



**ROMÁRIO MARTINS COSTA**

**RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE  
FEIJÃO-MUNGO CULTIVADO SOB NÍVEIS DE SALINIDADE  
DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE  
SILÍCIO**

**TERESINA – PI**

**2021**

**ROMÁRIO MARTINS COSTA**

**RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE FEIJÃO-MUNGO CULTIVADO  
SOB NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE  
SILÍCIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador

Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra

**TERESINA – PI**

**2021**

**ROMÁRIO MARTINS COSTA**

**Respostas morfofisiológicas e produtivas de feijão-mungo cultivado sob níveis de salinidade da água de irrigação e aplicação foliar de silício.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 17 de julho de 2021

Comissão Julgadora:



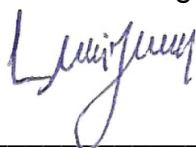
---

Prof. Dr. José Valdenor da Silva Júnior – UFPI



---

Prof. Dr. Francisco Reinaldo Rodrigues Leal – UESPI



---

Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior – UESPI



---

Prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – CCA/UFPI  
(Orientador)

**TERESINA-PI**

**2021**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processos Técnicos

**C837r** Costa, Romário Martins

Respostas morfofisiológicas e produtivas de feijão–mungo cultivado sob níveis de salinidade da água de irrigação e aplicação foliar de silício. / Romário Martins Costa -- 2021.

90 f.: il.

Dissertação ( Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciência Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia,, Teresina, 2021.

“Orientador: Prof. Dr. Antônio de Carvalho Bezerra”

1. *Vigna radiata* ( L.) Wilczek 2. Estresse salino 3. Rendimentos de grãos  
4. Tolerância à salinidade I. Bezerra, Antônio de Carvalho II.. Título.

**CDD 635.652**

Aos meus pais Maria José e Raimundo,  
meus irmãos Ronaldo, Janaina e Jônica, e  
aos meus sobrinhos Lara Camille e Enzo.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho e por nunca me deixar desistir nos momentos difíceis.

A Universidade Federal do Piauí (UFPI), bem como ao programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Topical (PPGA – AT) pela oportunidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Ao prof. Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra pela orientação e ensinamentos.

Aos professores do PPGA-AT pela dedicação ao ensino, incentivo e troca de experiências.

A coordenação do PMGCA – UFPI pela disposição das estufas para condução dos experimentos e do laboratório para realização das análises que foram essenciais para o presente trabalho.

Ao Dr. Lúcio Flavo Lopes Vasconcelos (Pesquisador da Embrapa Meio-Norte) pela colaboração.

Aos Drs. José Valdenor da Silva Júnior e Francisco Reinaldo Rodrigues Leal pelas contribuições para melhora da escrita da dissertação durante o exame de qualificação.

Ao Silas (secretário do PPGA – AT), pela dedicação, por sempre está disponível para auxiliar e tirar dúvidas.

Aos alunos PIBIC Gabriel Aquino Rocha e Kathully Karolaine Brito Torres pela ajuda na execução dos experimentos.

Aos meus pais, Maria José Teixeira Martins e Raimundo Teixeira Costa; meus irmãos Ronaldo Martins Costa, Janaina Martins Costa e Jônica Martins Costa pelo apoio incondicional e incentivo.

Aos meus colegas e amigos: Sâmia Matos, Marcos Renan, Rayssa Carolinne, Larissa Macelle, Samuel Pontes, Ane Caroline Melo, Anderson Rodrigues, Carla Eliza Alencar, Ingrid Setubal, Edson Dias Neto, Marcus Briozo, Kassio Felipe, Ana Raquel, Raquel Sobral e Célia Ribeiro pela amizade, momentos de descontração e parcerias no decorrer do mestrado.

E também a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e que não foram citados.

Meus mais sinceros agradecimentos.

*“As grandes ideias surgem da observação dos pequenos detalhes”*

*Augusto Cury*



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1	Origem e distribuição geográfica do feijão-mungo .....	15
2.2	Produção, produtividade e importância socioeconômica do feijão-mungo.....	15
2.3	Uso da irrigação na agricultura .....	16
2.4	Salinidade do solo.....	17
2.5	Efeito do estresse salino sobre as plantas .....	19
2.6	Tolerância das plantas à salinidade.....	21
2.7	Silício como mitigador do estresse salino .....	21
	<b>CAPÍTULO I - DESEMPENHO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-MUNGO CULTIVADAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
2.1	Localização e caracterização da área experimental .....	35
2.2	Delineamento experimental, semeadura e condução do experimento .....	35
2.3	Parâmetros avaliados .....	36
2.4	Análise estatística .....	38
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>39</b>
3.1	Altura da planta, diâmetro do caule, número de nós do ramo principal, número de folhas e número de ramos laterais.....	39
3.2	Área foliar, índice relativo de clorofila e índice de biomassa foliar .....	42
3.3	Massa seca das folhas, caule, raízes e total .....	45
3.4	Conteúdo relativo de água das folhas .....	48
3.5	Índice de tolerância a salinidade, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento da cultura.....	48
3.6	Porcentagem de sódio trocável e Razão de adsorção de sódio .....	52
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>
	<b>CAPÍTULO II - DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-MUNGO EM RESPOSTA A SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO .....</b>	<b>59</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>65</b>
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	65

2.2	<b>Delineamento experimental, semeadura e condução do experimento.....</b>	<b>65</b>
2.3	<b>Parâmetros morfofisiológicos e de crescimento .....</b>	<b>66</b>
2.4	<b>Parâmetros produtivos .....</b>	<b>67</b>
2.5	<b>Porcentagem de sódio trocável e Razão de adsorção de sódio .....</b>	<b>67</b>
2.6	<b>Análise estatística .....</b>	<b>68</b>
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>69</b>
3.1	<b>Estádio vegetativo .....</b>	<b>69</b>
3.2	<b>Estádio reprodutivo.....</b>	<b>75</b>
3.3	<b>Parâmetros produtivos .....</b>	<b>79</b>
3.4	<b>Análise residual .....</b>	<b>84</b>
4	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

## RESUMO

Esse estudo teve por objetivo avaliar o desempenho morfofisiológico, de crescimento e produtivo de duas linhagens de feijão-mungo em resposta a salinidade da água de irrigação e aplicação foliar de silício. Foram realizados dois ensaios em casa de vegetação, ambos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial. No ensaio I, foram avaliados cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEai [0,5 (controle); 2; 4; 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>] e duas linhagens de feijão-mungo (L1: Mungo black-PLMG; e L2: Mungo verde-PLMG) para identificação da tolerância das linhagens aos aumentos dos níveis de CEai, avaliado durante o estágio vegetativo. No ensaio II, com doses ajustadas de acordo com o ensaio I, utilizou-se os níveis de CEai: 1 (controle) 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>; dois níveis de silício: 0 e 2 kg ha<sup>-1</sup>, com as mesmas linhagens do ensaio I, avaliados até a colheita. Os aumentos da CEai limitaram os parâmetros morfofisiológicos, o crescimento e o rendimento de grãos das linhagens Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG. Contudo, na fase vegetativa a linhagem Mungo black-PLMG foi menos afetada pelos aumentos da CEai, apresentando menor redução das massas secas das folhas e caule. A aplicação foliar de silício (2 kg ha<sup>-1</sup>) não contribuiu para redução do estresse salino das linhagens de feijão-mungo. A Mungo verde-PLMG embora não possuindo maior tolerância à salinidade na fase vegetativa, apresentou maior número de grãos por vagem e peso de 100 grãos, além de maior produção de grãos até a CEai de 3 dS m<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, estresse salino, tolerância à salinidade, rendimento de grãos

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the morphophysiological, growth and yield performance of two mung bean strains in response to the salinity of irrigation water and foliar silicon application. Two trials were carried out in a greenhouse, both in a completely randomized design in a factorial scheme. In test I, five levels of electrical conductivity of the irrigation water were evaluated - EC<sub>Cai</sub> [0.5 (control); 2; 4; 6 and 8 dS m<sup>-1</sup>] and two mung bean strains (L1: Mungo black-PLMG; and L2: Mungo green-PLMG) to identify the tolerance of strains to increases in EC<sub>Cai</sub> levels, evaluated during the vegetative stage. In trial II, with doses adjusted according to trial I, EC<sub>Cai</sub> levels were used: 1 (control) 2, 3, 4 and 5 dS m<sup>-1</sup>; two levels of silicon: 0 and 2 kg ha<sup>-1</sup>, with the same strains as in trial I, evaluated until harvest. Increases in EC<sub>Cai</sub> limited the morphophysiological parameters, growth and grain yield of the Mungo black-PLMG and Mungo verde-PLMG lines. However, in the vegetative phase, the Mungo black-PLMG lineage was less affected by increases in EC<sub>Cai</sub>, with less reduction in dry mass of leaves and stems. The foliar application of silicon (2 kg ha<sup>-1</sup>) did not contribute to the reduction of salt stress in the mung bean strains. Mungo verde-PLMG, although not having greater tolerance to salinity in the vegetative phase, had a greater number of grains per pod and weight of 100 grains, in addition to greater grain production up to EC<sub>Cai</sub> of 3 dS m<sup>-1</sup>.

Keywords: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, salt stress, salinity tolerance, grain yield

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] é uma Fabaceae de grande importância socioeconômica, cultivado extensivamente em regiões de clima Tropical e Subtropical (SHARASIA et al., 2017), principalmente na Ásia (NAIR et al., 2013). Dentre os fatores que limitam a sua produção, estão o baixo nível tecnológico empregado no cultivo, o estresse nutricional, o déficit hídrico associado a irregularidades das chuvas, a falta de adoção de variedades com alto potencial produtivo, além do cultivo em terras marginais salinas ou uso da água de irrigação com concentrações elevadas de sais (RAZZAQUE et al., 2017; SINGH; SINGH, 2011; PATACZEK et al., 2018).

Os solos salinos, comum em regiões de clima Árido e Semiárido (RIBEIRO et al., 2016), são caracterizados pelo excesso de sais solúveis no solo, onde a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) é igual ou superior a 4 dS m<sup>-1</sup> (RICHARDS, 1954). Essa salinidade pode ser provocada tanto por fatores naturais (salinização primária), ligados ao intemperismo das rochas, por sais remanescentes dos ambientes marinhos ou de forma induzida pela ação antrópica (salinização secundária), através de práticas culturais na agricultura irrigada com uso de águas subterrâneas contendo sais dissolvidos e pelo excesso de fertilizantes aplicados (FAO, 2015).

A salinidade é apontada como um dos principais estresses abióticos (HAYAT et al., 2019), tornando-se um dos fatores mais limitantes a produção da maioria das plantas cultivadas (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). O estresse salino provoca a redução na germinação de sementes (ALHARBY et al., 2019), nos parâmetros de crescimento, fisiológicos, bioquímicos e de rendimento (SEHRAWAT et al., 2014). Dentre os efeitos adversos provocados pela salinidade estão a redução da diversidade e da atividade microbiana, podendo assim, haver redução na fixação biológica de nitrogênio (YAN et al., 2015).

Devido a necessidade do aumento da produção de alimentos, inclusive em terras marginais com altos índices salinos ou passíveis de serem salinizadas pela água de irrigação, várias pesquisas têm sido desenvolvidas visando mitigar os efeitos da salinidade sobre as culturas. Entre estas estão a seleção de genótipos mais tolerantes a salinidade e a sodicidade (ALHARBY et al., 2019; MANASA et al., 2017), a indução a tolerância (MAHMOOD et al., 2016; NAZAR et al., 2011), o emprego de

espécies fitorremediadoras (LI et al., 2019) e o uso de microrganismos promotores de crescimento (EGAMBERDIEVA et al., 2017; NUMAN et al., 2018).

Das alternativas para mitigação da salinidade do solo, a mais eficiente é a lixiviação dos sais próximos da zona radicular, contudo, essa prática pode ser demorada e de custo elevado, especialmente em regiões áridas e semiáridas onde não tem água em abundância e de boa qualidade (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017). Além disso, essa alternativa também não pode ser considerada quando o lençol se encontra próximo a superfície do solo (VAN DER ZEE et al., 2014).

Nesse sentido, outras opções mitigatórias devem ser adotadas, como a seleção de genótipos mais tolerantes combinada a aplicação exógena de substâncias/nutrientes capazes de atenuar os efeitos dos estresses bióticos e abióticos às culturas, tal como o silício, que pode melhorar as características fisiológicas da planta, como o teor de clorofila, o conteúdo relativo de água das folhas (LATEF; TRAN, 2016), a condutância estomática e a taxa de transpiração, conseqüentemente, o crescimento e o rendimento da planta sob estresse salino (MAHMOOD et al., 2016).

Diante do cenário atual, onde há a necessidade do aumento da produção de alimentos em áreas cada vez mais restritas, seja devido às mudanças climáticas ou pela intensificação da degradação dos solos, por processos de erosão, desertificação, salinização e sodificação, será inevitável a expansão da agricultura para áreas marginais e uso de águas com altas concentrações salinas. Aliado a isso, os recursos hídricos de qualidade para o uso na agricultura irrigada estão reduzindo gradativamente.

Nesse contexto, é necessário que sejam realizados estudos para verificar os efeitos da água de irrigação com diferentes concentrações salinas, na presença e ausência de silício, a fim de verificar alterações nas características morfofisiológicas e rendimento das plantas e identificar os genótipos mais tolerantes para que possam ser cultivados nesses ambientes.

Objetivou-se com essa revisão fazer um levantamento sobre (i) a cultura do feijão-mungo, sua origem, distribuição geográfica, produção, produtividade e importância econômica; (ii) sobre o uso da irrigação e de água salina na agricultura (iii); causas da salinidade e seus efeitos sobre as características morfofisiológicas, de crescimento e produtivas do feijão-mungo; (iv) e por fim, do uso de silício como mitigador do estresse salino.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Origem e distribuição geográfica do feijão-mungo

O feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], conhecido popularmente como celera bean, golden gram, mungbean, green gram (inglês), judía mungo, frijol mungo (espanhol), feijão-da-china, feijão-mungo e mungo-verde (português) é uma importante espécie pertencente à família Fabaceae, que está dividida em três subgrupos, dentre eles um é cultivado (*V. radiata* subsp. *Radiata*) e dois são silvestres (*V. radiata* subsp. *Sublobata* e *V. radiata* subsp. *Glabra*) (LAMBRIDES; GODWIN, 2006). O gênero é o mesmo das espécies cultivadas *V. unguiculata* (feijão-caupi), *V. angularis* (feijão-azuki) e *V. mungo* (feijão-da-Índia), entre outras espécies (CHADHA, 2010).

O provável centro de origem da espécie *V. radiata* é na Índia, onde também foi domesticada há mais de 3.500 anos (FULLER, 2007), e posteriormente introduzida no restante da Ásia, na África e em outros continentes (HEUZÉ et al., 2015). Atualmente é cultivada extensivamente em regiões tropicais e subtropicais, em países da Ásia, da África, América do Sul e Austrália (SHARASIA et al., 2017).

### 2.2 Produção, produtividade e importância socioeconômica do feijão-mungo

A espécie *V. radiata* é uma das leguminosas mais importantes da Ásia, especialmente na Índia, no Sudeste e Leste asiático (LAMBRIDES; GODWIN, 2006), que concentram cerca de 90% da produção mundial (NAIR et al., 2013).

A Índia é o maior produtor de feijão-mungo, seguido da China, Mianmar e Indonésia (NAIR et al., 2014). A produção indiana é estimada em 1,61 milhões de toneladas por ano, cultivada em uma área de 2,98 milhões de hectares, com produtividade média de 540 kg ha<sup>-1</sup> (SINGH et al., 2015), correspondendo a 54% da produção mundial e 65% da área cultivada (SHARMA et al., 2011). A baixa produtividade nesse país ocorre devido ao baixo nível tecnológico empregado, à deficiência nutricional, salinidade do solo, à disponibilidade pluviométrica e falta de variedades com alto potencial produtivo (RAZZAQUE et al., 2017).

