso de sódio trocável apresentam problemas de permeabilidade e qualquer excesso de água poderá causar o encharcamento e inundação na sua superfície, impedindo a germinação de sementes e o crescimento das plantas, pela falta de aeração (DIAS; BLANCO, 2010).

Apesar das inúmeras desvantagens constatadas em solos salinos, é de suma importância e interesse do setor agrícola do país, o cultivo com eficiência nessas áreas. Isso se torna um tema

muito relevante quando tratamos das necessidades de expansão das fronteiras agrícolas, aproveitamento dos recursos, sustentabilidade e eficiência produtiva. Para tanto, o conhecimento dos efeitos dos sais nas plantas e no solo, bem como os efeitos envolvidos nessas relações são fundamentais para se adotar técnicas de manejo adequadas nos cultivos, bem como para o desenvolvimento de plantas que sejam bem adaptadas a tais condições, via processo de melhoramento genético (DIAS; BLANCO, 2010).

A salinidade no solo afeta, quase que de maneira unanime, todas as culturas agrícolas. Entretanto, muitos estudos têm sido desenvolvidos buscando entender melhor esses efeitos e a melhor forma de minimizá-los. Os resultados das pesquisas científicas são muito relevantes e tem, inclusive, possibilitado cultivos nunca antes esperados em regiões semi-áridas.

### **2.3. Estresse salino nas plantas**

Ao longo dos últimos anos o efeito da salinização sobre o crescimento e distribuição dos recursos nas plantas tem sido cada vez mais bem compreendido. A salinidade afeta o desenvolvimento das plantas por provocar déficit de água, acúmulo de íons que geram toxidez e desequilíbrio nutricional (MUNSS; TERMAAT, 1986). As consequências lesivas da salinidade podem ser observadas na planta inteira, resultando em morte ou diminuição da produtividade.

A resposta das plantas à salinidade pode acontecer em duas fases. A primeira, denominada fase osmótica, é rápida e ocorre imediatamente após o contato com a salinidade. O sal atinge as raízes e reduz o potencial osmótico da relação solo-planta, com conseqüente redução do crescimento da parte aérea pela falta de água. A segunda fase, denominada fase iônica, ocorre lentamente. Seu processo tem início quando o sal atinge a parte aérea da planta, em altas concentrações, causando toxicidade. Nessa etapa de resposta, se a velocidade da toxicidade, e conseqüente morte foliar, for maior que a produção de novas folhas, a fotossíntese bem como a produção de carboidratos será prejudicada, o que ocasionará a redução do crescimento e produtividade (MUNNS; TESTER, 2008; CHICONATO, 2016).

Os três principais problemas da salinização do solo, que tem reflexo direto nas plantas, são a redução do potencial osmótico da sua solução, diminuindo a disponibilidade de água e gerando o que denominamos déficit hídrico, a toxicidade de certos íons às plantas, principalmente  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , e o desbalanço nutricional devido à redução na absorção e/ou transporte para a parte aérea da planta (BERNARDO, 2006; SILVA, 2016; SOUSA, 2017).

O prejuízo na absorção de água é um dos fatores mais importantes no que se refere ao agravamento do crescimento das plantas sob solos salinos (BHATT et al., 2008), estando diretamente relacionado à fotossíntese, ou seja, plantas sob estresse diminuem a capacidade fotossintética, bem como o crescimento (KUMAR et al., 2014). A planta responde rapidamente em situação de estresse salino de forma a fechar seus estômatos na tentativa de amenizar a perda de água (JAMES et al., 2002). Ainda, pode haver aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), desidratação celular, prejuízo na fotossíntese e redução no desenvolvimento das folhas (PLAZEK et al., 2013).

Além dos efeitos de diminuição na absorção de água pela planta, a toxicidade por íons pode causar diminuição na absorção de nutrientes (DEINLEIN et al., 2014; RODRIGUES et al., 2014). Plantas submetidas ao estresse salino iniciam o mecanismo de ajustamento osmótico para manter a turgidez das células, o que causa o crescimento lento das plantas estressadas (GUERZONI et al., 2014). Este ajuste pode ser realizado por alguns compostos que as plantas comumente produzem em situação de estresse, entre eles a prolina, glicina e glicina betaína. Algumas vezes, os sintomas podem se confundir e não permitir o diagnóstico exato, impossibilitando afirmar se o estresse está alterando o potencial hídrico devido à toxicidade (GANDONOU et al., 2011; CHICONATO, 2016).

Segundo Blumwald (2000), solos salinos provocam estresse osmótico, resultante das altas concentrações de solutos no solo, e estresse iônico, ocasionado pela queda na razão  $K^+/Na^+$ , alterando a homeostase celular. Outro agravante do estresse salino ocorre pela presença de NaCl na solução. O  $Na^+$ , que é tóxico às plantas, apesar de ter diversos canais de entrada pela membrana plasmática das raízes, também pode passar por canais específicos de entrada de outros nutrientes (DEINLEIN et al., 2014). Um destes tipos de canais é via de entrada de  $K^+$ . Assim, a presença de  $Na^+$  na solução do solo atua reduzindo a absorção deste nutriente. Portanto, a salinidade prejudica o crescimento da planta também por alteração no balanço nutricional (CARPICI et al., 2010; GANDONOU et al., 2011; ZIA et al., 2011) além de atingir negativamente o metabolismo celular, bem como processos fisiológicos e bioquímicos (HASANUZZAMAN et al., 2014; CHICONATO, 2016).

Uma das respostas iniciais das plantas submetidas ao estresse pela salinidade é o menor crescimento da parte aérea e a redução da expansão da superfície foliar, características estas que podem ser visivelmente detectadas (WANG; 2000). Este efeito promove redução nas

concentrações de carboidratos, que são a base necessária para o desenvolvimento celular. Em condição de toxicidade iônica e desbalanço nutricional também podem ser observados o aparecimento de injúrias na folhagem (clorose marginais e necroses nas folhas maduras) que em alguns casos, ocorrem mesmo em baixos níveis de salinização de NaCl (FERREIRA-SILVA et al., 2009; SOUSA, 2017). Outro dos mecanismos utilizados pelas plantas para adaptar-se a este meio é o ajustamento osmótico, o qual permite a diminuição do seu potencial osmótico através do acúmulo de íons e solutos orgânicos fazendo com que se mantenha um gradiente de potencial de água favorável para absorver água e manter uma pressão de turgor (MUNNS et al., 2016).

