



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS  
CURSO DE AGRONOMIA

JESSICA CRHISTIE DE CASTRO GRANJEIRO

**COMPARTIMENTAÇÃO DE ÍONS NA PLANTA DE SORGO QUANDO IRRIGADO  
SOB ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

MOSSORÓ

2021

JESSICA CRHISTIE DE CASTRO GRANJEIRO

**COMPARTIMENTAÇÃO DE ÍONS NA PLANTA DE SORGO QUANDO IRRIGADO  
SOB ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em AGRONOMIA.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira, Prof. Dr.

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

MOSSORÓ

2021

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

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G748      Granjeiro, Jessica Crhistie de Castro.  
c            COMPARTIMENTAÇÃO DE ÍONS NA PLANTA DE SORGO  
QUANDO IRRIGADO SOB ESTRESSES HÍDRICO E SALINO /  
Jessica Crhistie de Castro Granjeiro. - 2021.  
31 f. : il.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira.  
Coorientador: José Francismar Medeiros.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2021.

1. Sorghum bicolum. 2. Salinidade. 3. Déficit  
hídrico. 4. Íons tóxicos. I. Oliveira, Francisco  
de Assis , orient. II. Medeiros, José Francismar  
, co-orient. III. Título.

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

JESSICA CRHISTIE DE CASTRO GRANJEIRO

**COMPARTIMENTAÇÃO DE ÍONS NA PLANTA DE SORGO QUANDO IRRIGADO  
SOB ESTRESSES HÍDRICO E SALINO**

Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido como requisito  
para obtenção do título de Bacharel em  
Agronomia.

Defendida em: 20 / 11 / 2021.

*Jessica Crhistie de Castro Granjeiro*

Jéssica Crhistie de Castro Granjeiro

**BANCA EXAMINADORA**

*Francisco de Assis de Oliveira*

Francisco de Assis de Oliveira  
Presidente

*J. Francismar*

José Francismar de Medeiros  
Membro Examinador

*Rodrigo Rafael da Silva*

Rodrigo Rafael da Silva  
Membro Examinador

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por nunca ter me esquecido até mesmo quando eu tentei esquecer ele, no qual quanto mais eu me afastava dele, mas ele me mostrava que ele estava ali do meu lado. Hoje sinto que ele está me abençoando em cada momento e agradeço por ter me dado forças até aqui para alcançar esse objetivo.

Agradeço aos meus pais, por todo suporte que me deram até aqui, todo apoio em momentos que pensei em desistir, pelos incentivos, por estarem do meu lado sempre. Vocês foram minha base até aqui, obrigada meus pais por tudo que me fizeram, eu amo vocês.

A minha Avó Albaniza e meu Avó Moacir agradeço por todo o apoio, por sempre estarem a minha disposição de me ajudar vocês são muito importantes para mim,

Ao professor Francismar, agradeço por ter sido meu orientador durante quase todo o curso, por ter me aceitado no seu grupo de pesquisa. Obrigada por todos os ensinamentos.

Obrigada ao professor Tikão por ter aceitado me orientar nesse trabalho de conclusão de curso.

Agradeço a todos os professores pelos ensinamentos, críticas construtivas, conselhos vou lembrar de todos por guiarem o meu aprendizado.

Agradeço a todos que contribuíram, de alguma forma, durante todos esses anos. Muitos não será mantido o contato, mas guardarei na minha lembrança de cada um que me ajudou. Obrigada Jardson, Paulo Vitor (Peter), Cassio, João Lucas, Luís por me acolherem na casa de vocês quando estava precisando dentro da Universidade, possa ser que não tenhamos tanto contato, mas vou sempre lembrar de vocês e sempre torcendo pela conquista de cada um.

Aos meus amigos Gideilson, Angefferson, Renato e Ianca obrigada por todos os momentos internos e externos da universidade.

As minhas amigas Leticia, Joyce, Cathayane e Dara, obrigada por estarem comigo.

Hoje agradeço a meu esposo Pietro, por nesse finalzinho de curso está me ajudando sempre que preciso, pelo carinho e companheirismo.

Por fim, agradeço a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a conquista dessa etapa acadêmica.

## RESUMO

O sorgo é uma cultura bastante adaptada as condições edafoclimáticas do semiárido Brasileiro, tolerante a salinidade e déficit hídrico. O acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos tecidos dos diferentes órgãos da planta é um mecanismo que as plantas têm em se ajustar as condições de estresses. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a concentração iônica e seu conteúdo nos diferentes órgãos da planta de sorgo quando cultivado sob estresses hídrico e salino. O delineamento adotado foi blocos ao acaso em esquema fatorial  $4 \times 4$ , sendo constituídos de 4 concentração de sais (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS  $\text{m}^{-1}$ ) e 4 lâminas de irrigação (52, 66, 84 e 93% da ETc), utilizando as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506. Quando as plantas iniciaram a floração, foram coletadas duas plantas por parcela, separadas em folhas, raízes e colmos, secadas em estufa a 65 °C, feita digestão seca e realizada as análises químicas. Conclui-se que a maior concentração de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  foi encontrado na raiz da cv. Ponta Negra, e de  $\text{K}^+$  foi na folha, indicando que esse genótipo é tolerante aos estresses. Por outro lado, a cultivar BRS 506 também apresentou maior concentração de  $\text{Na}^+$  nas raízes, teve decréscimo em sua concentração à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação, indicando que esse genótipo tem uma maior seletividade na absorção dos íons. As maiores concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{K}^+$  foram observadas no colmo, mas sem diferir entre os níveis de salinidade ou lâmina de irrigação.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolum*; Salinidade; Déficit hídrico; Íons tóxicos.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Croqui da área experimental.....                                                                                                                                                     | 16 |
| <b>Figura 2</b> – Forno mufla elétrico (A) e o preparo do extrato com a solução de ácido nítrico 1N.....                                                                                               | 18 |
| <b>Figura 3</b> – Fotômetro de chama (A) e titulação para determinação do cloreto (B).....                                                                                                             | 18 |
| <b>Figura 4</b> – Concentração e conteúdo de sódio em duas cultivares de sorgo (BRS Ponta Negra - A e B; BRS 506 - C e D) em função da condutividade elétrica da água de irrigação.....                | 21 |
| <b>Figura 5</b> – Concentração de potássio nas raízes de cultivares de sorgo, cv. BRS Ponta Negra (A- Salinidade; B – Lâmina de irrigação), cv. BRS 506 (C – Salinidade; D – Lâmina de irrigação)..... | 22 |
| <b>Figura 6</b> Conteúdo de potássio nos compartimentos de planta de sorgo na cv. BRS 506 em função da condutividade elétrica da água de irrigação.....                                                | 24 |
| <b>Figura 7</b> – Concentração e conteúdo de cloreto em duas cultivares de sorgo (BRS Ponta Negra -A e B; BRS 506 - C e D) em função da condutividade elétrica da água de irrigação.....               | 26 |

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Diferentes tipos de sorgo quanto à natureza e utilização .....13

**Tabela 2** - Resumo da análise de variância para as concentrações dos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) presente na folha, colmo e raiz das plantas de sorgo, cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água.....19

# SUMÁRIO

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                          | <b>10</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>               | <b>11</b> |
| <b>2.1 Sorgo .....</b>                             | <b>11</b> |
| <b>2.2 Tipos de sorgo e sua utilização .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>2.3 Sorgo no semiárido brasileiro.....</b>      | <b>13</b> |
| <b>2.4 Efeito da salinidade sobre o sorgo.....</b> | <b>14</b> |
| <b>2.5 Déficit hídrico no sorgo .....</b>          | <b>15</b> |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>                          | <b>16</b> |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>              | <b>19</b> |
| <b>4.1 Sódio.....</b>                              | <b>20</b> |
| <b>4.2 Potássio .....</b>                          | <b>21</b> |
| <b>4.3 Cloreto .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                 | <b>27</b> |
| <b>Referências .....</b>                           | <b>28</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma planta de origem tropical no qual provavelmente foi “domesticado” na Etiópia, sendo uma planta C4, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento. A planta de sorgo tolera mais o déficit de água e o excesso de umidade no solo do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo (MAGALHÃES et al., 2003). É uma cultura considerada resistente a períodos secos, notadamente em regiões do semiárido brasileiro (TABOSA, et al., 2020).