O feijão-mungo é geralmente cultivado em consórcio com culturas como o sorgo, algodão, milho, feijão-guandu, girassol e cana-de-açúcar (CHADHA, 2010).

Também pode ser adotado em sucessão ao cultivo do arroz, aproveitando a umidade residual do solo (FAO, 2012).

No Brasil, a produção de feijão-mungo ainda é incipiente e seu cultivo tem sido voltado para a produção de brotos germinados (VIEIRA et al., 2011). Em ensaios de verão utilizando 25 genótipos de feijão-mungo nos municípios de Viçosa e Prudente de Moraes, ambos em Minas Gerais, Vieira et al. (2003) verificaram produtividades de 1,2 a 2,0 t ha<sup>-1</sup>, em Viçosa, e de 1,3 a 2,6 t ha<sup>-1</sup> em Prudente de Moraes. Em outro estudo realizado na Zona da Mata de Minas Gerais, no inverno, utilizando dez genótipos, Vieira et al. (2011) encontraram produtividades médias variando de 0,8 a 1,1 t ha<sup>-1</sup>. Em Santa Catarina, região sul do Brasil, a produtividade apresentada pelas linhagens mais promissoras variou de 1,1 a 1,4 t ha<sup>-1</sup> (LIN; ALVES, 2002).

Embora a maior produção de feijão-mungo esteja localizada na Índia, esse país não consegue suprir a demanda interna, necessitando importar cerca de 20% da demanda total do país (SINGH et al., 2015). Atualmente a Índia é o maior importador de feijão-mungo do mundo, seguido da China e Vietnã. Quanto às exportações, Mianmar é o maior exportador, responsável por mais de 50% das exportações globais (TRIGDE, 2019).

### **2.3 Uso da irrigação na agricultura**

De acordo com a FAO (2014), as chuvas ainda são o principal meio de fornecimento de água para as culturas. Contudo, com a mudança no padrão sazonal (ZHANG et al., 2012), a distribuição irregular e baixa precipitação em algumas regiões (REBOUÇAS, 1997), torna-se necessário o emprego da irrigação para manutenção dos cultivos agrícolas (LOPES et al., 2008). Em apenas 20% das áreas cultivadas é usada irrigação, por outro lado, essa área representa 40% da produção agrícola global (FAO, 2014).

Em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade de água em quantidade e qualidade é insuficiente, tem-se adotado o uso de águas subterrâneas com a presença de sais dissolvidos, ou da mistura dessas com água de boa qualidade para a irrigação das culturas (TERCEIRO NETO et al., 2018).

Existem diferentes classificações para a salinidade da água de irrigação. Para Rhoades et al. (1992), a água com CE <0,7 dS m<sup>-1</sup> é considerada como não salina, entre 0,7–2,0 dS m<sup>-1</sup> como ligeiramente salina, entre 2–10 dS m<sup>-1</sup> como



moderadamente salina e  $CE > 10 \text{ dS m}^{-1}$  como altamente salina. Para Richards (1954), a CE de  $0-0,25 \text{ dS m}^{-1}$  é classificada com de baixa salinidade, CE de  $0,25-0,75 \text{ dS m}^{-1}$  como de salinidade média, CE de  $0,75-2,25 \text{ dS m}^{-1}$  possui salinidade alta, CE de  $2,25-5,0 \text{ dS m}^{-1}$  como de salinidade muito alta. Pillsbury e Blaney (1966), destacam que água com CE superior a  $7,5 \text{ dS m}^{-1}$  não deve ser usada para a irrigação.

Quando utilizada água salina na irrigação, deve-se optar por sistemas que ocasionem poucos danos à cultura e que não afete drasticamente sua produtividade, assim, a adoção de sistemas de irrigação por gotejamento é mais adequada (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017). Segundo esses autores, em sistemas de irrigação por aspersão é comum o aparecimento de queimaduras nas folhas, resultado do acúmulo de sais, sobretudo em regiões com altas temperaturas.

Devido as condições climáticas de regiões áridas e semiáridas, o uso da irrigação torna-se essencial para viabilizar o cultivo de culturas agrícolas (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017). No entanto, a água da irrigação e a adição de fertilizantes minerais podem elevar a condutividade elétrica da solução do solo, especialmente quando a precipitação pluviométrica é insuficiente para promover a lixiviação dos sais em camadas subsuperficiais do solo (LOPES et al., 2008), bem como quando não é adotada a irrigação com uma fração de lixiviação (HANSON; MAY, 2011).

Embora a irrigação aplicada de forma inadequada, seja o principal meio para aumento da salinização secundária do solo, ela também se apresenta como uma das formas mais eficientes para lixiviação dos sais próximos da zona radicular (HANSON; MAY, 2011). De acordo com esses autores, a irrigação pode ser empregada tanto para a obtenção da lixiviação de recuperação, como para a lixiviação de manutenção. A primeira é utilizada para reduzir a salinidade excessiva do solo para valor igual ou menor que o limiar das culturas, já a segunda é utilizada para controlar os níveis de sais da zona radicular no período da safra.

## **2.4 Salinidade do solo**

A salinidade é apontada como um dos fatores mais limitantes à produção da maioria das plantas cultivadas (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). Embora ela seja associada a sodicidade do solo, são processos distintos: a salinidade é o excesso de sais solúveis próximo a superfície do solo, enquanto, a sodicidade é o excesso de  $\text{Na}^+$  trocável (RICHARDS, 1954). Essa associação deve-se ao fato da sodicidade ser um

processo resultante da salinidade do solo, pois com a dissociação iônica dos sais de sódio (PEDROTTI et al., 2015), o  $\text{Na}^+$  passa a ocupar cargas do solo antes ocupadas por outros cátions, como o  $\text{Ca}^{2+}$  e o  $\text{Mg}^{+2}$  (VAN DER ZEE et al., 2014).

De acordo com Richards (1954), os solos salinos apresentam condutividade elétrica (CE) no extrato de saturação superior a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , com porcentagem de sódio trocável (PST) inferior a 15%, enquanto que os solos sódicos são aqueles que apresentam PST superior a 15%, com CE do extrato de saturação menor que  $4 \text{ dS m}^{-1}$ , e os salinos-sódicos aqueles que apresentam características de solos salinos e solos sódicos.

No contexto atual, estima-se que a área afetada pelos solos salinos, sódicos ou salino-sódicos seja de aproximadamente 1 bilhão de ha (IVUSHKIN et al., 2019). A salinização é mais comum em regiões de clima áridos e semiáridos, onde as chuvas são insuficientes para lixiviar os sais presentes em camadas mais superficiais do solo (FAO, 2015). Os principais sais solúveis presentes em solos salinos são os cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Na, Ca e Mg (RIBEIRO et al., 2016).

A salinidade e a sodicidade podem provocar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017; SINGH, 2016). Os solos salinos apresentam pH menor ou igual a 8,5, enquanto os solos sódicos apresentam pH entre 8,5 a 10 (RICHARDS, 1954). Com a elevação do pH, especialmente nos solos sódicos, há uma redução significativa na disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas, principalmente do P e de alguns micronutrientes (ferro, cobre, manganês e zinco), que apresentam maior disponibilidade próximo da faixa ideal, ou seja, pH de 6,0 a 6,5 (LOPES, 1998). De acordo com esse autor, em faixa de pH acima da neutralidade (pH 7) o P pode reagir com Ca ou Mg formado compostos insolúveis.

A salinidade pode aumentar a floculação, melhorando a estrutura do solo, e, portanto, aumentando a porosidade (WARRENCE et al., 2002), enquanto que, a sodicidade possui efeito contrário, ou seja, quando em excesso, expande as argilas, obstruindo os poros, logo, reduzindo a infiltração e a condutividade hidráulica do solo (VAN DER ZEE et al., 2014). Contudo, vale ressaltar que tanto a salinidade como a sodicidade podem afetar o crescimento das plantas (MANASA et al., 2017; MACHADO; SERRALHEIRO, 2017).

De acordo com Singh (2016), a salinidade e a sodicidade também afetam os microrganismos do solo, podendo reduzir a biomassa e a população microbiana

devido a morte de células microbianas pela desidratação, por outro lado, nos solos sódicos há um aumento da mineralização da matéria orgânica, reduzindo-a à níveis críticos. Quanto a fixação biológica de nitrogênio, essa pode ser comprometida devido a redução da nodulação por bactérias do gênero *Rhizobium* (HANUMANTHARAO et al., 2016).

## 2.5 Efeito do estresse salino sobre as plantas

A salinidade é um dos principais estresses abióticos causados as espécies vegetais, capaz de comprometer o desenvolvimento das plantas, desde a germinação de sementes, o crescimento até a sua produção (LIANG et al., 2018). O estresse salino pode afetar significativamente as características morfofisiológicas e a produtividade das culturas (AHMAD et al., 2013; BASHIR et al., 2016, MACHADO; SERRALHEIRO, 2017).

Normalmente, plantas cultivadas em solos sob altas concentrações salinas podem sofrer tanto estresse osmótico quanto toxicidade iônica (HANUMANTHARAO et al., 2016). O estresse osmótico e a toxicidade iônica são estresses primários, onde o primeiro ocorre devido aumento da pressão osmótica na interface solo-raiz e pode comprometer a captação de água pela planta, induzindo o déficit hídrico e afetando o crescimento da planta, já o segundo diz respeito ao acúmulo de altas concentrações de íons ( $\text{Na}^+$  e/ou  $\text{Cl}^-$ ) principalmente nas folhas, tornando-se tóxicos (LIANG et al., 2018).

No solo sob condição não salina, as células radiculares das plantas apresentam potencial hídrico menor que o solo circundante, isso favorece o influxo ou entrada de água nas raízes, em contrapartida, sob condições salinas essa diferença de potencial hídrico é reduzida ou invertida, como consequência a planta reduz a absorção de água ou acaba perdendo água para o solo (HAUSER; HORIE, 2010).

A salinidade pode influenciar diretamente na nutrição das plantas, pois devido ao excesso de  $\text{Na}^+$  na solução do solo, pode haver uma competição pela absorção de nutrientes, provocando reduções significativas na absorção, especialmente dos macronutrientes N, P e K (ABDEL-FATTAH; ASRAR, 2012). Além disso, a salinidade pode elevar as concentrações de  $\text{Na}^+$  e reduzir a relação K/Na das plantas, sendo que a manutenção da relação K/Na alta no citosol é determinante para a tolerância da planta ao estresse salino (LIANG et al., 2018).

O estresse salino sofrido por plantas sensíveis, pode trazer, dentre outras consequências a redução da expansão foliar, inibição da formação de gemas laterais (TAIZ et al., 2017), além de apresentar crescimento da parte aérea e radicular reduzidos quando comparados às plantas sob condições normais (MANASA et al., 2017).

Dentre os parâmetros fisiológicos afetados pelo estresse salino, estão a redução da eficiência da assimilação de CO<sub>2</sub>, taxa fotossintética, taxa de transpiração, conteúdo de clorofila da folha, condutância estomática e conteúdo relativo de água das folhas (AHMAD et al., 2013), o que acaba promovendo um menor acúmulo de massa fresca e seca pela planta (ALHARBY et al., 2019).

Além disso, plantas sob estresse salino produzem níveis elevados de etileno, o que contribui para a senescência prematura de partes da planta, prejudicando sua fisiologia e o seu crescimento (AHMAD et al., 2013). Em regiões áridas e semiáridas os níveis de produção de etileno são ainda mais elevados (AHMAD et al., 2012), e como estratégia de defesa da planta ao estresse, ocorre o aumento da atividade de enzimas antioxidantes para reduzir os danos causados por Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) às membranas lipídicas (HAYAT et al., 2010).

Bashir et al. (2016), identificaram redução na produção de grãos por planta da cultura do feijão-mungo de até 48% quando a condutividade elétrica (CE) na zona radicular é aumentada de 1,55 dS m<sup>-1</sup> para 4 dS m<sup>-1</sup> e de até 71% quando aumentada para 8 dS m<sup>-1</sup>, afetando a produtividade da cultura. Por outro lado, outros estudos comprovam que alguns genótipos dessa cultura respondem de forma diferenciada, sendo menos afetadas pelo estresse salino (ALHARBY et al., 2019; SEHRAWAT et al., 2015). Garcia et al. (2019) avaliando diferentes níveis de salinidade na cultura do feijão-comum, também verificou redução de 20% no rendimento quando a condutividade elétrica da água de irrigação foi aumentada de 0,6 para 2,0 dS m<sup>-1</sup>.

O excesso de Na<sup>+</sup> e de Cl<sup>-</sup> no solo provocam desbalanços nutricionais, o Na<sup>+</sup> pode reduzir a absorção de K e Ca, induzindo a deficiência desses macroelementos, e, portanto, comprometendo o desenvolvimento das plantas, já que o K atua como ativador enzimático e o Ca é um constituinte da parede celular (BUTCHER et al., 2016). De acordo com esses autores, o Cl<sup>-</sup> por sua vez pode reduzir a absorção de nitrato, degradando a clorofila, que em consequência, afeta a atividade fotossintética.

## 2.6 Tolerância das plantas à salinidade

Existem espécies que são altamente tolerantes a salinidade, conseguem sobreviver mesmo em condições extremas de salinidade devido a adaptações fisiológicas, em que conseguem depositar o sal no vacúolo, outras por sua vez conseguem excretar parte do sal absorvido (ALMEIDA et al., 2017). Essas espécies são classificadas como halófitas, como exemplo tem-se a *Atriplex amnicola*, *Salsola stocksii* (MUKHTAR et al., 2018). De acordo com Almeida et al. (2017), as plantas tolerantes à salinidade apresentam alguns mecanismos como resposta, como a biossíntese e acúmulo de solutos para manter a absorção de água, evitando assim a desidratação dos tecidos, outro mecanismo é a exclusão do  $\text{Na}^+$ , impedindo o acúmulo desse íon nas raízes e folhas, além da sua compartimentalização no vacúolo das células.

Culturas como o feijão-mungo (MINHAS et al., 1990), o feijão-comum, o arroz (ROY et al., 2019), o milho (BUTCHER et al., 2016) e as hortaliças como o quiabo, a cebola, a cenoura e o morango são tidas como glicófitas, ou seja, são culturas sensíveis a salinidade (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017), com seu desenvolvimento reduzido quando se encontra sob condições de alta salinidade.

O feijão-mungo possui valor limiar de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  (afetado pela salinidade, especialmente no estágio inicial de desenvolvimento da cultura), onde para cada unidade de aumento da salinidade (CE em  $\text{dS m}^{-1}$ ) na zona radicular a cultura pode apresentar redução de até 20,7% da sua produtividade (MINHAS et al., 1990). Contudo, mesmo dentro de uma espécie considerada glicófita, existem genótipos mais tolerantes ao estresse salino que outros (ALHARBY et al., 2019).

## 2.7 Silício como mitigador do estresse salino

O aumento do processo de salinização dos solos, especialmente pela agricultura irrigada mal manejada, tem levado muitas áreas a tornarem-se improdutivas (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). Nesse cenário, tem-se realizado diversos estudos com o intuito de selecionar genótipos tolerantes a esses ambientes (HANUMANTHARAO et al., 2016; ALHARBY et al., 2019; MANASA et al., 2017). Por outro lado, também foram realizados estudos para avaliar a eficiência de plantas na fitorremediação de solos com altas concentrações salinas, como das espécies

*Medicago sativa* (CAO et al., 2012), *Suaeda fruticosa* e *Atriplex lentiformis* (DEVI et al., 2016).