As respostas biológicas a alta salinidade em plantas tem sido mais discutidas em estudos que analisaram as características fisiológicas, moleculares e bioquímicas das respostas complexas ao estresse salino dos organismos (EHRET; PLANT 1999; ZHU 2002; MUNNS 2005; ESTEVES; SUZUKI, 2008). As plantas têm diferenciados níveis de tolerância às concentrações letais de sais, utilizando-se de uma variedade de mecanismos entre as distintas espécies (IYENGAR; REDDY 1996; HASEGAWA et al. 2000; ESTEVES; SUZUKI, 2008).

A cana-de-açúcar é uma planta denominada glicófita (SENGAR et al., 2013; KUMAR et al., 2014), ou seja, pouco tolerante à salinidade de solos. Em fases iniciais, como brotação e perfilhamento, as plantas encontram-se mais sensíveis a este tipo de estresse, logo, os sintomas apresentados são mais severos quando a salinidade atinge as plantas de cana nestes estádios (SENGAR et al., 2013). Quando o estresse provocado pela salinidade atinge plantas em crescimento e desenvolvimento, ele pode reduzir o conteúdo de sacarose nos colmos (GUERZONI et al., 2014). Em outros estudos foi observado também a diminuição no conteúdo de clorofilas, seguida por aumento da fluorescência e queda de massa fresca nas plantas (WILLADINO et al., 2011). Variedades mais sensíveis à salinidade podem apresentar mecanismos de tolerância mais fracos, com conseqüente retardo no crescimento e maiores perdas de produtividade que as plantas halófitas, tolerantes à salinidade (CHA-UM; KIRDMANEE, 2009). Sengar et al. (2013) relatam perdas de até 40% na produtividade de cana-de-açúcar na Índia devido a salinidade de solos. Cha-Um e Kirdmanee (2009) encontraram efeitos mais prejudiciais na fisiologia e crescimento de cana-de-açúcar quando submetidas ao estresse salino que em condições de deficiência hídrica, pela diminuição de clorofilas e carotenóides, com conseqüentes prejuízos na fotossíntese e desenvolvimento das plantas (CHICONATO, 2016).

Para contornar os problemas ocasionados pela salinidade, podem ser utilizadas algumas estratégias de manejo, que se mostram eficientes. Dentre elas, a correção de solo, em geral, aplicando-se gesso e lâmina de irrigação capaz de lixiviar o excesso de sais. O uso de adubos orgânicos, como biofertilizantes, esterco bovino, casca de arroz e vinhaça, que amenizam a salinidade por melhorar propriedades físicas do solo, favorecendo a agregação de partículas, maior condutividade hidráulica, infiltração e retenção de água na estrutura física do solo, retenção de nutrientes, e ainda liberam ácidos orgânicos, também é uma prática excelente nestes casos (BENITES et al., 2009; MIRANDA et al., 2011). Além disso, é fundamental a adoção de sistemas de irrigação mais eficientes e bem manejados, para usar águas de qualidade inferior disponível nessas regiões (LACERDA et al., 2011), bem como o cultivo de espécies tolerantes à salinidade (COSTA, 2017).

O estudo da salinidade de solos e seus efeitos sobre as plantas cultivadas é importante principalmente por possibilitar a descoberta de estratégias eficientes que permitam o cultivo em ambientes de desertos salinos. Também é indispensável para o entendimento dos mecanismos que a planta utiliza para tolerar este tipo estresse, favorecendo a seleção de variedades tolerantes via indicadores para a seleção e o melhoramento de variedades (BHATT et al., 2008). Uma abordagem pertinente sobre estresse salino em plantas cultivadas deve ser feita relacionando os fatores fisiológicos, bioquímicos e moleculares, de forma a permitir a seleção de variedades tolerantes ao sal (HASANUZZAMAN et al., 2014; CHICONATO, 2016). Com o conhecimento dos fatores fisiológicos do estresse nas plantas é possível o desenvolvimento de ferramentas moleculares que auxiliem a identificação de genes de interesse para o melhoramento genético (MUNNS, 2011).

É fundamental ainda ressaltar que, dando enfoque ao setor sucroenergético, não existem variedades de cana-de-açúcar disponíveis no mercado que tenham sido melhoradas visando à tolerância a salinidade. Portanto, se faz necessário a identificação e seleção de variedades, pelos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar, que apresentem mecanismos de tolerância a salinidade, o que é fundamental para a exploração econômica da cultura em locais semi-áridos e com problemas relacionados ao estresse por salinidade.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Condução do experimento

O experimento foi desenvolvido no período entre os meses de março e maio de 2019, em casa de vegetação localizada no setor de grandes culturas do departamento de agricultura da Universidade Federal de Lavras - UFLA, município de Lavras, Minas Gerais (21°13'40''S e 44°57'50''W GRW, altitude 960 m).

Foram utilizadas seis variedades (*Saccharum* spp.) de cana-de-açúcar: CTC9001, CTC9003, RB867515, RB93509, CV7870 e ARCHI. O plantio ocorreu na forma de minitoletes, de uma gema por vaso (3,5 dm<sup>3</sup>), utilizando solo e areia na proporção 2:1 respectivamente, onde foi realizada uma análise química para correção nutricional (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise química inicial do solo usado para cultivo das plantas.

pH	K	P	Ca	Mg	Al	H <sup>+</sup> + Al	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	---mg dm <sup>3</sup> ---		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup> -----				-----mg dm <sup>3</sup> -----					
5,6	68,53	7,16	2,90	0,44	0,13	3,78	4,82	46,38	6,17	1,03	-0,09	1,46

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com oito repetições e em esquema fatorial 2 × 6, sendo os tratamentos duas concentrações de cloreto de sódio (NaCl): controle [concentração encontrada naturalmente no solo] e T1 [solo enriquecido com 100 mM de NaCl] e a seis variedades de cana-de-açúcar utilizadas, totalizando 96 parcelas.

