

**PEDRO HENRIQUE MÁXIMO DE SOUZA CARVALHO**

**ESTRATÉGIA DE USO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

**RECIFE – PE  
JUNHO/2022**

**PEDRO HENRIQUE MÁXIMO DE SOUZA CARVALHO**

**ESTRATÉGIA DE USO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

**Orientador:** Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

**RECIFE – PE**

**JUNHO/2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- P372e Carvalho, Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho  
ESTRATÉGIA DE USO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR / Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho Carvalho. - 2022.  
72 f. : il.
- Orientador: Enio Farias de Franca e Silva.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.
1. Saccharum officinarum. 2. Salinidade. 3. Fração de lixiviação. I. Silva, Enio Farias de Franca e, orient. II. Título

CDD 630

---

Pedro Henrique Máximo de Souza Carvalho  
Engenheiro Agrônomo

**ESTRATÉGIA DE USO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DE CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo).

**Aprovado em** \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

---

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

---

Alexsandro Oliveira da Silva -UFC  
(Examinador)

---

José Amilton dos Santos Júnior – UFRPE  
(Examinador)

A DEUS, pela vida

**OFEREÇO**

Aos meus pais, José Américo de Carvalho e Sônia Maria de Souza Carvalho

Ao meu irmão, João Vitor Máximo de Souza Carvalho

A minha noiva, Maria Luiza Castro Soares

Pelo apoio em todos os momentos

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me dar forças para chegar até aqui;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Engenharia Agrícola;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA UFRPE pelo fornecimento da infraestrutura para conduzir a pesquisa;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo fornecimento de equipamentos e insumos utilizados nesse trabalho;

Ao professor Dr. Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela orientação e contribuição na elaboração deste trabalho.

Ao professor Dr. Gerônimo Ferreira por contribuir nas avaliações laboratoriais;

Aos professores Manassés Mesquita, Alessandro Oliveira e José Amilton pelas contribuições na escrita do trabalho;

A todos os professores do programa de pós-graduação em que fui aluno, pelos ensinamentos;

Aos bolsistas de iniciação científica Matheus Duarte e Francisco Moreira pela colaboração na condução do experimento;

A todos que de alguma forma contribuíram para execução deste trabalho.

Carvalho, P. H. M. S. **Estratégia de uso de água salobra na irrigação de cana-de-açúcar**. 2022. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

### **Resumo geral**

O sistema de produção de cana-de-açúcar no Brasil é responsável pela geração de emprego e renda no meio rural brasileiro e, em Pernambuco, grande parte de sua produção ocorre em áreas litorâneas. Nessas áreas, as águas utilizadas na irrigação podem apresentar alto teores de sais, devido à intrusão marinha, que, quando utilizadas sem um manejo adequado, pode acarretar a salinização dos solos e, conseqüentemente, reduzir o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, se faz necessário o conhecimento e de estratégias de uso de água salobra na agricultura, como é o caso da fração de lixiviação, que proporciona a lixiviação dos sais em excesso na zona radicular. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos do uso de águas salobras e frações de lixiviação sobre o desempenho da cana-de-açúcar, em terceira soca. O estudo foi realizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, em lisímetros de drenagem. Foi avaliada a variedade RB92579, em terceira soca, em delineamento inteiramente casualizado, tendo cinco níveis de salinidade da água de irrigação (CEa: 0,5; 2,0; 3,5; 5,0; 6,5 dS m<sup>-1</sup>) e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), com quatro repetições. Os níveis salinos foram obtidos pela adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub>, na proporção 1:1 molar. Foram avaliados, entre 60 dias após o corte (DAC) e 150 DAC: altura dos colmos, diâmetro dos colmos, área foliar, número de perfilhos e índice de área foliar. Aos 145 DAC, ocorreram as avaliações de: fotossíntese, condutância estomática e transpiração. O uso da fração de lixiviação 0,17 mostrou-se eficaz na mitigação dos efeitos do estresse causado pelo NaCl e CaCl<sub>2</sub>, resultando em maior desenvolvimento biométrico e proporcionando aumento na taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foliar das plantas. A técnica de fração de lixiviação apresentou-se como método viável no controle da salinidade, quando utilizadas águas de qualidade inferior. Assim, essa técnica pode ser usada em canaviais que possuam condições de irrigação com água salobra.

Palavras-chaves: *Saccharum officinarum*; salinidade; fração de lixiviação.

Carvalho, P. H. M. S. **Brackish water use strategy in sugarcane irrigation**. 2022. 71f. Dissertation (Master in Agricultural Engineering) - Federal Rural University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

### **General abstract**

The sugarcane production system in Brazil is responsible for generating employment and income in the Brazilian countryside and, in Pernambuco, a large part of its production takes place in coastal areas. These areas, as used in irrigation, may have high levels of salts, due to marine invasion, which, when used without proper management, can facilitate salinization of soils and, consequently, reduce that of plants. In this way, knowledge and strategies of use in agriculture are necessary, as is the case of leaching water, which provides the leaching of excess salts in the root zone. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of the use of brackish water and leaching fractions on the performance of sugarcane, in the third ratoon. Thus, the objective of this work was to evaluate the effects of the use of brackish water and leaching fractions on the performance of sugarcane, in third ratoon. The study was carried out at the Universidade Federal Rural de Pernambuco, in Recife, using drainage lysimeters. The RB92579 variety was evaluated, in a third ratoon, in a completely randomized design, with five irrigation water salinity levels (ECa: 0.5; 2.0; 3.5; 5.0; 6.5 dS m<sup>-1</sup> ) and two leaching fractions (0 and 0.17). Saline levels were obtained by adding NaCl and CaCl<sub>2</sub>, in a 1:1 molar ratio. Between 60 days after cutting (DAC) and 150 DAC were evaluated: stem height, stem diameter, leaf area, number of tillers and leaf area index. At 145 DAC, evaluations of: photosynthesis, stomatal conductance and transpiration occurred. The use of leaching fraction 0.17 proved to be effective in mitigating the effects of stress caused by NaCl and CaCl<sub>2</sub>, resulting in greater biometric development and providing an increase in photosynthetic rate, stomatal conductance and foliar transpiration of plants. The leaching fraction technique was shown to be a viable method to control salinity when using lower quality water. Thus, this technique can be used in sugarcane fields that have irrigation conditions with brackish water.

Keywords: *Saccharum officinarum*; salinity; leaching fraction.



## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1

1.INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2.OBJETIVOS.....	15
3.HIPÓTESES.....	15
2.REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1 A cultura da cana-de-açúcar .....	15
2.1.1 Aspectos botânicos e morfológicos.....	15
2.1.2 Aspectos agrônômicos e fenológicos .....	17
2.1.3 Aspectos fisiológicos.....	19
2.1.4 Demanda hídrica .....	20
2.1.5 Estresse salino .....	21
2.2 O uso de águas salobras na agricultura .....	21
2.2.1 Água salobras na irrigação da cana de açúcar .....	22
2.3 Fração de lixiviação com alternativa no controle da salinidade.....	23
3. REFERÊNCIAS.....	24

### CAPÍTULO 2

#### DESEMPENHO BIOMETRICO DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM ÁGUAS SALOBRAS NO LITORAL PERNAMBUCANO

1. INTRODUÇÃO.....	31
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
4. CONCLUSÕES.....	51
5. REFERÊNCIAS .....	51

### CAPÍTULO 3

#### EFEITO DO USO DE ÁGUA SALOBRAS E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NAS TROCAS GASOSAS DA CANA DE AÇÚCAR

1. INTRODUÇÃO.....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	62
4. CONCLUSÕES.....	67
5. REFERÊNCIAS .....	72

### CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
---------------------------	----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1</b> - Constituição da morfologia da cana-de-açúcar.....	16
<b>Figura 2</b> - Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	19

### CAPÍTULO II

<b>Figura 1</b> – Vista geral da área experimental.....	32
<b>Figura 2</b> - Vista geral dos lisímetros; estação meteorológica automática; casa de coleta do material drenado.....	33
<b>Figura 3</b> - Evapotranspiração da cultura e precipitações ao longo da condução experimental.....	39
<b>Figura 4</b> - Condutividade elétrica da água drenada nos lisímetros.....	40
<b>Figura 5</b> - Concentração de sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo dos lisímetros.....	41
<b>Figura 6</b> - Altura do colmo (AC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.....	44
<b>Figura 7</b> - Diâmetro de colmo (DC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.....	45
<b>Figura 8</b> - Área foliar (AF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.....	48
<b>Figura 9</b> - Número de plantas (NP) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.....	49
<b>Figura 10</b> - Índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.....	50

### CAPÍTULO III

<b>Figura 1</b> – Analisador de fotossíntese IRGA LI-6200 (A e B) e monitoramento das trocas gasosas em campo (C e D).....	61
<b>Figura 2</b> - Evapotranspiração da cultura e precipitações ao longo da condução experimental.....	62
<b>Figura 3</b> - Fotossíntese (A) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.....	63
<b>Figura 4</b> – Condutância Estomática (gs) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.....	64
<b>Figura 5</b> - Transpiração foliar (E) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.....	65
<b>Figura 6</b> - Eficiência instantânea no uso da água (A/E) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação .....	66
<b>Figura 7</b> - Eficiência intrínseca no uso da água (A/g) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.....	67

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

**Tabela 1** - Atributos físico-químicos do solo dos lisímetros de drenagem.....34

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância das variáveis altura de colmo (AC), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF), número de perfilhos (NP) e índice de área foliar (IAF).....41

### CAPÍTULO III

**Tabela 1** - Resumo da análise de variância das variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração foliar (E), eficiência instantânea no uso da água e eficiência intrínseca do uso de água.....62

## CAPÍTULO I

### 1.INTRODUÇÃO GERAL

Mundialmente, o Brasil destaca-se com a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a produção de açúcar e como fonte de energia renovável (MORAIS et al., 2017). A área cultivada com cana-de-açúcar e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2021/2022 foi estimada em 8,31 milhões de hectares, com produtividade média de 70,357 ton.ha<sup>-1</sup>. A produtividade estimada para a safra 2022/2023 é de 72,609 ton.ha<sup>-1</sup>, aumentando 3,2 %, principalmente em decorrência da expectativa de recuperação das lavouras do Norte-Nordeste, devido a melhoria das condições climáticas (CONAB, 2022). O maior estado produtor é o de São Paulo, com cerca de 50,1% do total produzido no país, e, Pernambuco ocupa a sétima colocação, com 2,6 % da produção nacional (CONAB, 2022).

Grande parte da produção de cana-de-açúcar no estado de Pernambuco ocorre na região costeira, e nessa região, a irregularidade das precipitações ao longo do ciclo de produção da cultura tem sido frequente nos últimos anos, o que torna a irrigação necessária para a complementação hídrica das plantas.

Todavia, em áreas litorâneas é comum a presença de águas salobras, advindas de poços costeiros, no qual, devido ao excesso de exploração causado pela irrigação, comumente ocorre uma extração superior a recarga do aquífero, fazendo com que o fluxo de água que se desloca em direção ao mar regrida, chegando a provocar o avanço da água salgada do mar em relação ao continente (LIRA, 2016; MONTENEGRO et al., 2009; COSTA SOBRINHO, 2014). Esse avanço marítimo provoca um aporte de sais na concentração das águas subterrâneas, tornando-as salobras ou salinas (COSTA SOBRINHO, 2014).

O uso de água com elevadas concentrações de sais na irrigação pode intensificar os processos de salinização e/ou sodificação dos solos, trazendo prejuízos à atividade agrícola (MUNNS e TESTER, 2008; LIRA, 2016). De acordo com Munns (2011), um dos principais problemas causados pela salinização do solo é a redução do potencial osmótico da solução do solo, assim como a acumulação excessiva de sais próximo ao sistema radicular das plantas, podendo causar distúrbios no balanço de íons e toxicidade. Situações como essas que podem afetar a produtividade e qualidade da produção.

Segundo Dias et al., (2017), a irrigação com águas que possuem elevada concentração de sais tende a resultar em efeitos adversos nas relações solo-água-plantas, o que pode ocasionar modificações nas atividades fisiológicas das plantas, como inibição do crescimento, expansão da superfície foliar, e do metabolismo do carbono primário. Além desses efeitos, Silva et al., (2019) relatam que a irrigação com águas salobras pode alterar as trocas gasosas, afetando a condutâncias estomática e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> .

Dessa forma, o uso de água salobra na irrigação requer estratégias de manejos que mitiguem o efeito dos sais na planta (DIAS et al., 2017). A cana-de-açúcar é uma glicófito classificada como moderadamente sensível à salinidade, tendo seu valor limiar na faixa de 1,7 dS m<sup>-1</sup> (MAAS, 1984; DIAS e BLANCO, 2010).

Desse modo, para minimizar os efeitos da salinidade sobre a produtividade e aspectos qualitativos da cana-de-açúcar, faz-se necessário o conhecimento e a aplicação de técnicas de manejo do uso de água com excesso de sais. Dentre essas técnicas, está o uso da fração de lixiviação, que consiste em aplicar, na irrigação, uma lâmina de água além da necessidade da cultura, para que parte dos sais provenientes da salinidade da água utilizada na irrigação, concentrem-se abaixo da zona radicular e mantenham a salinidade do solo de maneira a permitir bons rendimentos de produção.

Apesar da cana-de-açúcar ser uma cultura com expressividade de produção nacional, e que está inserida em programas de melhoramento genético para obtenção de variedades com tolerância a estresses, inclusive ambientais (OLIVEIRA et al., 2011), ainda é escasso na literatura nacional e internacionais estudos que relacionem a adoção de frações de lixiviação na produção de cana-de-açúcar irrigada com águas de qualidade inferior.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos do uso de águas salobras e frações de lixiviação sobre o desempenho da cana-de-açúcar, em terceira soca.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Avaliar a biometria da cana-de-açúcar sob irrigação com água em diferentes níveis de salinidade e frações de lixiviação;

Analisar o efeito da salinidade da água de irrigação e de fração de lixiviação sobre as trocas gasosas da cana-de-açúcar

## **3. HIPÓTESES**

O incremento da salinidade proporcionará decréscimo no desenvolvimento da cana-de-açúcar;

O emprego da fração de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar permitirá bons resultados de desenvolvimento com o uso de água de irrigação, com nível salino acima da salinidade limiar tolerado pela cultura

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

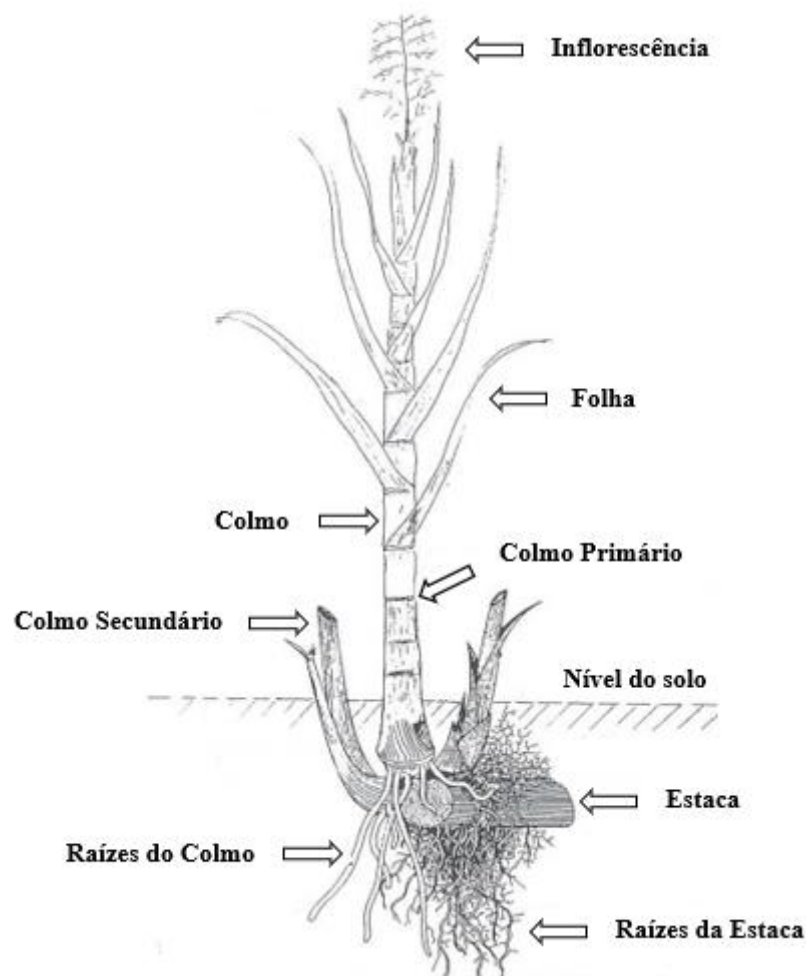
### **4.1 A cultura da cana-de-açúcar**

#### **4.1.1 Aspectos botânicos e morfológicos**

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Cyperale, família Poaceae, tribo Andropogoneae, subtribo Saccharininae e gênero *Saccharum*, de acordo com a classificação botânica descrita por Cronquist (1981). A família Poaceae é conhecida como a família das gramíneas (TZVELEV, 1989).

Trata-se de uma planta de reprodução sexuada quando cultivada comercialmente, porém, é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa (JADOSKI et al., 2011).

A cana-de-açúcar desenvolve-se em forma de touceira e compõe-se, essencialmente, de duas partes: uma subterrânea, constituída pelos rizomas e pelas raízes, e outra aérea, composta pelos colmos, folhas e inflorescência (CONSECANA, 2013) (Figura 1).



**Figura 1.** Constituição da morfologia da cana-de-açúcar  
Fonte: Adaptado de CONSECANA (2013)

O sistema radicular da cana-de-açúcar é classificado como fasciculado, de modo que a raiz principal não se distingue das secundárias, sendo todas de origem adventícia (FERRAI et al., 1978; MELO, 2017). Além de garantir a sustentação das plantas e absorção de nutriente, as raízes desempenham um papel fundamental na regeneração das soqueiras (VASCONCELOS e GARCIA, 2005).

Em boas condições de crescimento e desenvolvimento, a cana-de-açúcar desenvolve raízes que penetram profundamente no solo, característica a qual permite a planta explorar a água que está armazenada em profundidades no solo (RODRIGUES et al., 2018). Segundo Smith et al., (2005), o sistema radicular da cana de açúcar pode atingir até quatro metros de profundidade e três metros de largura, embora 80% das raízes se encontrem nos 20 cm superficiais do solo.



Segundo Silva e Silva (2012a), os rizomas são constituídos por nós ou nódios, internódios ou entrenós e gemas, os quais são responsáveis pela formação dos perfilhos da touceira. As novas touceiras da soca ou ressoca se originam dos rizomas que brotarão após a colheita.