Recentemente, têm sido realizadas pesquisas com a inoculação de microrganismos, como de fungos micorrízicos arbusculares, de bactérias e a aplicação conjunta destes (GARCIA et al., 2019), o uso de transgênicos (LIANG et al., 2018), a aplicação exógena de selênio (KAUR; NAYYAR, 2015), de cálcio (ROY et al., 2019) e de silício (ABBAS et al., 2017) para reduzir o estresse à planta, aumentar a tolerância a salinidade e conseqüentemente a sua produção.

Alguns estudos têm demonstrado que a aplicação exógena de silício (Si) contribui para o aumento da tolerância a salinidade em diversas plantas cultivadas, como as culturas do milho (LATEF; TRAN LAM-SON, 2016), do sorgo (YIN et al., 2013), do trigo (TUNA et al., 2008), do arroz (SHI et al., 2013), da canola (FARSHIDI et al., 2012), do quiabo (ABBAS et al., 2015), do tomate (LI et al., 2015), da soja (LEE et al., 2010) e do feijão-mungo (AHMAD et al., 2019; GHASSEMI-GOLEZANI; LOTFI, 2015; MAHMOOD et al., 2016), entre outras.

Mahmood et al. (2016) relata que a aplicação exógena de Si pode reduzir os efeitos deletérios da salinidade, provocando aumentos da área foliar, do teor de clorofila, da produção de biomassa, do conteúdo relativo de água, do índice de tolerância a salinidade e conseqüentemente, aumentos no rendimento de sementes. De acordo com esses autores, o Si atua aumentando a estabilidade da membrana e dos pigmentos fotossintéticos, melhorando o seu crescimento e as características fisiológicas.

A aplicação de Si também eleva a atividade de enzimas antioxidantes como superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase e glutatona redutase, contribuindo para eliminação de EROs, além disso, reduz a captação de  $\text{Na}^+$  e eleva a relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  da planta em condição de estresse salino (AHMAD et al., 2019). De acordo como esses autores, o Si contribui para manutenção do status hídrico da planta mais elevado, aumentando a condutância estomática, a taxa de transpiração e a captação de  $\text{CO}_2$ , conseqüentemente uma maior eficiência fotossintética.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, T. et al. Silicon-induced alleviation of NaCl toxicity in okra (*Abelmoschus esculentus*) is associated with enhanced photosynthesis, osmoprotectants and antioxidant metabolism. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 6, 2015.
- ABBAS, T. et al. Exogenous silicon application alleviates salt stress in okra. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 58, p. 342-349, 2017.
- ABDEL-FATTAH, G. M.; ASRAR, A. A. Arbuscular mycorrhizal fungal application to improve growth and tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants grown in saline soil. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 267-277, 2012.
- AHMAD, P. et al. Silicon (Si) Supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 70-82, 2019.
- AHMAD, M. et al. The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 1321-1330, 2012.
- AHMAD, M. et al. Efficacy of *Rhizobium* and *Pseudomonas* strains to improve physiology, ionic balance and quality of mung bean under salt-affected conditions on farmer's fields. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p.170-176, 2013.
- ALHARBY, H. F. et al. Identification of physiological and biochemical markers for salt (NaCl) stress in the seedlings of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 5, p. 1053-1060, 2019.
- ALMEIDA, D. M.; OLIVEIRA, M. M.; SAIBO, N. J. M. Regulation of Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> homeostasis in plants: towards improved salt stress tolerance in crop plants. **Genética e Biologia Molecular**, v. 40, n. 1, p. 326-345, 2017.
- BASHIR, K. et al. Bio-associative effect of rhizobacteria on nodulation and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.) under saline conditions. **Journal of Applied Agriculture and Biotechnology**, v. 1, n. 2, p 23-37, 2016.
- BUTCHER, K. et al. Soil salinity: a threat to global food security. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2189-2200, 2016.
- CAO, J. et al. Using alfalfa (*Medicago sativa*) to ameliorate salt-affected soils in Yingda irrigation district in Northwest China. **Acta Ecologica Sinica**, v. 32, p. 68-73, 2012.
- CHADHA, M. L. **Short duration mungbean: a new success in South Asia**. Thailand: APAARI, 2010. Disponível em: <<http://apaari.org/wp-content/uploads/downloads/2010/10/Mungbean.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2020.

DEVI, S. et al. Phytoremediation potential of some halophytic species for soil salinity. **International Journal of Phytoremediation**, v. 18, n. 7, p. 693-696, 2016.

EGAMBERDIEVA, D. et al. Impact of soil salinity on the plant-growth – promoting and biological control abilities of root associated bacteria. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 24, n. 7, p. 1601-1608, 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigated crops. [S. l.]: FAO, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9253EN/i9253en.pdf>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources (SWSR)**: main report. Rome, Italy, 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Using residual soil moisture after monsoon rice crop for mung bean production in drought prone areas, Bangladesh**. [S. l.]: Fao, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca3722en/ca3722en.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

FARSHIDI, M.; ABDOLZADEH, A.; SADEGHIPOUR, H. R. Silicon nutrition alleviates physiological disorders imposed by salinity in hydroponically grown canola (*Brassica napus* L.) plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, p. 1779-1788, 2012.

FULLER, D. Q. Contrasting patterns in crop domestication and domestication rates: recent archaeobotanical insights from the Old World. **Annals of Botany**, v. 100, n. 5, p. 903-924, 2007.

GARCIA, C. L. et al. Effect of salinity stress and microbial inoculations on glomalin production and plant growth parameters of snap bean (*Phaseolus vulgaris*). **Agronomy**, v. 9, n. 545, p 1-21, 2019.

GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll *a* fluorescence in mung bean under salt stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 62, p. 611-616, 2015.

Global Trade Platform – TRIGDE. **Feijão Mungo**. Disponível em: <<https://www.tridge.com/intelligences/mung-bean>>. Acesso em: 02 ago. 2019.

HANSON, B.; MAY, D. **Drip irrigation salinity management for row crops**. California, EUA: Agriculture & Natural Resources, 2011. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/2tx0r2q4>>. Acesso em: 23 fev 2020.

HANUMANTHARAO, B.; NAIR R. M.; NAYYAR, H. Salinity and high temperature tolerance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a physiological perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 1-20, 2016.

HAUSER, F.; HORIE, T. A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> ratio in leaves during salinity stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, p. 552-565, 2010.



HAYAT, K. et al. Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. **Environmental Science and Technology**, v. 50, p. 1085-1115, 2019.

HAYAT, S. et al. Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 105-112, 2010.

HEUZÉ, V. et al. **Mung bean (*Vigna radiata*)**. [S. l.]: Feedipedia, 2015. Disponível em: <<https://www.feedipedia.org/node/235>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, n. 111260, p. 1-12, 2019.

KAUR, S.; NAYYAR, H. Selenium fertilization to salt-stressed mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) plants reduces sodium uptake, improves reproductive function, pod set and seed yield. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 304-317, 2015.

LAMBRIDES, C. J.; GODWIN, I. D. Mungbean. In: KOLE, C. **Genome mapping and molecular breeding in plants: pulses, sugar and tuber crops**. Berlin: Springer, 2006, p. 69-86.

LATEF, A. A. A.; TRAN, L-S. P. Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 243, 2016.

LEE, S. K. et al. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. **Agroforestry Systems**, v. 80, p. 333-340, 2010.

LI, X. et al. Bioaugmentation-assisted phytoremediation of lead and salinity co-contaminated soil by *Suaeda salsa* and *Trichoderma asperellum*. **Chemosphere**, v. 224, p. 716-725, 2019.

LIANG, W. et al. Plant salt-tolerance mechanism: a review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 495, p. 286-291, 2018.

LIN, S. S.; ALVES, A. C. Comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) em Santa Catarina. **Ciência Rural**, v. 32, n. 4, p. 553-558, 2002.

LI, H. et al. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 71, 2015.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piaticaba: POTAFOS, 1998.

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na Bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 34-43, 2008.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, 2017.

MAHMOOD, S. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-14, 2016.

MANASA, R. et al. Screening mungbean (*Vigna radiata* L.) lines for salinity tolerance using salinity induction response technique at seedling and physiological growth assay at whole plant level. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 7, p. 1-12, 2017.

MINHAS, P. S.; SHARMA, D. R.; KHOSLA, B. K. Mungbean response to irrigation with waters of different salinities. **Irrigation Science**, v. 11, p. 57-62, 1990.

MUKHTAR, S. et al. Impact of soil salinity on the microbial structure of halophyte rhizosphere microbiome. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 136, p. 1-17, 2018.

NAIR, R. M. et al. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata*) as a whole food to enhance human health. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 8, p. 1805-1813, 2013.

NAIR, R. et al. Legume improvement program at AVRDC – the World Vegetable Center: impact and future prospects. **Field and Vegetable Crops Research**, v. 51, n. 1, p. 55-61, 2014.

NAZAR, R. et al. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 807-815, 2011.

NUMAN, M. et al. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. **Microbiological Research**, v. 209, p. 21-32, 2018.

PATACZEK, L. et al. Beans with benefits—the role of mungbean (*Vigna radiata*) in a changing environment. **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, p. 1577-1600, 2018.

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PILLSBURY, A. F.; BLANEY, H. F. Salinity problems and management in river systems. **Journal of the irrigation and drainage division**, v. 92, n. 1, p. 77-90, 1966.

RAZZAQUE, M. A.; HAQUE, M. M.; KARIM, M. A. Effect of nitrogen on growth and yield on mungbean in low nutrient soil. **Bangladesh Journal of Agricultural Research**, v. 42, n. 1, p. 77-85, 2017.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline water for crop production**. FAO irrigation and drainage paper 48. FAO, Rome, 1992.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. et al. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. Ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9-16.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160 p.

ROY, P. R. et al. Physiological mechanisms of exogenous calcium on alleviating salinity-induced stress in rice (*Oryza sativa* L.). **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, p. 611-624, 2019.

SEHRAWAT, N. et al. Screening of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes for salt tolerance. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 4, p. 36-43, 2014.

SEHRAWAT, N. et al. Effect of salinity stress on mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] during consecutive summer and spring seasons. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 1, p. 23-32, 2015.

SHARASIA, P. L.; GARG, M. R.; BHANDERI, B. M. **Pulses and their by-products as animal feed**. Rome, FAO, 2017.

SHARMA, O. P. et al. **Field guide to Mungbean and Urdbean**. India: National Centre for Intergrated Pest Management, 2011. 40 p.

SHI, YU. et al. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 170, p. 847-853, 2013.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SINGH, A. K. et al. Pulses production in India: present status, bottleneck and way forward. **Journal of Agrisearch**, v. 2, n. 2, p. 75-83, 2015.

SINGH, D. P.; SINGH, B. B. Breeding for tolerance to abiotic stresses in mungbean. **Journal of Food Legumes**, v. 24, n. 2, p. 83-90, 2011.

SINGH, K. Microbial and enzyme activities of saline and sodic soils. **Land degradation & development**, v. 27, p. 706-718, 2016.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TERCEIRO NETO, C. P. C. et al. Viabilidade econômica de la producción de melón regado con agua salina empleando estrategias de manejo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 221-230, 2018.

TUNA, A. L. et al. Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, p. 10-16, 2008.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; SHAH, S. H. H.; VERVOORT, R. W. Root zone salinity and sodicity under seasonal rainfall due to feedback of decreasing hydraulic conductivity. **Water Resources Research**, v. 50, n. 12, p. 9432-9446, 2014.

VIEIRA, R. F.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C. Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 1, p. 37-43, 2003.

VIEIRA, R. F. et al. Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 402-405, 2011.

WARRENCE, N.; BAUDER, J. W.; PEARSON, K. E. **Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties**. Montana, EUA: Department of Land Resources and Environmental Sciences, 2002. Disponível em: <<https://waterquality.montana.edu/energy/cbm/background/soil-prop.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

YAN, N. et al. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015.

YIN, L. et al. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3099-3107, 2013.

ZHANG, Q. et al. Spatial-temporal precipitation changes (1956–2000) and their implications for agriculture in China. **Global and Planetary Change**, v. 82, n. 83, p. 86-95, 2012.

## CAPÍTULO I - DESEMPENHO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-MUNGO CULTIVADAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

### RESUMO

A salinidade é um dos principais entraves para a produção da maioria das plantas cultivadas, responsável pela redução da produtividade, da sustentabilidade do meio ambiente e conseqüentemente da segurança alimentar. A identificação de genótipos com maior tolerância a salinidade é uma das principais alternativas práticas para redução do estresse abiótico em plantas cultivadas. Objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito de níveis crescentes de salinidade da água de irrigação sobre as características morfofisiológicas e de crescimento na fase vegetativa de duas linhagens de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2, com seis repetições. Foram avaliados cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CE<sub>ai</sub> [0,5 (controle); 2; 4; 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>] e duas linhagens de feijão-mungo (L1: Mungo black-PLMG; e L2: Mungo verde-PLMG), cultivadas em casa de vegetação. As avaliações dos parâmetros morfofisiológicos foram realizadas durante o estágio vegetativo (23-24 DAS) e no início da floração (33-34 DAS). A salinidade afetou a altura da planta, diâmetro do caule, número de nós do ramo principal, número de folhas, número de ramos laterais, área foliar, índice relativo de clorofila e a massa seca da planta. Além disso, também foram afetadas a taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e a taxa de crescimento da cultura das linhagens avaliadas. A salinidade provocou redução do crescimento e afetou os parâmetros morfofisiológicos das duas linhagens a partir da CE<sub>ai</sub> de 0,5 dS m<sup>-1</sup>. Os efeitos nocivos da alta CE<sub>ai</sub> sobre as linhagens foram mais expressivos no final do estágio vegetativo (34 DAS). Embora as linhagens avaliadas não apresentem diferenças quanto ao índice de tolerância a salinidade, a linhagem Mungo black-PLMG apresentou melhor resposta aos aumentos da salinidade.

Palavras-chave: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, estresse salino, tolerância à salinidade, resposta morfofisiológica

## PERFORMANCE OF MUNG BEAN LINES CULTIVATED UNDER DIFFERENT LEVELS OF IRRIGATION WATER SALINITY

### ABSTRACT

Salinity is one of the main obstacles to the production of most cultivated plants, responsible for the reduction in productivity, environmental sustainability and, consequently, food security. The identification of genotypes with greater tolerance to salinity is one of the main practical alternatives for reducing abiotic stress in cultivated plants. The objective of this study was to evaluate the effect of increasing levels of salinity in irrigation water on the morphophysiological and growth characteristics in the vegetative phase of two strains of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. A completely randomized design was used, in a 5x2 factorial scheme, with six replications. Five levels of electrical conductivity of irrigation water - EC<sub>ai</sub> [0.5 (control); 2; 4; 6 and 8 dS m<sup>-1</sup>] and two mung bean strains (L1: Mungo black-PLMG; and L2: Mungo verde-PLMG), cultivated in a greenhouse. The evaluations of morphophysiological parameters were carried out during the vegetative stage (23-24 DAS) and at the beginning of flowering (33-34 DAS). Salinity affected plant height, stem diameter, number of nodes in the main branch, number of leaves, number of lateral branches, leaf area, relative chlorophyll index and plant dry mass. In addition, the net assimilation rate, relative growth rate and crop growth rate of the evaluated strains were also affected. Salinity caused growth reduction and affected the morphophysiological parameters of the two strains from the EC<sub>ai</sub> of 0.5 dS m<sup>-1</sup>. The harmful effects of high EC<sub>ai</sub> on the lines were more expressive at the end of the vegetative stage (34 DAS). Although the strains evaluated did not show differences in the index of salinity tolerance, the Mungo black-PLMG strain showed better response to increases in salinity.