Um dos fatores de maior preocupação na agricultura atual é a salinidade do solo, especialmente a irrigada, e o manejo inadequado da irrigação e dos fertilizantes utilizados na atividade agrícola são um dos principais responsáveis pelo aumento da quantidade de solos degradados com este problema (D’ALMEIDA et al., 2005; EPSTEIN & BLOOM, 2006). No Brasil, uma maior importância em relação a esse assunto é dada ao sertão nordestino, onde a evapotranspiração supera a precipitação e, por consequência, impossibilita a percolação da água através do perfil e, consequentemente, a lixiviação dos sais do solo (FREIRE & FREIRE, 2007).

Segundo Silva (2003), para alcançar altas produtividades, o sorgo requer dias e noites quentes, com temperaturas médias acima de 25°C, atingindo a maturidade entre 90 e 140 dias. É uma espécie indicada para regiões que apresentam regime hídrico desfavorável com precipitações variando de 400 a 600 mm por ano ou menos.

O sorgo possui uma tolerância moderada aos estresses hídricos e salinos, sendo uma alternativa para locais com essas condições. O acúmulo de sódio e cloretos nos tecidos dos diferentes órgãos da planta é uma forma que as plantas têm em se ajustar as condições de estresses.

Diante disso, o trabalho tem como objetivo avaliar a influência do acúmulo e distribuição de íons na raiz, colmo e folha da planta do sorgo em relação aos mecanismos de tolerâncias com o estresse hídrico e salino em duas cultivares (BRS Ponta Negra e BRS 506).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) originário da Etiópia é uma gramínea de origem tropical que pertence ao grupo de plantas C4 com características xerófilas e bastante tolerante a seca. Essa cultura suporta elevados níveis de radiação solar, respondendo com altas taxas fotossintéticas, mesmo em condições de limitação na disponibilidade de CO<sub>2</sub>, a partir do mecanismo de fechamento dos estômatos para minimização de perda de água (LANDAU & SANS, 2010).

Essa cultura tem as devidas características morfológicas sendo o colmo ereto, o sistema radicular muito resistente com raízes seminais e adventícias, ou seja, é profundo e ramificado aumentando assim a eficiência na extração de água da solução de solo, suas folhas são alternadas composta por bainha e lâmina foliar com origem com nós individuais variando de 7 a 30 folhas, possui panículas que é a sua inflorescência, ao qual possui eixo central, onde dá origem as ramificações primárias, secundárias e terciárias, nas ramificações finais localizam-se os racemos ou espiguetas, podendo ser a panícula compactada ou aberta (SANTOS et al., 2005). Segundo Coelho et al. (2002), os principais fatores que afetam os sistemas de produção da cultura de sorgo são os aspectos econômico, ambiental, tecnológico e qualidade do produto.

O sorgo tem uma extraordinária capacidade de suportar estresses ambientais, por isso possui potencial para se desenvolver e se expandir em regiões que apresentam risco de ocorrência de deficiência hídrica, altas temperaturas e distribuição irregular de chuvas. A temperatura ideal varia de acordo com cada cultivar, mas de modo geral a cultura se desenvolve bem de 16°C a 38°C, sendo que inferior a 16°C a maioria das cultivares não se desenvolvem bem; e superior a 38°C a produtividade é reduzida. A quantidade de água exigida na irrigação dessa cultura varia de 380 mm a 600 mm (PEREIRA FILHO & RODRIGUES, 2015).

No Brasil essa cultura ganha destaque a cada dia, por ser uma gramínea energética, de elevada digestibilidade, produtividade e adaptação aos mais diversos ambientes, se sobressaindo quando comparado com outras espécies, sendo utilizada para diversos fins, como corte verde, silagem, pastejo, rações para animais e para o consumo humano. (SILVA et al, 2021).

Por conta de suas características e capacidade de adaptação, o sorgo é cultivado em áreas e situações ambientais muito secas e quentes. Segundo Tabosa et al. (2002), o sorgo é

reconhecido por sua tolerância moderada aos estresses hídricos e salinos. O sorgo possui características fisiológicas que permitem interromper o crescimento ou limitar as suas atividades metabólicas sob escassez hídrica (BELL et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2019). Por outro lado, as plantas sujeitas ao excesso hídrico possuem sua condutância estomática afetada e diminui as taxas de fotossíntese e de crescimento, ocasionando em queda da produção da parte aérea e de raízes. Todavia a resposta ao déficit e ao excesso varia conforme o nível de estresse (GUIMARÃES et al., 2016). Bell et al. (2015) citam que o sorgo possui bom rendimento produtivo, mesmo sob condições de déficit hídrico, por causa da sua capacidade de manter a eficiência do uso da água.

## **2.2 Tipos de sorgo e sua utilização**

A utilização do sorgo é multivariada, desde a alimentação humana e animal, até a produção largamente encontrada na alimentação humana sob a forma de farinha na Índia, China, Sudão, Etiópia, Nigéria e outros países da África (TABOSA et al., 2019).

Agronomicamente o sorgo é classificado em 5 grupos (tabela 1): granífero, sacarino, vassoura, forrageiro e biomassa. Sendo que cada um possui características diferentes, variando o ciclo, o porte das plantas, a capacidade de produção de massa seca e de grãos. A utilização do sorgo vai desde o consumo humano, alimentação animal e produção de energia.

O grupo do sorgo Granífero apresenta porte baixo, no qual a altura da planta até 170cm, o principal produto desse tipo de sorgo é o grão. O tipo sacarino apresenta porte alto, com a altura superior a dois metros, possui colmo doce e succulento, produz poucos grãos. Pode ser utilizado como sorgo forrageiro. O grupo vassoura apresenta como característica principal a panícula na forma de vassoura. É utilizado para fabricação de vassouras.

O grupo do sorgo forrageiro apresenta porte alto, altura de planta superior a dois metros, com muitas folhas, a panícula é aberta e com poucas sementes, com elevada produção de forragem. Utilizado principalmente para pastejo. O grupo do sorgo biomassa pode atingir até seis metros, com um ciclo curto e tem um alto potencial produtivo. No qual é destinado à produção de energia.

**Tabela 1** – Diferentes tipos de sorgo quanto à natureza e utilização

| Tipos de Sorgo   | Produto  | Utilização                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Granífero        | Grão     | Substituto do milho na alimentação animal - rações balanceadas (bovinos, suínos e aves), utilização do restolho. Alimentação humana - uso da farinha na industrialização de produtos. Amido, cera, cerveja, óleo, etc. |
| Forrageiro       | Biomassa | Corte, silagem e feno                                                                                                                                                                                                  |
| Vassoura         | Panícula | Vassouras, escovas e ornamentação - tem uso restrito e localizado                                                                                                                                                      |
| Sacarino         | Colmo    | Glicose, frutose, sacarose e álcool                                                                                                                                                                                    |
| Herbáceo (Sudão) | Biomassa | Produção e confecção de feno                                                                                                                                                                                           |

Fonte: Adaptado de Shimidt (1987); Olivetti; Camargo (1997) e Tabosa et al. (2002); Tabosa et al. (2013).

### 2.3 Sorgo no semiárido brasileiro

A planta de sorgo se adapta a vários ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria de outros cereais (COELHO, 2002). É adaptado às regiões de clima árido e semiárido, exigindo essas condições para poder expressar seu potencial de produção. É uma cultura considerada resistente a períodos secos, notadamente em regiões do semiárido brasileiro (TABOSA et al., 2013). Sendo que, a maior parte das variedades necessitam de temperaturas superiores a 21°C para se desenvolver bem.

A cultura do sorgo possui rusticidade, tem um ciclo fenológico médio de quatro meses, o consumo de água varia entre 380 mm e 600 mm durante o ciclo. A região tem como principais características climáticas as irregularidades da precipitação pluviométrica e a pouca variação sazonal da radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura do ar (TABOSA, 2020). Em relação ao solo, pode ser cultivado satisfatoriamente em solos que variam de argilosos a ligeiramente arenosos (FRANCISCO et al., 2018). Os solos aluviais prestam-se muito bem ao cultivo do sorgo, desde que adequadamente preparados (EMBRAPA, 2008), no qual os solos mal drenados não são recomendados para esta cultura.

O Nordeste oferece condições favoráveis à sua cultura, uma vez que o sorgo é resistente às baixas e irregulares precipitações pluviométricas que ocorrem na região, requerendo

temperatura entre 27- 32°C para seu desenvolvimento (FRANCISCO et al., 2018). Diante disso, a cultura do sorgo apresenta potencial de produção para toda região do semiárido brasileiro, porém, na região ainda há um desconhecimento da cultura.