O caule da cana-de-açúcar é do tipo colmo, o qual representa o componente mais importante, sob o ponto de vista agroindustrial. É constituído pelos gomos (também chamados de entrenós, internódios ou meritalos), pelos nós e pelas gemas (CONSECANA, 2013). O colmo é responsável pela sustentação das folhas e das panículas, seu porte pode ser ereto, semiereto ou decumbente, o que depende da idade da planta (SILVA e SILVA, 2012a).

O tecido fundamental do colmo é chamado de parênquima ou tecido suporte, e é nesse que se encontram as células com a principal função de armazenar o suco açucarado da planta (CONSECANA, 2013).

De acordo com Scarpari e Beauclair (2008), as folhas da cana-de-açúcar são completas, isto é, são compostas por bainha, colar e lâmina foliar, apresentando inserção alternada nos colmos.

As folhas da cana-de-açúcar podem apresentar comprimento e largura extremamente variados, sendo essa uma característica relacionada ao fator genético das variedades, podendo alcançar seu máximo potencial ou sofrer decréscimos, a depender das condições as quais está sendo submetida (GODOI NETO, 2018). Em termos médios, os comprimentos das folhas de cana-de-açúcar variam de 0,60 m a 1,5 m, com largura entre 2,5 cm e 10 cm (GODOY, 2007).

A inflorescência típica da cana-de-açúcar é uma panícula aberta, denominada bandeira ou flecha. As flores, que são muito pequenas, formam espigas florais agrupadas em panículas rodeadas por longas fibras sedosas, congregando-se em enormes pendões terminais de coloração cinza-prateada (SILVA e SILVA, 2012a).

Segundo Melo (2017), para a produção comercial de cana-de-açúcar, o desenvolvimento da inflorescência tem pouca importância econômica, sendo mais valorizado para o cruzamento e produção de variedades híbridas.

#### **4.1.2 Aspectos agronômicos e fenológicos**

Após o plantio, a lavoura de cana-de-açúcar permite de três a seis colheitas consecutivas, dependendo de vários fatores como: variedades, manejo de solo e de água e clima. A primeira lavoura recebe o nome de cana-planta, no seu primeiro corte; soca ou segunda folha, no segundo; e, ressoca ou folha de enésima ordem nos demais cortes, até a última colheita,

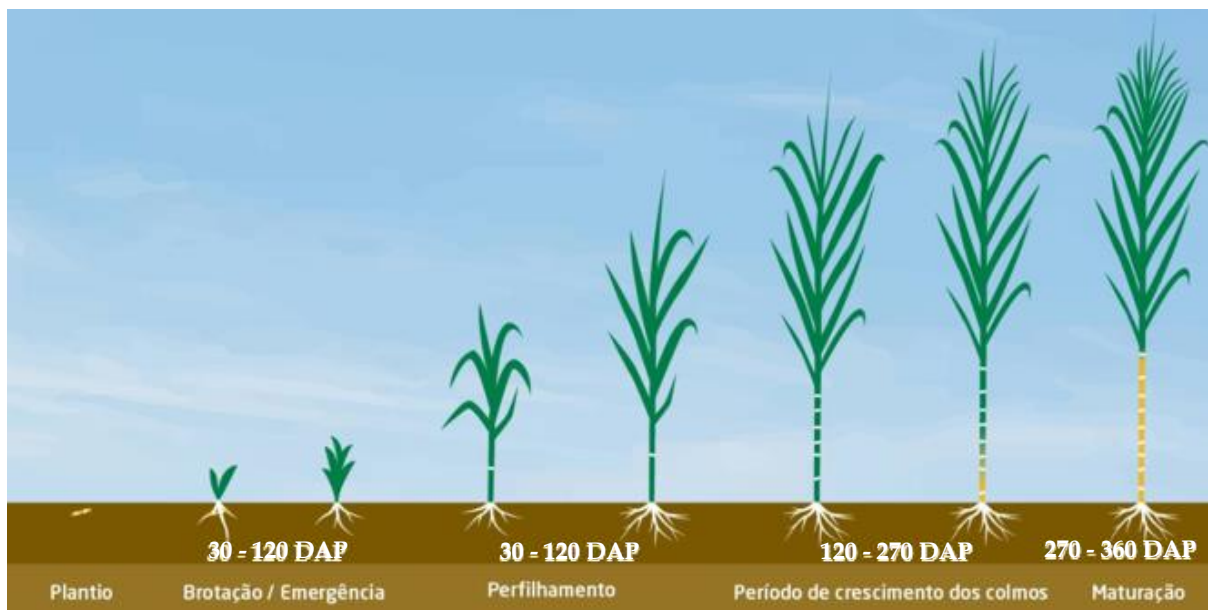
completando, assim, o ciclo da cana plantada, quando é feita a renovação do canavial (SANTIAGO e ROSSETO, 2009).

As fases de crescimento de uma planta representam as modificações no tamanho, na massa ou no volume, e de qualquer órgão dela, em função do tempo. Assim, o conhecimento da variação dos estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, durante o seu ciclo, é fundamental para que se possa modelar e quantificar o crescimento das plantas, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (MARAFON, 2012).

De acordo com Lira (2016), a condição ambiental é um fator importante no estudo da cultura canavieira, uma vez que ela envolve os limites e as possibilidades do domínio dessa atividade agrária. Consoante a isso, é o ambiente em que a cultura está inserida que determina a duração de suas fases, tendo em vista as reações fisiológicas expressadas perante as condições de cultivo.

A cana-de-açúcar possui quatro estágios fenológicos: fase de brotação e fase de estabelecimento, perfilhamento, crescimento e maturação (GODOI NETO, 2018; DIOLA e SANTOS, 2010) (Figura 2).

- A fase de brotação compreende do plantio até a compleição das brotações das gemas. Logo após o plantio, se inicia o processo de intumescimento das gemas, cujas brotações surgem dentro de 20 a 30 dias, que depende da umidade do solo. A brotação é acompanhada pelo início do transporte ativo de substâncias para os pontos de crescimento.
- A fase de perfilhamento se inicia em torno de 40 dias após o plantio, e pode durar até 120 dias.
- A fase de crescimento dos colmos começa a partir de 120 dias depois do plantio, e dura até 270 dias, em cultivo de 12 meses. Essa é uma das fases mais importantes do cultivo, pois é quando ocorrem a formação e o alongamento do colmo, resultando em produção.
- A fase de maturação em um cultivo de cana-planta se prolonga por seis meses, começando aos 270 a 360 dias após o plantio. A síntese e o acúmulo rápido de açúcar ocorrem durante essa fase, por isso o crescimento é reduzido.



**Figura 2.** Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar

Fonte: Adaptado de Brandtbrasil

Segundo Missio (2016), o plantio define a produtividade dos canaviais, pois implica na produção de colmos por área, e, se mal conduzido, pode ocasionar falhas na brotação e no perfilhamento, com consequência na redução da produtividade e dos lucros.

Para Carlin et al. (2004), uma boa brotação reflete em bom início, que trará para a área cultivada plantas vigorosas, as quais resultarão, no final do ciclo, em colheita compensadora. Em contrapartida, quando ocorrem estresses nas fases de crescimento, sejam bióticos ou abióticos, o desenvolvimento dos colmos fica limitado, provocando também redução da produtividade da cultura. As fases de desenvolvimento e os aspectos morfofisiológicos da cana-de-açúcar devem ser estudados, uma vez que os conhecimentos sobre essa cultura são importantes para a adequação das variedades à região considerada. (ABREU et al., 2013).

#### 4.1.3 Aspectos fisiológicos

A cana-de-açúcar é uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, sendo considerada altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química. Os processos de bioconversão de energia na cana-de-açúcar são mais afetados pelos seguintes parâmetros ambientais: luz, concentração de CO<sub>2</sub>, disponibilidade de água, nutrientes e temperatura (RODRIGUES, 1995).

Segundo Guerra et al., (2014) as espécies C<sub>4</sub>, como a cana-de-açúcar, em geral são mais eficientes na fixação do carbono atmosférico do que as plantas C<sub>3</sub>, principalmente em condições de temperatura elevada e estresse hídrico e salino, condições essas que estão presentes nas principais regiões de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil.

Rodrigues et al., (2018) afirmam que a cana-de-açúcar é muito eficiente em relação à síntese, translocação e armazenamento de açúcar. Quanto ao acúmulo de açúcares, os mesmos autores relatam que a sacarose é produzida nas folhas (denominado “fonte”) e translocado para os colmos (“dreno”), onde é armazenado. Os internódios imaturos ficam localizados nos topos da planta e possuem baixa concentração de açúcar. Porém, com o desenvolvimento, os internódios mais baixos acumulam a sacarose, chegando a 50% da massa de matéria seca total (BOTH A E BLACK, 2000; citado por RODRIGUES et al., 2018).

Desde os primeiros meses de crescimento e desenvolvimento da cana, o armazenamento do açúcar é processado paulatinamente nos entrenós, completamente desenvolvidos da base do caule. O acúmulo máximo de sacarose só ocorre quando a planta encontra condições restritivas ao seu crescimento, processo comumente descrito como amadurecimento (RODRIGUES et al., 2018). Sendo condições muito comuns no meio produtivo, como é o exemplo de déficit ou excesso de fertilizantes ou hídrico e salinidade.

#### **4.1.4 Demanda hídrica**

A cultura da cana-de-açúcar é adaptada às condições tropicais e subtropicais com alta disponibilidade de água, nutrientes e radiação (TEJERA et al., 2007; SILVA et al., 2011), o que proporciona uma grande produção de biomassa. Contudo, quando submetida ao estresse hídrico, durante as fases de perfilhamento e início da elongação de colmos, pode ocasionar reduções expressivas no rendimento de colmos. Entretanto, segundo Inman-bamber (2004), quando o estresse é aplicado durante a fase de maturação, tende a aumentar a concentração de sacarose nos colmos.

Em decorrência disso, percebe-se que o manejo de água adequado e estratégico, durante todo o ciclo da cana-de-açúcar, torna-se um aspecto de grande importância, visando melhorar o planejamento e a tomada de decisão da irrigação, e, conseqüentemente, aumentar a eficiência de uso da água do sistema de produção (INMAN-BAMBER E SMITH, 2005).

Dois fatores significativos para o crescimento de uma planta são: a disponibilidade de água e de nutrientes no solo. Como forma de manejar corretamente a água aplicada nas plantas de cana-de-açúcar, é preciso a identificação da necessidade hídrica durante todo o ciclo produtivo da cultura, a fim de obter máximas produtividades (WIEDENFELD e ENCISO, 2008).

Com isso, Taiz e Zeiger, (2009) relatam que a cana-de-açúcar necessita de uma grande demanda hídrica no seu desenvolvimento, estimando-se duzentos e cinquenta partes de água para formar uma parte de matéria seca.

Bernardo (2006) relata que, nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do país, o consumo hídrico diário da cultura oscila dependendo da variedade cultivada, do estágio de desenvolvimento, da evapotranspiração, dos meses do ano e da região, apresentando valores entre 2,0 e 6,0 mm dia<sup>-1</sup>. Dependendo do clima, a necessidade de água da cana-de-açúcar varia entre 1500 a 2500 mm (Avilez et al. 2018 e SILVA et al., 2012b).

#### **4.1.5 Estresse salino**

A salinidade é um dos principais estresses ambientais que afetam negativamente o crescimento e o metabolismo vegetal, além de ser um dos fatores responsáveis pelo decréscimo da produtividade de culturas nas regiões áridas e semiáridas (SOUZA et al., 2011). A redução do crescimento sob salinidade tem sido atribuída ao estresse osmótico, provocado pela redução do potencial hídrico externo, e ao efeito iônico causado pelo acúmulo de íons nos tecidos vegetais (MUNNS E TESTER, 2008).

O primeiro efeito predomina nas respostas de curta exposição ao excesso de sais, condição em que as plantas sofrem estresse osmótico e deficiência hídrica, resultante da diminuição da absorção de água pelas raízes (SOUZA et al., 2011). A toxicidade iônica, no entanto, pode se desenvolver a longo prazo (MUNNS E TESTER, 2008) e levar a alterações em uma grande variedade de reações metabólicas.

Os efeitos da salinidade sobre as plantas de cana-de-açúcar incluem restrição na assimilação do CO<sub>2</sub> e queda no teor de clorofila (SILVA et al., 2010), resultando, conseqüentemente, na redução do crescimento da planta (MUNNS et al., 2002a). Todo estresse ambiental pode acarretar em estresse oxidativo, resultado do acúmulo de espécies reativas e citotóxicas de oxigênio (MITTLER, 2002).

#### **4.2 O uso de águas salobras na agricultura**

Diante das novas políticas ambientais e da adaptação da agricultura ao uso dos recursos naturais, o uso de águas de qualidade inferior é hoje uma importante alternativa para a irrigação na agricultura mundial (TANAKA et al., 2013), principalmente devido ao elevado consumo de água na agricultura irrigada. Contudo, o manejo da irrigação dessas águas não pode ser negligenciado, já que o uso inadequado pode acarretar uma série de fatores negativos para a relação solo-planta (PUTTI et al., 2018).

Segundo Alves et al., (2011) a depleção quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos nos últimos anos tem conduzido à busca de técnicas para uso mais eficiente da água e para aproveitamento racional de águas consideradas de qualidade superior.

As águas de qualidade inferior, tais como de drenagem de irrigação; esgotos, particularmente os de origem doméstica; águas salinas e salobras, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos (LIRA et al., 2015).

O uso de águas salobras na agricultura deve ser considerado como uma alternativa importante, no que tange à utilização dos recursos naturais escassos, mas é necessário se atentar às estratégias de manejo que atenuem os efeitos negativos para a produção das culturas (DIAS et al., 2012).

Conforme descreve Brito et al., (2012), na região Nordeste, 70% do subsolo é cristalino e a predominância de rochas cristalinas, em grande parte do semiárido brasileiro, impõe características salobras e salinas às águas subterrâneas, dificultando seu aproveitamento para consumo humano.

Pelas dificuldades técnicas e orçamentárias de se recalcar águas superficiais até as áreas de produção agrícola distantes dos cursos hídricos de qualidade superior, as águas subterrâneas se apresentam com uma alternativa para o uso na agricultura. No entanto, em função das características climáticas e geológicas, essas águas são frequentemente salobras e exploradas em vazões inferiores a  $4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com teores de sólidos dissolvidos totais, em média, de  $3 \text{ g L}^{-1}$  e com predominância de cloretos (AUDRY e SUASSUNA, 1995; COSTA et al., 2006).

As águas fissurais, apesar de protegidas da evaporação direta, considerando a profundidade em que se encontram, apresentam concentrações salinas elevadas, em decorrência da aridez do clima, que é fator determinante. Há predominância do fator climático sobre o litológico, e a prova disso é a ocorrência quase exclusiva do tipo de água com predominância de cloreto de sódio, já que esse cloro, que é ausente das rochas cristalinas, é trazido majoritariamente pelas chuvas. (ALVES et al., 2011).

#### **4.2.1 Água salobras na irrigação da cana de açúcar**

O uso da irrigação tem contribuído, significativamente, para o aumento da produtividade agrícola, além da incorporação de áreas cujo potencial para exploração da agricultura é limitado, em razão de seus regimes pluviais (SANTANA et al., 2007). Por outro lado, a irrigação desordenada tem causado problemas ao meio ambiente. Dentre eles, destaca-se o uso

inadequado da água salobra, resultando na perda da capacidade produtiva do solo (RHOADES et al., 1992).

Avaliando a resposta da cana-de-açúcar, nos seus parâmetros de crescimento, quando submetida à irrigação com quatro níveis de salinidade (condutividade elétrica da água de irrigação -CEa de 0,10; 2,0; 5,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>), e três classes texturais de solo (texturas arenosa, média e argilosa), Santana et al., (2007) observaram que a cultivar SP80-1842 é sensível à salinidade da água de irrigação, durante sua fase inicial de cultivo, especificamente aos valores de CEa acima de 2 dS m<sup>-1</sup>. Fato atribuído à tolerância da cultura em ambientes salinos, uma vez que a cana-de-açúcar é classificada como moderadamente sensível à salinidade, tendo seu valor limiar na faixa de 1,7 dS m<sup>-1</sup> (MAAS, 1984; DIAS e BLANCO, 2010).

Willadino et al., (2011) ao avaliar a resposta à oito níveis de NaCl (0; 25; 50; 75; 100; 125; 150; 200 mM de NaCl) em duas variedades de cana-de-açúcar (RB867515 e RB863129), sob condições de ambiente protegido, notou que a salinidade induziu aumento na fluorescência e diminuição na concentração de clorofila, em ambas as variedades. Quanto à clorofila, perceberam uma maior redução na variedade RB863129. Observaram ainda que, nessa mesma variedade, houve aumento da atividade da peroxidase do ascorbato (APX) e da catalase (CAT), enquanto na variedade RB863129, ocorreu redução na atividade dessas enzimas.

Já Godoi Neto (2018), estudando as respostas bioquímicas da cana-de-açúcar, irrigada com cinco níveis CEa (0,5, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>) e duas frações de lixiviação (0 e 0,17), relatou que, quanto às trocas gasosas e os pigmentos fotossintéticos, ocorreu uma redução linear na medida em que se incrementou os níveis salinos. Para atividade enzimática, houve um incremento, na medida em que se intensificou o acúmulo de sais no solo, na atividade da APX e CAT.

### **4.3 Fração de lixiviação com alternativa no controle da salinidade**

Devido aos impactos causados ao solo pelo uso de águas salobras na irrigação, devem-se adotar algumas práticas de manejos adequadas que envolvam a relação solo-água-plantas, para adequar o controle da salinidade e viabilidade dos cultivos (FEIZI et al., 2010; De PASCALE et al., 2013, MOREIRA et al., 2016; COSME et al., 2018).

Para se determinar a necessidade de lixiviação ou exigência de lixiviação, necessita-se conhecer tanto a salinidade da água de irrigação como o limiar salino da cultura (RICHARDS, 1954; BARROS et al., 2005). Lima Júnior e Silva (2010) afirmam que, na estimativa de necessidades de lixiviação, leva-se em consideração as chuvas. A água da chuva que se infiltra

e é armazenada na zona radicular (chuva efetiva) satisfaz total ou parcialmente a demanda da evapotranspiração; por outro lado, a água de chuva, que atravessa a zona radicular e percola até as maiores profundidades, pode satisfazer o total ou parte das necessidades de lixiviação.