Keywords: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, saline stress, salinity tolerance, morphophysiological response

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de nós do ramo principal (NNRP), número de folhas (NF) e número de ramos laterais (NRL) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.... 40
- Figura 2** Médias de altura da planta, diâmetro do caule, número de nós do ramo principal e número de folhas de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.....42
- Figura 3** Área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (IRC) de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 43
- Figura 4** Médias de área foliar, índice relativo de clorofila e índice de biomassa foliar das linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019..... 44
- Figura 5** Massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019..... 46
- Figura 6** Massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca radicular (MSR) aos 24 DAS e particionamento da massa seca aos 24 e 34 DAS, de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai). Teresina-PI, 2019..... 47
- Figura 7** Conteúdo relativo de água das folhas (CRAF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 48
- Figura 8** Índice de tolerância a salinidade (ITS), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de crescimento da cultura (TCC) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 50
- Figura 9** Índice de tolerância a salinidade (ITS), taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação até 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 51
- Figura 10** Concentração residual de sódio (Na) no solo dos vasos de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 52
- Figura 11** Razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo dos vasos de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2019. .... 53

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> Características químicas e granulométrica do solo utilizado no experimento. Teresina-PI, 2019.....	35
<b>Tabela 2</b> Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.....	39
<b>Tabela 3</b> Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.....	43
<b>Tabela 4</b> Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.....	45
<b>Tabela 5</b> Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Teresina-PI, 2019.....	49



## 1 INTRODUÇÃO

A salinização dos solos é recorrente em regiões de clima Árido e Semiárido, onde a evapotranspiração é elevada e a precipitação pluviométrica insuficiente para lixiviar o excesso de sais do solo (RIBEIRO et al., 2016). No cenário atual, a salinidade dos solos é um dos principais entraves para a produção da maioria das plantas cultivadas, responsável pela redução da produtividade, da sustentabilidade do meio ambiente e conseqüentemente da segurança alimentar (HAYAT et al., 2019).

A salinidade pode ser provocada por fatores naturais (salinização primária), ligados ao intemperismo das rochas, precipitação atmosférica, por sais remanescentes dos ambientes marinhos ou de forma induzida pela ação antrópica (salinização secundária) através de práticas culturais na agricultura irrigada com uso de águas subterrâneas salobras e pelo excesso de fertilizantes aplicados (FAO, 2015), o que afeta mais de 100 países (ULLAH et al., 2018), atingindo cerca de 20% dos solos cultivados e 33% das áreas irrigadas (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015).

As projeções apontam para a intensificação do processo de salinização dos solos nos próximos anos devido as mudanças climáticas globais e ao uso inadequado da irrigação na agricultura (TOMAZ et al., 2020). Em contrapartida, estima-se que a população mundial aumentará para 9,8 bilhões de pessoas até 2050 (ONU, 2020). Mediante as perspectivas de redução das áreas aptas para a agricultura e da necessidade no aumento da produção de alimentos, será inevitável a expansão da agricultura para áreas com solos salinos (HAYAT et al., 2019) e/ou que disponha de águas com diferentes níveis de salinidade para uso na irrigação (TOMAZ et al., 2020).

Atualmente, dentre as principais plantas cultivadas para uso na alimentação humana estão os pulses, leguminosas de grãos secos, como o feijão comum, o grão-de-bico, o feijão-caupi, a ervilha seca, as favas, a lentilha e o feijão-mungo (JOSHI; RAO, 2016; IRITI; VARONI, 2017). Dentre esses, o feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) destaca-se como uma importante Fabaceae, de ciclo curto, cultivada em regiões tropicais e subtropicais, especialmente em países asiáticos (NAIR et al., 2014). É um alimento de baixo custo de produção, rico em proteínas (20,97 a 31,32%), fibras alimentares e minerais (ANWAR et al., 2007).

O feijão-mungo, assim como a maioria das plantas cultivadas, é classificada como uma cultura sensível à salinidade com valor limiar de 1,8 dS m<sup>-1</sup> (MINHAS et al., 1990). Alguns estudos avaliando seu cultivo sob estresse salino verificaram redução

em parâmetros morfofisiológicos e de crescimento, como número de folhas, comprimento e volume radicular (MANASA et al., 2017), número de ramos por planta (SUNIL KUMAR et al., 2012), altura da planta, área foliar, taxa de fotossíntese (MAHMOOD et al., 2016), teor relativo de água (NAHAR et al., 2016) e na massa seca da planta (KHAN et al., 2014). Contudo, alguns estudos mostram que dentro de uma mesma espécie, existem genótipos que apresentam diferentes níveis de tolerância à salinidade (SEHRAWAT et al., 2014; ALHARBY et al., 2019; NAWAZ et al., 2019).

Muitas abordagens apontam o melhoramento genético das culturas (NAIR et al., 2012; NAIR et al., 2019; SEHRAWAT et al., 2013), a dessalinização dos solos através da fitorremediação (DEVI et al., 2016) ou aplicação de gesso no solo (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017; HANUMANTHARAO et al., 2016) como alternativas para redução do estresse salino em plantas cultivadas. Contudo, essas são alternativas de médio a longo prazo, necessitando assim de uma solução mais prática, tal como a seleção de genótipos com maior tolerância a salinidade.

Nesse sentido, levantaram-se as seguintes hipóteses: (i) os genótipos de feijão-mungo apresentam diferentes níveis de tolerância à salinidade da água de irrigação; (ii) as características morfofisiológicas e de crescimento desses genótipos são afetadas pela salinidade da água de irrigação. Assim, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito de níveis crescentes de salinidade da água de irrigação sobre as características morfofisiológicas e de crescimento na fase vegetativa e início da floração de dois genótipos de feijão-mungo, Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em ambiente protegido por uma cobertura de filme de polietileno transparente com espessura de 150 micras, no período de novembro a dezembro de 2019, na área experimental do PMGCA (Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar), localizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina-PI (5°05'21" S e 42°48'07" O, 72 m de altitude). De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Teresina é Aw' (clima tropical, com chuvas de verão-outono). A média pluviométrica anual é de 1.342,4 mm e a temperatura média de 28,1 °C (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2016).

### 2.2 Delineamento experimental, semeadura e condução do experimento

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x2, com seis repetições, totalizando 60 parcelas. Foram avaliados cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CE<sub>ai</sub> [0,5 (controle); 2; 4; 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>] e duas linhagens de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], nomeadas Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG, obtidas da empresa sementes Tomazeti.

O cultivo foi realizado em vasos plásticos com capacidade de 5,0 dm<sup>3</sup> preenchidos com quatro quilogramas de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico - PVAe), arranjados em bancadas aramadas com espaçamento de 0,5 x 0,3 m.

O solo utilizado foi coletado na camada de 0-20 cm no Departamento de Fitotecnia da UFPI, cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** Características químicas e granulométrica do solo utilizado no experimento. Teresina-PI, 2019.

pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC	V	AR	ST	AG
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						-----%-----				
6,23	0,20	0,13	2,45	0,82	0,09	0,10	1,45	4,94	70,06	66	13	6

pH: acidez ativa; P: fósforo disponível; K<sup>+</sup>: potássio disponível; Ca<sup>2+</sup>: cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: magnésio trocável; Na<sup>+</sup>: sódio trocável; Al<sup>3+</sup>: acidez trocável; H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7; V: saturação por bases; AR: areia; ST: silte; AG: argila.

A adubação foi realizada de acordo com a recomendação de Mbeyagala et al. (2017), aplicando-se 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O no plantio. As fontes de nutrientes utilizadas foram ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

A semeadura foi realizada utilizando-se cinco sementes por vaso, em profundidade de 2 cm. O desbaste de plantas foi realizado aos 12 dias após a semeadura (DAS), deixando-se apenas a planta mais vigorosa de cada vaso.

Os níveis de CEai foram aplicados diariamente, no turno da manhã, via água de irrigação, aos 12 DAS, logo após o surgimento e expansão da primeira folha trifoliada (SEHRAWAT et al., 2015). Utilizou-se o NaCl dissolvido na água de irrigação para obtenção das CEai de 0,5 (água de poço sem adição de NaCl), 2,0 4,0 6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>, calculada de acordo com Aquino et al. (2017), e realizado o controle da CE através de um condutivímetro portátil HM (modelo COM-80).

Para o controle da irrigação, foi determinada a capacidade de retenção de água do solo nos vasos pelo método da pesagem, sendo realizadas pesagens diárias, no período da manhã, de dois vasos escolhidos ao acaso em cada nível de salinidade, e posteriormente, calculada a lâmina de água a ser repostada pela seguinte equação:

$$\text{MAR} = \text{MCV} - \text{MVD} \quad (1)$$

Onde: MAR, é a massa de água a ser repostada, em kg; MCV, é a massa na capacidade de vaso, em kg; e MVD, massa do vaso no dia atual, em kg. As irrigações foram efetuadas diariamente para reposição de 100% da capacidade de vaso.

### 2.3 Parâmetros avaliados

Foram avaliados os seguintes parâmetros: diâmetro do caule (DC, em cm): medido imediatamente abaixo do nó cotiledonar utilizando um paquímetro digital; altura das plantas (AP, em cm): medido do colo ao ápice do ramo principal das plantas com uma régua graduada em mm; número de nós do ramo principal (NNRP); número de ramos laterais (NRL); número de folhas trifoliadas (NF); índice relativo de clorofila (IRC): realizadas com um clorofilômetro Clorofilog® (modelo CFL 1030, Falker Automação Agrícola Ltda.) em duas folhas totalmente expandidas do terço médio de cada planta no período da manhã (9:00 às 10:00 horas); e área foliar (AF, em dm<sup>2</sup>):

determinada utilizando um integrador de área foliar LICOR (modelo LI-3100).

Para as análises destrutivas, foram coletadas três plantas de forma aleatória em cada um dos tratamentos e separadas em partes (folhas, ramos, raízes). As folhas foram pesadas para determinação da massa fresca (MFF, em g) posteriormente cada parte, acondicionada em envelopes de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante e pesadas em balança de precisão para determinação da massa seca radicular (MSR, em g), das folhas (MSF, em g) e da parte aérea (MSPA, em g). A massa seca da planta (MSP, em g) foi obtida pelo somatório das MSPA e MSR. Com os dados de MFF e MSF determinou-se o conteúdo relativo de água das folhas (CRAF, em %) de acordo com Chen et al. (2009).

Índice de biomassa foliar (IBF, em g g<sup>-1</sup>): relação entre matéria seca das folhas e a MST, na média de três plantas, analisadas aos 24 e 34 DAS; índice de tolerância a salinidade (ITS, em %), calculado de acordo com Mustafiz et al. (2014); taxa de assimilação líquida (TAL, em g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), taxa de crescimento da cultura (TCC, em g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e a razão de área foliar (RAF, dm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) calculados de acordo com o descrito por Peixoto et al. (2011); taxa de crescimento relativo (TCR, g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>): obtida pelo produto da multiplicação da TAL com a RAF (SILVA et al., 2000).

Os dados de DC, AP, NNRP, NRL e NF foram avaliados aos 23 e 33 DAS com seis e três repetições, respectivamente. A AF, IBF, ITS, MSPA, MSF, MSC e MSR foram avaliadas aos 24 e 34 DAS, com três repetições. O IRC foi avaliado aos 24 e 34 DAS com seis e três repetições, respectivamente.

Após a coleta dos dados para a caracterização morfofisiológica e de crescimento das plantas, aos 34 DAS, realizou-se amostragens do solo em todas os vasos para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de acordo com Richards (1954), as concentrações de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup> e H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> do solo em cada nível de salinidade (TEIXEIRA et al., 2017), para os cálculos da porcentagem de sódio trocável (PST) e a razão de adsorção de sódio (RAS), através das fórmulas:

$$PST = (Na / CTC) * 100 \quad (2)$$

$$RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{0,5} \quad (3)$$

Onde: PST é a porcentagem de sódio trocável (em %); Na, sódio trocável (em

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); CTC, capacidade de troca catiônica (em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); RAS, razão de adsorção de sódio (em  $\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$ ); e Ca + Mg, cálcio + magnésio (em  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

## 2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Brown-Forsythe). Atendidas essas pressuposições, realizou-se à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) para as linhagens (L) e regressão polinomial para os níveis de CEai. Quando houve interação L x CEai, realizou-se o desdobramento através de regressão com o auxílio do software estatístico Sisvar<sup>®</sup> (FERREIRA, 2011) e os gráficos plotados no SigmaPlot<sup>®</sup> 2014.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Altura da planta, diâmetro do caule, número de nós do ramo principal, número de folhas e número de ramos laterais

Não houve interação ( $p > 0,05$ ) entre L x CEai para altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de nós do ramo principal (NNRP) aos 23 e 33 DAS. O modelo linear foi a que apresentou melhor ajuste para a AP (23 DAS), para o DC e NNRP aos 23 e 33 DAS (Tabela 2). O modelo quadrático teve melhor ajuste para a AP (33 DAS) e número de folhas (NF) (23 DAS).

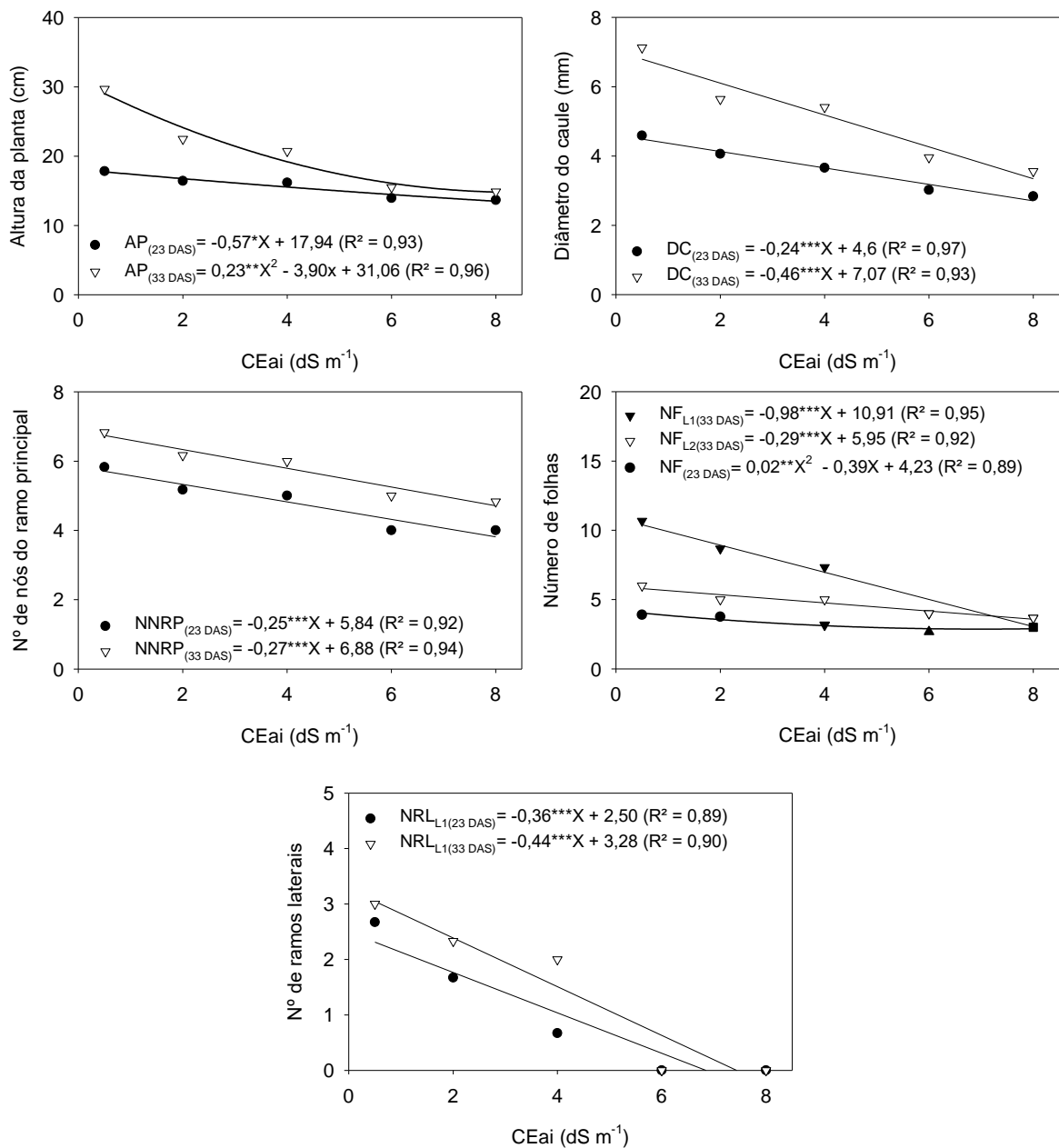
**Tabela 2** Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.