## **2.4 Efeito da salinidade sobre o sorgo**

A região semiárida do Nordeste brasileiro, além da escassez de recursos hídricos para atender às necessidades da população (consumo, indústria, irrigação, etc.), também se defronta com o alto teor de sais em grande parte das fontes de águas subterrâneas (poços) e superficiais (açudes de pequeno e médio portes e lagoas) (HOLANDA & AMORIM, 1997). Em regiões áridas e semiáridas, a demanda por água para irrigação leva os produtores a utilizar fontes hídricas disponíveis na região, que na maioria das vezes possui diferentes níveis de salinidade (COSTA et al., 2015).

A inibição do crescimento das plantas sob condições salinas ocorre tanto devido ao déficit hídrico provocado pela redução do potencial osmótico do solo, quanto pelo efeito causado pelo acúmulo de determinados íons no protoplasma, podendo causar problemas de toxicidade iônica, deficiências nutricionais ou ambos (MUNNS, 2011). A salinidade afeta a produção de biomassa e altera a partição de fotoassimilados entre as diferentes partes das plantas (GREENWAY & MUNNS, 1980; SILVA et al., 2003), representando os efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais.

Segundo Aquino et. al. (2007), a tolerância à salinidade pode estar relacionada aos nutrientes tóxicos  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , sendo utilizado como critério e seleção de materiais sensíveis e tolerantes ao estresse salino. Na maioria dos casos, segundo Mansour (2003), os genótipos que são tolerantes à salinidade, têm a capacidade de manter baixas relações  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos tecidos.

Visto que o sorgo é uma cultura que apresenta tolerância a condições de estresse hídrico, uma irrigação ótima implicaria em menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena sem que haja perdas significativas de produção. A adoção de uma lâmina deficitária tem como vantagem de redução dos riscos associados aos impactos ambientais adversos da irrigação plena (COSTA & MEDEIROS, 2017). Além de realizar o manejo da adubação potássica em plantas irrigadas com águas salinas poderia ser mais uma estratégia a fim de minimizar os efeitos dos sais sobre as culturas (FEITOSA, 2019).

O sorgo é classificado de acordo com a classificação de Ayers e Westcot (1999), como plantas que não são significativamente afetadas pela salinidade quando submetidas à salinidade correspondente ao nível de condutividade elétrica da pasta de saturação entre 3 e 6  $\text{dS m}^{-1}$ .

Segundo Costa e Medeiros (2017), estudos realizados com diversas cultivares submetidos a níveis de salinidade demonstrou que até  $4,8 \text{ dSm}^{-1}$  a produtividade de massa seca não sofre com efeitos da salinidade. Estudos vêm sendo desenvolvidos para seleção de genótipos mais tolerantes a salinidade levando em consideração rendimentos economicamente aceitáveis, através do seu alto potencial de produção em regiões secas e que apresentam problemas com salinidade (COELHO, 2017).

## **2.5 Déficit hídrico no sorgo**

Diante da crescente demanda hídrica, ocasionada pelo acelerado crescimento populacional, tem-se buscado cada vez mais fontes alternativas de água que visem suprir as necessidades em todos os setores. O setor agrícola é responsável por 67% do consumo de água no Brasil (ANA, 2017), assim, a utilização de fontes de qualidade inferior, principalmente na agricultura irrigada, está despertando interesse. Porém sua utilização só é viável quando adotadas estratégias de manejo a longo prazo, garantindo a sustentabilidade socioeconômica e ambiental dos sistemas agrícolas.

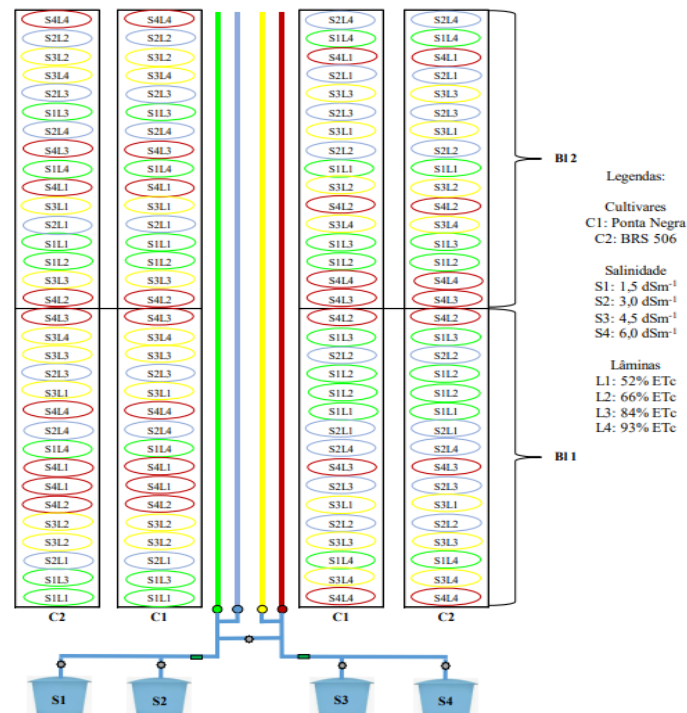
A irrigação é o agente com maior efeito sobre a produtividade agrícola, sobretudo na região semiárida, onde as lavouras dependem da quantidade e qualidade da água para atender as exigências e necessidades das culturas, e conseguir realizar a lixiviação da quantidade excessiva de sais, evitando que estes, sejam depositados e acumulados no solo (MIRANDA et al., 2011). Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade, é um fator limitante ao desenvolvimento da maioria das culturas (BERNARDO et al., 2019).

O sorgo é considerado uma das gramíneas com alta tolerância à seca, além de conseguir explorar camadas mais profundas do solo à procura de água e ter uma elevada produtividade (SANI et al., 2011; TOLK et al., 2013). A situação em ambientes semiáridos é ainda mais crítica, pois essas regiões estão sujeitas ao déficit hídrico, que é o principal estresse abiótico, responsável por reduzir a produtividade de biomassa em todo o mundo (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa de campo foi realizada no período de setembro a dezembro de 2020, em uma área experimental localizada no município de Upanema – RN, região Oeste do Rio Grande do Norte cuja coordenadas são 5° 38' de latitude Sul e longitude 37° 15' Oeste com 117 metros de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é BSw h' (muito seco, com estação de chuva no verão atrasando-se para o outono) com precipitação média anual em torno de 650 mm.

Foram instalados dois experimentos, um ao lado do outro, sendo cada um representado por uma cultivar de sorgo (BRS Ponta Negra e BRS 506). Em ambos os experimentos os tratamentos foram constituídos de dois fatores, o primeiro referente a concentração de sais da água de irrigação ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  e  $S_4$  – condutividade elétrica (CE) da água de irrigação de 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0  $dS\ m^{-1}$ , respectivamente), e o segundo representado pelas lâminas de irrigação ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  e  $L_4$  correspondendo a 52, 66, 84 e 93% da  $ET_c$ ) com os fatores arranjados em esquema fatorial 4 x 4 (Figura 1).



**Figura 1** – Croquis da área experimental

A água salina utilizada na irrigação foi preparada da seguinte forma: a de menor concentração foi proveniente de um poço tubular, e as demais foram preparadas através da adição dos sais NaCl,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , para que a proporção final da concentração molar de cargas ficasse 7:2:1, que corresponde a composição médias das águas do semiárido do Brasil. A água de maior concentração salina foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para um rendimento potencial de 50%, de acordo com Ayers & Westcot (1999). As condutividades foram monitoradas diariamente, com o auxílio de um condutivímetro portátil.

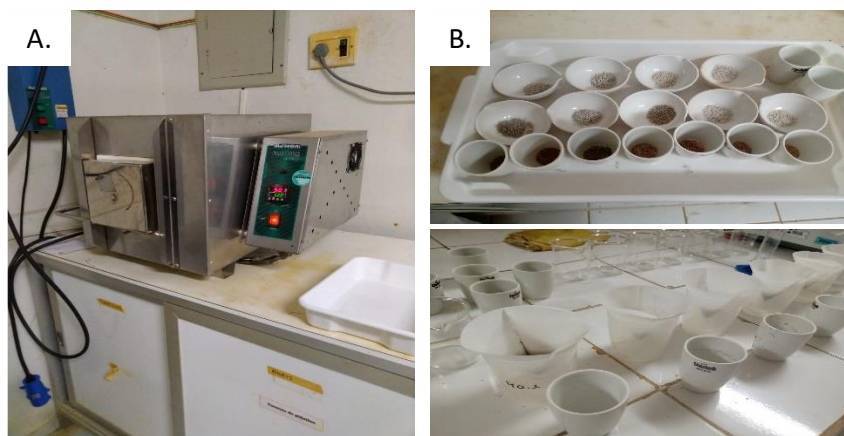
As lâminas de irrigação foram determinadas a partir de estimativas da evapotranspiração da cultura utilizando-se o método proposto pela FAO (ALLEN et al., 2006). As unidades experimentais foram constituídas de duas fileiras duplas de sete metros, sendo as fileiras externas de cada unidade consideradas bordaduras.