De acordo com Rhoades (1974), a necessidade de lixiviação pode ser estimada por meio de um balanço de sais. Medeiros e Gheyi (1997), citam que quando o processo de salinização atinge o equilíbrio, a relação entre a lâmina percolada e a água total aplicada é igual a relação entre a concentração de sais da água aplicada e drenada, correspondendo à fração de lixiviação (FL).

Avaliando o acúmulo de sais no perfil do solo, em função da fração de lixiviação, e utilizando água para irrigação com CE de  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ , Assis Júnior et al. (2007) observaram que nos tratamentos com frações de lixiviação de 0,14 e 0,28, ocorreu distribuição mais uniforme dos sais no perfil do solo, enquanto no tratamento sem fração de lixiviação ocorreu maior acúmulo de sais e de sódio nas camadas superiores.

## 5. REFERÊNCIAS

ABREU, M. L.; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. A.; SAMPAIO NETO, G. D. Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, v.72, p.262-270, 2013.

ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.491- 498, 2011.

ASSIS JÚNIOR., J. O.; LACERDA, C. F.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do feijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função da fração de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, v.27, n.3 p.702-713, 2007.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino: Caracterização, variação sazonal, limitações de uso**. Recife: CNPq, 128 p. 1995.

AVILEZ, A.M.A.; HERNANDEZ, F.B.T.; BISPO, R.C.; GIOVANELLI, L.B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **Irriga**, v.1, p.171-188, 2018 .DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v1n1p171-188>.

BARROS, M. F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, RUIZ, V. H. H. A. Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.320-326, 2005.

BERNARDO , S. Manejo da irrigação na cana de açúcar. Palestra no **XVI CONIRD**



**Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem.** Goiânia, 2006. 11p. Disponível em: Acesso em: 05/12/2020

BOTHA, F. C.; BLACK, K. G. Sucrose phosphate synthase and sucrose synthase activity during maturation of internodal tissue in sugarcane. **Australian Journal of Plant Physiology** . 27, 81–85. 2000.

**BRANDT BRASIL**, Disponível em: <https://brandtbrasil.com/cultura/cana-de-a%C3%A7%C3%ACar/>, acessado em 20/11/2021

BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; MELO, R. F. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: **Árvore do conhecimento** – Bioma Caatinga. 2012. In: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor///bioma\\_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor///bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzi02wx5ok01edq5s9s9b6a3.html). Acessado em 23/11/2020

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v. 51, n.296, p.457-466, 2004.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2019/2020.** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 06/05/2022.

CONSECANA. **Procedimentos e normas para o acompanhamento de análises da qualidade de cana-de-açúcar. 1º ed.**, Consecana-SP. 81p. 2013.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; MELO, M. R. S.; OLIVEIRA, A. M. P.; SILVA, G. F.; MOURA, E. S. R. Avaliação da qualidade da água de poços em comunidades da zona rural de Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, v. 7, p. 97-108, 2018.

COSTA SOBRINHO, A. F. **Análise de cenários da salinização dos aquíferos costeiros da planície de Recife levando em conta os efeitos da elevação do nível do mar.** 229p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G. E.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Águas Subterrâneas**, v.20, p.67-82, 2006.

CRONQUIST, A. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. New York: **Columbia University Press**. 1262 p. 1981.

DE PASCALE, S.; ORSINI, F.; PARDOSSI, A. Irrigation water quality for greenhouse horticulture. In Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops; FAO Plant Production and Protection Paper 217; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, p. 169–204. 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. Fortaleza – CE: INCTSal, Cap. 9, p. 130-141. 2010.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.;

LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal, Cap. 11, p.151-162. 2017.

DIAS, T. J.; CAVALCANTE, L. F.; NUNES, J. C.; FREIRE, J. L. O.; NASCIEMNTO, J. A. M. Qualidade física e produção do maracujá amarelo em solo com biofertilizante irrigado com águas salinas. **Revista Semina**, v.33, suplemento 1, p.2905-2918, 2012.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fase de cultivo. **In**: Santos, F.; Borém, A.; Caldas, C. Bioenergia, açúcar e álcool-tecnologia e perspectivas. Viçosa, MG, Cap. 2, p. 25-49. 2010.

FEIZI, M.; HAJABBASI, M. A.; MOSTAFAZADEH-FARD, B. Saline irrigation water management strategies for better yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in an arid region. **Australian Journal Crop Science**. 4, 408–414. 2010.

FERRAI, M. G.; MENEZES, N. L.; MONTEIRO-SCANAVACCA, E. R. **Glossário ilustrado de botânica São Paulo**: EBRATEC; EDUSP, 197P. 1978.

GODOY, A. P. **Modelagem de processos de acumulação de biomassa e de açúcar da cana-de-açúcar via sistemas nebulosos**. 2007. 254 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GUERRA, A.; BARBOSA, A.M.; GUIDORIZI, K.A.; SOUZA, G.M. Efeitos da temperatura do ar na fotossíntese da cana-de-açúcar na fase inicial do desenvolvimento. **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.211-217, 2014.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p.107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. SUGARCANE physiology: Integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.011>

JADOSKI, C.J.; TOPPA, E.V.B.; JULIANETTI, A.; HULSHOF, T.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Fisiologia do desenvolvimento do estágio vegetativo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v.3, p.169-176, 2011.

LIMA JÚNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.6, n.11, 2010.

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

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista GEAMA**, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. v.3, n.1, dezembro - 2015.

MAAS, E. V. Crop tolerance. **California Agriculture**, v.36, p.20-21, 1984.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29p.

(Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 168).

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Manejo do sistema solo - água - planta em solos afetados por sais. **In:** GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura. Campina Grande: UFPB - SBEA, 1997. p.239-287.

MELO, P. L. A. de. **Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) sob diferentes quantidades de palha mantidas na superfície do solo.** 2017. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MISSIO, C. **Qualidade do plantio mecanizado de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados, MS: UFGD. 51p. 2016.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 09, p. 405-410, 2002.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; PEREIRA CABRAL, J. J. S.; PAIVA, A. L. R. Águas Subterrâneas na Zona Costeira da Planície do Recife (PE): Evolução da Salinidade e Perspectivas de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n.3, p.81-93, 2009.

MORAIS, K. P.; MEDEIROS, S. L. P.; SILVA, S. D. A.; BOELTER, J. H.; DIAS, F. S. Produtividade de colmos em clones de cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.64, p.291-297, 2017.

MOREIRA, V. O. G.; Hernandez, F. F. F.; Marques, E. da S.; Luna. N. R. Salinidade da água do rio curu - Ceará no período de estiagem. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.2, p. 507 - 514, 2016.

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

MUNNS, R.; HUSAIN, S.; RIVELLI, A. R.; JAMES, R. A.; CONDON, A. G.; LINDSAY, M. P.; LAGUDAH, E. S.; SCHACHTMAN, D.; HARE, R. A. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selections traits. **Plant Soil**, v. 247, n. 01, p. 93-105. 2002.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

GODOI NETO, A. H. G. **Cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes níveis de salinidade e lâminas de lixiviação: Respostas fisiológicas e bioquímicas.** 2018. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZU, I.; K, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, São Luís, v.5, n.1, p.56-67, 2011.

PUTTI, F. F., da SILVA, A. O., JUNIOR, J. F. S., GABRIEL FILHO, L. R. A., & KLAR, A. E. Crescimento e produção da abobrinha sob irrigação com água salobra. **IRRIGA**, v. 23, n. 4,

p. 713-726, 2018.

RHOADES, J. D., KANDIAH, A.; MASHALI A. M. The Use of Saline Waters for Crop Production. **Irrig. and Drain.** Pap. 48, FAO, Rome. 1992.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: USDA, 1954. 60 p. Handbook, 60.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar.** Botucatu: Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista, 99p. 1995.

RODRIGUES, J. D.; JADOSKE, C. J.; FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; SOARES, L. H.; NETO, D. D. **Fisiologia da produção de cana-de-açúcar.** 1 ed. São Paulo: Andrei, 2018.

SANTANA, M. J.; CARAVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUZA, A. M. J.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1470-1476, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000500030>

SANTIAGO, A. D.; ROSSETO, R. **Arvore do conhecimento: cana-de-açúcar.** **Agencia Embrapa de Informação e Tecnologia**, 2009. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_75\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_75_22122006154841.html). Acesso em: 21/11/2020.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: Dinardo-Miranda, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, p.47-56. 2008.

RODRIGUES DA SILVA, A. A.; DE LIMA, G. S.; VIEIRA DE AZEVEDO, C. A.; GHEYI, H. R.; SOUZA, L. de P.; VELOSO, L. L. de S. A. Trocas gasosas e crescimento de mudas de maracujazeiro sob estresse salino e peróxido de hidrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. e55671, 2019.

SILVA, E. N. da; RIBEIRO, R.V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. Noções da cultura da cana-de-açúcar. Santa Maria, UFSM. 105p. 2012a

SILVA, T. G. F. DA; MOURA, M. S. B. DE; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. DE S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1257-1265, 2011.

SILVA, V. DE P. R. DA; BORGES, C. J. R.; FARIAS, C. H. SINGH, V. P.; ALBUQUERQUE, W. G.; SILVA, B.B. Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane

grown in a tropical region, Brazil. **Agricultural Sciences**, v.3, p.274-286, 2012b

SMITH, D. H.; INMAN-BAMBER, N. G.; THORBURN, P. J. Growth function of the sugarcane root system. **Field Crop Research, Amsterdam**, v.92, p.169-183, 2005.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V. Fotossíntese e acúmulo de solutos em feijoeiro caupi submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.586-592, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 843p. 2009.

TANAKA, T.; SATO, T.; WATANABE, K.; WANG, Y.; YANG, D.; INOUE, H.; LI, K.; INAMURA, K. irrigation system and land use effect on surface water quality in river, at lake Dianchi, Yunnan, China. **Journal Environmental Sciences**, v. 25, n. 6, p. 1107- 1116, 2013.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field CropsResearch**, v.102, p.64-72, 2007.

TZVELEV, N. N. The system of grasses Poaceae and their evolution. **The Botanical Review**. Lancaster, v.55, n.3, p.141-204, 1989.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. **Cana-de-açúcar: ambientes de produção. Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. Informações agronômicas: Encarte técnico. n. 110, 2005.

WIEDENFELD, B.; ENCISO, J. Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in semiarid south Texas. **Agronomy Journal**, v.100, n.3, p.665-671, 2008.

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

## CAPÍTULO II

### BIOMETRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM ÁGUAS SALOBRAS NO LITORAL PERNAMBUCANO

#### RESUMO

O sistema de produção de cana-de-açúcar no Brasil é responsável pela geração de emprego e renda no meio rural brasileiro, e, em Pernambuco, grande parte de sua produção ocorre em áreas litorâneas. Nessas áreas, as águas utilizadas na irrigação podem apresentar altos teores de sais, devido à intrusão marinha, que, quando utilizadas sem um manejo adequado, pode acarretar a salinização dos solos e, conseqüentemente, reduzir o desenvolvimento das plantas. Dessa forma, se faz necessário o conhecimento e a aplicação de técnicas de manejo do uso de água salobra que proporcionem aumento na biometria das plantas de cana-de-açúcar. Nesse sentido, a pesquisa tem como objetivo estudar o crescimento de cana-de-açúcar em terceira soca, irrigada com águas de diferentes salinidades e frações de lixiviação. O experimento foi conduzido em lisímetros de drenagem, na Estação de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, localizada no Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Campus Recife. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, em que foram utilizadas cinco águas com crescentes condutividades elétricas (CEa 0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>) na irrigação, e duas frações de lixiviação FL1 (0) e FL2 (0,17), com quatro repetições. Foram realizadas, mensalmente dos 60 aos 150 DAC, medições de altura dos colmos, diâmetro dos colmos, comprimento e largura mediana foliar, número de folhas verdes, área foliar, número de perfilhos e índice de área foliar. O incremento da salinidade da água de irrigação afetou negativamente todas as variáveis de crescimento da cana-de-açúcar: altura e diâmetro do colmo, número de plantas, área foliar e índice de área foliar. A fração de lixiviação FL2 reduziu os efeitos deletérios dos sais sobre as plantas.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*, manejo de sais, lisímetria

## 1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar está fortemente ligada à história do Brasil, e nos últimos anos passou por uma forte expansão da produção devido às expectativas relacionadas à produção de energia renovável. Quanto à produção, o estado de Pernambuco, na safra 2021/2022, foi responsável por 2,6% produção nacional, o que corresponde a sétima colocação (CONAB, 2022). Contudo, apesar de possuir um grande volume de áreas de produção, grande parte ocupa as áreas costeiras, e, nessas regiões, apesar dos altos índices pluviométricos anuais, a distribuição irregular em determinados períodos do ano proporciona a necessidade da prática da irrigação para obtenção de rendimentos satisfatórios (ANDRADE, 2021).

Na última década, foi evidenciado um avanço da água do mar nas zonas costeiras do litoral pernambucano, e esse advento tem proporcionado a contaminação do lençol freático em regiões de maior extração de água subterrâneas, como em canaviais irrigados. Diante disso, estratégias de utilização de águas de qualidade inferior na irrigação que visam retardar o efeito salino no solo, vêm sendo aprimorados. (BUSATO et al., 2011). Tais estratégias podem reduzir o potencial de danos do estresse salino às plantas, bem como amenizar os impactos sobre o ambiente (FREITAS, 2020).

Dentre os vários métodos, a fração de lixiviação é a mais conhecida (AYERS e WESTCOT, 1985; BERNARDO et al., 2019), pois favorece a desconcentração de sais da zona radicular, reduzindo os impactos da salinidade na produção das plantas (Gois et al., 2019). Quando utilizada no cultivo de cana-de-açúcar irrigada com água salobra na região litorânea de Pernambuco, a fração de lixiviação tem possibilitado aumento na biometria e crescimento das plantas (LIRA, 2016; MORAES, 2020).

Desta forma, objetivou-se avaliar os efeitos da irrigação com água salobra e uso de frações de lixiviação na biometria e crescimento da cana-de-açúcar de terceira soca.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Localização e características climáticas

O experimento foi conduzido na Estação de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, localizada no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) (Figura 1), Campus Recife, a 8° 01' 05" de latitude Sul e 34° 56' 48" de longitude Oeste, e altitude de 6,5 m de acordo com o sistema SAD 69 (South American Datum).

O clima da região, segundo Köppen, é classificado como tropical chuvoso (tipo As "a Mas") As" a Ams", com temperatura média anual de 27 °C e precipitação anual acima de 1700 mm (SILVA et al., 2012), sendo que a concentração de chuvas ocorre entre o outono e o inverno, entre os meses de abril e julho, com média pluviométrica mensal de 248,2 mm.

A evapotranspiração média estimada para a região está entre 1.000 mm ano<sup>-1</sup> e 1.600 mm ano<sup>-1</sup> (BARROS, 2011).



**Figura 1.** Vista geral e localização da área experimental  
Fonte: Google Earth

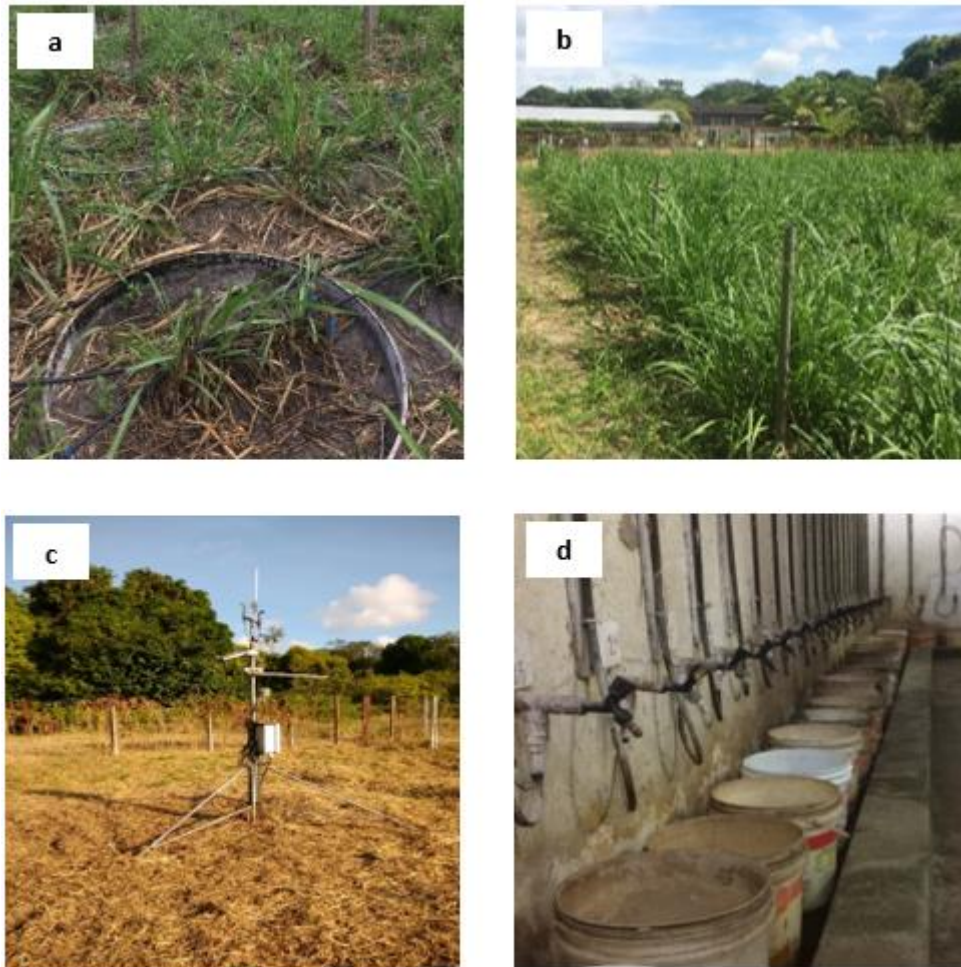
### 3.2 Caracterização das unidades experimentais

A área experimental é composta por 40 lisímetros de drenagem (Figura 2a e 2b), com capacidade de 1.000 L cada, diâmetro externo na borda superior de 1,38 m e altura externa de 0,75 m. Os lisímetros foram instalados de forma equidistantes a 1,20 m, nas duas direções, e assentados a 0,65 m de profundidade, deixando-se uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, para evitar a entrada de água de chuva ou irrigação, proveniente do escoamento superficial.

Em área ao lado à bateria de lisímetros, há uma estação agrometeorológica (Figura 2c), em que foi mensurado dados climáticos ao longo do período experimental. Além da estação



agrometeorológica, também há uma casa de coleta do material drenado dos lisímetros (Figura 2d).