FV	GL	Quadrado médio				
		AP	DC	NNRP	NF	NRL
23 DAS						
Linhagem (L)	1	101,92 <sup>***</sup>	7,77 <sup>***</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	7,5 <sup>***</sup>
CEai	4	36,53 <sup>***</sup>	6,61 <sup>***</sup>	3,78 <sup>**</sup>	2,76 <sup>***</sup>	2,00 <sup>**</sup>
RL	1	129,64 <sup>***</sup>	25,57 <sup>***</sup>	13,86 <sup>***</sup>	9,09 <sup>***</sup>	7,16 <sup>***</sup>
RQ	1	0,08 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>**</sup>	0,82 <sup>ns</sup>
DR	2	8,20 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>**</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
LxCEai	4	1,46 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	2,00 <sup>**</sup>
Resíduo	50	2,88	0,21	0,07	0,13	0,40
Média geral	--	15,60	3,64	4,80	10,66	0,50
CV (%)	--	10,88	12,46	5,38	3,33	126,49
33 DAS						
Linhagem (L)	1	267,01 <sup>***</sup>	5,33 <sup>***</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	34,13 <sup>***</sup>	16,13 <sup>***</sup>
CEai	4	217,31 <sup>***</sup>	12,24 <sup>***</sup>	4,22 <sup>***</sup>	23,12 <sup>***</sup>	2,88 <sup>***</sup>
RL	1	779,30 <sup>***</sup>	45,74 <sup>***</sup>	15,90 <sup>***</sup>	88,09 <sup>***</sup>	10,48 <sup>***</sup>
RQ	1	53,31 <sup>**</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
DR	2	18,32 <sup>*</sup>	1,24 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	1,70 <sup>*</sup>	0,52 <sup>ns</sup>
LxCEai	4	8,62 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	6,72 <sup>***</sup>	2,88 <sup>***</sup>
Resíduo	20	5,13	0,36	0,23	0,47	0,23
Média geral	--	20,66	5,14	5,77	5,80	0,73
CV (%)	--	10,97	11,60	8,38	11,78	65,87

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CEai: condutividade elétrica da água de irrigação; RL: regressão linear; RQ: regressão quadrática; DR: desvio da regressão; AP: altura da planta; DC: diâmetro do caule; NNRP: número de nós do ramo principal; NF: número de folhas; NRL: número de ramos laterais; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

Houve efeito negativo da salinidade na AP, com reduções de 23 e 50% aos 23

e 33 DAS, respectivamente, quando comparadas as CEai de 0,5 e 8,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 1). O decréscimo na AP com a imposição do estresse salino foi observado em estudos de Manasa et al. (2017). Esses autores atribuíram a redução no crescimento da planta ao efeito nocivo da salinidade na atividade enzimática, no metabolismo, na divisão celular e fotossíntese, que foram afetados pelo estresse salino. Além disso, essa resposta também pode ser atribuída a perda de turgor nos tecidos meristemáticos pela diminuição do movimento da água nas raízes (JAHAN et al., 2020).



**Figura 1** Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de nós do ramo principal (NNRP), número de folhas (NF) e número de ramos laterais (NRL) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.



Para o DC, as reduções em resposta aos aumentos na CEai de 0,5 para 8,0 dS m<sup>-1</sup> foram de 38% e 50% aos 23 e 33 DAS, respectivamente (Figura 1), indicando um efeito negativo mais severo aos 33 DAS, provavelmente devido ao efeito acumulativo do sal, bem como a uma maior suscetibilidade na fase pré-produtiva das linhagens. Reduções no DC podem aumentar a predisposição das plantas ao acamamento.

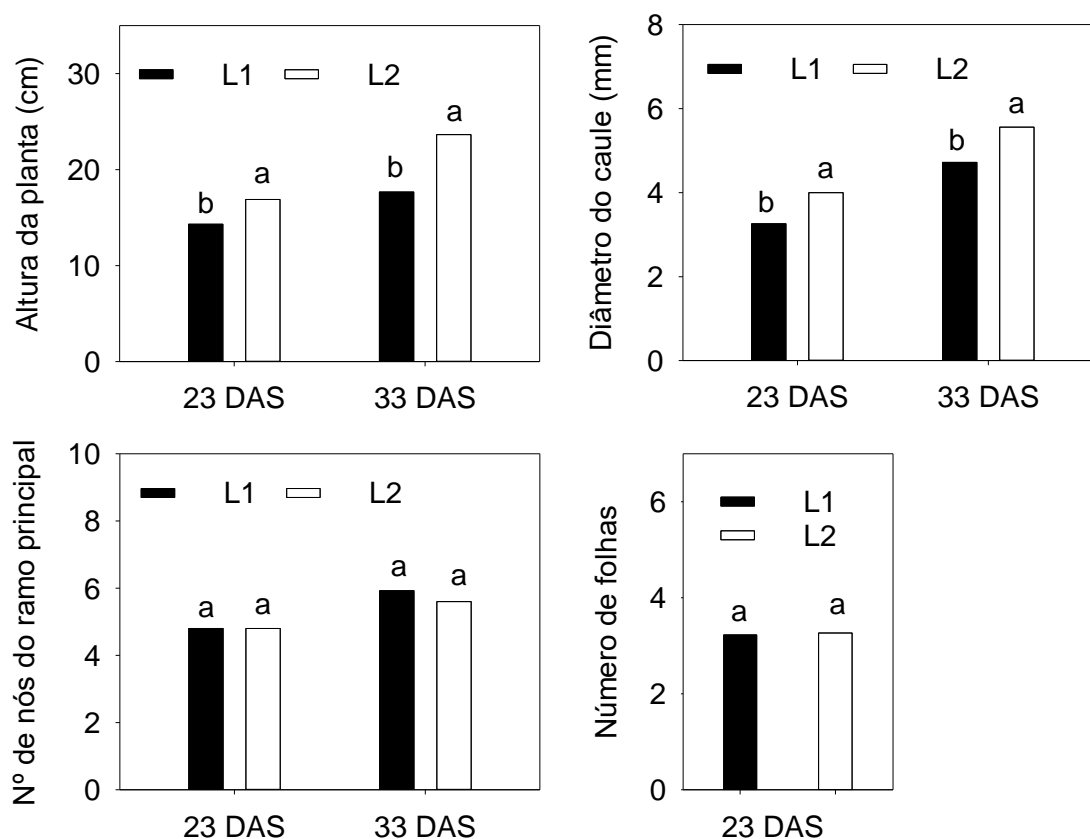
Houve decréscimo no NNRP com o aumento da CEai, contudo, os níveis de redução foram de 31,4 e 29,3% aos 23 e 33 DAS, respectivamente (Figura 1), indicando um efeito constante independente da fase de avaliação.

O aumento da CEai proporcionou média de NF aos 23 DAS de 3,9 folhas a 0,5 dS m<sup>-1</sup> e 2,9 folhas no ponto de mínimo (7,0 dS m<sup>-1</sup>). Aos 33 DAS, houve interação ( $p < 0,05$ ) entre L x CEai (Figura 1) e o modelo linear foi o que melhor se ajustou para as duas linhagens. A Mungo verde-PLMG (L2) apresentou coeficiente angular (a) 3,4 vezes maior que a Mungo black-PLMG (L1), indicando menor inclinação negativa da reta, sendo de 38,8% a redução total no NF para L2, enquanto para L1 foi de 65,6% quando comparado o controle (0,5 dS m<sup>-1</sup>) ao maior nível de salinidade (8,0 dS m<sup>-1</sup>). Porém, as duas linhagens apresentaram NF semelhantes nos níveis de 6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>, com 4,0 e 3,7 folhas, respectivamente.

Houve interação ( $p < 0,05$ ) entre L x CEai para o número de ramos laterais (NRL) aos 23 e 33 DAS (Figura 1) com ajustes dos modelos lineares. O NRL da L1 foi significativamente afetado pelo aumento da CEai, apresentando valor máximo a 0,5 dS m<sup>-1</sup> (23 e 33 DAS) e ausência de ramos laterais para os níveis de 6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>. Em contrapartida, a L2 não apresentou ramos laterais para nenhum dos níveis de salinidade avaliados, indicando que essa é uma característica intrínseca da própria linhagem. Sunil Kumar et al. (2012) estudando a resposta ao estresse salino de oito parentais e cinco híbridos de feijão-mungo, identificaram uma redução significativa no NRL com o aumento do estresse salino.

A L2 foi significativamente superior à L1 em relação a AP e ao DC, aos 23 e 33 DAS, com médias respectivamente, de 16,9 e 23,6 cm para a AP e de 3,6 e 5,1 mm para o DC (Figura 2). A redução na AP pode ser atribuída a perda de turgor nos tecidos meristemáticos pela diminuição do movimento da água nas raízes (JAHAN et al., 2020).

Não houve diferenças significativas para o NNRP das duas linhagens aos 23 e 33 DAS e para o NF aos 23 DAS (Figura 2).



**Figura 2** Médias de altura da planta, diâmetro do caule, número de nós do ramo principal e número de folhas de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 23 e 33 DAS. Teresina-PI, 2019.

Médias com letras iguais, em cada data de avaliação, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

### 3.2 Área foliar, índice relativo de clorofila e índice de biomassa foliar

Não houve interação entre os fatores L x CEai para área foliar (AF), índice relativo de clorofila (IRC) e índice de biomassa foliar (IBF) (Tabela 3). O modelo linear apresentou melhor ajuste para a AF (24 e 34 DAS) e IRC (24 DAS). O modelo quadrático apresentou melhor ajuste para o IRC aos 34 DAS.

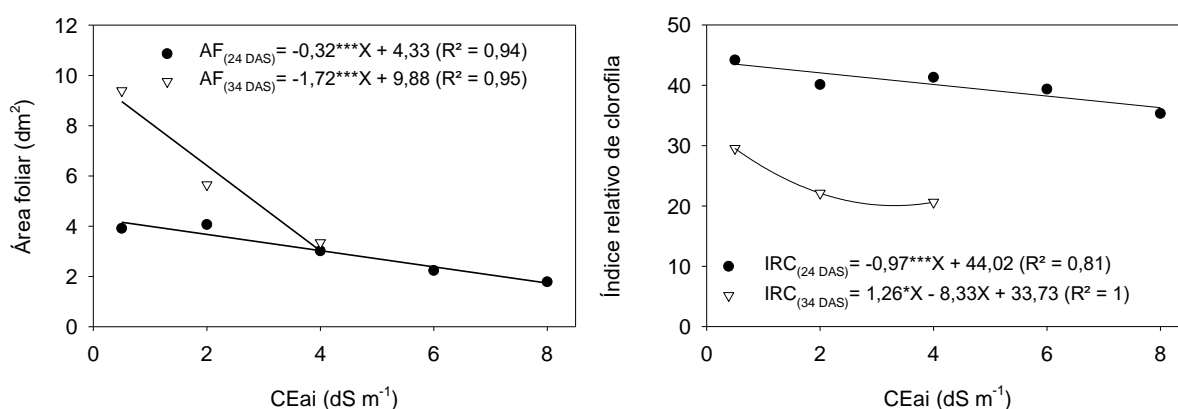
A AF foi afetada negativamente pelo aumento do estresse salino aos 24 e 34 DAS (Figura 3). Sua redução aos 34 DAS foi mais significativa, com perdas superiores a 60% quando o nível de CEai aumentou de 0,5 para 4,0 dS m<sup>-1</sup>. Além disso, também foi observado um menor IRC aos 34 DAS para todos os níveis de salinidade (Figura 3). Devido a morte das plantas nos níveis de CEai de 6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup> não foi possível realizar a análise da AF e IRC aos 34 DAS, indicando que com esses níveis de salinidade a planta não consegue chegar à fase reprodutiva.

**Tabela 3** Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

FV	GL	Quadrado médio					
		AF		IRC		IBF	
		24 DAS	34 DAS	24 DAS	34 DAS	24 DAS	34 DAS
Linhagem (L)	1	10,67***	0,01 <sup>ns</sup>	943,27***	45,28*	6,05 <sup>ns</sup>	378,00**
CEai	4	6,02***	55,93***	124,52***	136,32***	7,82 <sup>ns</sup>	220,28**
RL	1	22,72***	106,16**	25,57***	219,28***	27,61 <sup>ns</sup>	770,67***
RQ	1	0,06 <sup>ns</sup>	5,70 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	53,36*	3,67 <sup>ns</sup>	25,13 <sup>ns</sup>
DR	2	0,65 <sup>ns</sup>	0,00***	0,15 <sup>ns</sup>	0,00***	0,01 <sup>ns</sup>	42,66 <sup>ns</sup>
LxCEai	4	0,94 <sup>ns</sup>	2,47 <sup>ns</sup>	21,68 <sup>ns</sup>	31,57 <sup>ns</sup>	6,70 <sup>ns</sup>	17,09 <sup>ns</sup>
Resíduo	20	0,47	1,43	17,98	9,34	144,72	37,04
Média geral	--	3,00	6,13	40,04	24,10	52,11	58,16
CV (%)	--	22,91	19,48	10,59	12,69	23,09	10,46

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CEai: condutividade elétrica da água de irrigação; RL: regressão linear; RQ: regressão quadrática; DR: desvio da regressão; AF: área foliar; IRC: índice relativo de clorofila; IBF: índice de biomassa foliar; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

A planta sob estresse abiótico pode alterar a morfologia da folha, com redução da AF pela diminuição da divisão e expansão celular, alteração das formas foliares e iniciação da senescência e abscisão foliar (TAIZ et al., 2017). De acordo com esses autores, essas estratégias da planta, traz como consequência a redução da perda de água, pela diminuição da superfície transpirante. Todavia, isso reduz a capacidade fotossintética da planta, o que afeta diretamente o seu rendimento.