O sorgo foi plantado no espaçamento duplo de 1,4 x 0,2 x 0,10 m, colocando-se três sementes por cova, com desbaste 15 dias após a semeadura, fixando, assim, o número definitivo de plantas por metro linear de fileira de 8 e 6 plantas, respectivamente, para as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506.

O sistema utilizado na irrigação do experimento foi por gotejamento, com emissores de diferentes vazões, dependendo da lâmina de irrigação a ser aplicada na parcela. A irrigação aconteceu com frequência diária, com base na evapotranspiração máxima da cultura ( $\text{ET}_c$ ), que foi estimada multiplicando-se a evapotranspiração de referência ( $\text{ET}_o$ ) pelo coeficiente de cultura ( $K_c$ ), conforme método proposto pela FAO 56 (ALLEN et al., 2006), aplicando-se a metodologia do  $K_c$  dual. Os valores de  $K_{cb}$  ( $K_c$  basal da cultura) recomendados pela FAO 56 são iguais a 0,15; 0,95 e 0,85 para o sorgo, nas fases inicial e intermediária e no final, respectivamente.

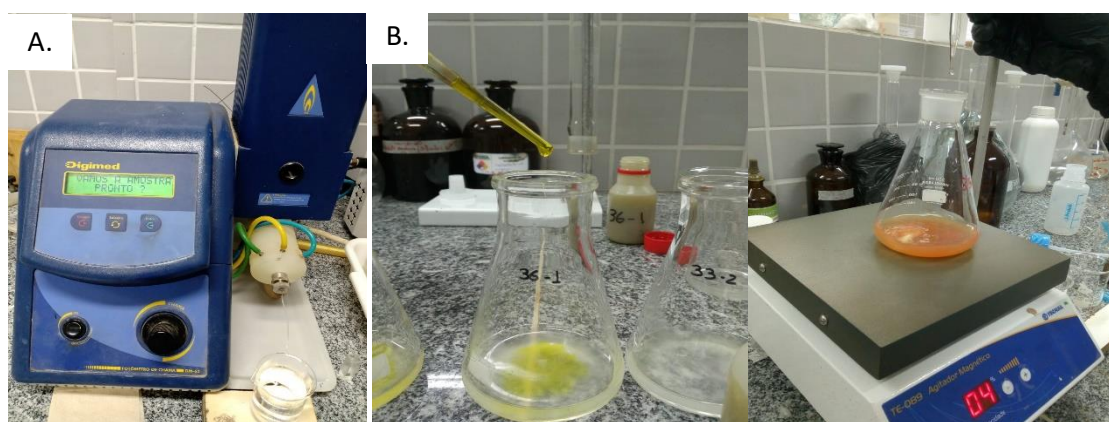
Após os 39 dias do período de plantio da cultura com os devidos tratamentos, coletou-se duas plantas por parcela experimental, em seguida as plantas foram separadas em folhas, colmos e raízes. Esse material foi colocado em estufa à temperatura de circulação forçada mantida em cerca de 65 °C, até atingirem massa constante.

Após obtenção da massa seca das folhas, colmos e raízes, o material foi processado em moinho do tipo Willey e foram feitas as determinações  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Para determinação dos desses elementos fez a digestão por via seca segundo a metodologia da EMBRAPA (2005). As amostras foram incineradas em forno tipo mufla elétrico a uma temperatura entre 500 °C na atmosfera ambiente (Figura 2A) e dissolvidas com solução de ácido nítrico a 1N ( $1\text{mol}_c \text{L}^{-1}$ ) (Figura 2B).



**Figura 2** – Forno mufla elétrico (A) e o preparo do extrato com a solução de ácido nítrico 1N.

Após a digestão do tecido, determinou-se a concentração de sódio e potássio pela técnica de fotometria de chama (Figura 4). A concentração de cloro foi determinada pelo método de MOHR, extraído pela solução de nitrato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), na forma de íon cloreto, foi titulado com solução padronizada de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), na presença de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) como indicador (Figura 5).



**Figura 3** – Fotômetro de chama (A) e titulação para determinação do cloreto (B).

As cultivares foram avaliadas isoladamente. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F). As variáveis que apresentaram resposta significativas para a salinidade e/ou lâmina de irrigação foram submetidas a análise de regressão. Análise estatística foi realizada utilizando o programa SAEG.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 2), verificou-se na cultivar BRS Ponta Negra que houve interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre os fatores salinidade e lâminas de irrigação apenas para a concentração de  $K^+$  no tecido radicular. Constatou-se ainda que essa cultivar apresentou resposta significativa ao nível de 1% de significância para o fator salinidade da água de irrigação sobre a concentração de  $Na^+$  nas diferentes compartimentações da planta. Também ocorreu resposta significativa ( $p < 0,05$ ) desta cultivar para o fator da lâmina de irrigação para os teores de  $Cl^-$  e  $K^+$ , na folha e o colmo, bem como para o teor de  $Cl^-$  no colmo, ao nível de 1% de significância.

Para a Cultivar BRS 506, os resultados da análise de variância (Tabela 2) mostraram que houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da interação entre os fatores salinidade de lâminas de irrigação para os teores de  $K^+$  nas raízes, não ocorrendo efeito da interação nos demais elementos, nem nas partes das plantas. O fator salinidade afetou, de forma isolada, apenas os teores de  $Cl^-$  e  $K^+$  nas raízes ( $p < 0,01$ ), enquanto o fator lâmina de irrigação afetou os teores de  $K^+$  nas raízes, ao nível de 1% de significância (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para as concentrações dos íons sódio ( $Na^+$ ), cloreto ( $Cl^-$ ) e potássio ( $K^+$ ) presente na folha, colmo e raiz das plantas de sorgo, cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água.

| BRS Ponta Negra |    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
|-----------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Estatística F   |    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| FV              | GL | Folha              |                    |                    | Colmo              |                    |                    | Raiz               |                    |                    |
|                 |    | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              |
| BLOCO           | 1  | 4,46               | 0,09               | 1,07               | 2,02               | 1,26               | 0,41               | 2,37               | 0,061              | 4,37               |
| SAL             | 3  | 6,08**             | 0,28 <sup>ns</sup> | 0,95 <sup>ns</sup> | 12,6**             | 0,81 <sup>ns</sup> | 0,60 <sup>ns</sup> | 27,9**             | 7,57**             | 2,35 <sup>ns</sup> |
| LAM             | 3  | 1,43 <sup>ns</sup> | 2,88*              | 2,76*              | 1,42 <sup>ns</sup> | 5,13**             | 1,87 <sup>ns</sup> | 5,40 <sup>ns</sup> | 1,46 <sup>ns</sup> | 0,79 <sup>ns</sup> |
| SALxLAM         | 9  | 1,47 <sup>ns</sup> | 1,76 <sup>ns</sup> | 1,01 <sup>ns</sup> | 0,64 <sup>ns</sup> | 0,74 <sup>ns</sup> | 1,72 <sup>ns</sup> | 0,74 <sup>ns</sup> | 1,06 <sup>ns</sup> | 2,24*              |
| CV%             |    | 21,9               | 12,4               | 23,5               | 38,1               | 14,9               | 14,7               | 28,7               | 19,7               | 21,5               |
| BRS 506         |    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Estatística F   |    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| FV              | GL | Folha              |                    |                    | Colmo              |                    |                    | Raiz               |                    |                    |
|                 |    | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              | $Na^+$             | $Cl^-$             | $K^+$              |
| BLOCO           | 1  | 1,67               | 2,72               | 3,69               | 0,61               | 0,50               | 2,02               | 1,28               | 0,41               | 3,32               |
| SAL             | 3  | 1,08 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup> | 0,31 <sup>ns</sup> | 1,43 <sup>ns</sup> | 1,66 <sup>ns</sup> | 0,17 <sup>ns</sup> | 2,26 <sup>ns</sup> | 8,77**             | 8,95**             |
| LAM             | 3  | 0,64 <sup>ns</sup> | 2,06 <sup>ns</sup> | 2,21 <sup>ns</sup> | 0,45 <sup>ns</sup> | 0,05 <sup>ns</sup> | 0,70 <sup>ns</sup> | 1,13 <sup>ns</sup> | 0,96 <sup>ns</sup> | 3,00*              |
| SALxLAM         | 9  | 0,30 <sup>ns</sup> | 0,87 <sup>ns</sup> | 0,41 <sup>ns</sup> | 1,81 <sup>ns</sup> | 1,00 <sup>ns</sup> | 0,75 <sup>ns</sup> | 1,59 <sup>ns</sup> | 0,49 <sup>ns</sup> | 3,04**             |
| CV%             |    | 22,9               | 11,2               | 14,5               | 31,9               | 10,9               | 14,7               | 38,5               | 25,9               | 46,5               |

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SAL: salinidade da água; LAM: lâmina de irrigação; \*significativo a nível de 5%; \*\*significativo a nível de 1%, <sup>ns</sup> não significativo.