**Figura 2.** Vista geral dos lisímetros (a e b); área meteorológica (c); casa de coleta do material drenado (d)

O sistema de drenagem interno dos lisímetros é composto por tubo corrugado de polietileno de alta densidade (PEAD), com 50 mm de diâmetro. O tubo corrugado é revestido com manta geotêxtil, como forma de reduzir a passagem de partículas de solo para dentro do sistema de drenagem.

### 3.3 Caracterização do solo

O material de solo acondicionado nos lisímetros é proveniente do Município de Goiana, PE ( $7^{\circ} 33' 38''$  de latitude Sul e  $35^{\circ} 00' 09''$  de longitude Oeste, e altitude de 13 m) e foi extraído da camada entre 0 e 50 cm de profundidade de um solo classificado com Espodosolo,

conforme o Sistema Brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2013). Para realização de análise físico-química do material de solo, coletou-se, com auxílio de uma cavadeira, amostras nos lisímetros na camada entre profundidade de 0 à 40 cm. Os dados da caracterização físico-química estão dispostos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos físico-químicos do material de solo dos lisímetros de drenagem

<b>Atributos Químicos</b>	<b>Valores</b>	<b>Atributos Físicos</b>	<b>Valores</b>
pH (H <sub>2</sub> O)	6,50	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	890
MO (g kg <sup>-1</sup> )	20,40	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	30
P (mg dm <sup>-3</sup> )	22,00	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	80
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,60	Densidade do solo (g cm <sup>-3</sup> )	1,80
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,65	Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> )	2,63
Na <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,06	Umidade volumétrica - 0,33 atm (%)	3,02
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,08	Umidade volumétrica - 0,15 atm (%)	1,34
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,00		
H (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,05		
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,40		
CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,40		
V (%)	4,40		

MO-Matéria orgânica; SB-Soma de bases; CTC - Capacidade de troca de cátions; V - Saturação por bases

### 3.4 Adubação Mineral

Após o resultado da análise de solo e com auxílio do manual de recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTI, 2008), foi possível concluir que não era necessário a correção do pH do solo. Ainda, com o intermédio do manual de adubação, foi aplicado 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na adubação de fundação, 60kg ha<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na primeira adubação de fundação (60 DAC), e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na segunda adubação de fundação (105 DAC), seguindo a recomendação de Oliveira et al. (2011), e tendo ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes de fertilizante.

### 3.5 Condução da cultura

A cultivar de cana-de-açúcar estudada foi a RB 92579, a qual já estava em terceira soca. A cana foi plantada na profundidade de 0,15 m, onde foram colocados, em cada lisímetro, oito rebolos por metro linear, com duas gemas cada um, e, após a brotação, foi realizado o desbaste, com o intuito de permanecer apenas com 8 plantas m<sup>-1</sup>. Foi executado também o plantio nas

entrelinhas dos lisímetros, com a intenção de formar bordaduras com o mesmo espaçamento entre plantas, e a adoção 1,20 m entre linhas.

Durante a condução experimental, foram realizados os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura, como capinas, controle de pragas e doenças.

### **3.6 Delineamento experimental e tratamentos**

Os tratamentos consistiram na utilização de cinco níveis de salinidade na água de irrigação, com crescentes condutividades elétricas (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>), e duas frações de lixiviação (0 e 0,17). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais.

Os tratamentos foram aplicados a partir dos 60 dias após o corte (DAC), tendo em vista a maior sensibilidade à salinidade da planta, na fase inicial.

### **3.7 Preparo e armazenamento da água de irrigação**

As águas utilizadas na irrigação foram preparadas e armazenadas em caixas de água de 500 litros, sendo uma caixa para cada nível salino. Cada um dos níveis de salinidade da água foi obtido por meio de adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub>, na proporção de 1:1 molar (Ca/Na) na água de abastecimento local da UFRPE, que apresentou uma condutividade elétrica (CE<sub>a</sub>) de 0,5 dS m<sup>-1</sup>. A quantificação dos sais a serem diluídos nas águas foi determinada conforme Rhoades et al., (2000).

$$Q_{\text{sais}} = 640 \times CE_a \quad \text{quando } CE < 5,0 \text{ dS m}^{-1}$$

$$Q_{\text{sais}} = 800 \times CE_a \quad \text{quando } CE > 5,0 \text{ dS m}^{-1}$$

em que:

$Q_{\text{sais}}$  = quantidade de sais (mg L<sup>-1</sup>);

$CE_a$  = representa o valor desejado da condutividade elétrica da água (dS m<sup>-1</sup>).

Para o tratamento testemunha, foi utilizado apenas a água de abastecimento local, sem adição de sais. O monitoramento da CE<sub>a</sub> ocorreu com o auxílio de um condutivímetro portátil, no momento da preparação da solução de irrigação.

### **3.8 Sistema e manejo de irrigação**

#### **3.8.1 Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, com gotejadores espaçados a 0,30 m, contendo, em cada lisímetro, quatro emissores autocompensantes do tipo PCJ/CNL da NETAFIM. A vazão unitária do emissor é de 4 L h<sup>-1</sup>, com pressão de serviço na faixa de 10 a 20 mca.

Para a distribuição do sistema de irrigação na área, foi levado em consideração as duas lâminas de lixiviação, e os cinco níveis de CEa da água, formando 10 linhas de derivação. A distribuição das soluções irrigantes ocorreu com auxílio de bombas hidráulicas de 0,5 CV.

Após a montagem do sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade de distribuição (CUD), o qual apresentou 91% de uniformidade, bem como a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), obtendo 95% de uniformidade.

#### **3.8.2 Manejo da irrigação**

As lâminas de reposição diária foram estimadas com base evapotranspiração da cultura (ETc). De início, foi aplicado, até os 60 DAC, uma lâmina com água de abastecimento local em todas as plantas, com reposição de 100% da ETc. Após esse período, iniciou-se a diferenciação dos tratamentos, sendo regido pela seguinte equação:

$$ETc = ETo \times Kc \times Kl$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

Kc = coeficiente de cultivo (adimensional);

Kl = coeficiente de localização médio, (adimensional), determinado segundo metodologia proposta por Keller & Bliesner (1990).

A ETo por sua vez, foi estimada a partir de dados de evaporação diária, quantificada com o auxílio de um tanque classe A, o qual se encontra na área da estação agrometeorológica, anexa à área experimental.

Diariamente o dado de evaporação foi obtido e aplicado na seguinte equação:

$$ETo = Kp * Eca$$

Em que:

$E_{To}$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$K_p$  = coeficiente do tanque;

$E_{ca}$  = evaporação do tanque ( $\text{mm dia}^{-1}$ ).

O valor utilizado para o coeficiente de tanque foi de 0,75, seguindo a recomendação proposta por Doorenbos e Pruitt (1997). Para o coeficiente de cultura, utilizou-se o determinado por Doorenbos e Kassam (1974).

### 3.9 Variáveis analisadas

Quanto ao monitoramento do material lixiviado e do solo, coletou-se uma alíquota da água drenada nos lisímetros e algumas amostras de solo em abril (120 DAC), em maio (150 DAC) e em junho (180 DAC) para posterior análise e determinação da razão de absorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica da água (CEa) no material lixiviado, e os elementos: cálcio, potássio, magnésio e sódio no solo.

Foram realizadas as seguintes medições mensais na cana-soca dos 60 aos 150 DAC: altura dos colmos (AC), diâmetro dos colmos (DC), comprimento (CF+3) e largura mediana foliar (LF+3), número de folhas verdes (NFV) área foliar (AF), número de perfilhos (NP) e índice de área foliar (IAC), sendo todas essas medições realizadas em três plantas previamente identificadas em cada parcela.

A determinação AC (cm) foi feita com uma fita métrica, sendo a medida feita da superfície do solo até a altura da intersecção do limbo com a bainha da folha +1, que é primeira folha da bainha visível conhecida como folha TVD (Top Visible Dewlap), de acordo com Kuijper (DILLEWIJN, 1952). O DC (mm) foi medido na altura correspondente a 1/3, a partir da base do colmo, com auxílio de paquímetro. O NP (unidades por metro linear) feito por meio da contagem do número de plantas. O CF+3 (cm) e LF+3 (cm) foram feitos a partir da medição na terceira folha +3, levando em consideração os extremos, com o auxílio de fita métrica. Em cada avaliação, foi feita a contagem do NFV (número de folhas verdes planta<sup>-1</sup>) considerando como folhas verdes, aquelas totalmente expandidas com pelo menos 20% de área foliar verde, a partir da folha +1.

Com dados de CF, LF e NFV, determinou-se a área foliar por planta (AF) das folhas verdes, por meio da metodologia proposta por Hermann & Câmara (1999), conforme a equação a seguir:

$$AF = CF \times LF \times 0,75 \times (NFV+2)$$

em que,

AF - área foliar, m<sup>2</sup>; CF - comprimento da folha, m; LF: largura da folha, m; 0,75: fator de correção para área foliar da cultura, adimensional; NFV: número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

O IAC foi determinado pela relação entre AF da planta e a superfície do solo por ela ocupada, seguindo a metodologia de Watson (1947):

em que,

$$IAC = \frac{AF}{AOPS}$$

IAC - índice de área foliar, m<sup>2</sup> folhas m<sup>-2</sup> de solo; AF - área foliar, m<sup>2</sup>;

AOPS - área ocupada pela planta no solo (espaçamento = 1,2 entre linhas x 0,15 entre plantas), m<sup>2</sup>.

### **3.10 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as variáveis com efeitos significativos pelo teste de F a 1% (p<0.01) e 5% (p<0.05) foram posteriormente analisadas por regressão, visando ajustar modelos polinomiais.

Os modelos de regressão foram selecionados com base em sua significância analisada pelo teste de F a 5% de probabilidade, e no maior valor do coeficiente de determinação.

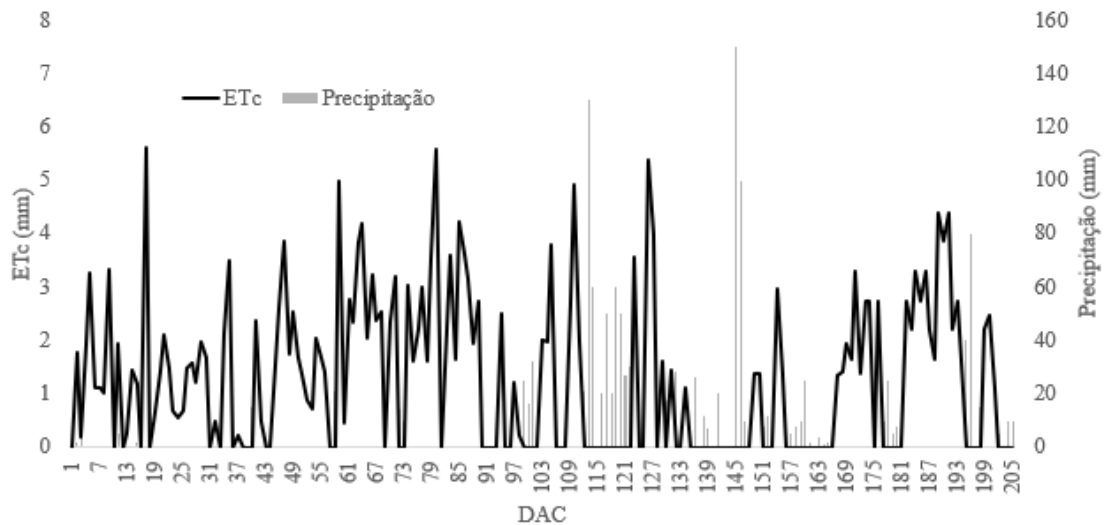
As análises foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Na Figura 3, pode-se observar a evapotranspiração da cultura e a precipitação diária na área experimental. A lâmina de água recebida via precipitação pluvial ao longo do período experimental foi de 1329 mm.

A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) acumulada ao longo do período de análise foi de 256,068 mm ciclo<sup>-1</sup>, com média de 1,25 mm dia<sup>-1</sup>. As lâminas de irrigação aplicadas com base

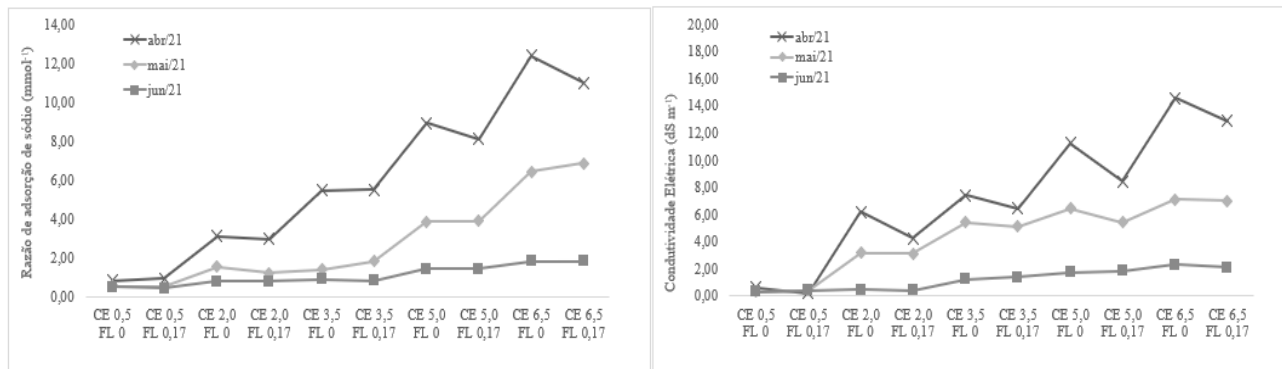
em 100% e 120% da evapotranspiração da cultura, correspondentes as frações de lixiviação FL1 e FL2, foram de 236,14 mm ciclo<sup>-1</sup> e 284,15 mm ciclo<sup>-1</sup>, respectivamente.



**Figura 3.** Evapotranspiração da cultura e precipitação pluviométrica ao longo da condução experimental

Na Figura 4, é possível analisar a razão de adsorção de sódio - RAS e a condutividade elétrica da água drenada nos lisímetros - CEa. De maneira geral, verificou-se que a RAS e CE da água drenada até 120 DAC, período com baixo índice pluviométrico, foi menor nos tratamentos com a maior fração de lixiviação – FL2. Esse efeito ocorreu devido ao fato de ser aplicada uma lâmina de irrigação maior nesses tratamentos, o que proporcionou uma maior dissolução de sais ao longo do período em que a irrigação era efetuada.

Os maiores valores de RAS e CEa ocorreram aos 120 DAC na condutividade elétrica da água de 6,5 dS m<sup>-1</sup> e na fração de lixiviação 1, sendo 12,43 e 14,56 respectivamente. Isso se deve ao fato do manejo com FL1 não proporcionar drenagem diariamente, com isso os sais ficavam acumulados no solo e só eram lixiviados quando ocorria precipitação. Lira et al. (2018) estudando a aplicação de diferentes condutividades elétricas na água de irrigação, em cultivo de cana-de-açúcar, observaram que os maiores teores de sais no lixiviado foram encontrados nas menores lâminas aplicadas, o que comprova o efeito de diluição dos sais, favorecendo uma maior absorção de nutrientes pela planta.



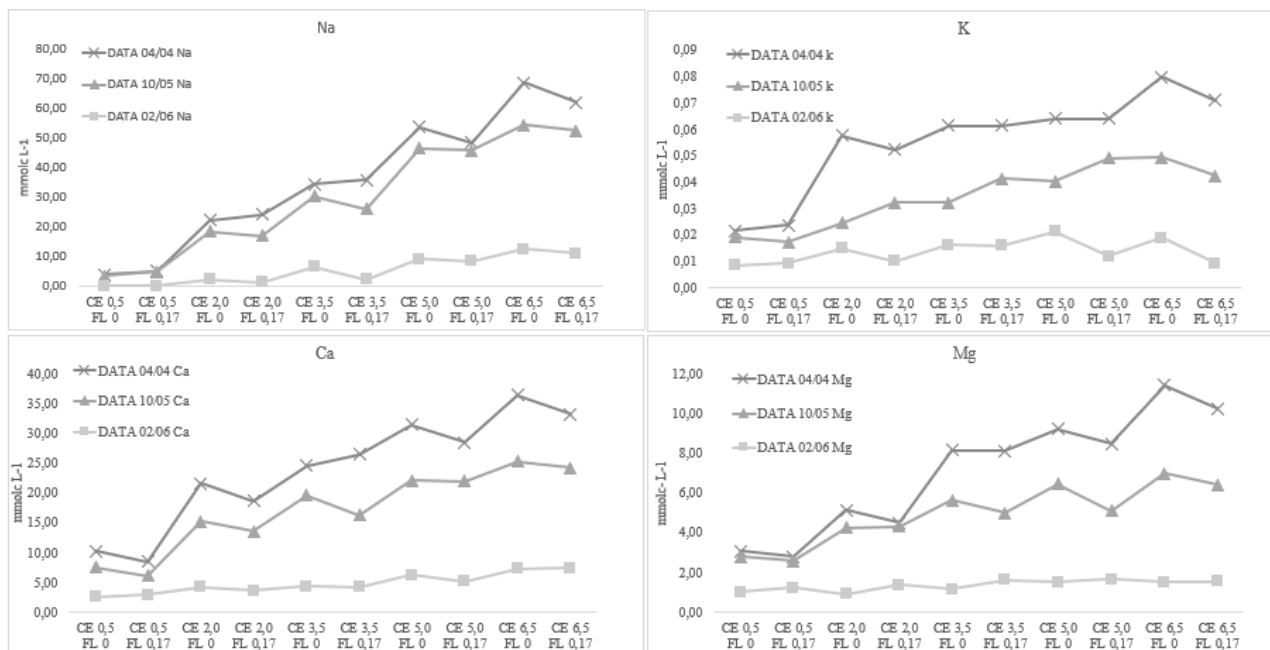
**Figura 4.** Razão de absorção de sódio e Condutividade elétrica da água drenada nos lisímetros

Após os 120 DAC, verifica-se que houve um decréscimo gradual na dissolução e lixiviação dos sais, e esse efeito é atrelado ao volume de precipitações desse período, o que culminou na dissolução de sais e na constante drenagem de todos os lisímetros.

Em relação a concentração dos sais sódio, potássio, cálcio e magnésio no solo (Figura 5), observou-se que para todos os elementos, até os 120 DAC, houve um comportamento semelhante quanto a aplicação das frações de lixiviação, no qual, os solos em que foi aplicada a FL1 apresentaram maior concentração desses sais na solução do solo. Dessa forma, a maior concentração de sódio, potássio, cálcio e magnésio foi encontrada nos tratamentos com CEa de 6,5 dS m<sup>-1</sup> e FL1, sendo 68,45, 0,08, 36,45 e 11,42 mmolc L<sup>-1</sup> respectivamente.