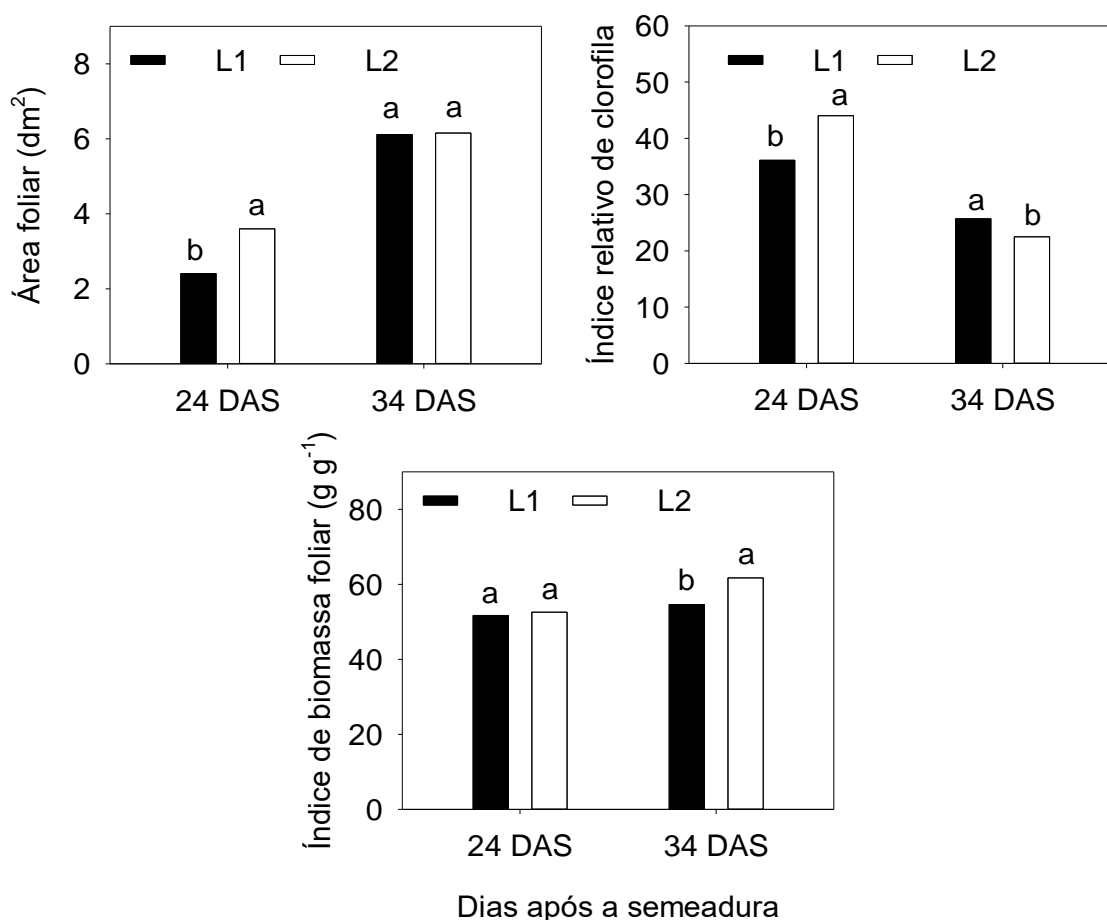


**Figura 3** Área foliar (AF) e índice relativo de clorofila (IRC) de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

O IRC foi reduzido significativamente pelo aumento da salinidade, evidenciado pela clorose e necrose das folhas, especialmente nos níveis mais elevados de salinidade (6,0 e 8,0 dS m<sup>-1</sup>). Sua redução é decorrente da diminuição das clorofilas a

e b, já relatadas em outros estudos (SEHRAWAT et al., 2014; SEHRAWAT et al., 2015), o que afeta significativamente a eficiência fotossintética da planta (SEHRAWAT et al., 2015). Em plantas estressadas pela salinidade essa redução pode ter relação com o efeito inibitório dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  na biossíntese e/ou na degradação de pigmentos (MOHAMMED, 2007), haja visto que, nessas condições ocorre um aumento da atividade da clorofilase, enzima que degrada a clorofila (HAYAT et al., 2010). Além disso, sob estresse salino essa resposta também pode estar associada a uma redução do teor de nitrogênio na planta (MOHAMMED, 2007).

A L2 apresentou os melhores resultados para a AF ( $3,6 \text{ dm}^2$ ) e IRC ( $44,0$ ) aos 24 DAS, e para o IBF ( $61,7 \text{ g g}^{-1}$ ) aos 34 DAS (Figura 4). Pode-se inferir que a maior AF apresentada pela L2 está relacionada ao rápido desenvolvimento inicial desta em comparação a L1, como evidenciado pela AP e DC (Figura 1). O que também pode ter contribuído para um maior IRC, devido a sua maior área fotossintética.



**Figura 4** Médias de área foliar, índice relativo de clorofila e índice de biomassa foliar das linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

Médias com letras iguais, em cada data de avaliação, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

A L1 foi superior a L2 para o IRC aos 34 DAS, desse modo, as folhas desse genótipo permanecem verdes por um período mais prolongado. Também foi observado uma menor redução desse parâmetro entre a primeira (24 DAS) e segunda avaliação (34 DAS), indicando uma maior tolerância a salinidade, concordando com o estudo de Sunil Kumar et al. (2012) que relataram uma correlação positiva entre o índice de clorofila a maior tolerância a salinidade na cultura do feijão-mungo.

### 3.3 Massa seca das folhas, caule, raízes e total

Houve interação LxCEai para massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e radicular (MSR) aos 34 DAS e para a massa seca total (MST) aos 24 e 34 DAS com ajuste do modelo linear decrescente aos 24 DAS e a quadrática aos 34 DAS (Tabela 4).

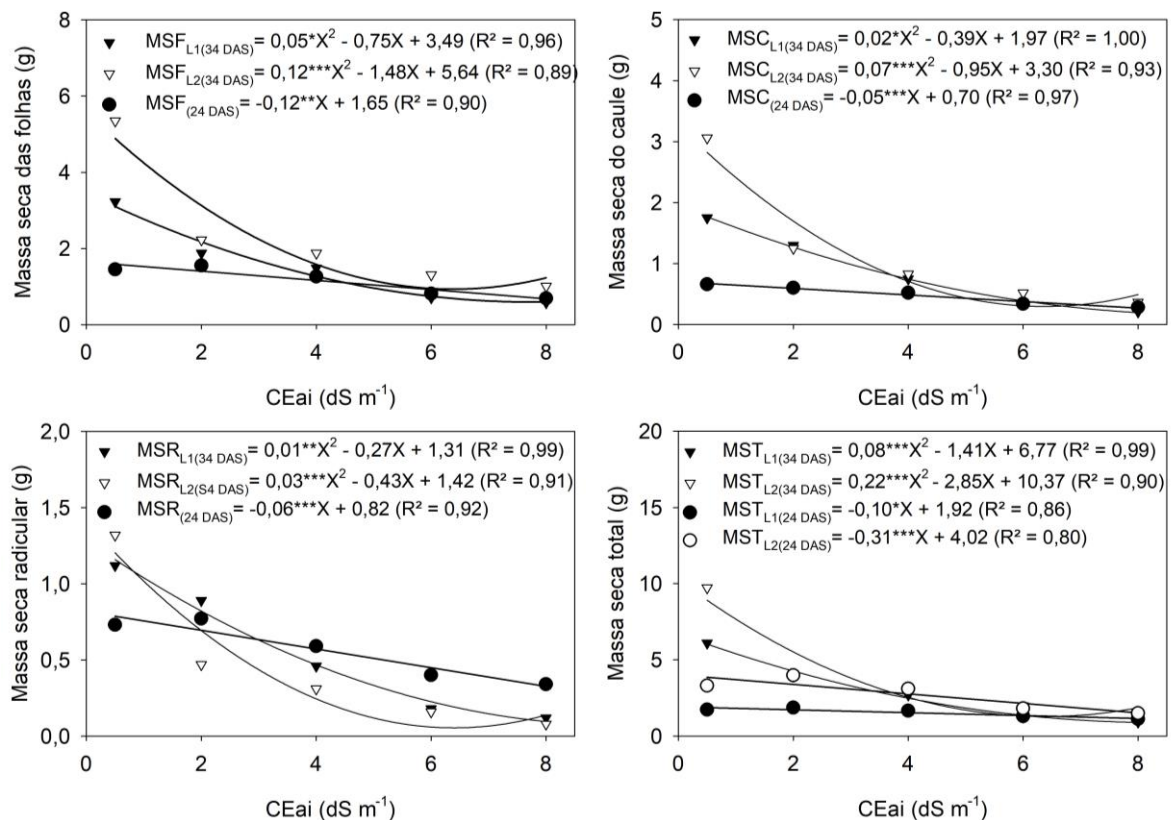
**Tabela 4** Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

FV	GL	Quadrado médio			
		MSF	MSC	MSR	MST
24 DAS					
Linhagem (L)	1	3,93 <sup>***</sup>	0,38 <sup>***</sup>	1,13 <sup>***</sup>	13,40 <sup>***</sup>
CEai	4	0,88 <sup>*</sup>	0,16 <sup>***</sup>	0,22 <sup>**</sup>	3,27 <sup>***</sup>
RL	1	3,17 <sup>**</sup>	0,64 <sup>***</sup>	0,82 <sup>***</sup>	12,16 <sup>***</sup>
RQ	1	0,07 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
DR	2	0,14 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>
LxCEai	4	0,33 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>**</sup>
Resíduo	20	0,22	0,02	0,05	0,23
Média geral	--	1,15	0,48	0,56	2,19
CV (%)	--	40,58	27,03	38,47	22,11
34 DAS					
Linhagem (L)	1	4,51 <sup>***</sup>	0,83 <sup>***</sup>	0,06 <sup>**</sup>	7,78 <sup>***</sup>
CEai	4	11,69 <sup>***</sup>	4,33 <sup>***</sup>	1,25 <sup>***</sup>	43,61 <sup>***</sup>
RL	1	36,74 <sup>***</sup>	14,65 <sup>***</sup>	4,38 <sup>***</sup>	143,59 <sup>***</sup>
RQ	1	6,53 <sup>***</sup>	2,22 <sup>***</sup>	0,56 <sup>***</sup>	23,02 <sup>***</sup>
DR	2	1,75 <sup>***</sup>	0,23 <sup>**</sup>	0,30 <sup>*</sup>	3,90 <sup>***</sup>
LxCEai	4	0,86 <sup>**</sup>	0,46 <sup>***</sup>	0,08 <sup>***</sup>	3,34 <sup>***</sup>
Resíduo	20	0,14	0,03	0,01	0,16
Média geral	--	1,97	1,04	0,51	3,52
CV (%)	--	19,31	16,03	15,94	11,25

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CEai: condutividade elétrica da água de irrigação; RL: regressão linear; RQ: regressão quadrática; DR: desvio da regressão; MSF: massa seca das folhas; MSC: massa seca do caule; MSR: massa seca radicular; MST: massa seca total; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

A MSF aos 24 DAS, apresentou valor mínimo (0,69 g) observado na CEai de 8,0 dS m<sup>-1</sup> (Figura 5). As linhagens 1 e 2 apresentaram valores máximos de 3,23 e 5,35 g, respectivamente, no nível de 0,5 dS m<sup>-1</sup> aos 34 DAS. Contudo, no ponto de mínimo os valores apresentados foram de 0,6 g para a L1 e 0,9 g para a L2.

O aumento da CEai também promoveu reduções na MSC e MSR aos 24 e 34 DAS (Figura 5). A L2 apresentou maior redução na MSC em comparação a L1, especialmente entre CEai de 0,5 a 2,0 dS m<sup>-1</sup>. Aos 34 DAS a MSR da L2 apresentou uma redução de 64,39% entre os níveis CEai de 0,5 dS m<sup>-1</sup> a 2,0 dS m<sup>-1</sup>, e seu ponto de mínimo foi com a CEai de 6,4 dS m<sup>-1</sup>.



**Figura 5** Massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

De forma geral, pode-se observar que o estresse salino causou menores reduções na MSF, MSC, MSR e MST da L1 em comparação a L2. A redução da MSR com o aumento da salinidade pode ser atribuída a redução no comprimento, no diâmetro e na densidade de raízes, como relatado por Nikpour-Rashidabad et al. (2019). De acordo com esses autores, essa resposta é devido aos aumentos da produção de ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano) e ABA (ácido abscísico)

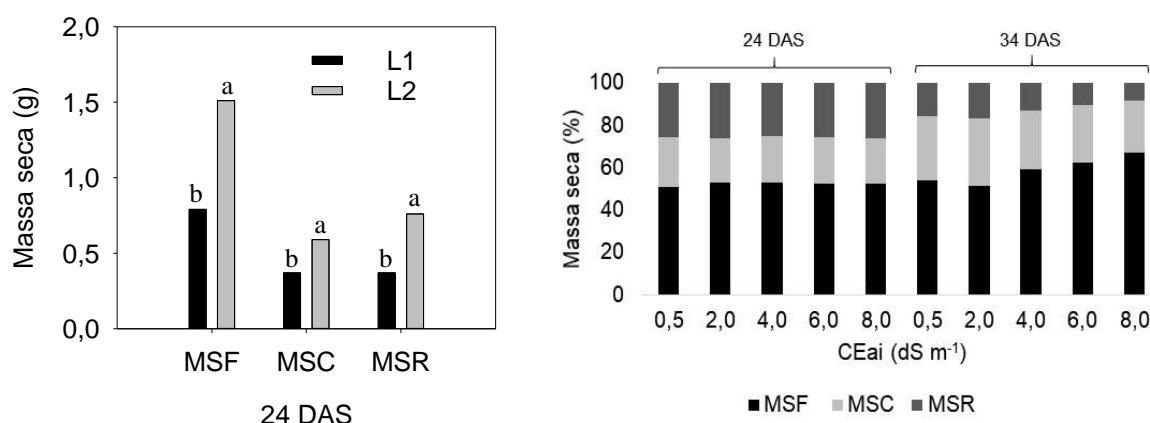
e redução do AIA (ácido indol-3-acético), que atua no crescimento (NIKPOUR-RASHIDABAD et al., 2019). Essa redução no desenvolvimento radicular pode provocar uma menor exploração do solo, influenciando diretamente na absorção de água e de nutrientes (AHMAD et al., 2012), como o Ca, Mg e K (MOHAMMED, 2007).

Nazar et al. (2011) relatam que o aumento da salinidade na zona radicular resulta em maiores teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas e raízes e menores teores de N. Além do desbalanceamento na razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  da planta e, portanto, trazendo impactos negativos sobre o seu crescimento (SEHRAWAT et al., 2014).

Aos 24 e 34 DAS a L1 apresentou menor redução na MST com a elevação da CEai quando comparada a L2, indicando que essa linhagem é menos afetada quando ocorre incrementos na CEai.

É observado uma redução da MSF, MSC e MSR, logo, da MST. Atribui-se esse resultado ao maior investimento da planta na sua regulação osmótica em detrimento do seu crescimento e acúmulo de massa seca (AHMAD et al., 2012). A massa seca depende da taxa de fotossíntese da planta, logo, quando essa é reduzida, também é observado uma redução no acúmulo de massa (SUNIL KUMAR et al., 2012).

A L2 foi superior a L1 para a MSF, MSC e MSR, com valores de 1,51, 0,59 e 0,76 g, respectivamente (Figura 6). Quanto ao particionamento da matéria seca nas diferentes partes das plantas, pode-se observar que aos 24 DAS não houve variação, independente da CEai. Contudo, aos 34 DAS, observa-se que com o aumento da salinidade ocorre um maior acúmulo de MSF, em detrimento do caule e das raízes.

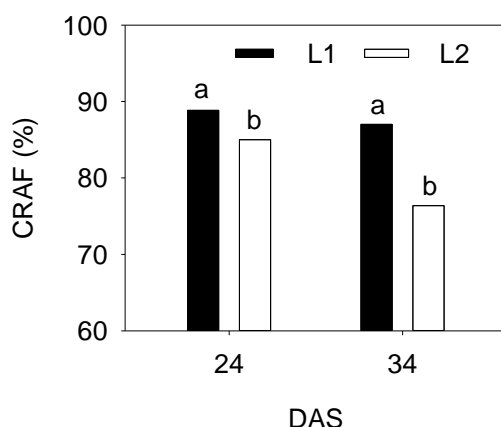


**Figura 6** Massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca radicular (MSR) aos 24 DAS e particionamento da massa seca aos 24 e 34 DAS, de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai). Teresina-PI, 2019.

Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. Dados referentes as variáveis massa seca das folhas e massa seca radicular transformados em ln.