#### 3.2. Características avaliadas

A porcentagem de brotação foi determinada após a sua estabilização, sendo obtida pela relação entre o número de plântulas e o número de gemas plantadas. Aos 31 e 57 dias após o plantio foram realizadas avaliações de crescimento das plântulas. Sendo determinado o número de folha (NF), a altura da planta (AP, cm), com auxílio de uma régua e, o diâmetro do colmo (DC, mm) com auxílio de um paquímetro digital.

Ao final do experimento as plantas foram coletadas, sendo separadas em raiz, colmo e folhas, para secagem em estufa com circulação de ar a 70 °C durante 72 horas. Em seguida foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca de folha (MSF, g), massa seca de colmo (MSC, g), massa seca de raiz (MSR, g) e massa seca total (MST, g). Esses dois últimos foram

utilizados para cálculo do índice de tolerância à salinidade (IT, %), considerando a razão entre os dados do tratamento salino e o controle, com base na seguinte equação 1:

$$IT (\%) = \frac{\textit{Produção de MS no tratamento salino}}{\textit{Produção de MS no tratamento controle}} \times 100$$

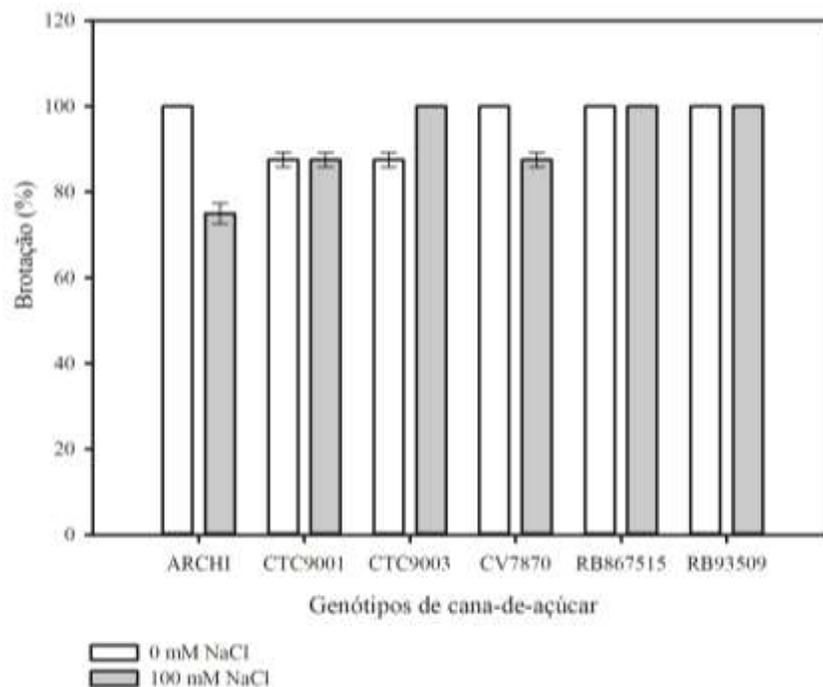
### 3.3. Análises estatísticas

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 quando houve efeito significativo as médias foram comparadas pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando a plataforma R, com o pacote ExpDes (FERREIRA et al., 2014). Adicionalmente, foi realizada uma análise de agrupamento e gerado um dendrograma e um *heatmap* com os pacotes *FactoMineR*, *factoextra*, *cluster*, *ggpubr* e *pheatmap* (LE et al., 2008; KASSAMBARA; MAECHLER et al., 2019; KASSAMBARA, 2019; KOLDE, 2019; MUNDT, 2020).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível verificar que, para todos os parâmetros avaliados, as variedades de cana-de-açúcar apresentaram comportamentos diferentes, demonstrando que há variabilidade genética dentro da espécie em relação às respostas a salinidade. Resultados publicados por Verma et al. (2020) justificam os obtidos neste trabalho, destacando que o genótipo pode determinar as estratégias de defesa da planta, sendo que existem plantas cujo sistemas de defesa podem ser mais eficientes do que em outras.

De acordo com a figura 1, foi observado que aumentando a salinidade, aumentaram-se também a porcentagem de brotação, mais especificamente para a variedade CTC9003, demonstrando que esse genótipo apresenta grande tolerância ao estresse salino. Plazek et al. (2013) destaca que a tolerância a salinidade está comumente associada a tolerância à seca, uma vez que a alta concentração de sódio no solo inibe a absorção de água pela planta induzindo a deficiência hídrica. Para as variedades ARCHI e CV7870, os níveis de brotação foram superiores com a ausência de salinidade no solo, identificando, portanto, uma menor tolerância a este estresse abiótico. Já as variedades RB867515, RB93509 e CTC9001 não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