Entre os 120 DAC e 180 DAC, o volume de precipitações (994 mm) proporcionou a uma progressiva dissolução dos sais presentes no solo, chegando a valores menores que 13 mmolc L<sup>-1</sup> de Na, 0,02 mmolc L<sup>-1</sup> de K, 8,0 mmolc L<sup>-1</sup> e 2 8,0 mmolc L<sup>-1</sup> de Mg.





**Figura 5.** Concentração de sódio, potássio, cálcio e magnésio na solução drenada do solo dos lisímetros

Quantitativamente, os elementos mais lixiviados foram sódio e cálcio, apresentando uma variação de até 81 % para o Na e 80 % para o Ca, entre a primeira e a última avaliação. Isso se deve ao fato dos dois elementos serem moveis no solo, e se encontrarem em maior quantidade na água de irrigação. Benites et al. (2009) afirmam que, comparando os elementos essenciais que foram avaliados no solo experimental, a maior mobilidade é do íon K<sup>+</sup>, seguido do Mg<sup>2+</sup> e o menos móvel é o Ca<sup>2+</sup>, porém, Ishiguro et al. (1992) já afirmavam que, quanto maior a concentração do nutriente na solução do solo, maior é a chance dele ser perdido por lixiviação.

Na Tabela 4, pode-se verificar o resumo da análise de variância para as variáveis: altura de colmo (AC), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF), número de perfilhos (NP) e índice de área foliar (IAF). As avaliações foram realizadas em intervalos de 30 dias, iniciando aos 60 dias após a colheita (DAC) até 150 DAC, entre os meses de fevereiro a maio de 2021.

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância das variáveis altura de colmo (AC), diâmetro de colmo (DC), área foliar (AF), número de perfilhos (NP) e índice de área foliar (IAF).

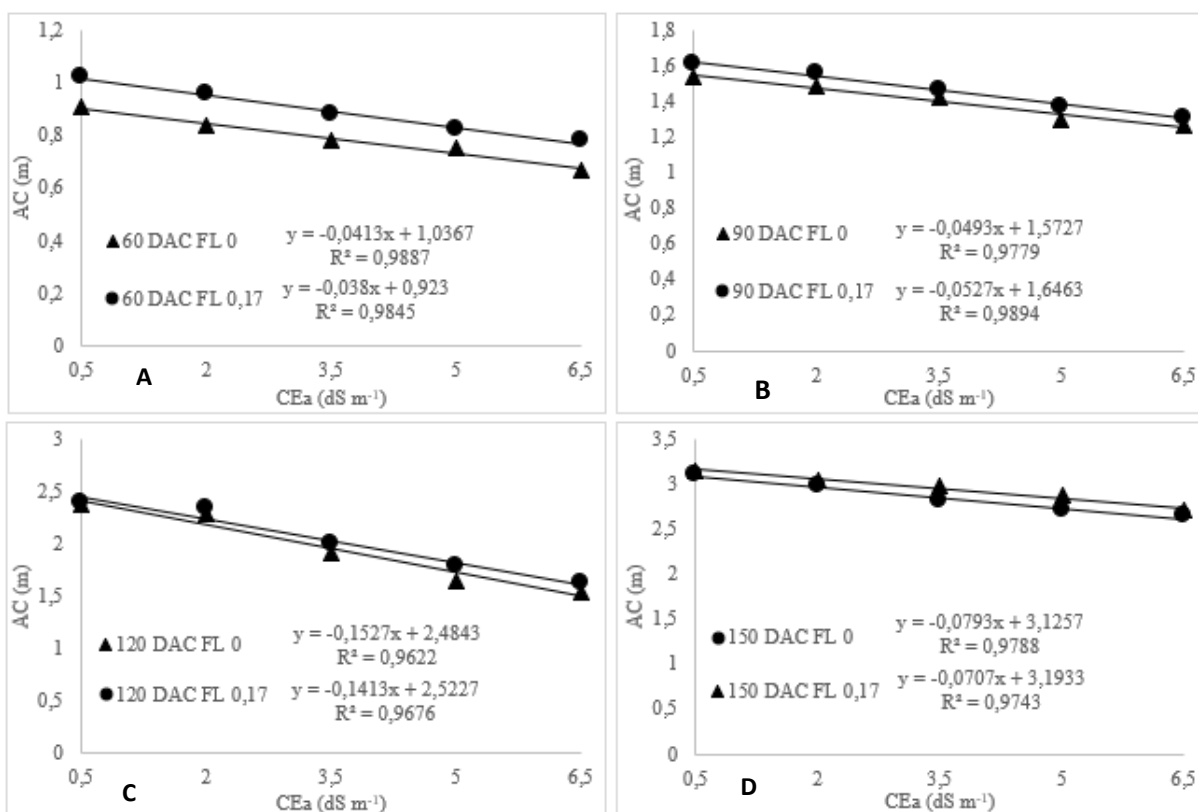
F.V	GL	ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
		AC	DC	AF	NP	IAF
60 DAC						
CE <sub>a</sub>	4	3,01*	2,35 <sup>ns</sup>	37937**	29,24**	45,24**
FL	1	0,0057 <sup>ns</sup>	3,81 <sup>ns</sup>	1395**	4,37**	14,25*
CE <sub>a</sub> x FL	4	1,04 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	26691**	0,75 <sup>ns</sup>	25,47**
CV (%)	-	16,5	14,25	0,31	7,61	0,54
90 DAC						
CE <sub>a</sub>	4	2,73*	0,74 <sup>ns</sup>	61576,47**	30,9**	62,47*
FL	1	0,78 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	4602,13**	2,4 <sup>ns</sup>	48,74*
CE <sub>a</sub> x FL	4	1,95 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	17120,42**	0,90 <sup>ns</sup>	14,84*
CV (%)	-	17,52	9,54	1,55	6,69	2,54
120 DAC						
CE <sub>a</sub>	4	3,25*	0,92 <sup>ns</sup>	2684,56**	51,9**	74,95*
FL	1	0,08 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	1289,12**	5,4*	45,98*
CE <sub>a</sub> x FL	4	1,72 <sup>ns</sup>	2 <sup>ns</sup>	3649,98**	0,9 <sup>ns</sup>	8,38*
CV (%)	-	16,86	18,24	1,93	6,14	2,14
150 DAC						
CE <sub>a</sub>	4	3,075*	6,64**	1675,95**	65,4**	34,82*
FL	1	0,02 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	1461,88**	9,6**	48,68**
CE <sub>a</sub> x FL	4	1,80 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	36,1413**	0,6 <sup>ns</sup>	53,19*
CV (%)	-	17,42	4,1	1,34	5,75	3,12

\*, \*\*Significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente; <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F; GL - Grau de liberdade; CV - Coeficiente de variação

Observou-se efeito significativo ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) para a interação salinidade da água de irrigação x fração de lixiviação para área foliar e índice de área foliar aos 60, 90, 120 e 150 DAC. Em relação aos fatores isolados, houve diferença significativo ( $p < 0,01$ ) para salinidade da água de irrigação e fração de lixiviação nas variáveis altura de colmo, aos 60, 90, 120 e 150 DAC; diâmetro de colmo, aos 150 DAC e número de perfilhos, aos 60, 90, 120 e 150 DAC.

Nas Figura 6A, 6B 6C e 6D, observa-se que a AC foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) em função dos níveis de salinidade, ajustando-se ao modelo linear decrescente, em função do aumento da salinidade da água, em que, para cada incremento unitário de salinidade, há uma redução média na AC de 0,05 m, sendo o menor valor dessa variável, aos 150 DAC, de 2,61 m, observado no maior nível de salinidade ( $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), redução percentual de 17,4% em relação ao valor estimado na CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

Para o fator isolado frações de lixiviação (FL) (Figura 3D), a variação da AC ao 150 DAC, na CEa de  $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ , para as frações de lixiviação de FL1 e FL2 foi de 0,12 m, correspondendo a 2,61 e 2,73 m respectivamente. Isso demonstra a eficiência da adoção da fração de lixiviação na manutenção do desenvolvimento vegetativo em ambiente com predominância de estresse salino. Segundo Zhang et al. (2019), o uso da fração de lixiviação no controle de sais no solo permite o deslocamento desses sais, provenientes da água de irrigação para áreas mais profundas que a zona radicular, e, conseqüentemente, promove um maior desenvolvimento das plantas.



**Figura 6.** Altura do colmo (AC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.

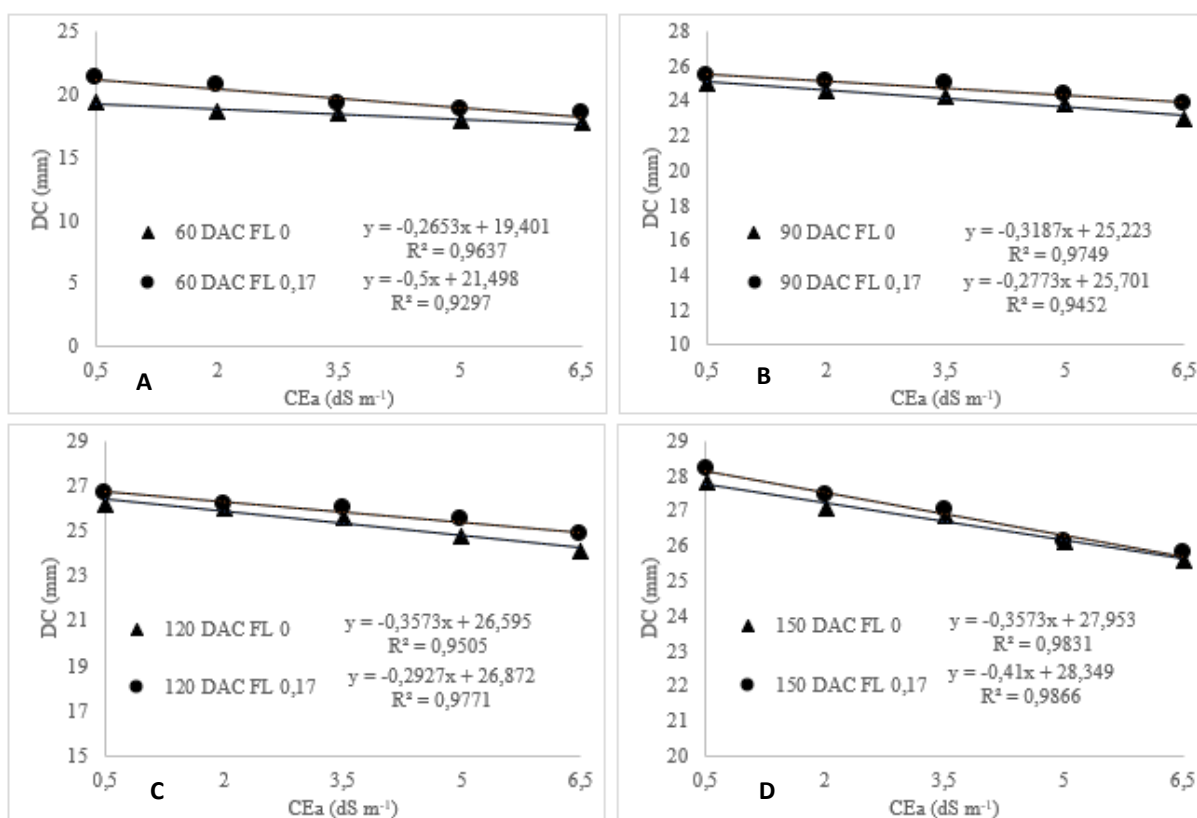
Os dados encontrados nesse trabalho se assemelham aos encontrados por Lira et al. (2018), que ao estudarem a variedade RB867515, submetida a níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5  $\text{dS m}^{-1}$ ) e as condições sem (FL1) e com fração de lixiviação (FL2) em Recife - PE, observaram altura máxima no menor nível de salinidade da água de irrigação, não sendo observada diferença significativa entre as condições de lixiviação.

Garcia e Medina (2010), ao estudarem o efeito da salinidade causada por NaCl sobre a cana de açúcar no desenvolvimento inicial, observaram reduções de até 34% na altura das plantas, o que equivale a 17% a mais da redução encontrada nesse trabalho. De acordo com Taiz et al. (2017), o excesso de sais na solução do solo modifica as atividades metabólicas celulares, limitando elasticidade da parede celular, reduzindo o alongamento celular e, conseqüentemente, crescimento vegetal.

Nas Figura 7A, 7B, 7C e 7D observa-se o efeito da condutividade elétrica da água de irrigação sobre o diâmetro de colmo aos 60, 90, 120 e 150 DAC, respectivamente. Apenas para

150 DAC, houve efeito isolado do fator salinidade da água de irrigação, e ajustou-se o modelo linear decrescente ( $p < 0,01$ ). Os valores observados para as salinidades de 0,5 e 6,5  $\text{dS m}^{-1}$  aos 60 DAC foram de 19,26 e 21,24 mm para FL1 e 17,67 e 18,24 mm para FL2; aos 90 DAC foram 25,06 e 25,56 mm para FL1 e 23,15 e 23,89 mm para FL2; aos 120 DAC foram de 26,41 e 26,76 mm para FL1 e 24,27 e 24,96 mm para FL2; e aos 150 DAC foram de 27,77 e 28,14 mm para FL1 e 25,63 e 25,68 mm para FL2, respectivamente. Os menores valores de diâmetro do colmo foram observados no maior nível de salinidade da água de irrigação ( $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ ).

Para essa variável, aos 150 DAC, houve um decréscimo médio de 0,531 e 0,454 mm para cada incremento unitário da salinidade da água de irrigação para FL1 e FL2, respectivamente. Em média, a salinidade promoveu reduções no diâmetro das plantas de 7,42 e 6,25% para FL1 e FL2, respectivamente.



**Figura 7.** Diâmetro de colmo (DC) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.

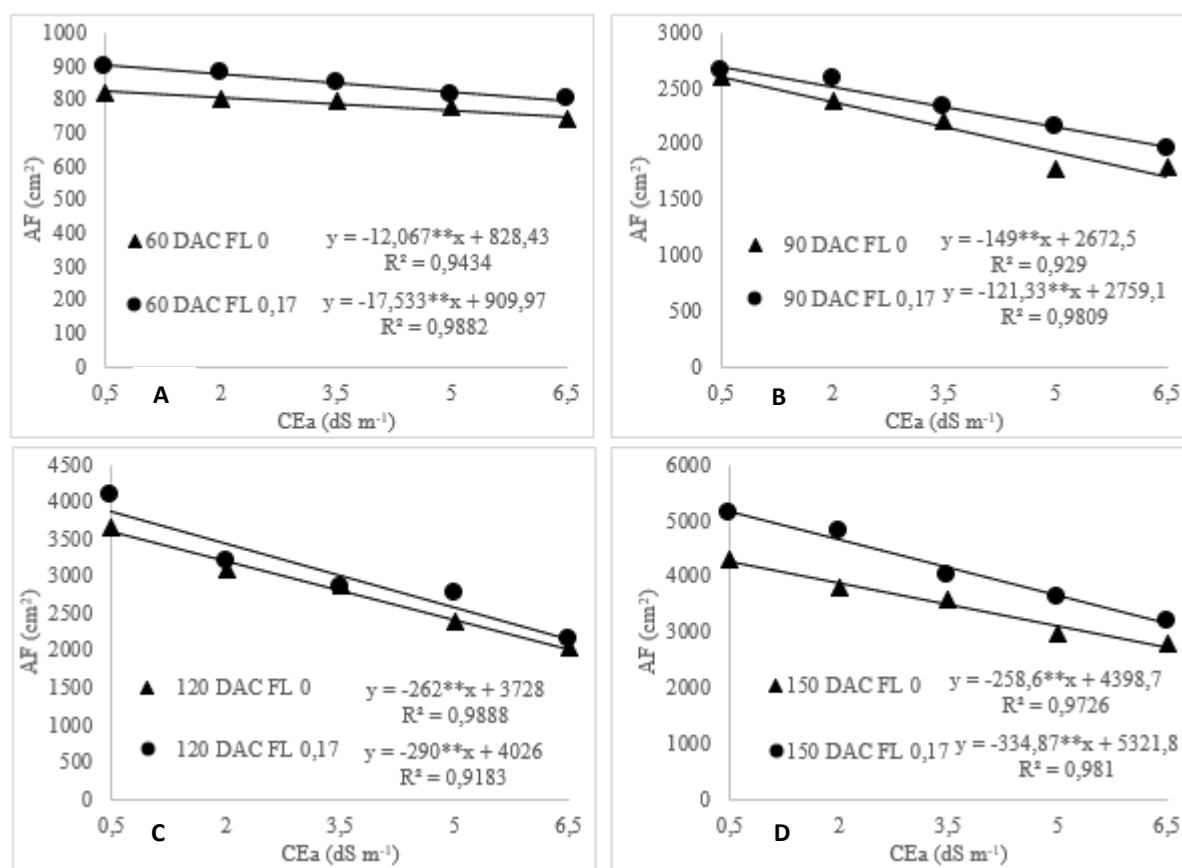
Os efeitos identificados nessa variável se assemelham aos encontrados por Simões et al. (2016), que avaliando o efeito da salinidade da água de irrigação ( $\text{CEa} = 0,1; 2,0; 4,0; 6,0$  e  $8,0 \text{ dS m}^{-1}$ ) no crescimento inicial de dez variedades de cana, inclusive RB92579, observaram

diminuição significativa no diâmetro do colmo das plantas em função do aumento da salinidade, independentemente da variedade estudada. Já Souto Filho (2013), avaliando duas variedades de cana-de-açúcar, SP813250 e RB92579, irrigadas com água salobra (CEa = 0,6; 1,6; 2,6; 3,6 e 4,6 dS m<sup>-1</sup>) observou que o diâmetro do colmo não foi afetado pela salinidade da água até 230 dias após o plantio, no entanto, após este período, observou-se diferença significativa, sendo que a variedade RB92579 apresentou a maior média.

Segundo Oliveira et al. (2011) diâmetro do caule é um parâmetro que depende não apenas das características da variedade, mas também do número de perfilhos, espaçamento utilizado e das condições ambientais. Ainda de acordo com os autores, sob estresse salino é comum ocorrerem alterações morfológicas e anatômicas nas plantas.