#### 4.1 Sódio

Na figura 6A, a cultivar BRS Ponta Negra, houve aumento na concentração de  $\text{Na}^+$  nas três partes, em resposta ao aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Na folha e colmo ocorreu resposta linear crescente de acordo com o aumento da CE da água de irrigação, de forma que as maiores concentrações de  $\text{Na}^+$  ocorreram na maior salinidade ( $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Para o tecido foliar, a maior concentração foi de  $0,8086 \text{ g kg}^{-1}$ , representando um incremento de 36,55% em comparação com os valores obtidos na água de menor salinidade. No Colmo, a concentração máxima foi de  $0,579 \text{ g kg}^{-1}$ .

Para o tecido radicular, os dados foram ajustados ao modelo quadrático, de forma que a maior concentração ocorreu na CE máxima da água estudada, apresentando uma concentração de  $\text{Na}^+$  estimada em  $12,87 \text{ g kg}^{-1}$ , com tendência de redução a partir deste nível. Ou seja, a concentração de  $\text{Na}^+$  ocorreu preferencialmente na raiz. Levantando a hipótese de que a planta buscou reter o íon na raiz, para diminuir a translocação para as outras partes da planta (colmo e folha).

Quanto ao conteúdo de sódio, verificou-se que houve resposta linear nas três partes analisadas (Figura 6 B), de forma que os maiores valores foram obtidos na maior salinidade ( $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ), sendo 17,02, 28,2 e  $95,92 \text{ mg}$  por planta, para folha, colmo e raiz, respectivamente. Desta forma, comparando-se esses valores com os obtidos na menor salinidade ( $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), ocorreram aumentos de 123,30% na raiz, 114,86% no colmo e 36,93% na folha.

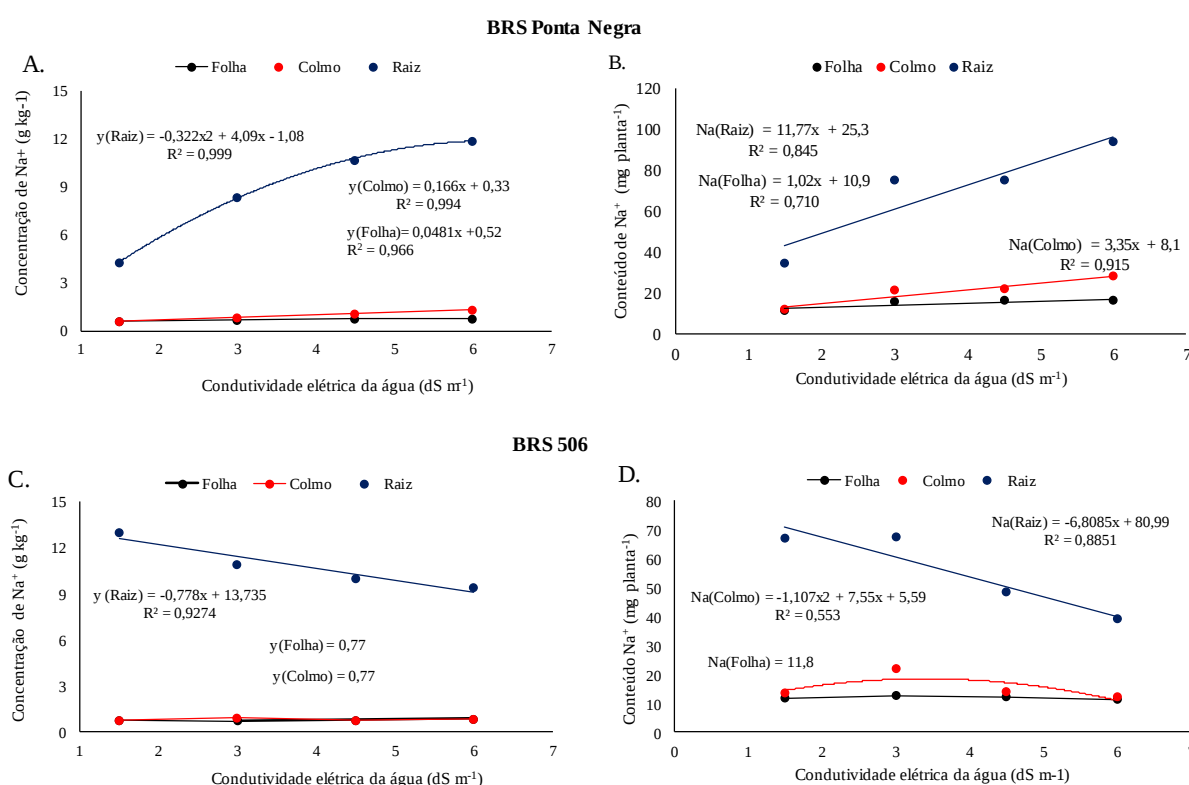
Na cultivar BRS 506, a concentração e o conteúdo de sódio na raiz reduziram linearmente de acordo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. A concentração de  $\text{Na}^+$  variou de  $12,56 \text{ g kg}^{-1}$  ( $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) a  $9,06 \text{ g kg}^{-1}$  ( $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ ). Para o conteúdo de  $\text{Na}^+$ , o maior valor foi obtido na menor salinidade ( $70,77 \text{ mg planta}^{-1}$ ) e decresceu linearmente até a salinidade  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$  ( $40,14 \text{ mg planta}^{-1}$ ). Comparando-se os valores obtidos nas salinidades 1,5 e  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ , ocorrendo reduções de 27,85% na concentração (Figura 6C), e de 43,29% no conteúdo (Figura 6D) de sódio nas raízes.

Não houve efeito significativo da salinidade da água de irrigação sobre as concentrações de sódio nas folhas nem no colmo, obtendo-se valor médio de  $0,77 \text{ g kg}^{-1}$  para ambos (Figura 6C). Também não houve resposta significativa para a conteúdo de  $\text{Na}^+$  nas folhas, obtendo-se valor médio de  $11,8 \text{ mg planta}^{-1}$ . No colmo, a resposta foi quadrática, sendo o maior conteúdo observado para a CE da água de irrigação foi  $3,4 \text{ dS m}^{-1}$ , com  $18,46 \text{ mg planta}^{-1}$  (Figura 6D).

Esse efeito de redução pode estar relacionado a capacidade de esta cultivar ter uma maior seletividade na absorção dos íons, dando preferência a outros que competem com o  $\text{Na}^+$

nos sítios de absorção. Em estudo desenvolvido por Silva et al. (2003) utilizando as cultivares de sorgo (um tolerante e outro sensível) verificaram que os genótipos sensíveis apresentaram maior absorção e translocação de sódio para a parte aérea, assim como observado para a cultivar BRS Ponta Negra.

O acúmulo de  $\text{Na}^+$  nos tecidos tem sido considerado determinante para a maior sensibilidade ao estresse salino, em diversas espécies de plantas (HAMAMOTO et al., 2015). Tavakkoli et al. (2012) afirmam que os mecanismos desenvolvidos para minimizar os efeitos tóxicos de  $\text{Na}^+$  sobre as plantas são os que mais contribuem no grau de tolerância à salinidade.