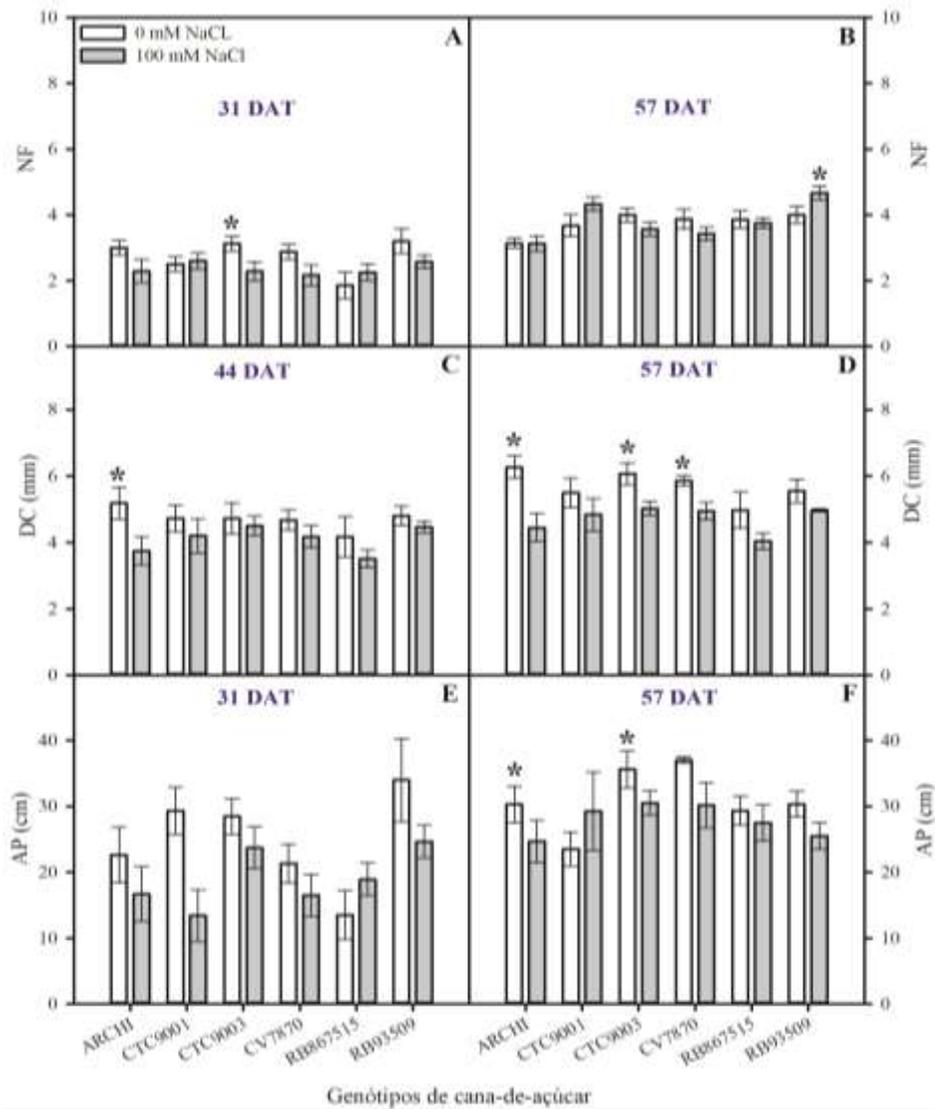


**Figura 1.** Porcentagem de brotação em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada histograma representa o valor médio ( $n = 8 \pm$  erro padrão).

O número de folhas mostrou-se maior para a maioria das variedades aos 31 dias, em condições de ausência de estresse. Porém, o destaque vai para a variedade CTC 9003, que demonstrou significância mesmo nessas condições citadas (Figuras 2A). Já aos 57 dias após a aplicação dos tratamentos, foi observado nas variedades CTC9001 e RB 93509 um comportamento superior em relação ao número de folhas nas condições de estresse salino (Figura 2B).

Para o diâmetro de colmo, a variedade ARCHI apresentou o mesmo comportamento significativo nas duas datas avaliadas, em ambiente sem estresse, ou seja, um maior diâmetro de colmo. Já as variedades CTC 9003 e CV7870 obtiveram, apenas aos 57 dias, na ausência de salinidade, um resultado significativo para diâmetro de colmo (Figuras 2C e 2D). Quanto à altura de plantas, está só se mostrou significativa aos 57 dias para as variedades ARCHI e CTC9003, apresentando desempenho desta variável superior quando da utilização do tratamento controle (sem salinidade) (Figuras 2E e 2F).

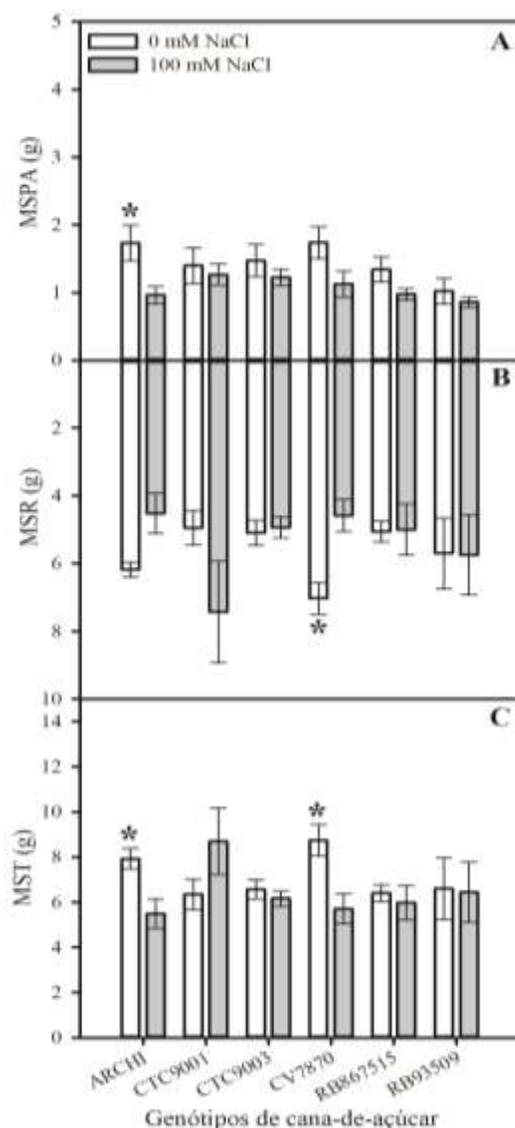
Em estudos publicados por Lima et al. (2016) e Brindha et al. (2019) há o destaque para a limitação no crescimento de plantas de cana-de-açúcar decorrente da salinidade. Características como altura da planta, diâmetro do colmo e número de folhas são influenciadas por fatores climáticos. Contudo, nos resultados divulgados por Lima et al. (2016), a expressão destes caracteres agrônômicos depende fortemente do potencial genético da variedade, além também da existência da interação entre ambiente e genótipo, que determinam o desempenho morfológico e fisiológico da cana-de-açúcar sob estresse.