No que tange a área foliar (Figuras 8A, 8B, 8C, 8D), houve interação significativa entre os níveis de condutividade elétrica e as frações de lixiviação, com efeito linear decrescente. Os maiores valores de AF foram obtidos na interação CE da água 0,5 dS m<sup>-1</sup> com FL2 sendo 901,2 cm<sup>2</sup>, 2698,4 cm<sup>2</sup>, 3881,0 cm<sup>2</sup> e 5154,4 cm<sup>2</sup> para 60, 90, 120 e 150 DAC, respectivamente. Na FL1, observou-se os valores médios de AF 2821,7 cm<sup>2</sup> e 1799,2 cm<sup>2</sup> para as condutividades de 0,5 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, redução percentual de 36,23%, já a FL2, os valores médios foram de 3158,8 cm<sup>2</sup> e 2013,12 cm<sup>2</sup> (36,26%), para as condutividades de 0,5 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Houve um decréscimo médio de 255,6 e 286,4 cm<sup>2</sup> de AF para cada incremento unitário da salinidade da água de irrigação, para as condições FL1 e FL2. A maior CEa promoveu reduções na área foliar das plantas de 36,3 % e 38,9 % para FL1 e FL2 aos 150 DAC. Tais resultados se assemelham aos encontrados por García e Medina (2010), que ao efeito da irrigação com água salobra nos genótipos de cana PR692176 e V78-1, constataram a diminuição na emissão foliar e aumento de folhas secas.



**Figura 8.** Área foliar (AF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.

Para Willadino e Camara (2010), o estresse salino causa um rápido e severo decréscimo da taxa de crescimento foliar, e esse decréscimo na velocidade de alongação foliar resulta de uma redução no número de células em processo de alongação, na taxa de alongação dessas células, ou em ambos. Já TAIZ et al., (2017) relatam que plantas com deficiência hídrica ou sob condições de estresse salino tem a senescência foliar atribuída à estratégia para diminuir a superfície transpirante e o gasto metabólico para a manutenção dos tecidos e/ou mecanismos de adaptação das plantas, livrando tecidos/órgãos novos em formação da acumulação de íons tóxicos.

Nas Figura 9A, 9B, 9C e 9D pode-se observar a relação entre a condutividade elétrica da água de irrigação e o número de perfilhos aos 60, 90, 120 e 150 DAC. O fator salinidade diferiu significativamente, em todas as épocas de avaliação, obtendo os maiores valores nos tratamentos com menor valor de condutividade elétrica (CE 0,5 dS m<sup>-1</sup>). Já para o fator fração

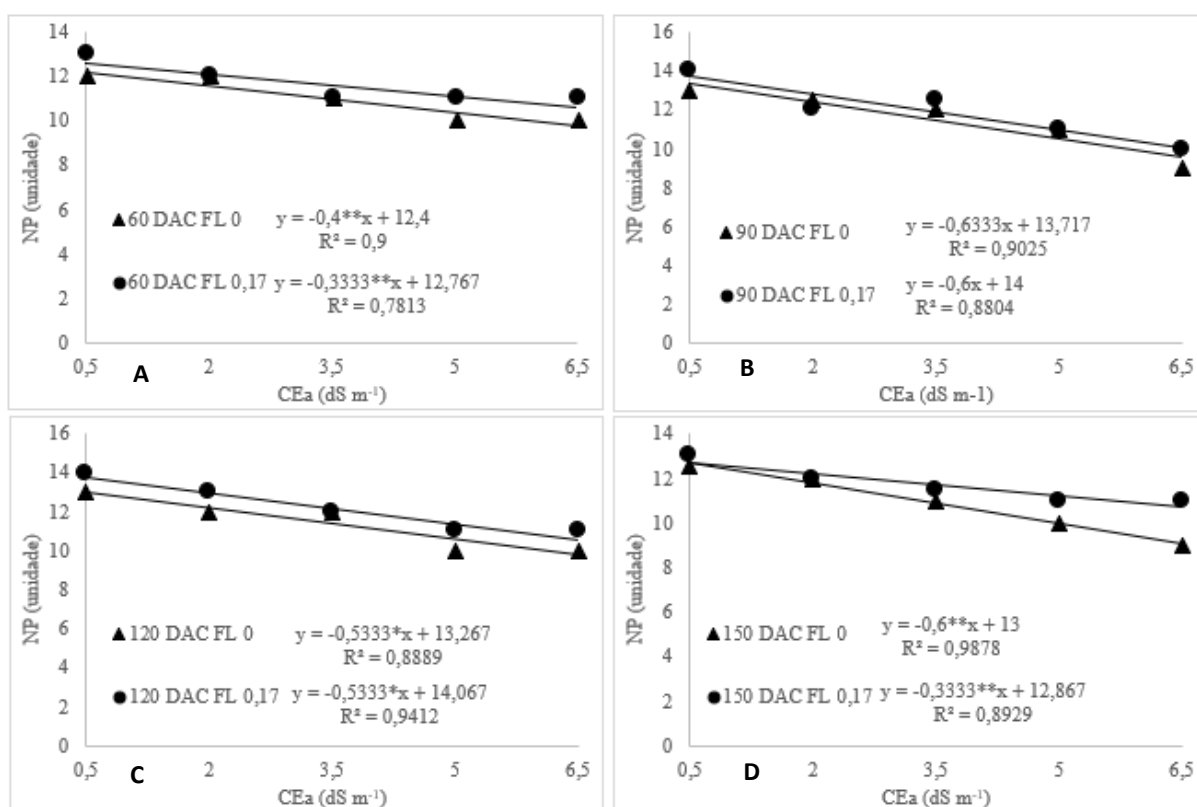
de lixiviação, a diferenciação significativa não ocorreu apenas aos 90 DAC. Para ambos fatores, observou-se uma redução linear ( $p < 0,01$ ) do número de perfilhos em função do aumento da salinidade da água de irrigação.

Os valores do NP observados aos 150 DAC nos tratamentos com FL1 e FL2, para as salinidades de 0,5 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>, foram de 12,70, 12,71, 9,1 e 10,7 respectivamente.

O maior NP (Figura 6D) foi obtido aos 120 DAC, no menor nível de salinidade da água de irrigação (CEa = 0,5 dS m<sup>-1</sup>), com valor médio de 13,81 plantas por metro linear. Após essa data, o NP diminuiu em todos os tratamentos ao final do experimento, observando-se sempre uma maior redução à medida que se aumentava os níveis de salinidade da água, sendo esse efeito atenuado com a fração de lixiviação de FL2.

O efeito da redução do NP é justificado por Manhães et al. (2015), os quais relatam que após as plantas atingirem o perfilhamento máximo, elas começam a competir por fatores de crescimento, como luz, água e espaço, o que reduz sua quantidade. Fato também observado por Lira et al. (2018), em que obteve com a variedade RB 867515 aos 120 DAP, um máximo perfilhamento de 10,85 e 12,4 perfilhos nas frações de lixiviação de FL1 e FL2, respectivamente.

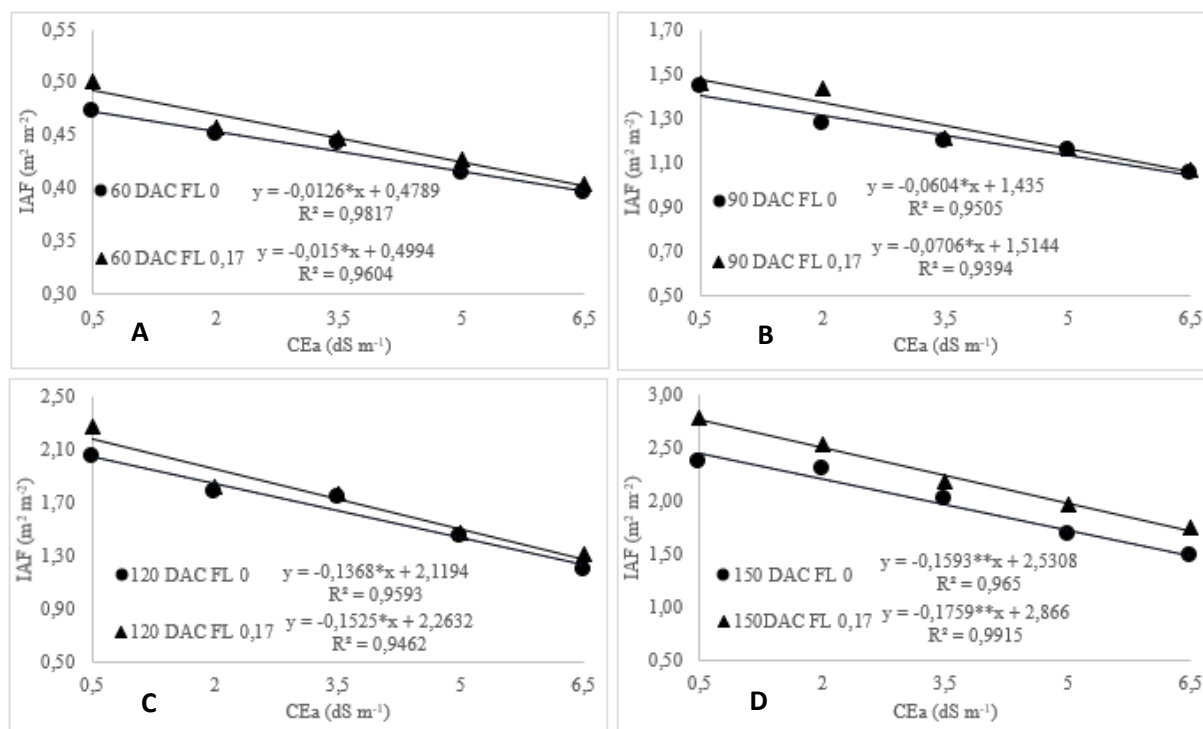




**Figura 9.** Número de plantas (NP) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.

Já Santana et al. (2007), em trabalho realizado com a irrigação de águas salinizadas com NaCl, variando de 1,0 à 8,0 dS m<sup>-1</sup>, no cultivo da cana-de-açúcar, variedade SP80-1842 por 38 dias, verificaram um decréscimo linear em função do aumento da salinidade da água para a brotação da cana. Contudo, diferindo dos resultados encontrados nesse trabalho, Garcia e Medina (2003), estudando dois genótipos de cana-de-açúcar, PR692176 e V78-1, e irrigando a partir dos 30 DAP com água enriquecida com NaCl (CEa 11,8 dS m<sup>-1</sup>) por 60 dias, não observou diferença significativa no número de perfilhos, quando comparado com o tratamento testemunha.

Para o índice da área foliar (IAF), observa-se um decréscimo médio de 0,138 e 0,155 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> no índice da área foliar para cada incremento unitário da CEa, para FL1 e FL2 (Figura 10). O maior IAF foi obtido aos 150 DAP na CEa = 0,5 dS m<sup>-1</sup>, sendo de 2,45 e 2,77 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> nas condições FL1 e FL2, respectivamente, aumento percentual de 11,55 %. Na salinidade de 6,5 dS m<sup>-1</sup>, nesse mesmo período, os valores médios de IAF foram 1,49 e 1,72 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup> (+13,3%), para FL1 e FL2, respectivamente.



**Figura 10.** Índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação (FL1 e FL2) aos 60 (A), 90 (B), 120 (C) e 150(D) dias após o corte.

De acordo com Taiz et al. (2017), maiores valores de IAF garantem as plantas maior capacidade de acúmulo de fotoassimilados e aproveitamento da energia solar, e, consequentemente, maiores produtividades.

Oliveira et al. (2007) afirmam que, além do número de perfilhos, diversas outras variáveis influenciam o IAF, tais como estresses fisiológicos, número de folhas verdes, o tamanho e largura das folhas, e a sua eficiência fotossintética. No caso deste trabalho, pode-se afirmar que o maior valor de IAF está, dentre outros fatores, associado às plantas que receberam uma menor quantidade de sais, tanto pela aplicação da água de abastecimento, como pela utilização de maiores lâminas de irrigação no manejo por fração de lixiviação. Tais resultados se assemelham aos encontrados por Moraes (2020), que, ao estudar a variedade RB92579 submetida aos crescentes valores de condutividade elétrica na água de irrigação, associado às frações de lixiviação, observou um percentual de redução no IAF de 30,5% para a FL1 e 31,3% para a FL2, entre a CE de 0,5 dSm<sup>-1</sup> e 8,0 dSm<sup>-1</sup>, o que representa 8,6% e 5,4% a menos nos valores de IAF encontrado nas frações de lixiviação FL1 e FL2 desse trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

O incremento da salinidade da água de irrigação afetou negativamente todas as variáveis de crescimento da cana-de-açúcar: altura e diâmetro do colmo, número de plantas, área foliar e índice de área foliar.

A fração de lixiviação FL2 reduziu os efeitos deletérios dos sais nas variáveis área foliar, número de perfilhos e índice de área foliar.

## 6. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. J. M DE. **Efeito do gotejamento contínuo e pulsado e lâminas de irrigação sobre aspectos fisiológicos, acúmulo e exportação de nutrientes na cana-de-açúcar** 2021. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2021.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. 174 p.
- BARROS, A. H. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: **Árvore do conhecimento** - Território Mata Sul Pernambucana – Clima. 2011.  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CON T000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CON T000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html). Acessado em 18/11/2021
- BENITES, V.M.; CARVALHO, M.C.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F.A. O potássio, o cálcio e o magnésio na agricultura Brasileira. **In:** Prochnow, L.I.; Casarin, V. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Distrito Federal, 2009. Cap. 16, p. 100-130.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545 p.
- BUSATO, C. C. M.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; MOTOIKE, S. Y.; REIS, E. F. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira ‘Niágara Rosada’. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1183-1188, 2011.
- CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco:** 2ª aproximação. 3.ed. Recife: IPA, 212 p. 2008.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, safra 2019/2020**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em 06/05/2022.

DILLEWIJN, C. VAN. Botany of sugarcane. Waltham: **Chronica Botânica**, 1952. 433p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212P. (Riego e Drenaje, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**. v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FREITAS, D. S. S. **Cultivo sustentável de gliricidia sepium em sistema de agricultura bioessalina**. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020.

GARCÍA, M. MEDINA, E. Crecimiento y morfología radical en dos genotipos de cana de azúcar (*Saccharum spp.*) sometidos a salinización con sales simples o suplementadas con calcio. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.27,n.1, p. 17-38, 2010.

GARCÍA, M.; MEDINA, E. Crecimiento y acumulación de prolina en dos genotipos de cana de azúcar sometidos a salinización con cloruro de sódio. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.20, p.168-179, 2003.

GOIS, G. C.; MATIAS, A. G. DA S; ARAÚJO, G. G. L. DE; CAMPOS, F. S.; SIMÕES, W. L.; LISTA, F. N.; GUIMARÃES, M. J. M.; SILVA, T. S.; MAGALHÃES, A. L. R.; SILVA, J. K. B. DA. Nutritional and fermentative profile of forage sorghum irrigated with saline water. **Biological Rhythm Research**, v.53, p.246-257, 2019.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.17, n.2, p.32-34, 1999.

ISHIGURO, M.; SONG, K. C.; YUITA, K. Ion transport in an Allophanic Andisol under the influence of variable charge. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, no.

6, p. 1789–1793, 1992.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

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

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SOUZA, D. H.; PEDROSA, E. M. R.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.6, p.432-438, 2018.

MANHÃES, C. M. C.; GARCIA, R. F.; FRANCELINO, F. M. A.; FRANCELINO, H. O.; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices**, v.17, n.1, p.163-181, 2015

MORAES, J. E. F. **Uso de águas salobras e fração de lixiviação no cultivo da cana-de-açúcar**. 2020. 159p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, J. F.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.579-588, 2011.

OLIVEIRA, R.; ADAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C., ZUFFELLATO- RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua relação com sua produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 71-76, abr./jun. 2007.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB. Estudos da FAO, **Irrigação e Drenagem**. 117p. 2000.

SANTANA, M. J. DE; CARVALHO, J. DE A.; SOUZA, K. J. DE; SOUSA, A. M. G. DE; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. DE B. Efeitos da salinidade da água de irrigação

na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, p.1470-1476, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para região norte de Recife-PE. **Revista Engenharia na agricultura**, v. 20, n.2, p. 163-174, 2012.

SIMÕES, W. L.; COELHO, D. S.; MESQUITA, A. C.; CALGARO, M.; SILVA, J. S. DA. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Revista Caatinga**, v.32, p.1069-1076, 2019. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n423rc>.

SOUTO FILHO, L. T. **Crescimento e produção de dois genótipos de cana-de-açúcar com suplementação de regas com águas salinizadas**. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, p. 41-76, 1947.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, n.11, p. 1-23, 2010.

ZHANG, C.; LIA, X.; KANGA, Y.; WANG, X. Salt leaching and response of *Dianthus chinensis* L. to saline water dripirrigation in two coastal saline soils. **Agricultural Water Management**, v.218, n.1, p.8-16, 2019.

## CAPITULO III

### EFEITO DO USO DE ÁGUAS SALOBRAS E FRAÇÕES DE LIXIVIAÇÃO NAS TROCAS GASOSAS DE CANA DE AÇÚCAR

#### RESUMO

Objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação nas trocas gasosas da cana-de-açúcar de terceira soca em Recife, PE. O experimento foi conduzido em lisímetros de drenagem no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos consistiram na utilização de cinco águas, com diferentes e crescentes condutividades elétricas na água de irrigação - CEa (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>), e duas frações de lixiviação FL1 (0) e FL2 (0,17). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. As variáveis analisadas foram fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência instantânea do uso de água e eficiência intrínseca do uso de água. A irrigação com água salobra reduziu a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração foliar das plantas. A fração de lixiviação 0,17 mitigou os efeitos do estresse salino nas trocas gasosas. O estresse causado pela adição NaCl e CaCl<sub>2</sub> na água de irrigação elevou a eficiência no uso da água, demonstrando a habilidade da espécie em se adaptar as condições adversas.

Palavras chave: *Saccharum officinarum*; estresse abiótico; eficiência fotossintética.

#### 1. INTRODUÇÃO

No estado de Pernambuco, as grandes áreas de produção de cana-de-açúcar estão concentradas nas áreas costeiras, (GODOI NETO, 2018), e nessas regiões a irregularidade na distribuição sazonal da precipitação tem afetado a produção dos canaviais. Com isso, torna-se indispensável a prática da irrigação para obtenção de bons rendimentos. Porém, essa técnica é feita na maioria das vezes, com utilização de águas subterrâneas, que tem sua qualidade reduzida devido a exploração em excesso superior a recarga natural do aquífero, e, conseqüente avanço da água do mar em relação ao continente, tornando-a salobra ou salina (COSTA SOBRINHO, 2014; FERREIRA, 2014).