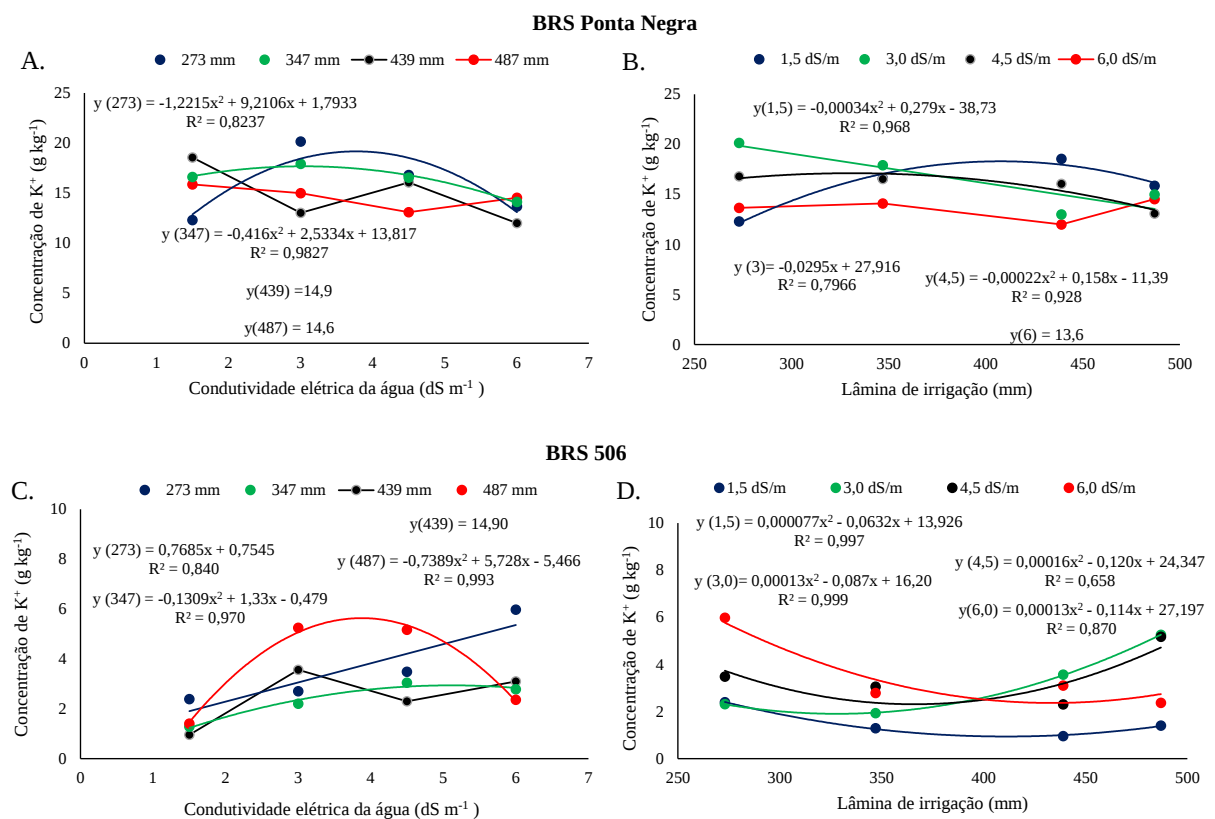
**Figura 4** – Concentração e conteúdo de sódio em duas cultivares de sorgo (BRS Ponta Negra - A e B; BRS 506 - C e D) em função da condutividade elétrica da água de irrigação.

## 4.2 Potássio

A contração de potássio no tecido radicular da cultivar BRS Ponta Negra foi afetada pela salinidade da água de irrigação nas lâminas 273 e 347 mm. Para ambas as lâminas ocorreram respostas quadráticas, com maiores valores ocorrendo nas salinidades 3,77 e 3,0  $\text{dS m}^{-1}$ , obtendo-se concentrações máximas de 19,16 e 17,67  $\text{g kg}^{-1}$ , nas lâminas 273 e 347 mm, respectivamente. A partir destes níveis salinos ocorrem reduções na concentração de  $\text{K}^+$  nas duas lâminas de irrigação. Não houve resposta significativa maiores lâminas de irrigação,

obtendo-se concentrações médias de 14,9 g kg<sup>-1</sup> na lâmina de 439 mm, e de 14,6 mm para a lâmina de 487 mm (Figura 7A).

As lâminas de irrigação afetaram a concentração de K<sup>+</sup> nas raízes, e de forma quadrática, para as salinidades 1,5 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, nas quais os maiores valores ocorreram nas lâminas de 407 mm (18,11 g kg<sup>-1</sup>) e 359 mm (16,98 g kg<sup>-1</sup>), com aumentos de 51,25 e 10,62%, para as salinidades 1,5 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente, em comparação com os valores obtidos na menor lâmina de irrigação de irrigação. Para a salinidade 3,0 dS m<sup>-1</sup> ocorreu resposta linear e decrescente, de forma que a maior concentração de K<sup>+</sup> ocorreu na lâmina de 273 mm (19,86 g kg<sup>-1</sup>) e reduziu até a lâmina de 487 mm (13,57 g kg<sup>-1</sup>), resultando em redução de 31,67%. Não foi observado efeito das lâminas de irrigação sobre a concentração de K<sup>+</sup> quando as plantas foram irrigadas com água de maior salinidade (6,0 dS m<sup>-1</sup>), obtendo-se concentração média de 13,6 g kg<sup>-1</sup> (Figura 7B).



**Figura 5.** Concentração de potássio nas raízes de cultivares de sorgo, cv. BRS Ponta Negra (A – Salinidade; B – Lâmina de irrigação), cv. BRS 506 (C – Salinidade; D – Lâmina de irrigação).

Ainda sobre a absorção de potássio na cultivar BRS Ponta Negra, verificou-se que não houve resposta da salinidade nem das lâminas de irrigação para a concentração de  $K^+$  na folha e nem no colmo, apresentando valores médios de 23,3 e 29,5 g kg<sup>-1</sup>. Também não houve efeito significativo na CE da água sobre o conteúdo de potássio nos tecidos do colmo, folha e na raiz, obtendo-se concentrações médias de 660, 493 e 126 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para a cultivar BRS 506, a concentração de  $K^+$  nas raízes aumentou linearmente com o incremento da condutividade elétrica da água de irrigação nas plantas submetidas a lâmina de 273 mm. As concentrações variaram de 1,91 g kg<sup>-1</sup> na salinidade 1,5 dS m<sup>-1</sup>, para 5,36 g kg<sup>-1</sup> no nível salino 6,0 dS m<sup>-1</sup>, representando um aumento de 181,3%. Para as lâminas de 347 e 487 mm ocorreram respostas quadráticas, de forma que as concentrações de  $K^+$  aumentaram com o incremento da salinidade até os níveis de 5,1 e 3,9 dS m<sup>-1</sup>, obtendo valores máximos de 2,89 e 5,63 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na menor salinidade (1,5 dS m<sup>-1</sup>), na qual obtiveram-se concentrações de 1,22 e 1,46 g kg<sup>-1</sup>, esses valores equivalem a aumentos de 137,3 e 282,0%, respectivamente (Figura 7C).

Não houve efeito significativo da salinidade sobre as concentrações de  $K^+$  nas folhas e no colmo, apresentando valores médios de 28,22, 42,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes resultados podem ser atribuídos a retenção de  $Na^+$  nas raízes, não afetando a translocação do  $K^+$  para a parte aérea.

Analizando o efeito das lâminas de irrigação sobre a concentração de  $K^+$  nas raízes, verificou resposta significativa para todas as salinidades. Nas salinidades 1,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>, o aumento da lâmina provocou diminuição nas concentrações de  $K^+$ , com reduções mais evidente até as lâminas de 410 e 438 mm, respectivamente. A partir destes níveis o efeito das lâminas foram reduzidos, tendendo a estabilizar. Para as salinidades 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, em ambos os casos, o aumento da lâmina resultou em incremento na concentração de  $K^+$  nas raízes, com efeitos mais evidentes a partir das lâminas de 335 e 376 mm, para as condutividades elétricas de 3,0 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Desta forma, a adoção da maior lâmina de irrigação (487 mm) proporcionou maiores concentrações de  $K^+$ , com 4,66 g kg<sup>-1</sup> para a salinidade 3,0 e 3,64 g kg<sup>-1</sup> para 4,5 dS m<sup>-1</sup> (Figura 7D).

A redução na concentração de  $K^+$  e raízes de sorgo também foi observada por Coelho et al. (2017). Esse fato pode ser explicado pela influência direta do aumento da concentração de  $Na^+$  no meio radicular, o qual pode inibir o influxo de  $K^+$  nas células das raízes e/ou promover o efluxo citossólico de  $K^+$ , induzido por canais no plasmalema ou pelo aumento da fluidez da membrana por causa da redução de  $Ca^{2+}$  (WILLADINO; CAMARA, 2010).