**Figura 2.** Número de folhas (NF, A e B), diâmetro do colmo (DC, C e D) e altura da planta (AP, E e F) de variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada ponto representa o valor médio ( $n=8$ )  $\pm$  erro padrão. \*Indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Na figura 3, o destaque vai para o comportamento das variedades quanto as diferenças nos níveis de massa seca da parte aérea e raiz em relação aos dois tratamentos utilizados. Quanto a parte aérea, não se verificou maiores concentrações de massa seca nos tratamentos com ausência de salinidade, mesmo a variedade ARCHI demonstrando diferenças significativas para esse parâmetro. Em contrapartida, foram observados valores maiores para as concentrações de massa seca da raiz, independente das condições de ausência e presença de salinidade. Estes resultados

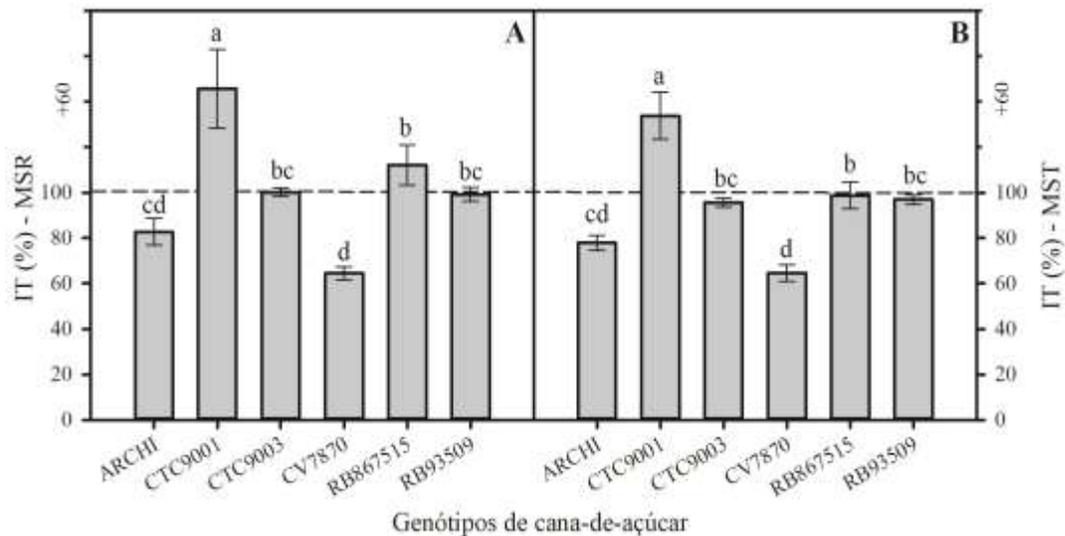
corroboram com os obtidos por Santana et al. (2007), os quais detectaram que a massa seca das raízes da cana-de-açúcar em fase inicial de desenvolvimento foi afetada pelos níveis de sal na água de irrigação, ou seja, os menores pesos foram encontrados quando irrigou-se com água de maior nível salino e em textura arenosa. Nota-se, portanto, que mais especificamente para a variedade CTC9001, houve um acúmulo maior de massa seca tanto na parte aérea, raiz e total, em condições de estresse salino em relação as demais.



**Figura 3.** Massa seca da parte aérea (MSPA, A), massa seca de raiz (MSR, B) e massa seca total (MST, C) em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada ponto representa

o valor médio ( $n=8$ )  $\pm$  erro padrão. \*Indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os resultados de massa seca total justificam os comentários feitos anteriormente. Mesmo apresentando diferenças significativas em relação ao tratamento controle, como é o caso das variedades ARCHI e CV7870, a variedade CTC9001 também demonstrou desempenho satisfatório em ambiente salino, ou seja, apresentou maior índice de tolerância (FIGURA 4).



**Figura 4.** Índice de tolerância (IT %) de raiz (A) e de biomassa total (B) em diferentes variedades de cana-de-açúcar sem e com salinidade. Cada histograma representa o valor médio ( $n=8$ )  $\pm$  erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos (Tukey,  $p < 0,05$ ).

Em trabalhos encontrados na literatura, há resultados que corroboram e divergem com os foram encontrados neste estudo. Simões et al. (2016) relatam que a variedade RB835089 foi o que apresentou o maior número de folhas, diâmetro do caule e peso da planta dentre as outras testadas em ambientes dessalinizados. O mesmo autor destaca que isso corrobora com a importância da clorofila na realização da fotossíntese e consequentemente, acumulação de fotoassimilados e crescimento da planta. Jamil et al. (2007), afirmam que normalmente ocorre redução nos teores de clorofila em plantas sensíveis à salinidade, ocorrendo o inverso em plantas mais tolerantes. Silva et al. (2013), demonstraram que plantas de cana-de-açúcar com longo tempo de seca, cerca de 90

dias, tiveram redução no teor de clorofila, pelo índice SPAD, sendo mais severa em variedades susceptíveis.

Algumas variedades de cana-de-açúcar mostram rápida recuperação após eventos de seca (LANDELL et al., 2005), sendo a tolerância à seca relacionada a mecanismos fisiológicos capazes de manter o crescimento da planta em condição restritiva, tais como fechamento estomático e manutenção da atividade fotossintética (MACHADO et al., 2009).

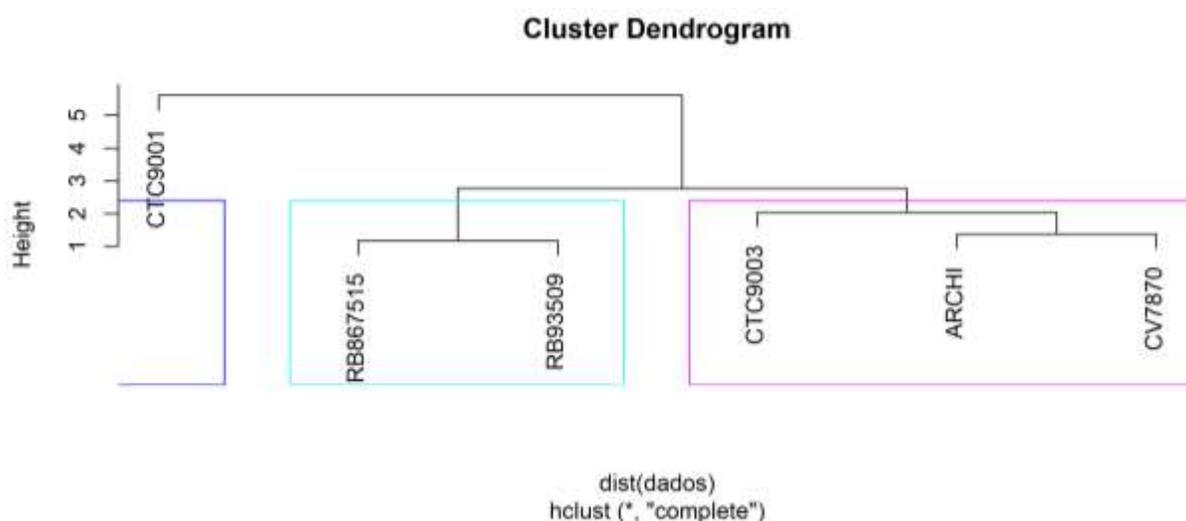
O acúmulo de biomassa observado na variedade CTC9001 no tratamento salino indicou que tal variedade tem o maior índice de tolerância tanto em relação a raiz quanto em biomassa total (Figura 4), dentre os materiais estudados. Já a variedade ARCHI e CV7870 apresentaram os menores IT, demonstrando que esses materiais não toleram o nível de salinidade aplicado considerando o tempo de estudo. Resultados encontrados por Verma et al. (2020) justificam os encontrados por este trabalho, concluindo que a ausência de tolerância a salinidade foi devido ao acúmulo de íons tóxicos que podem vir acompanhados de uma diminuição na produção de sacarose nas raízes.