A alta concentração de sais no solo reduz o potencial osmótico, comprometendo a absorção de água pelas plantas, especialmente em espécies sensíveis (LIRA et al. 2018). A cana-de-açúcar é um glicófito moderadamente sensível a sais (SENGAR et al., 2013; KUMAR et al., 2014) e, quando submetida à salinidade, pode sofrer alterações nas atividades fisiológicas (SANTANA et al., 2007), como na arquitetura do dossel, em que a área foliar da planta tende a ter o crescimento restringido, afetando os processos de fotossíntese e transpiração foliar (SMIT e SINGELS, 2006; TRENTIN et al., 2011). Cha-Um e Kirdmanee (2009) realçam que quando submetida a estresse salino, a cana-de-açúcar diminui a produção de clorofilas e carotenoides, o que provoca prejuízos na fotossíntese e desenvolvimento das plantas.

Desse modo, faz-se necessário a utilização de estratégias de manejo para mitigar o efeito do excesso de sais sobre as plantas. Segundo Carvalho et al. (2012), uma estratégia bastante utilizada em áreas que utilizam água de qualidade inferior é a fração de lixiviação, que representa a aplicação de uma quantidade de água maior do que a requerida pela evapotranspiração da cultura, resultando na desconcentração dos sais na zona radicular.

Assim, objetivou-se avaliar o efeito da salinidade da água de irrigação e frações de lixiviação nas trocas gasosas da cana-de-açúcar de terceira soca em Recife, PE.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e características climáticas**

O experimento foi conduzido em lisímetros de drenagem, na Estação de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, localizada no Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Campus Recife, a 8° 01' 05" de latitude Sul e 34° 56' 48" de longitude Oeste, e altitude de 6,5 m de acordo com o sistema SAD 69 (South American Datum).

O clima da região, segundo Köppen, é classificado como tropical chuvoso (tipo As "a Mas"), com temperatura média anual de 27 °C e precipitação anual acima de 1700 mm (Silva et al., 2012), sendo que a concentração de chuvas ocorre entre o outono e o inverno, entre os meses de abril e julho, com média pluviométrica mensal de 248,2 mm.

A evapotranspiração média estimada para a região está entre 1.000 mm ano<sup>-1</sup> e 1.600 mm ano<sup>-1</sup> (Barros, 2011).



## 2.2 Caracterização das unidades experimentais

A área experimental é composta por 40 lisímetros de drenagem, com capacidade de 1.000 L cada, diâmetro externo na borda superior de 1,38 m e altura externa de 0,745 m. Os lisímetros foram instalados de forma equidistantes a 1,20 m, nas duas direções, e assentados a 0,65 m de profundidade, deixando-se uma borda de 0,10 m acima da superfície do solo, para evitar a entrada de água de chuva ou irrigação, proveniente do escoamento superficial.

Em área ao lado à bateria de lisímetros, há uma estação agrometeorológica, em que foi mensurado dados climáticos ao longo do período experimental. Além da estação agrometeorológica, também há uma casa de coleta do material drenado dos lisímetros.

O sistema de drenagem interno dos lisímetros é composto por tubo corrugado de polietileno de alta densidade (PEAD), com 50 mm de diâmetro. O tubo corrugado é revestido com manta geotêxtil, como forma de reduzir a passagem de partículas de solo para dentro do sistema de drenagem.

## 2.3 Caracterização do solo

O solo utilizado dentro dos lisímetros é proveniente do Município de Goiana, PE (7° 33' 38" de latitude Sul e 35° 00' 09" de longitude Oeste, e altitude de 13 m) e classificado com Espodossolo, segundo a classificação do Sistema Brasileiro de classificação de solos (SANTOS et al., 2013). Para realização da análise, coletou-se, com auxílio de uma cavadeira, amostras de solo nos lisímetros em profundidade de 0 – 40 cm. Os dados da caracterização físico-química são: Ta: areia, silte e argila = 890, 30 e 80 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, classe textural = areia, densidade do solo = 1,80 kg dm<sup>-3</sup>, densidade da partícula = 2,63 kg dm<sup>-3</sup>, umidade volumétrica (0,33 atm) = 3,02%, umidade volumétrica (15 atm) = 1,34%, matéria orgânica = 20,40 g kg<sup>-1</sup>, pH(H<sub>2</sub>O) = 6,5, P = 22,0 mg dm<sup>-3</sup>, K<sup>+</sup> = 0,08 cmolc dm<sup>-3</sup>, Ca<sup>2+</sup> = 1,6 cmolc dm<sup>-3</sup>, Mg<sup>2+</sup> = 0,65 cmolc dm<sup>-3</sup>, Na<sup>+</sup> = 0,06 cmolc dm<sup>-3</sup>, Cu = 0,78 mg dm<sup>-3</sup>, Zn = 0,43 mg dm<sup>-3</sup>, Mn = 0,62 mg dm<sup>-3</sup>, H<sup>++</sup>Al<sup>3+</sup> = 3,05 cmolc dm<sup>-3</sup>, Al<sup>3+</sup> = 0 cmolc dm<sup>-3</sup>, capacidade de troca de cátions = 5,40 cmolc dm<sup>-3</sup>, saturação por bases = 44,26%, saturação por alumínio = 0%, soma de bases = 2,39 cmolc dm<sup>-3</sup>, Percentagem de sódio trocável = 1,10 %, CEes = 0,42 dS m<sup>-1</sup>.

## 2.4 Adubação Mineral

Após o resultado da análise de solo e com auxílio do manual de recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTI, 2008), foi possível concluir que não era necessário a correção do pH do solo. Ainda, com o intermédio do manual de adubação, foi aplicado 35 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na adubação de fundação,

60kg ha<sup>-1</sup> de N, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na primeira adubação de fundação (60 DAC), e 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na segunda adubação de fundação (105 DAC), seguindo a recomendação de Oliveira et al. (2011), e tendo ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes de fertilizante.

## **2.5 Condução da cultura**

A cultivar de cana-de-açúcar estudada foi a RB 92579, a qual já estava em terceira soca. A cana foi plantada na profundidade de 15 cm, onde foram colocados, em cada lisímetro, oito rebolos por metro linear, com duas gemas cada um, e, após a brotação, foi realizado o desbaste, com o intuito de permanecer apenas com 8 plantas m<sup>-1</sup>. Foi executado também o plantio nas entrelinhas dos lisímetros, com a intenção de formar bordaduras com o mesmo espaçamento entre plantas, e a adoção 1,20 m entre linhas.

Durante a condução experimental, foram realizados os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura, como capinas, controle de pragas e doenças.

## **2.6 Delineamento experimental e tratamentos**

Os tratamentos consistiram na utilização de cinco águas, com diferentes e crescentes condutividades elétricas na água de irrigação - CEa (0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>), e duas frações de lixiviação FL1(0) e FL2 (0,17). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais.

Os tratamentos foram aplicados a partir dos 60 dias após o corte (DAC), tendo em vista a maior sensibilidade à salinidade da planta, na fase inicial.

## **2.7 Preparo e armazenamento da água de irrigação**

As águas utilizadas na irrigação foram preparadas e armazenadas em caixas de água de 500 litros, sendo uma caixa para cada nível salino. Cada um dos níveis de salinidade da água foi obtido por meio de adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> na proporção de 1:1 molar (Ca/Na) na água de abastecimento local da UFRPE, que apresentava uma condutividade elétrica (CEa) de 0,5 dS m<sup>-1</sup>. A quantificação dos sais a serem diluídos nas águas foi determinada conforme Rhoades et al., (2000).

$$Q_{\text{sais}} = 640 \times \text{CEa} \quad \text{quando CE} < 5,0 \text{ dS}^{-1}$$

$$Q_{\text{sais}} = 800 \times \text{CEa} \quad \text{quando CE} > 5,0 \text{ dS}^{-1}$$

em que:

$Q_{\text{sais}}$  = quantidade de sais ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$CE_a$  = representa o valor desejado da condutividade elétrica da água ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

Para o tratamento testemunha, foi utilizado apenas a água de abastecimento local, sem a adição de sais. O monitoramento da  $CE_a$  ocorreu com o auxílio de um condutivímetro portátil, no momento da preparação da solução de irrigação.

## **2.8 Sistema e manejo de irrigação**

### **2.8.1 Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, com gotejadores espaçados a 0,30 m, contendo, em cada lisímetro, quatro emissores autocompensantes do tipo PCJ/CNL da NETAFIM. A vazão unitária do emissor é de  $4 \text{ L h}^{-1}$ , com pressão de serviço na faixa de 10 a 20 mca.

Para a distribuição do sistema de irrigação na área, foi levado em consideração as duas lâminas de lixiviação, e os cinco níveis de salinidade da água, formando 10 linhas de derivação. A distribuição das soluções irrigantes ocorreu com auxílio de bombas hidráulicas de 0,5 CV.

Após a montagem do sistema de irrigação, foi realizado o teste de uniformidade de distribuição (CUD), o qual apresentou 91% de uniformidade, bem como a determinação do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), obtendo 95% de uniformidade.

### **2.8.2 Manejo da irrigação**

No tocante ao manejo de irrigação, as lâminas de reposição diária foram estimadas com base evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). De início, foi aplicado, até os 60 DAC, uma lâmina com água de abastecimento local em todas as plantas, com reposição de 100% da  $ET_c$ . Após esse período, iniciou-se a diferenciação dos tratamentos, sendo regido pela seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_l$$

em que:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$ET_o$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$K_c$  = coeficiente de cultivo (adimensional);

Kl = coeficiente de localização , (adimensional), determinado segundo metodologia proposta por Keller e Bliesner (1990).

A ETo por sua vez, foi estimada a partir de dados de evaporação diária, quantificada com o auxílio de um tanque classe A, o qual se encontra na área meteorológica anexa à área experimental.

Diariamente o dado de evaporação foi obtido e aplicado na seguinte equação:

$$ETo = Kp * Eca$$

Em que:

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

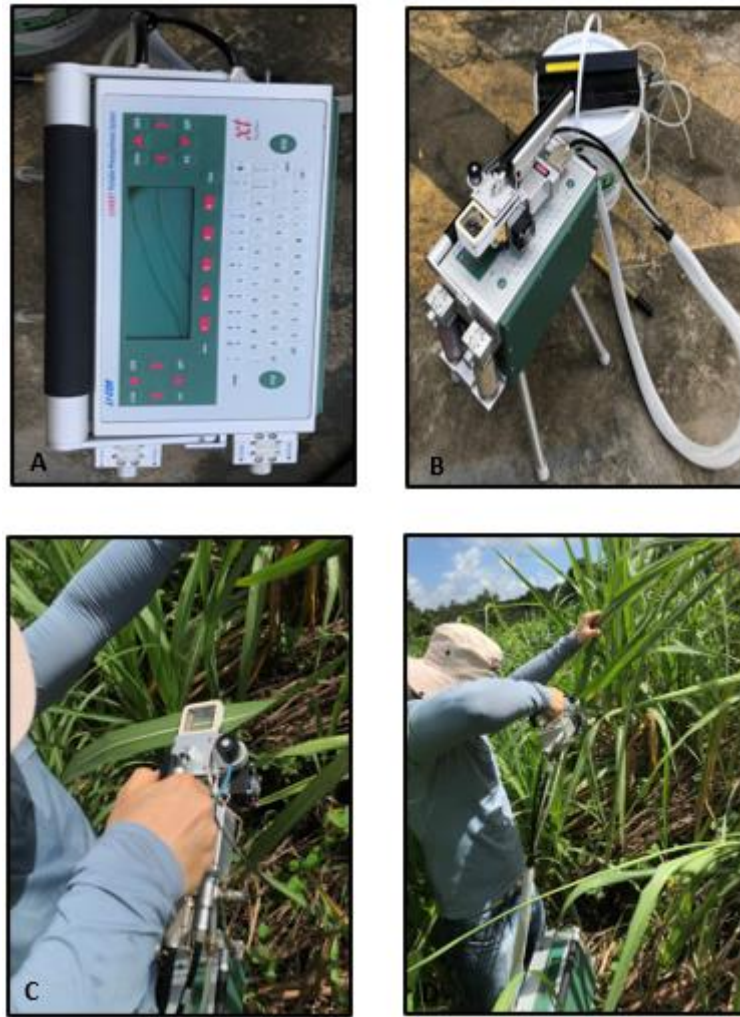
Kp = coeficiente do tanque;

Eca = evaporação do tanque (mm dia<sup>-1</sup>).

O valor utilizado para o coeficiente de tanque foi de 0,75, seguindo a recomendação proposta por Doorenbos e Pruitt (1997). Para o coeficiente de cultura, utilizou-se o determinado por Doorenbos & kassam (1974).

### **3.9 Variáveis analisadas**

Aos 145 DAP, a troca gasosa foi avaliada pelas variáveis: fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E), usando um analisador de gás infravermelho (IRGA LI-6200). De posse dessas variáveis, foram calculadas as seguintes relações: eficiência instantânea do uso de água (A/E) e eficiência intrínseca do uso de água (A/gs). As leituras foram realizadas entre 11h e 13h, um horário de sol intenso e alta demanda de evapotranspiração, em um dia típico sem nebulosidade, para evitar instabilidades por variações rápidas em radiação solar (Figura 1).



**Figura 1.** Analisador de fotossíntese IRGA LI-6200 (A e B) e monitoramento das trocas gasosas em campo (C e D).

Todas as análises foram realizadas em uma folha por lisímetro, fisiologicamente ativo e não sombreado, na folha +3, segundo à numeração proposta por Kuijper (Dillewijn, 1952).

## 2.10 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, e as variáveis com efeitos significativos pelo teste de F a 1 ( $p < 0.01$ ) e 5% ( $p < 0.05$ ) de probabilidade foram posteriormente analisadas por regressão, visando ajustar modelos polinomiais.

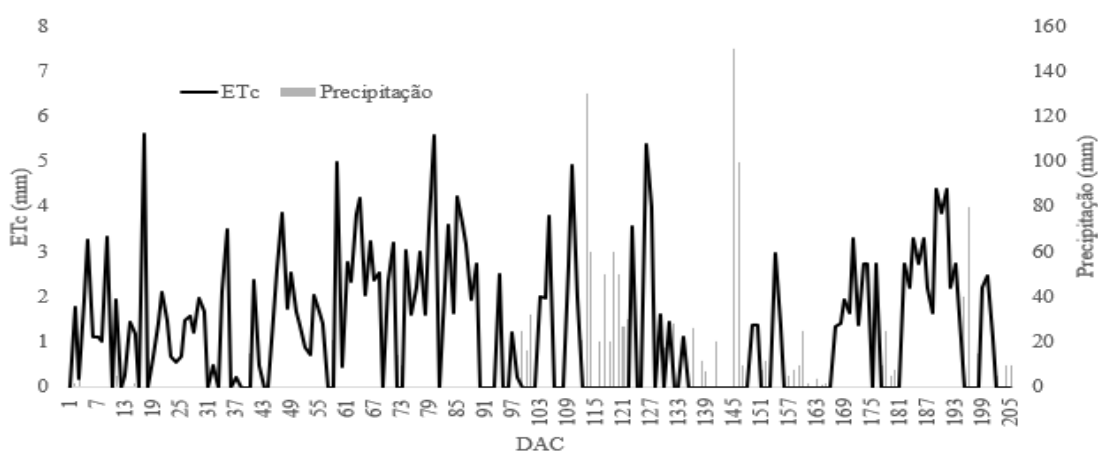
Os modelos de regressão foram selecionados com base em sua significância analisada pelo teste de F a 5% de probabilidade, e no maior valor do coeficiente de determinação.

As análises foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2, pode-se observar a evapotranspiração da cultura e as precipitações na área experimental ao longo do ciclo. A lâmina de água recebida via precipitação pluvial (P) ao longo do período foi de 1329 mm.

A evapotranspiração da cultura (ETc) acumulada ao longo do período de análise foi de 256,068 mm, com média de 1,25 mm dia<sup>-1</sup>. As lâminas de irrigação aplicadas com base em 100% e 120% da evapotranspiração da cultura, correspondentes às frações de lixiviação FL1 e FL2, foram de 236,14 e 284,15 mm, respectivamente.



**Figura 2.** Evapotranspiração da cultura e precipitações ao longo da condução experimental

Na Tabela 1, pode-se verificar o resumo da análise de variância para as variáveis fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência instantânea do uso de água e eficiência intrínseca do uso de água.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância das variáveis fotossíntese (A), condutância estomática (gs), transpiração foliar (E), eficiência instantânea no uso da água e eficiência intrínseca do uso de água.

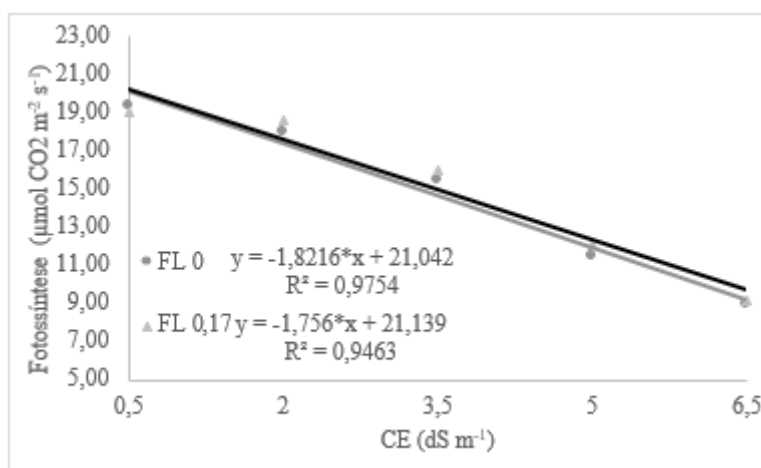
F.V	GL	ANÁLISE DE VARIÂNCIA				
		A	gs	E	A/E	A/gs
CEa	4	0,2191 *	0,3934 *	0,7343 **	0,4684 *	0,7520 *
FL	1	0,5116 *	0,1223 ns	0,5280 *	0,2246 **	1,1318 *
CEa x FL	4	2,0953 ns	2,8348 *	1,9659 ns	0,4392 ns	1,4719 ns
CV (%)	-	9,58	2,85	7,61	11,75	19,85

Observou-se efeito significativo ( $p < 0,05$ ) apenas para a interação salinidade da água de irrigação x fração de lixiviação na variável gs. Em relação aos fatores isolados, houve diferença significativa ( $p < 0,01$  e  $0,05$ ) para salinidade da água de irrigação, em todas as

variáveis analisadas. Já para o fator frações de lixiviação, houve diferença estatística ( $p < 0,01$  e  $0,05$ ) nas variáveis A, E, A/E e A/gS.