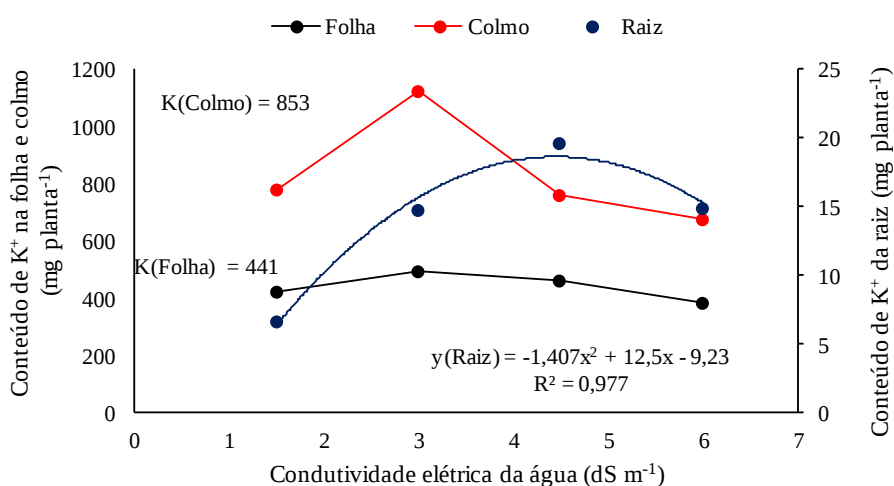
Segundo Silva (2003), a redução da absorção de  $K^+$  em meios salinos se deve, em grande parte, pela competição dos íons  $Na^+$  pelos mesmos sítios de absorção na membrana plasmática das células radiculares. Além disso, essa redução pode estar relacionada à exposição direta das raízes ao sal, o que provoca alterações na integridade e permeabilidade seletiva da membrana plasmática (GRATTAN; GRIEVE, 1998).

A ausência do efeito da salinidade nas maiores lâminas de irrigação pode ser atribuída a ocorrência de lixiviação dos sais, reduzindo o efeito da salinidade (FERREIRA et al. 2006).

Possivelmente, a redução nas concentrações de  $K^+$  para cultivar BRS Ponta Negra, devem-se a exposição direta das raízes ao sal, o que provoca alterações na integridade e permeabilidade seletiva da membrana plasmática ao  $K^+$  (GRATTAN; GRIEVE, 1998; MANSOUR; SALAMA, 2004).

Há diferença nas respostas das cultivares a salinidade quanto a concentração de  $K^+$  também foi observado por Silva et al. (2003), os quais constataram o efeito do estresse salino é mais evidente em genótipos sensíveis a salinidade. Portanto, o aumento da concentração de  $K^+$  na cultivar BRS 506 pode estar relacionada com a maior eficiência na absorção radicular, garantindo a maior seletividade na absorção do  $K^+$  em reação ao  $Na^+$ .

Em relação ao conteúdo de  $K^+$ , houve ajuste quadrático (Figura 8) ao aumento da salinidade, de forma que o maior conteúdo ocorreu na CE de  $5,6 \text{ dS m}^{-1}$  ( $34,95 \text{ mg planta}^{-1}$ ), enquanto na menor CE ( $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) obteve-se  $24,8 \text{ mg planta}^{-1}$ . Já para a folha e o colmo não apresentou efeito significativo, com valores médios de  $441$  e  $853 \text{ mg planta}^{-1}$ , respectivamente (Figura 8).



**Figura 6**– Conteúdo de potássio nos compartimentos de planta de sorgo na cv. BRS 506 em função da condutividade elétrica da água de irrigação

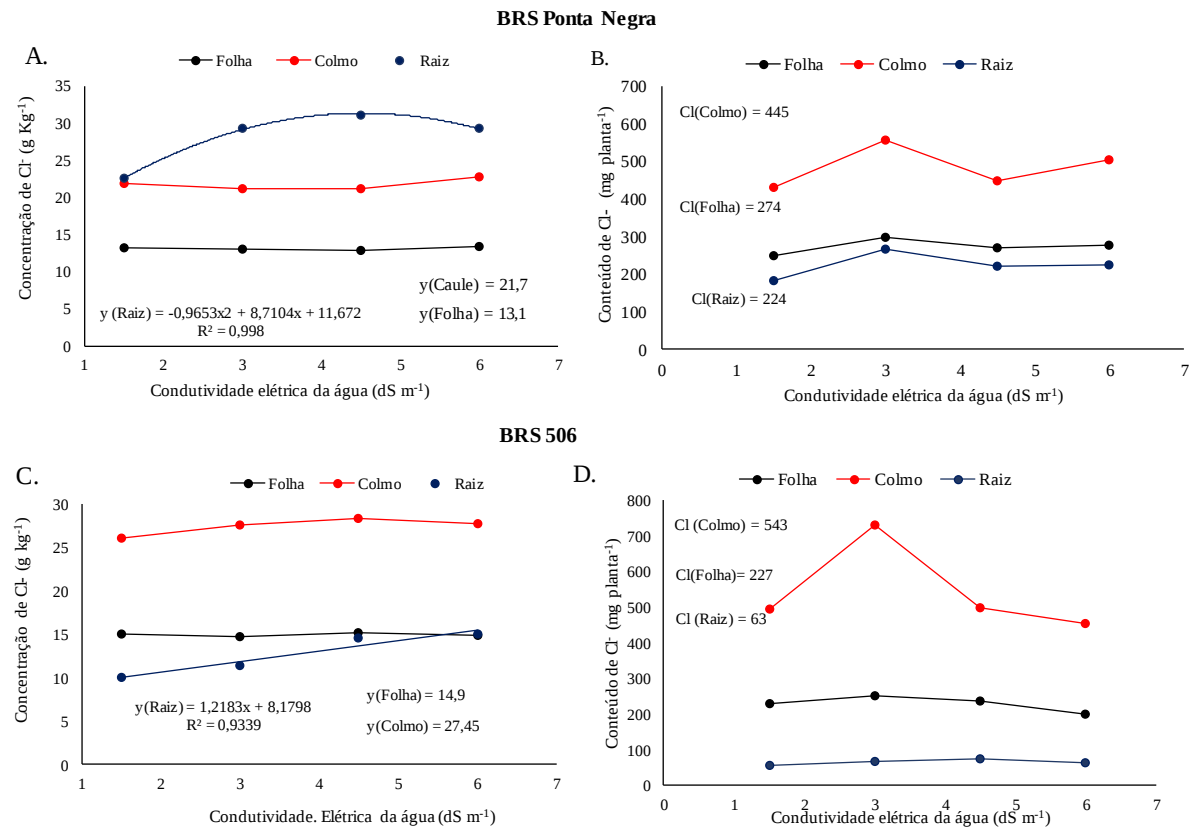
A redução do íon  $K^+$  é devido a competição deste com  $Na^+$  pelo mesmo sítio de absorção, já que os transportadores de  $K^+$  tem sua especificidade por este íon diminuído em elevadas concentrações de  $Na^+$  (CASTILLO et al., 2007). Em genótipos classificados como tolerantes, observa-se um aumento na absorção do íon  $K^+$  com consequente diminuição na absorção do íon  $Na^+$ , contribuindo para uma manutenção da relação  $Na^+ / K^+$  baixa (DIAS e BLANCO, 2010).

### 4.3 Cloreto

Não houve resposta significativa ao aumento da salinidade para a concentração e cloreto nas folhas nem no colmo (Figura 9A) para a cultivar BRS Ponta Negra, concentrações médias de 21,7 e 13,1 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Por outro lado, houve resposta quadrática para a concentração de cloreto na raiz, de forma que a maior concentração ocorreu na CE de 4,51 dS m<sup>-1</sup> (31,32 g kg<sup>-1</sup>), correspondendo a um aumento de 38,8% em relação a concentração obtida na salinidade de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, que foi de 22,56 g kg<sup>-1</sup>.

Com relação ao conteúdo de cloreto, verificou-se que não houve efeito significativo da salinidade para nenhum dos órgãos analisados, obtendo-se valores médios de 445, 274 e 224 mg planta<sup>-1</sup>, para colmo, folha e raízes, respectivamente (Figura 9B).

Para a cultivar BRS 506, não houve efeito significativo na CE da água sobre a concentração de cloreto nos tecidos de colmo e na folha, obtendo-se concentrações médias de 14,9 e 27,45 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Já para a raiz, obteve-se uma resposta linear crescente, no qual a maior concentração observada na maior CE foi de 15,49 g kg<sup>-1</sup>, correspondendo a um aumento de 54,7% em relação a concentração obtida na salinidade de 1,5 dS m<sup>-1</sup>, que foi de 10,00 g kg<sup>-1</sup> (Figura 9C). Não houve efeito significativo da salinidade sobre o conteúdo de cloreto para nenhum dos órgãos analisados, obtendo-se valores médios de 543, 227 e 63 mg planta<sup>-1</sup>, para colmo, folha, raízes, respectivamente (Figura 9D).