O dendrograma de cluster mostrou que a variedade CTC9001 apresentou as maiores distâncias Euclidiana de dissimilaridade fenotípica, ficando distante dos demais (FIGURA 5A). Assim, apresentou-se mais tolerante às condições de salinidade, quando comparado a outras variedades. O RB867515 e o RB93509 formaram o grupo intermediário de tolerância a salinidade, em relação ao acúmulo de massa seca. Já as variedades CTC 9003, ARCHI e CV7870 apresentaram as menores distâncias, sendo os mais sensíveis, pelo menor ganho de massa seca.

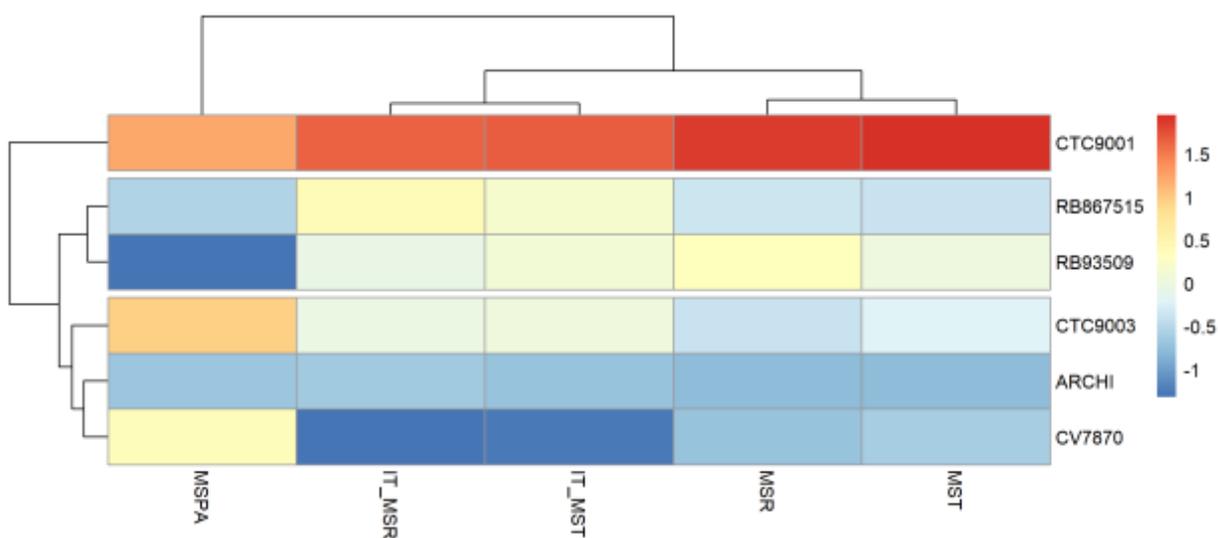
Além disso, o *heatmap* mostrou como as variedades foram agrupadas com relação as características de ganho de massa seca (Figura 5B). A variedade CTC9001 apresentou as maiores distâncias de dissimilaridade fenotípica, porque obteve maior MST, MSR, ITMST e ITMSR. Por isso, pode ser considerado tolerante à essas condições de salinidade.

O RB867515 apresentou os segundos maiores valores de ITMST e ITMSR, enquanto o RB93509, se destacou no ITMST e MSR. Dessa forma, essas variedades formaram o grupo intermediário de tolerância a salinidade. De outra forma, as variedades CTC9003, ARCHI e CV7870 foram os mais sensíveis, por apresentarem as menores distâncias de dissimilaridade fenotípica, com relação a essas características.

A



B



**Figura 5.** Dendrograma de dissimilaridade fenotípica (A) e *heatmap* de agrupamento (B) de variedades de cana-de-açúcar sob salinidade. MSR= massa seca da raiz; MSPA= massa seca da parte aérea; MST= massa seca total; ITMSR= índice de tolerância ao estresse (massa seca da raiz) e ITMST= índice de tolerância ao estresse (massa seca total).

Portanto, as variações nas características agrônômicas das variedades possibilitaram respostas distintas ao índice de tolerância. Assim, algumas plantas se comportaram como tolerantes ao nível de salinidade e outras como sensíveis, além daquelas que se mantiveram como

intermediárias, as quais não foram muito afetadas, mas que também não obtiveram expressivos ganhos de massa seca e índice de tolerância.

A análise de agrupamento comprovou os resultados obtidos, ou seja, quanto maior a diferença fenotípica de uma variedade em relação a outra, maior será sua distância Euclidiana ou dissimilaridade fenotípica. Com isso, a variedade CTC9001 foi a mais tolerante a salinidade, pois acumulou mais biomassa e obteve desempenho agrônômico e morfológico superior aos demais materiais em condições de estresse salino.

## 5. CONCLUSÃO

A variedade CTC9001 se apresentou com maiores acúmulos de biomassa total, índice de tolerância, e desempenho morfológico superior aos demais materiais, apresentando justificativa por apresentar maior distância de dissimilaridade fenotípica. Portanto, essa variedade é considerada como potencial a ser implantada em regiões semiáridos, ou seja, ambientes com níveis de salinidade próximos aos aplicados neste estudo.