Na Figura 3, observa-se que a A foi influenciada significativamente ( $p < 0,05$ ) em função dos níveis de salinidade, ajustando-se o modelo linear decrescente em função do aumento da salinidade da água, onde para cada incremento unitário de salinidade há uma redução média no A de  $2,50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo o menor valor dessa variável, de  $9,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (FL1) e  $9,72 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (FL2), observado no maior nível de salinidade ( $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), redução percentual de  $54,2 \%$  (FL1) e  $52,0 \%$  (FL2) em relação ao valor obtido na CEa de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

Valores semelhantes aos encontrados nesse trabalho,  $9,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , foram obtidos por Souto Filho et al. (2014) aos 180 DAP na cana-de-açúcar, variedade SP813250 submetida a  $6,5 \text{ dS m}^{-1}$  e Lira et al. (2018) aos 150 DAP na cana-de-açúcar variedade RB9579, também submetida a  $6,5 \text{ dS m}^{-1}$ .



**Figura 3.** Fotossíntese (A) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.

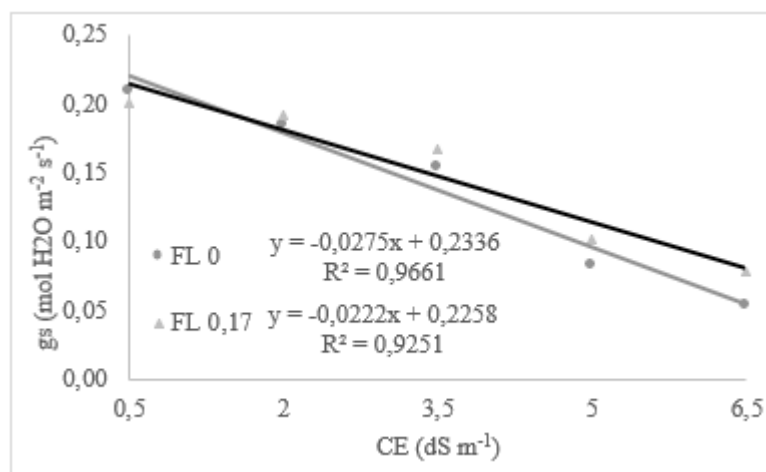
Para o fator isolado frações de lixiviação (Figura 3), a variação média da A para as frações de lixiviação FL1 e FL2 foi de  $0,32 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , correspondendo a  $2,56 \%$ . As plantas cultivadas sob manejo com a FL de 0,17 obtiveram maior taxa fotossintética, o que representa uma maior capacidade de formação de fotoassimilados, em comparação com a FL1, quando submetidas ao estresse salino.

De acordo com Simões et al. (2019), salinização do solo afeta significativamente as trocas gasosas de variedades de cana-de-açúcar, e sua avaliação detalhada pode demonstrar a adaptabilidade às condições de estresse impostas. Além disso, Taiz et al. (2017) relatam que as

taxas mais elevadas de condutância estomática, transpiração e fotossíntese levam a maior desenvolvimento das plantas.

Quanto a variável condutância estomática, nota-se que a interação entre a fração de lixiviação FL1 e o menor nível salino na água de irrigação ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) resultaram nos maiores valores de  $g_s$  ( $0,219 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), diferindo estatisticamente a nível de 0,005.

O incremento na salinidade da água inibiu linearmente a condutância estomática, com taxa média de  $0,037 \text{ (mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$  por unidade de aumento na condutividade elétrica da água de irrigação. Segundo Munns e Tester (2008), o estresse osmótico reduz a disponibilidade de água para as plantas, e, conseqüentemente, pode inibir as trocas gasosas e o crescimento do vegetal.



**Figura 4.** Condutância Estomática ( $g_s$ ) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.

Comparativamente, a condutância estomática foi maior nas plantas irrigadas com água de abastecimento local ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) do que em plantas irrigadas com águas mais salinas (Figura 4). Assim, a redução na condutância estomática está atrelada à tentativa de adaptação das plantas à condição de estresse. De acordo com a redução da condutância estomática é uma importante estratégia da cana-de-açúcar para evitar a desidratação das folhas.

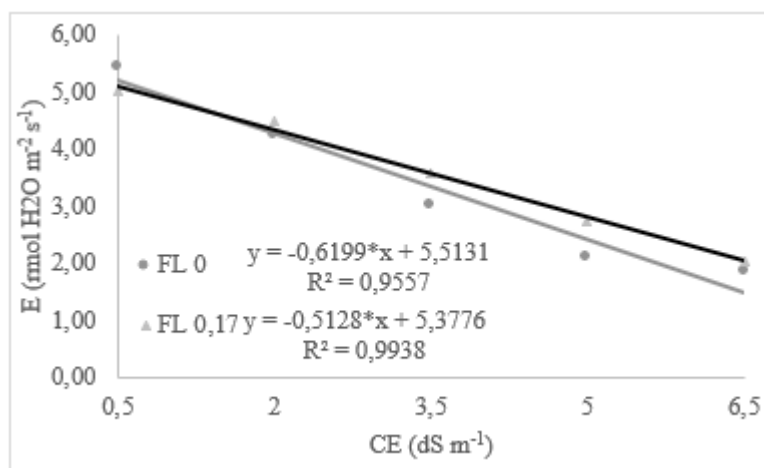
Lira et al. (2018), em trabalho realizado na mesma área experimental, estudando a variedade RB 867515, também obteve um declínio nos valores de  $g_s$ , na medida em que incrementava sais na água de irrigação. Já Barbosa e Teixeira Filho (2017) e Gonçalves et al. (2010), ao estudarem a transpiração foliar e a condutância estomática nas variedades SP79-1011, RB72454, RB98710 e RB92579 de cana de açúcar, em função da disponibilidade hídrica,



perceberam que, em plantas com menor restrição hídrica, há um aumento de gs e E, em relação às plantas que apresentam maior restrição de água.

A tendência nos dados de transpiração foi semelhante à da variável condutância estomática, ou seja, uma redução com incremento na salinidade (figura 5). Observa-se decréscimos de 0,929 e 0,768 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na transpiração para cada incremento unitário da condutividade elétrica da água de irrigação (CEa), nas frações de lixiviação FL1 e FL2 respectivamente.

O maior valor de salinidade (CEa = 6,5 dS m<sup>-1</sup>) na água de irrigação promoveu reduções médias na E de 71,48 % e 59,98 % para FL1 e FL2, respectivamente, quando comparadas às plantas irrigadas com água de abastecimento (CEa = 0,5 dS m<sup>-1</sup>). Segundo Zhang et al. (2019), o uso da fração de lixiviação no controle de sais no solo, permite o deslocamento destes sais provenientes da água de irrigação para áreas mais profundas que a zona radicular, e, conseqüentemente, promove um maior desenvolvimento das plantas.

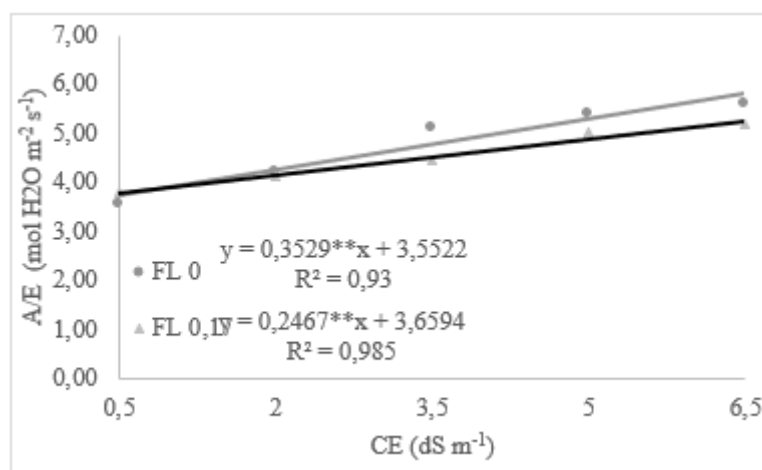


**Figura 5.** Transpiração foliar (E) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.

Pacheco (2012), em seus estudos utilizando as variedades RB867515, RB92579, RB72454 e RB855536, induzindo-as ao estresse salino por NaCl, observou reduções de até 76% na transpiração foliar, tendo a diferença de 5 % a menos da redução encontrada nesse trabalho. Situação semelhante foi relatada por Souto Filho et al. (2014), que observaram diminuição na condutância estomática e transpiração duas variedades, SP813250 e RB92579, submetidas ao estresse salino. Já Chiconato, (2016), analisando o efeito de crescentes dosagens de NaCl sobre o efeito das trocas gasosas e a produtividade das cultivares SP 81-3250 e IAC 87-3396, identificou danos e um efeito descende linear, de acordo com aumento de concentrações de NaCl (0, 40, 80 e 160 mM).

A salinidade altera o processo fotossintético, em especial, quanto a redução da área foliar da planta, a transpiração, os teores de clorofila e condutância estomática, prejudicando assim a eficiência do fotossistema II (FSII), o que limita a taxa fotossintética da planta (GILLIHAM, 2006; SENGAR et al, 2013).

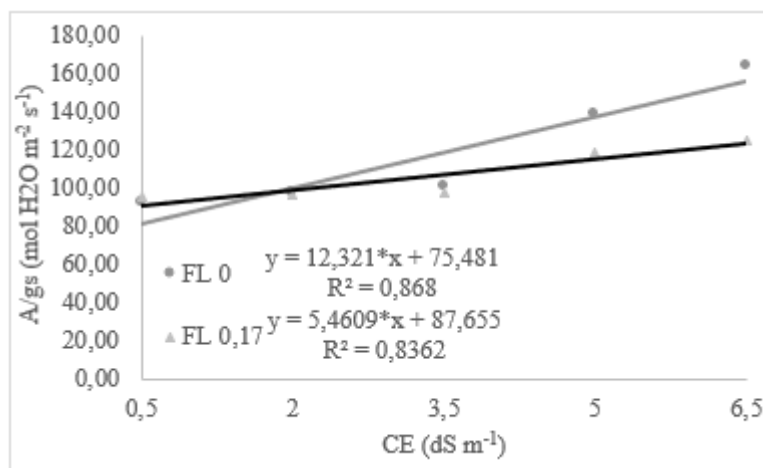
No tocante a eficiência instantânea no uso da água (A/E), percebe-se uma correlação negativa com a transpiração foliar, aumentando em média 11,99%, 10,67%, 9,62 % e 8,76 % a cada incremento de salinidade na irrigação das plantas (Figura 6). Para o fator fração de lixiviação, a FL1, associada a maior condutividade elétrica (6,5 dS m<sup>-1</sup>), proporcionou o maior valor de A/E, sendo de 5,84 μmol CO<sub>2</sub>. mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>.



**Figura 6.** Eficiência instantânea no uso da água (A/E) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação

O estresse salino e a conseqüente redução da transpiração foliar podem atuar como estratégia para aumentar a eficiência no uso da água que, no entanto, depende de outros fatores como: a taxa fotossintética, a área foliar e a espessura da folha (CANAVAR et al. 2014; HASAN et al. 2017). Efeito semelhante ao encontrado por Jangpromma et al. (2012), que ao estudar o efeito de regimes hídricos sobre as trocas gasosas e o desenvolvimento vegetativo da cana de açúcar, observaram um aumento da A/E nos tratamentos com maior restrição hídrica.

Para eficiência intrínseca do uso da água, houve aumento na medida em que se incrementou a quantidade de sais no solo, com efeito linear crescente.



**Figura 7.** Eficiência intrínseca no uso da água (A/g<sub>s</sub>) em cana-de-açúcar, variedade RB 92579, submetida a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação e frações de lixiviação.

Os valores observados na FL1 foram de 81,63 e 155,59 mol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para as salinidades de 0,5 e 6,5 dS m<sup>-1</sup>, representando um incremento percentual de 48,35%. Já para a FL2, os valores médios foram de 90,38 e 123,14 mol CO<sub>2</sub> mol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para os respectivos níveis de salinidade apresentados anteriormente, aumento percentual de 26,60%. A maior eficiência intrínseca do uso da água para a FL1 pode estar relacionada aos menores valores da condutância estomática (Figura 4), apresentados anteriormente. Efeito semelhante ao encontrado por Godoi Neto (2018), que na mesma condição experimental, observou efeito linear crescente na A/g<sub>s</sub>, conforme era incrementado sais no sistema, atingindo um aumento percentual de 34,72% e 32,77% para as frações de lixiviação FL1 e FL2, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

A irrigação com água salobra reduziu a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração foliar das plantas.

A fração de lixiviação 0,17 mitigou os efeitos do estresse salino nas trocas gasosas.

O estresse causado pela adição NaCl e CaCl<sub>2</sub> na água de irrigação elevou a eficiência no uso da água, demonstrando a habilidade da espécie em se adaptar as condições adversas.

## 5. REFERÊNCIAS

- BARBOZA, G. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Transpiração foliar e condutância estomática da cana-de-açúcar em função do clima e disponibilidade de água. **Irriga**, v. 22, n. 4, p. 675–689, 2017.
- BARROS, A. H. C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica: **Árvore do conhecimento** - Território Mata Sul Pernambucana – Clima. 2011.
- CANAVAR O., GOTZ K., ELLMER F., CHMIELEWSKI F.M., KAYNAK M.A. Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. **Australian Journal of Crop Science**, v8, 232, 2014.
- CARVALHO, J. F.; TSIMPHO, C. J.; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; SANTOS, M. H. V.; SANTOS, A. N. Produção e biometria do milho verde irrigado com água salina sob frações de lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.368-374, 2012.
- CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. Recife: IPA, 212 p. 2008.
- 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. **Estresse salino em plantas jovens de cana-de-açúcar : respostas bioquímicas e fisiológicas**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.
- COSTA SOBRINHO, A. F. **Análise de cenários da salinização dos aquíferos costeiros da planície do Recife levando em conta os efeitos da elevação do nível do mar**. 2014. 229p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- DILLEWIJN, C. VAN. Botany of sugarcane. Waltham: **Chronica Botânica**, 1952. 433p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efectos de la agua sobre el rendimiento de los cultivos**.

Roma: FAO,1979. 212P. (Riego e Drenaje, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 24).

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**. v.37, n.4, p.529-535, 2019.

FERREIRA, F. **Avaliação dos Impactes das Alterações Climáticas nos Aquíferos Costeiros do Concelho de Almada**. 2014. 89p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências, Lisboa.

GODOI NETO, A. H. **Cana-de-açúcar irrigada com água de diferentes níveis de salinidade e lâminas de lixiviação: Respostas fisiológicas e bioquímicas**. 2018. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.378–386, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>

HASAN M.M., ALHARBY H.F., HAJAR AS., HAKEEM K.R. Leaf gas exchange, Fv/Fm ratio, ion content and growth conditions of the two Moringa species under magnetic water treatment. **Pakistan Journal of Botany**. 49, 921, 2017.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SMITH, D. M.; THORBURN, P. J. SUGARCANE physiology: Integrating from cell to crop to advance sugarcane production. **Field Crops Research**, v.92, p.115-117, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.011>

JANGPROMMA, N.; THAMMASIRIRAK, S.; JAISIL, P.; SONGSRI, P. . Effects of drought and recovery from drought stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Australian Journal of Crop**. v.6,p.1298–1304. 2012.

KELLER J, BLIESNER RD (1990) **Sprinkle and trickle irrigation**. Blackburn, New Jersey, 652 p.

KUMAR, T.; KHAN, M. R.; ABBAS, Z.; ALI, G. M. Genetic improvement of sugarcane for drought and salinity stress tolerance using *Arabidopsis* vacuolar pyrophosphatase (AVP1) gene. **Molecular Biotechnology**, v.56, p.199-209, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12033-013-9695-z>.

LIRA, R. M. DE; SILVA, Ê. F. DE F. E; BARROS, M. DA S.; GORDIN, L. C.; WILLADINO, L. G.; BARBOSA, R. F. Water potential and gas exchanges in sugarcane irrigated with saline waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.679-682, 2018. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p679-682>

MUNNS, R.; GILLIHAM, M. Salinity tolerance of crops – what is the cost? *New Phytologist*, Cambridge, v. 208, p. 668-673, 2015. MUNNS, R.; JAMES, R. A.; LÄUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance 15 of wheat and other cereals. **Experimental of Botany**, Oxford, v. 57, p. 1025- 1043, 2006.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, J. F.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, n.3, p.579-588, 2010.

PACHECO, C. M. **Análise proteômica da resposta à salinidade em cana-de-açúcar** (*Saccharum officinarum* L.). Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012. 134 p. Dissertação Mestrado.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB. Estudos da FAO, **Irrigação e Drenagem**. 117p. 2000.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, K. J.; SOUZA, A. M. J.; VASCONCELOS, C. L.; ANDRADE, L. A. B. Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em solos com diferentes níveis texturais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1470-1476, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000500030>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3 ed.** Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SENGAR, 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, n. 5, p. 407-414, 2013.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para região norte de Recife-PE. **Revista Engenharia na agricultura**, v. 20, n.2, p. 163-174, 2012.

SIMÕES, W. L.; COELHO, D. S.; MESQUITA, A. C.; CALGARO, M.; SILVA, J. S. DA. Physiological and biochemical responses of sugarcane varieties to salt stress. **Revista Caatinga**, v.32, p.1069-1076, 2019. [https:// doi.org/10.1590/1983-21252019v32n423rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n423rc).

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v.98, p.91-97, 2006. [https:// doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.009](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.12.009)

SOUTO FILHO, L. T. S.; LAIME, E. M. O.; FERNANDES, P. D.; SUASSUNA, J. F.; SILVA, R. C. Efeito da salinidade nas trocas gasosas de duas cultivares de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Ambiental**, v.11, p.67- 82, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, p.1085-1095, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000600006>

ZHANG, C.; LIA, X.; KANGA, Y.; WANG, X. Salt leaching and response of *Dianthus chinensis* L. to saline water dripirrigation in two coastal saline soils. **Agricultural Water Management**, v.218, n.1, p.8-16, 2019.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso da fração de lixiviação FL2 mostrou-se eficaz na mitigação dos efeitos do estresse causado pelo NaCl e CaCl<sub>2</sub>, resultando em maior área foliar, número de perfilhos e índice de área foliar e proporcionando aumento na taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foliar das plantas.

A técnica da fração de lixiviação apresentou-se como método viável no controle da salinidade, quando utilizadas águas de qualidade inferior. Assim, essa técnica pode ser usada em canaviais que possuam condições de irrigação com água salobra.

Para um próximo trabalho, sugere-se utilizar outros valores de fração de lixiviação e outras texturas de solo, visto que o processo de lixiviação dos sais tende a variar conforme a textura do solo, e pode até proporcionar a perda de nutrientes.