**Figura 7** - Concentração e conteúdo de cloreto em duas cultivares de sorgo (BRS Ponta Negra -A e B; BRS 506 - C e D) em função da condutividade elétrica da água de irrigação.

Estes resultados discordam, em parte, aos observados por Silva et al. (2003) os quais verificaram aumento da concentração de cloreto na parte aérea de duas cultivares de sorgo, com maior acréscimo na cultivar classificado como tolerante a salinidade. Vale destacar que esses autores trabalharam em sistema hidropônico, o que favorece a absorção de elementos pelas plantas. Lacerda et al. (2004) também verificaram que as concentrações de  $\text{Cl}^-$  aumentaram nas raízes aumentaram com o estresse salino, e que esses aumentos foram maiores no genótipo sensível à salinidade.

No presente estudo verificou-se que, apesar de ambas as cultivares terem apresentadas aumento de concentração de  $\text{Cl}^-$  com o aumento da salinidade, destaca-se que a cultivar BRS Ponta Negra apresentou maior concentração deste elemento no tecido radicular. Este fato pode evidenciar a maior capacidade da cultivar BRS 506 de reter os íons  $\text{Cl}^-$  nos colmos e bainhas, evitando que os mesmos se acumulassem nos tecidos fotossintetizantes (BOURSIER; LÄUCHLI, 1989).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os íons de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{Cl}^-$  são acumulados e retidos nas raízes da cultivar BRS Ponta Negra, indicando que esse genótipo tem mais eficiência na tolerância ao estresse salino.

A cultivar BRS Ponta Negra transloca maior conteúdo de  $\text{K}^+$  no tecido foliar.

A cultivar BRS 506 apresenta maior seletividade de absorção de íon de  $\text{Na}^+$  e reduz a absorção deste íon nas raízes com o aumento da salinidade.

A lâmina de irrigação 487 mm favorece a absorção e translocação de  $\text{K}^+$  para a parte aérea por reter os íons de  $\text{Na}^+$  nas raízes.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/>>.

AQUINO A. J. S. D.; LACERDA, C. F. D.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; COSTA, R. N. T. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 961-971, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: DEAg/CCT, Universidade Federal da Paraíba. 1999. 190p.

BELL, J. M.; SCHWARTZ, R.; MCINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. S. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 203, n. 1, p. 289-296, 2015.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9ª. Ed., Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.

BOURSIER, P.; LÄUCHLI, A. Mechanisms of chloride partitioning in the leaves of salt-stressed *Sorghum bicolor* L. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 77, n. 4, p. 537-544, 1989.

CASTILLO, E. G.; TUONG, T. P.; ISMAIL, A. M.; INUBUSHI, K. Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stresses. **Plant Production Science**, v. 10, n. 2, p. 159-160, 2007.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2365-2384, 2004.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agronômicas**, v. 14, n. 100, p. 1-12, 2002

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; SOUZA, M. A.; SANTOS, J. E. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista brasileiro de milho e sorgo**, Sete Lagoas v. 16, n. 2, p. 178-192, 2017.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salobra como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 6, n. 3, p.169-177, 2017.

COSTA, J. P. N.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; MEDEIROS, J. F.; GUEDES, R. A. A. Evapotranspiração e rendimento do milho a diferentes lâminas e salinidade da água de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 74-80, 2015.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; LACERDA, C.F. Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. **Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade**, p.130-141, 2010.

**EMBRAPA**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/sitio-tecnologico/trilha-tecnologica/tecnologias/culturas/sorgo>>. Acesso em: 30/10/2021.

**EMBRAPA**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo. **Sistemas de produção: Cultivo do sorgo**. 4.ed. Sete Lagoas. 2008.

FEITOSA, D. R. C. **Trocas gasosas, crescimento e produção de sorgo sacarino sob lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio**. 2019. 79 p. Tese (doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F.; SANTOS, D. B.; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 570-578, 2006.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; CHAVES, I. B. Cultivo do sorgo (*Sorghum bicolor*) e o potencial pedológico no estado da Paraíba. In: FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, R. F.; VITAL, A. F.; SANTOS, R. V. **Solos estudos e aplicações**, 2018. p. 50-59.

GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, n. 1-4, p. 127-157, 1998.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, Berkeley, v. 31, n. 1, 149-190, 1980.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; ARAUJO, G. G. L.; SILVA, E. F. F.; WILLADINO, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.

HAMAMOTO, S.; HORIE, T.; HAUSER, F.; DEINLEIN, U.; SCHROEDER, J. I.; UOZUMI, N. HKT transporters mediate salt stress resistance in plants: from structure and function to the field. **Current Opinion in Biotechnology**, Philadelphia v. 32, p. 113–120, 2015.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para a irrigação. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F., eds. Simpósio “Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada, Campina Grande, 1997. **Anais**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1997. p.137-169.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 289-295, 2004.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Cultivo de sorgo: Clima. Sistema de Produção**, 2, 6 ed, 2010. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: < [http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo\\_6\\_ed/clima.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/clima.htm) > Acessado em: 03 fev 2012.

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

MANSOUR, M. M. F.; SALAMA, K. H. A. Cellular basis of salinity tolerance in plants. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 2, p. 113-122, 2004.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.

MUNNS, R. Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. **Advances in Botanical Research**, New York, v. 57, p. 1-32, 2011.

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, Embrapa, 327, p. 56, ed. 1, 2015.

SANI, B.M.; DANMOWA, N.M.; SANI, Y.A.; JALIYA, M.M. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria. **Nigerian Journal of Basic and Applied Science**, Sokoto, v. 19, n. 2, p. 253-259, 2011.

SANTOS, F. D.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In BORÉM A. (org). **Melhoramento de espécies cultivadas**, Viçosa, p. 605-658, ed. 2, 2005.

SILVA J. V.; LACERDA, C. F.; AZEVEDO-NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e osmorregulação em dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 125-131, 2003.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. M.; SANTOS, G. C. L.; FARIAS, I. M. S. C.; PÁDUA, G. V. G.; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E.; BATISTA, R. F.; GONZAGA NETO, S.; CABRAL, A. M. D. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 10, n. 3, e12310313172, 2021.

SILVA, J. S. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos de dois genótipos de sorgo forrageiro submetidos à salinidade**. 2003. 109 p. Tese (Doutorado em fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

TABOSA, J. N.; BARROS, A.; SILVA, F. G.; BRITO, A. R.; SIMÕES, A. L.; MESQUITA, F. L. T.; NASCIMENTO, M. A.; SILVA FILHO, J. G.; FRANÇA, J. G. E.; SILVA, A. B.B; FERRAZ, I.; CARVALHO, E. X.; CORDEIRO, A. L.; SIMPLÍCIO, J. B. Importância do

melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L.; BRITO, L. T. L. **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2019. p. 515-569.

TABOSA, J. N.; BARROS, A. H. C.; BRITO, A. R. M. B.; SIMPLÍCIO, J. B. Cultivo do sorgo no semiárido brasileiro: Potencialidades e utilizações. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; SILVA, D. M. P.; TABOSA, J. N.; BRITO, J. Z.; FRANÇA, J. G. E.; WANDERLEY, M. B.; SANTOS FILHO, A. S.; GOMES, E. W. F.; LOPES, G. M. B.; OLIVEIRA, J. de P.; SANTIAGO, A. D.; SILVA, F. G.; PACHECO, M. I. N.; SILVA, C. C. F. (Eds.). **Tecnologias potenciais para uma agricultura sustentável**. Recife: IPA/EMATER/SEAGRI-AL, 2013a. p. 133–162.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; BRITO, A. R. M. B.; MONTEIRO, M. C. D.; SIMPLÍCIO, J. B.; OLIVEIRA, J. A. C.; SILVA, F. G.; AZEVEDO NETO, A. D.; DIAS, F. M.; Lira, M. A.; TAVARES FILHO, J. J.; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, L. E.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, L. R. Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoras, v. 1, n. 2. p. 47-58, 2002.

TABOSA, J. N. Cadernos do Semiárido riquezas e oportunidades: Sorgo. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco CREA-PE. Recife: **Editora UFRPE**. v. 15, n. 2. 2020. 84 p.

TAVAKKOLI, E. PAULL, J., RENGASAMU, P., MCDONALD, G.K. Comparing genotypic variation in faba bean (*Vicia faba* L.) in response to salinity in hydroponic and field experiments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 127, p. 99-108, 2012.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 2-23, 2010.