A variedade CV7870 apresentou-se com maiores índices de sensibilidade ao estresse salino, devido aos menores índices de tolerâncias relacionados aos menores acúmulos de biomassa seca total e de raiz, além também da menor distância de dissimilaridade fenotípica comparado aos outros materiais. Diante disso, essa variedade não é recomendada para o plantio em regiões semi-áridas ou com altos teores de salinidade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARWAL, S.; PANDEY, V. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. **Biologia Plantarum**, v.48, p.555-560, 2004.

ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; CAMBRAIA, J. NEVES, J.C.L.; FREIRE, M.B.G.S.; FREIRE, F.J. Seleção varietal de *Phaseolus vulgaris* quanto à tolerância ao estresse salino com base em variáveis de crescimento. **Revista Ceres**, v. 57, n.1, p. 132-139, 2010.

BARBOSA, F. S.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; FARIAS, G. C.; SILVA JÚNIOR, R. J. C.; LAGE, Y. A.; HERNANDEZ, F. F. F. Yield and ion content in maize irrigated with saline water in a continuous or alternating system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.10, p.1731-1737, 2012.

BENITES, W. M.; TEIXEIRA, W. G.; REZENDE, M. E.; PIMENTA, A. S. **Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de índio**. In: As Terras Pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Ed.s: Teixeira, W. G.; Kern, D. C.; Madari, B. E.; Lima, H. N.; Woods, W. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Capítulo de livro. 286- 297, 2009.

BERNARDO, S. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. **Revista Alcoobrás**, São Paulo, n.106, p.72-80, 2006.

BHATT, M. J.; PATEL, A. D.; BHATTI, P. M.; PANDEY, A. N. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in Seedlings of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Philadelphia, v. 16, p. 383-401, 2008.

BLUMWALD, E. Sodium transport and salt tolerance in plant cells. **Current Opinion of Cell Biology**, v.12, p.76-112, 2000.

BRINDHA, C.; VASANTHA, S.; ARUNKUMAR, R. The response of sugarcane genotypes subjected to salinity stress at different growth phases. **Journal Plant Stress Physiology**, v. 5, p. 28-33. 2019.

CARPICI, E. B.; CLIK, N.; BAYRAM, G. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. **African Journal of Biotechnology**, Bowie, v. 9, n. 41, p. 6937-6942, 2010.

CARVALHO, G. R.; OLIVEIRA, C. **O setor sucroalcooleiro em perspectiva**. Campinas, SP: Embrapa, 2006. Disponível em: <[http://www.cnpem.br/publica/download/cit10\\_sugaralcohol.pdf](http://www.cnpem.br/publica/download/cit10_sugaralcohol.pdf)>. Acesso em: 18/10/2020.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. CGEE, 2001. Disponível em: <[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/estudo\\_biomassa\\_1012.pdf/21e2f32d-d3a3-474b-b505-e9cb11d8cf78?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/estudo_biomassa_1012.pdf/21e2f32d-d3a3-474b-b505-e9cb11d8cf78?version=1.0)> Acesso em: 18/10/2020.

CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. SOUTH-SOUTH AND TRIANGULAR COOPERATION ON THE BIOECONOMY in light of the Paris Agreement and the 2030. Agenda for Sustainable Development. <<https://www>

.cgee.org.br/documents/10195/734063/onu\_cgee\_Bioeconomy\_Publication\_visualization\_for\_website.pdf/382a2281-3327-4151-9d0d-b8458f20c999?version=1.1> Acesso em: 18/10/2020.

CHA-UM, S.; KIRDMANEE, C. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. **Agricultural Sciences in China**, Amsterdam, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2009.

CHICONATO, D. A. Salt stress in young sugarcane plants: biochemical and physiological responses. Tese de Doutorado, Agronomia, Produção vegetal, FCAV. Repositório institucional UNESP. 2016.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-açúcar —V. 7 - SAFRA 2020/21 N.2 - Segundo levantamento. Agosto de 2020, Brasília: Conab. <file:///D:/Downloads/BoletimZdeZcana-de-acucarZ2Zlevantamento.pdf> Acesso em: 16/10/2020.

CONAB – Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Cana-de-açúcar —V. 4 - SAFRA 2017/18 N.1 - Primeiro levantamento. Abril de 2017, Brasília: Conab. <file:///D:/Downloads/Boletim\_Cana\_1\_Levantamento\_17-18%20(1).pdf> Acesso em: 18/10/2020.

COSTA, M. E. D. Efeito do biochar e de águas salinas sobre o crescimento e nutrição do milho e na salinidade do solo. Tese. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, UFERSA, 2017.

DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B., HORIE, T., LUO, W., XU, G., SCHROEDER, J. I. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*, Oxford, v. 6, p. 371-9, 2014.

DIAS, N. da S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Embrapa Meio Norte. Capítulo em livro científico (ALICE), 2010. <[https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/889229/1/Efeitos\\_0002.pdf](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/889229/1/Efeitos_0002.pdf)> Acesso em: 27/10/2020.

EHRET, D.L. & PLANT, A.L. Salt tolerance in crop plants. (Chapter 5). Pp: 69–120. In: G.S. Dhaliwal & R. Arora (eds.). **Environmental Stress in Crop Plants**. Commonwealth Publishers, New Delhi, India. 331p, 1999.

ESTEVES, S. B., & SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 6, 2008.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.10-19, 2013.

FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; PAIVA, J. R.; SILVEIRA, J. A. G. Influência de porta-enxertos na resistência de mudas de cajueiro ao estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 4, p. 361-367, 2009.

FERREIRA, E., CAVALCANTI, P.; NOGUEIRA, D. ExpDes: An R Package for 555 ANOVA and Experimental Designs. *Applied Mathematics*, v. 5, p. 2952-2958, 2014.

FURTADO, G. F.; SOUSA, J. J. R.; XAVIER, D. A.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M. Pigmentos fotossintéticos e produção de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp. sob salinidade e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 291- 299, 2014.

GANDONOU, C. B.; BADA, F., GNANCADJA; S. L., ABRINI, J.; SKALI-SENHAJI, N. Effects of NaCl on Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and K<sup>+</sup> ions accumulation in two sugarcane (*Saccharum* sp.) cultivars differing in their salt tolerance. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, Ilhas Vitória, v. 3, p. 155-162, 2011.