### 3.4 Conteúdo relativo de água das folhas

O conteúdo relativo de água das folhas da L1 foi superior ao da L2, tanto aos 24 quanto aos 34 DAS (Figura 7), indicando uma tendência inversa ao acúmulo de massa seca, onde foi observado maiores valores para a L2. Esse resultado indica que a L1 consegue manter seu status hídrico mais elevado, o que possibilita que a planta seja menos afetada pelos aumentos da salinidade e mantenha sua atividade fotossintética por um período mais prolongado. Contudo, a L2 mostrou-se mais eficiente no acúmulo de massa seca no período avaliado (Figura 6).



**Figura 7** Conteúdo relativo de água das folhas (CRAF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

Médias com letras iguais, em cada data de avaliação, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

### 3.5 Índice de tolerância a salinidade, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo e taxa de crescimento da cultura

Houve interação entre LxCEai apenas para o índice de tolerância a salinidade (ITS) aos 34 DAS e taxa de crescimento da cultura (TCC) (Tabela 5). O modelo linear apresentou melhor ajuste para o ITS aos 24 DAS, enquanto o quadrático apresentou melhor ajuste para o ITS aos 34 DAS, taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e TCC.



**Tabela 5** Resumo da análise de variância de parâmetros avaliados em linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação. Teresina-PI, 2019.

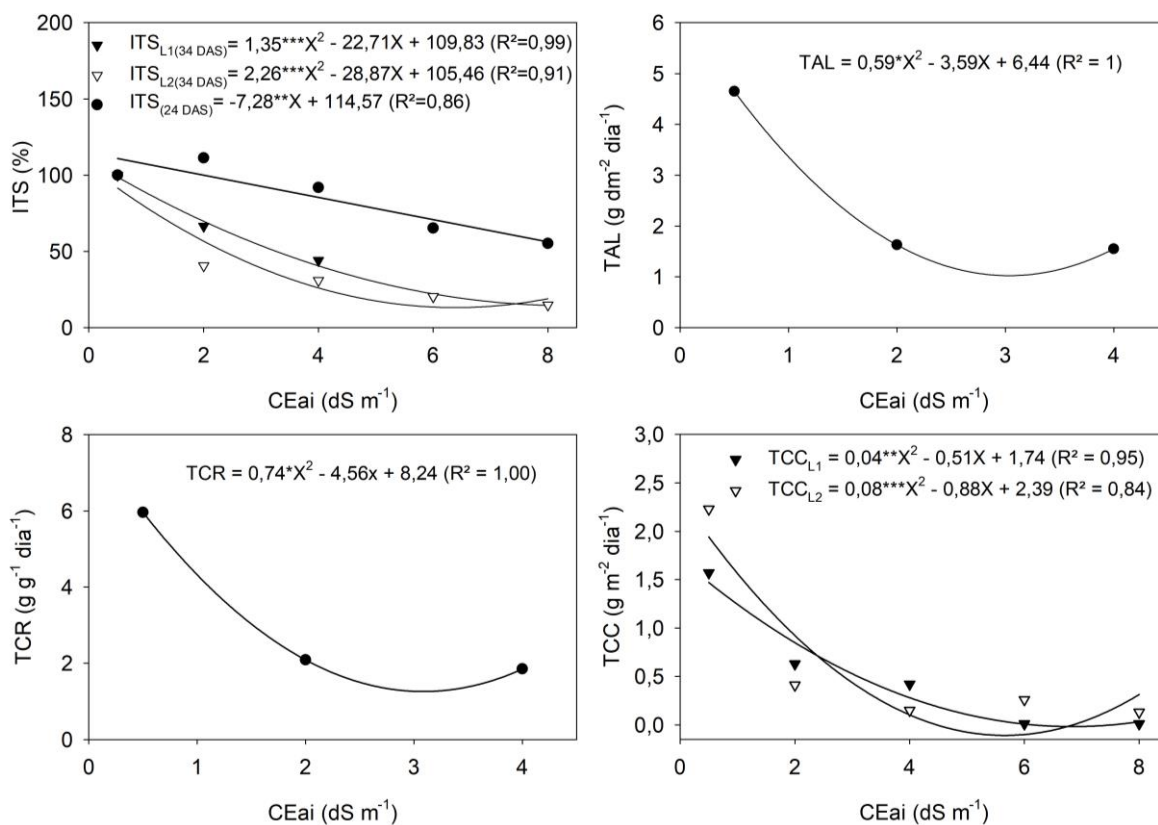
FV	GL	Quadrado médio				
		ITS		TAL	TCR	TCC
		24 DAS	34 DAS			
Linhagem (L)	1	2720,82 <sup>ns</sup>	454,97 <sup>***</sup>	2,58 <sup>ns</sup>	13,66 <sup>*</sup>	0,08 <sup>ns</sup>
CEai	4	3354,17 <sup>*</sup>	6988,13 <sup>***</sup>	18,24 <sup>**</sup>	29,52 <sup>***</sup>	3,44 <sup>***</sup>
RL	1	11544,24 <sup>**</sup>	23717,32 <sup>***</sup>	25,84 <sup>**</sup>	46,52 <sup>***</sup>	9,07 <sup>***</sup>
RQ	1	560,02 <sup>ns</sup>	3298,47 <sup>***</sup>	10,64 <sup>*</sup>	12,52 <sup>*</sup>	3,27 <sup>***</sup>
DR	2	656,22 <sup>ns</sup>	468,37 <sup>***</sup>	0,00 <sup>***</sup>	0,00 <sup>***</sup>	0,70 <sup>**</sup>
LxCEai	4	355,80 <sup>ns</sup>	202,24 <sup>**</sup>	1,20 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>*</sup>
Resíduo	20	882,81	28,60	1,46	1,84	0,07
Média geral	--	84,74	45,33	2,63	3,42	0,58
CV (%)	--	35,06	11,80	45,87	39,72	46,92

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CEai: condutividade elétrica da água de irrigação; RL: regressão linear; RQ: regressão quadrática; DR: desvio da regressão; ITS: índice de tolerância a salinidade; TAL: taxa de assimilação líquida; TCR: taxa de crescimento relativo; TCC: taxa de crescimento da cultura; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

O ITS apresentou decréscimo linear aos 24 DAS com os aumentos da salinidade, sendo que na maior CEai (8 dS m<sup>-1</sup>) esse índice foi de apenas 55,23% (Figura 8). Aos 34 DAS o ITS apresentou tendência quadrática tanto para a L1 quanto para L2, contudo, as linhagens não apresentaram diferença entre si. A TAL apresentou maior valor (4,6 g dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) para o controle e menor valor (1,0 g dm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) no ponto mínimo (3,0 dS m<sup>-1</sup>). Entretanto, a maior redução nesse parâmetro ocorreu entre os níveis de CEai de 0,5 e 2,0 dS m<sup>-1</sup>. A TCR apresentou a mesma tendência, com ponto de mínimo em 3,1 dS m<sup>-1</sup> e valor de 1,2.

A TAL teve sua eficiência reduzida com o aumento do estresse salino. Essa resposta pode ser atribuída a redução na parte assimilatória da planta, evidenciado pela diminuição da AF e do IRC com o aumento da salinidade (Figura 3).

Dentre os fatores que contribuem para a redução da TCR de plantas estressadas pela salinidade, está os altos níveis endógenos de etileno produzidos, o que contribuem para a senescência prematura das folhas (AHMAD et al., 2013). O aumento da CEai provocou a redução da produção de matéria seca por unidade de AF no intervalo de tempo avaliado. Desse modo, a redução da TCR é atribuída a diminuição da TAL com o estresse salino.



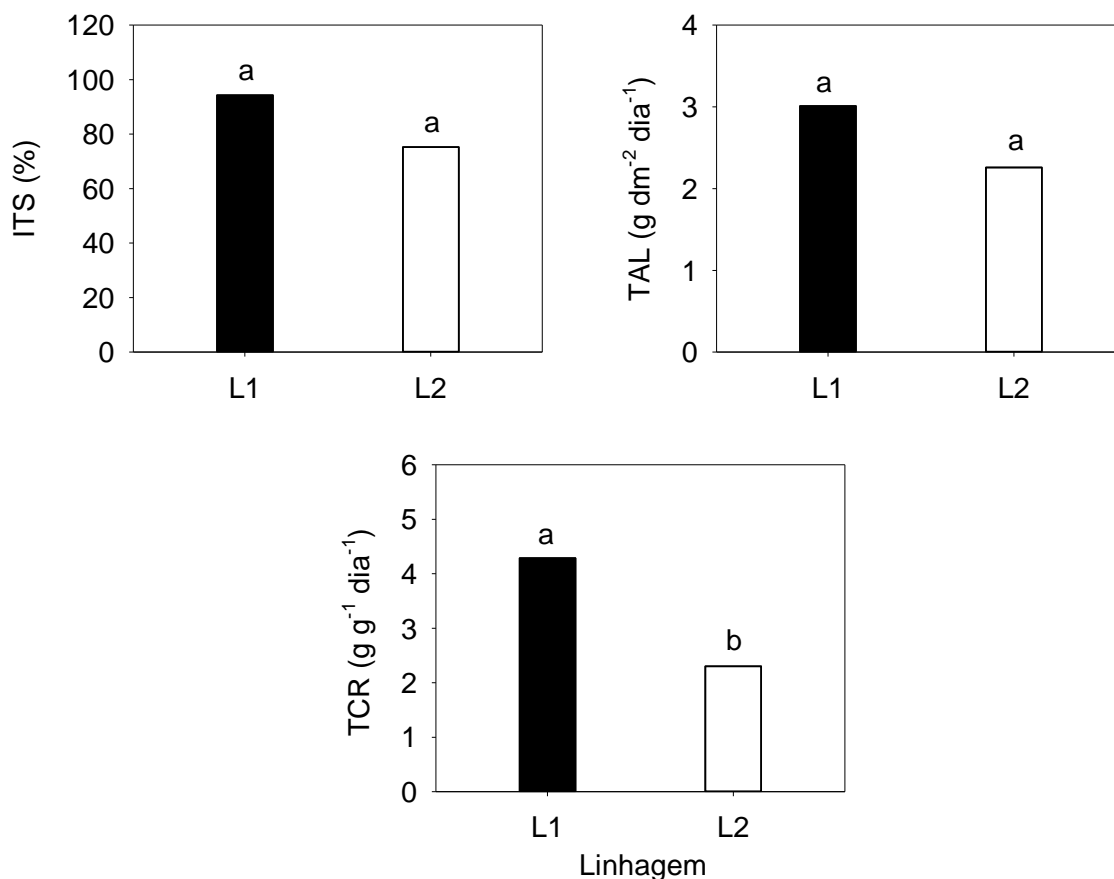
**Figura 8** Índice de tolerância a salinidade (ITS), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de crescimento da cultura (TCC) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 24 e 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

De forma geral, pode-se inferir que a redução da TAL e da TCR sob estresse salino se deve, possivelmente, a menor captação de CO<sub>2</sub> em resposta ao fechamento estomático para manter a pressão de turgor celular, o que leva a uma diminuição da taxa fotossintética (AHMAD et al., 2013).

A TCC reduziu significativamente com o aumento da salinidade (Figura 8). Entretanto, a L1 foi menos afetada pelo estresse salino, apresentando ponto de mínimo na CEai de 6,8 dS m<sup>-1</sup> e a L2 com a CEai de 5,7 dS m<sup>-1</sup>. A planta sob estresse salino reduz a condutância estomática, a taxa de transpiração (SUNIL KUMAR et al., 2012) e a taxa de fotossíntese líquida (HAYAT et al., 2010). Logo, a TCC, que representa a quantidade de matéria seca acumulada por unidade de área em um tempo específico, também é reduzida.

As linhagens de feijão-mungo não apresentaram diferença para o ITS e para a

TAL da cultura (Figura 9). A TCR da L1 foi 46,4% maior que a da L2.



**Figura 9** Índice de tolerância a salinidade (ITS), taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação até 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

Médias com letras iguais, em cada data de avaliação, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

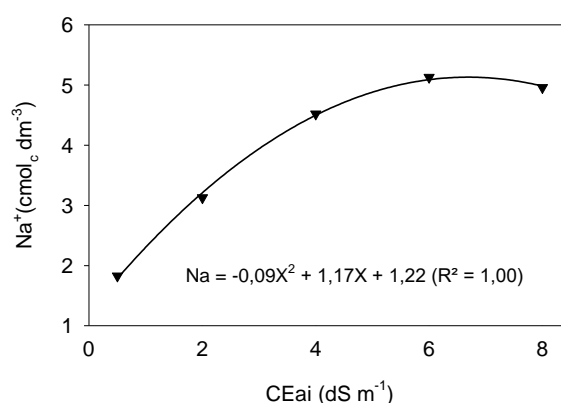
Sob estresse salino, as linhagens apresentaram clorose de forma gradual, inicialmente em folhas mais velhas e em seguida atingindo as folhas jovens, a qual evoluiu para uma necrose, de mesma tendência anterior, atingindo gradualmente a planta da base para o ápice. Isso ocorre devido o aumento da absorção e acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas em detrimento de outros nutrientes como N, P, K e Ca, nesse sentido, a deficiência de N e Ca na planta pode provocar à clorose, enquanto a deficiência de P provoca à necrose das folhas (WAHID et al., 2004).

De maneira geral, o estresse salino afetou os parâmetros morfofisiológicos e de crescimento das duas linhagens avaliadas nesse estudo. Contudo, no estágio vegetativo os efeitos da salinidade foram menos prejudiciais que no início da floração. Nesse último, atribui-se o efeito acumulativo do sal sobre a senescência foliar e,

consequentemente, a morte das plantas nos níveis de CEai de 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>, indicando que sob elevado estresse salino essas linhagens não conseguem chegar ao estágio reprodutivo.

### 3.6 Porcentagem de sódio trocável e Razão de adsorção de sódio

A concentração de Na<sup>+</sup> trocável no solo se elevou com os aumentos da CEai (Figura 10). O melhor ajuste foi obtido na regressão quadrática, tendo maior concentração de Na<sup>+</sup> com a CEai de 6,6 dS m<sup>-1</sup>, apresentado valor máximo de 5,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

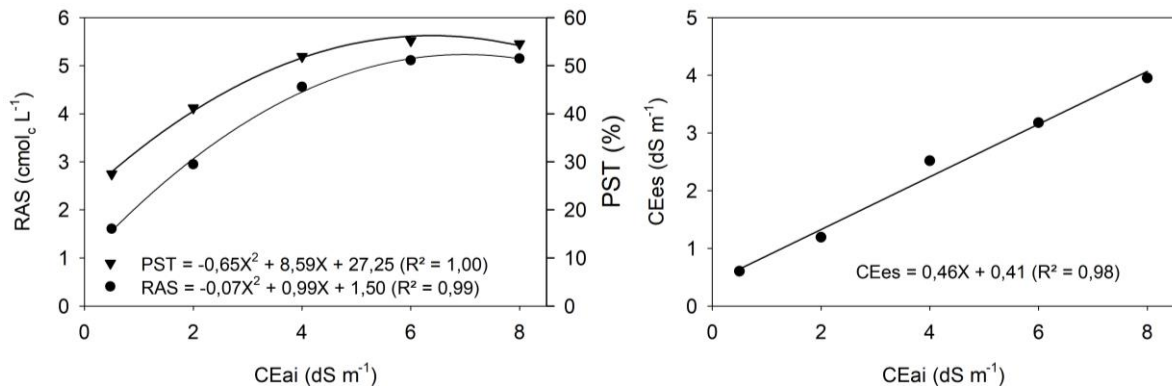


**Figura 10** Concentração residual de sódio (Na) no solo dos vasos de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

A razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) do solo aumentaram de forma quadrática, enquanto que a CEes apresentou crescimento linear em resposta aos aumentos da CEai (Figura 11). A maior RAS foi observada para a CEai de 7,5 dS m<sup>-1</sup> (5,2 cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), enquanto para a PST foi na CEai de 6,6 dS m<sup>-1</sup>, apresentando valor de 55,7%. A redução da RAS e PST com a maior CEai (8 dS m<sup>-1</sup>) foi devido à morte das plantas e encerramento das irrigações nesse tratamento. Pode-se observar que a maior CEai (8 dS m<sup>-1</sup>) a CEes foi de apenas 3,9 dS m<sup>-1</sup>, desse modo, não é classificado como solo salino de acordo com a classificação de Richards (1954).