GHEYI, H. R., DA SILVA DIAS, N., & DE LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: **Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010.

GUERZONI, J. T. S.; BELINTANI, N. G.; MOREIRA, R. M. P.; HOSHINO, A. A.; DOMINGUES, D. S.; BESPALHOK FILHO, J. C.; VIEIRA, L. G. E. Stress-induced D1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) gene confers tolerance to salt stress in transgenic sugarcane. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakow, v. 36, p. 309– 2319, 2014.

HASANUZZAMAN, M.; ALAM, M. M.; RAHMAN, A.; HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; FUJITA, M. Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against saltinduced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **BioMed Research Internatinal**, Juazeiro do Norte, v. 1, p. 1-17, 2014.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K. & BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 51: 463–499, 2000.

IYENGAR, E. R. R. & REDDY, M. P. Photosynthesis in highly salt tolerant plants. Pp: 897–909. *In*: M. Pesserkali (ed.). Handbook of photosynthesis. Marshal Dekar, Baten Rose, USA. 952 p., 1996.

JAMES, R. A.; RIVELLI, A. R.; MUNNS, R.; VON CAEMMERER, S. Factors affecting CO<sub>2</sub> assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. **Functional Plant Biology**. Victoria, v. 29, p. 1393–1403, 2002.

KUMAR, T.; KHAN, M. R.; JAN, S. A.; AHMAD, N.; NIAZ ALI, N.; ZIA, M. A.; ROOMI, S.; IQBAL, A.; ALI, G. M. Efficient regeneration and genetic transformation of sugarcane withAVP1 gene. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Dubai, v. 14, p. 165-171, 2014.

LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.663-675, 2011.

LIMA, S.; MARCELO, C.; SIQUEIRA, D.; BATISTA DOS, DE SOUZA. Crescimento de variedades de cana-de-açúcar sob salinidade. **Revista Ceres**, 63 (2), 265-271. 2016.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de

- vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484–490, 2011.
- MUNNS, R. Genes and salt-tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, 3: 645–66, 2005.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanism of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 651-681, 2008.
- MUNNS, R. Plant Adaptations to Salt and Water Stress: Differences and Commonalities. **Advances in Botanical Research**, New York, v. 57, p. 1-32, 2011.
- MUNNS, R.; JAMES, R. A.; GILLIHAM, M.; FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Tissue tolerance: an essential but elusive trait for salt-tolerant crops. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v.43, n. 12, p. 1103-1113, 2016.
- PEREIRA, N. A. Variáveis de custos de produção da cana-de-açúcar e suas diferenças entre as regiões produtoras. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 3, p. 757-774, 2017.
- PLĄŻEK, A., TATRZAŃSKA, M., MACIEJEWSKI, M., KOŚCIELNIAK, J., GONDEK, K., BOJARCZUK, J., DUBERT, F. Investigation of the salt tolerance of new Polish bread and durum wheat cultivars. **Acta Physiologiae Plantarum**, Krakow, v. 35, n. 8, p. 2513-2523, 2013.
- RODRIGUES, C. R. F.; SILVA, E. N.; MOURA, R. M., ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F.; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *R. communis* seedlings is associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 233-239, 2014.
- ENGAR, K., SENGAR, R. S., SINGH, A. Biotechnological and genomic analysis for salinity tolerance in sugarcane. **International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research**, Baoding, v. 4, p. 407-414, 2013.
- SILVA, A. F. **Eficiência fotossintética e proteção oxidativa em mudas de cajueiro anão precoce submetidas ao estresse salino**. 2016. 93 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campina Grande, 2016.
- SILVA, E. M.; LACERDA, F. H. D.; MEDEIROS, A. S.; SOUZA, L. P.; PEREIRA, F. H. F. Métodos de aplicação de diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em milho sob estresse salino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n.3, p. 1-7, 2016.
- SIMÕES, W. L., COELHO, D. S., MESQUITA, A. C., CALGARO, M., & DA SILVA, J. S. Aspectos fisiológicos e bioquímicos em variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse salino. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1069-1076, 2019.
- SIRIPORNADULSIL, S.; TRAINA, S.; VERMA, D. P. S.; SAYRE, R. T. Molecular mechanisms of proline-mediated tolerance to toxic heavy metals in transgenic microalgae. **Plant Cell**, v. 14, p. 1-11, 2012.
- SOUSA, V. F. O. **Comportamento vegetativo, fisiológico e produtivo na cultura do meloeiro sob salinidade**. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. (Dissertação de Mestrado em Horticultura Tropical), Programa de

Pós-graduação em Horticultura Tropical, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande – Pombal – Paraíba – Brasil, 64p. 2017.

SOUZA, F. G.; FARIAS, S. A. R.; FERREIRA FILHO, J. G. A.; BRITO, K. Q. D. Comportamento dos teores de sais em perfil de solo com vegetação nativa e culturas irrigadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 60-65, 2016.

SZABADOS, L. et al. Plants in Extreme Environments: Importance of Protective Compounds in Stress Tolerance. **Advances in Botanical Research**, New York, v. 57, p. 105-150, 2011.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. Springer, New York, cap. 9, p. 273-294, 2008.

VERMA, K.; SINGH, P.; SONG, X, P.; MALVIYA, M, K.; SINGH, R, K.; CHEN, G, L.; SOLOMON, S.; LI, Y, R. Mitigating Climate Change for Sugarcane Improvement: Role of Silicon in Alleviating Abiotic Stresses. **Sugar Tech**, v.22, p. 741–749, 2020.

WANG, Y. & NIL, N. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, 75: 623–627, 2000.

WILLADINO, L.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; SILVA, E. A.; GOUVEIA NETO, A. S. & CAMARA, T. R. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agrônômica**, 42:417-422, 2011.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, 53: 247–273, 2002.

ZIA, A.; GUO, B.; ULLAH, I.; AHMAD, R.; KHAN, M. A.; ABBASI, B. H.; WEI, Y. Salinity tolerance and site of K<sup>+</sup> accumulation in four maize varieties grown in Khyber Pakhtoonkhwa region of Pakistan. **Journal of Medicinal Plants Research**, Nsukka, v. 5, n. 25, p. 6040-6047, 2011.