Os aumentos na RAS foi 45,5, 64,8, 68,6 e 68,8% enquanto da PST foi de 33,4, 47,1, 50,28 e 49,7% respectivamente para as CEai de 2, 4, 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>. RAS indica a proporção de Na<sup>+</sup> trocável no solo em relação a outros cátions Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> que competem pelos mesmos sitios de ligação. Nesse sentido, pode-se observar um

crescimento significativo da RAS, o que poderá afetar a estrutura do solo e sua condutividade hidráulica.



**Figura 11** Razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo dos vasos de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2019.

#### 4 CONCLUSÕES

O estresse salino afeta negativamente os parâmetros morfofisiológicos e o crescimento das linhagens Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG a partir da CEai de 0,5 dS m<sup>-1</sup>.

Os efeitos nocivos da alta CEai sobre as linhagens são mais expressivos no final do estágio vegetativo (34 DAS).

As linhagens avaliadas não apresentam diferenças quanto ao índice de tolerância a salinidade, de modo que, tanto a linhagem Mungo black-PLMG quanto a Mungo verde-PLMG não conseguem chegar a o período produtivo com as CEai de 6 e 8 dS m<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 1321-1330, 2012.
- AHMAD, M. et al. Efficacy of *Rhizobium* and *Pseudomonas* strains to improve physiology, ionic balance and quality of mung bean under salt-affected conditions on farmer's fields. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p.170-176, 2013.
- ALHARBY, H. F. et al. Identification of physiological and biochemical markers for salt (NaCl) stress in the seedlings of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 5, p. 1053-1060, 2019.
- ANWAR, F. et al. Chemical composition and antioxidant activity of seeds of different cultivars of mungbean. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 7, p. S503-S510, 2007.
- AQUINO, J. P. A. et al. Morphophysiological responses of cowpea genotypes to irrigation water salinity. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2017.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico de 2015 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. 38 p.
- CHEN, J. et al. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Pteris vittata* and *Nephrolepis exaltata*. **Ecotoxicology**, v. 18, n. 1, p. 110-121, 2009.
- DEVI, S. et al. Phytoremediation potential of some halophytic species for soil salinity. **International Journal of Phytoremediation**, v. 18, n. 7, p. 693-696, 2016.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources (SWSR): main report**. Rome, Italy, 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- HANUMANTHARAO, B.; NAIR, R. M.; NAYYAR, H. Salinity and high temperature tolerance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a physiological perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-20, 2016.
- HAYAT, K. et al. Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. **Environmental Science and Technology**, v. 50, p. 1085-1115, 2019.
- HAYAT, S. et al. Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 105-112, 2010.
- IRITI, M.; VARONI, E. M. Pulses, healthy, and sustainable food sources for feeding the planet. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 255, p. 1-6, 2017.

JAHAN, I. et al. Phenotyping of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes against salt stress and assessment of variability for yield and yield attributing traits. **Journal of Plant Stress Physiology**, v. 6, p. 7-17, 2020.

JOSHI, P. K.; RAO, P. P. Global pulses scenario: status and outlook. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1392, n. 1, p. 6-17, 2016.

KHAN, M. I. R.; ASGHER, M.; KHAN, N. A. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 67-74, 2014.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil Salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 1-13, 2017.

MAHMOOD, S. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-14, 2016.

MANASA, R. et al. Screening mungbean (*Vigna radiata* L.) lines for salinity tolerance using salinity induction response technique at seedling and physiological growth assay at whole plant level. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 7, p. 1-12, 2017.

MBEYAGALA, K. E. et al. **A manual for mungbean (greengram) production in Uganda**. National Agricultural Research Organization (NARO), p. 32, 2017.

MINHAS, P. S.; SHARMA, D. R.; KHOSLA, B. K. Mungbean response to irrigation with waters of different salinities. **Irrigation Science**, v. 11, p. 57-62, 1990.

MOHAMMED, A. H. M. A. Physiological aspects of mungbean plant (*Vigna radiata* L. Wilczek) in response to salt stress and gibberellic acid treatment. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 3, n. 4, p. 200-213, 2007.

MUSTAFIZ, A. et al. A unique Ni<sup>2+</sup> -dependent and methylglyoxal-inducible rice glyoxalase I possesses a single active site and functions in abiotic stress response. **The Plant Journal**, v. 78, n. 6, p. 951-963, 2014.

NAHAR, K. et al. Polyamines confer salt tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by reducing sodium uptake, improving nutrient homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification systems. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-14, 2016.

NAIR, R. M. et al. Biotic and abiotic constraints in mungbean production—progress in genetic improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-24, 2019.

NAIR, R. et al. Legume improvement program at AVRDC – the world vegetable center: impact and future prospects. **Field and Vegetable Crops Research**, v. 51, n. 1, p. 55-61, 2014.



NAIR, R. et al. Genetic improvement of mungbean. **Sabrao Journal of Breeding and Genetics**, v. 44, p. 177-190, 2012.

NAWAZ, M.; KHAN, A.; ASHRAF, M. Y. Screening mungbean germplasm for salt tolerance using growth indices and physiological parameters. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 22, n. 3, p. 401-406, 2019.

NAZAR, R. et al. Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, p. 807-815, 2011.

NIKPOUR-RASHIDABAD, N. et al. The effect of biochar on the physiological, morphological and anatomical characteristics of mung bean roots after exposure to salt stress. **Archives of Biological Sciences**, v. 71, n. 2, p. 321-327, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **População mundial deve atingir 9,8 bilhões em 2050, apesar das taxas de fertilidade quase universais – ONU**. Disponível em: <<https://news.un.org/en/story/2017/06/560022-world-population-hit-98-billion-2050-despite-nearly-universal-lower-fertility#.WUv3anUrJnw>>. Acesso em: 01 maio 2020.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. P. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e Prática. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n.13, p. 51-76, 2011.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. et al. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9-16.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U.S. Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160 p.

SEHRAWAT, N. et al. Screening of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes for salt tolerance. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 4, p. 36-43, 2014.

SEHRAWAT, N. et al. Salinity stress restraining mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) production: gateway for genetic improvement. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 6, p. 505-509, 2013.

SEHRAWAT, N. et al. Effect of salinity stress on mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] during consecutive summer and spring seasons. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 1, p. 23-32, 2015.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p. 123-131, 2015.

SILVA, L. C.; BELTERÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande, PB: EMBRAPA, p. 1-18, 2000.

SUNIL KUMAR, B. et al. Breeding for salinity tolerance in mungbean. **APCBEE Procedia**, v. 4, p. 30–35, 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TOMAZ, A. et al. Soil salinity risk in a climate change scenario and its effect on crop yield. In: PRASAD, M. N. V.; PIETRZYKOWSKI, M. **Climate change and soil interactions**. [S. l.]: Elsevier, 2020. p. 351-396.

ULLAH, S. et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: challenges and opportunities. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 320-335, 2018.

WAHID, A.; HAMEED, M.; RASUL, E. Salt-induced injury symptom, changes in nutrient and pigment composition, and yield characteristics of mungbean. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 6, n. 6, 2004.

## CAPÍTULO II - DESEMPENHO DE GENÓTIPOS DE FEIJÃO-MUNGO EM RESPOSTA A SALINIDADE DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO DE SILÍCIO

### RESUMO

O silício é um elemento benéfico que pode promover uma melhora nos parâmetros morfofisiológicos e de crescimento da planta sob estresse salino e conseqüentemente no seu rendimento. Diante disso, objetivou-se avaliar o desempenho morfofisiológico, de crescimento e produtivo de duas linhagens de feijão-mungo em resposta a salinidade da água de irrigação e aplicação foliar de silício. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2x2, com cinco níveis de salinidade da água de irrigação: 1 (controle) 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>; duas linhagens de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]: Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG e dois níveis de silício: 0 e 2 kg ha<sup>-1</sup>. Foram avaliados parâmetros morfofisiológicos, o crescimento e rendimento de grãos das linhagens. Os aumentos da CEai limitaram drasticamente os parâmetros morfofisiológicos, o crescimento e o rendimento de grãos das linhagens Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG. Na fase vegetativa a linhagem Mungo black-PLMG é menos afetada pelos aumentos da CEai, apresentando menor redução das massas secas das folhas e caule. A aplicação foliar de silício (2 kg ha<sup>-1</sup>) não contribuiu para redução do estresse salino das linhagens de feijão-mungo. A Mungo verde-PLMG embora não possua maior tolerância a salinidade na fase vegetativa, apresentou maior número de grãos por vagem e peso de 100 grãos, além de maior produção de grãos até a CEai de 3 dS m<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, estresse osmótico, tolerância à salinidade, mitigação da salinidade, rendimento de grãos.

## ABSTRACT

Silicon is a beneficial element that can promote an improvement in morphophysiological parameters and plant growth under salt stress and consequently in its yield. Therefore, this study aimed to evaluate the morphophysiological, growth and yield performance of two mung bean strains in response to irrigation water salinity and silicon foliar application. A completely randomized design was used, in a 5x2x2 factorial scheme, with five levels of salinity of irrigation water (EC<sub>ai</sub>): 1 (control) 2, 3, 4 and 5 dS m<sup>-1</sup>; two strains of mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]: Mungo black-PLMG and Mungo green-PLMG and two levels of silicon: 0 and 2 kg ha<sup>-1</sup>. Morphophysiological parameters, growth and grain yield of the lines were evaluated. Increases in EC<sub>ai</sub> drastically limited the morphophysiological parameters, growth and grain yield of the Mungo black-PLMG and Mungo verde-PLMG lines. In the vegetative phase, the Mungo black-PLMG lineage is less affected by increases in EC<sub>ai</sub>, with less reduction in dry mass of leaves and stems. The foliar application of silicon (2 kg ha<sup>-1</sup>) did not contribute to the reduction of salt stress in the mung bean strains. Although Mungo verde-PLMG does not have greater tolerance to salinity in the vegetative phase, it presented a greater number of grains per pod and weight of 100 grains, in addition to greater grain production up to EC<sub>ai</sub> of 3 dS m<sup>-1</sup>.

Key-words: *Vigna radiata* (L.) Wilczek, osmotic stress, tolerance to salinity, salinity mitigation, grain yield.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de ramos laterais (NRL) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020..... 70
- Figura 2** Número de folhas (NF) e número de nós do ramo principal (NNRP) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 71
- Figura 3** Índice de clorofila a (IChl a), índice de clorofila b (IChl b) e área foliar (AF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 73
- Figura 4** Massa seca das folhas (MSF), massa seca radicular (MSR) e massa seca do caule (MSC) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 74
- Figura 5** Índice de tolerância à salinidade (ITS) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 75
- Figura 6** Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de nós do ramo principal (NNRP) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 77
- Figura 7** Número de ramos laterais (NRL) e número de folhas (NF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 78
- Figura 8** Índice de clorofila a (IChl a) e b (IChl b) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020. .... 79
- Figura 9** Comprimento de vagens (CV), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagens (NGV) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020..... 81
- Figura 10** Massa de 100 grãos (MCG), produção de grãos (PG) e índice de grãos (IG) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020..... 82
- Figura 11** Concentração residual de sódio (Na<sup>+</sup>) no solo dos vasos das linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2020. .... 84
- Figura 12** Razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo dos vasos de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai). Teresina-PI, 2020..... 85

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> Características químicas e granulométricas do solo utilizado no experimento. Teresina-PI, 2020.....	65
<b>Tabela 2</b> Resumo das análises de variâncias dos parâmetros avaliados aos 35 DAS de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e dois níveis de silício. Teresina-PI, 2020.....	69
<b>Tabela 3</b> Resumo das análises de variâncias dos parâmetros avaliados aos 35 DAS de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e dois níveis de silício. Teresina-PI, 2020.....	72
<b>Tabela 4</b> Resumo das análises de variâncias de parâmetros avaliados no estágio reprodutivo de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.....	76
<b>Tabela 5</b> Resumo da análise de variância de parâmetros produtivos de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.....	80

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão-mungo [*Vigna radiata* (L) Wilczek] é uma das Fabaceae mais cultivadas no continente asiático, especialmente na Índia, China, Mianmar e Indonésia, seus maiores produtores (NAIR et al., 2014). Devido ao seu alto teor proteico, é considerado uma das principais fontes de proteínas para a nutrição humana (OLIVEIRA et al., 2019), principalmente em países emergentes devido ao seu baixo custo (FAO, 2015a). Mesmo com a grande importância socioeconômica do feijão-mungo, ainda é uma cultura secundária, pois geralmente é cultivada na entressafra de outras culturas aproveitando a umidade residual do solo (FAO, 2012), ou é destinada a terras marginais, com solos pobres, em processo de degradação com elevadas concentrações salinas (NAIR et al., 2020; NAWAZ et al., 2019; SINGH et al., 2017) ou quantidades variáveis de salinidade na água para irrigação (HANUMANTHARAO et al., 2016).

A salinidade é considerada um dos principais causadores de estresse abiótico às plantas e responsável pela redução do rendimento das culturas nos sistemas agrícolas (HAYAT et al., 2019). Atualmente mais de 100 países são afetados por problemas relacionados a salinidade (ULLAH et al., 2018), seja ela natural (salinização primária) ou antrópica (salinização secundária) (FAO, 2015b). Estima-se que os solos afetados pela salinidade atingem uma área de aproximadamente 1 bilhão de ha (IVUSHKIN et al., 2019), 20% dos solos cultivados, 33% das áreas irrigadas do mundo (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015). As projeções apontam que até 2050 a salinidade atingirá 50% das áreas agrícolas, devido as mudanças climáticas e a intensificação da produção agrícola (MACHADO; SERRALHEIRO, 2017).

O feijão-mungo é uma cultura sensível a salinidade (MINHAS et al., 1990). O estresse salino pode provocar uma redução da germinação de sementes (ALHARBY et al., 2019), afetar negativamente os parâmetros morfofisiológicos e produtivos dessa cultura (AHMAD et al., 2012; AHMAD et al., 2019; SEHRAWAT et al., 2015). Alguns estudos avaliando a tolerância a salinidade de genótipos de feijão-mungo sob diferentes concentrações salinas verificaram redução no número de ramos e no número de vagens por planta, no peso de 100 sementes, na produção de sementes, no índice de área foliar (SUNIL KUMAR et al., 2012; SEHRAWAT et al., 2015), no teor relativo de água (NAHAR et al., 2016) e na massa seca da planta (KHAN et al., 2014) com o aumento dos níveis de salinidade. Entretanto, trabalhos revelaram que alguns

genótipos de feijão-mungo são mais tolerantes ao estresse salino (ALHARBY et al., 2019; MANASA et al., 2017; NAWAZ et al., 2019; SEHRAWAT et al., 2015).

Nos últimos anos, muitos estudos têm sido realizados com o intuito de mitigar o efeito do estresse salino sobre as plantas. Foi relatado em alguns desses estudos que a aplicação exógena de silício nas culturas do milho (LATEF; TRAN, 2016), soja (LEE et al., 2010), tomate (LI et al., 2015) e feijão-mungo (AHMAD et al., 2019) aumenta a tolerância da planta ao estresse salino. O silício é um elemento benéfico (TAIZ et al., 2017), que pode promover uma melhora nos parâmetros morfofisiológicos e de crescimento da planta sob estresse salino e consequentemente no seu rendimento (MAHMOOD et al., 2016).

Embora já existam estudos que comprovem os efeitos positivos do silício como mitigador do estresse salino em genótipos de feijão-mungo em alguns experimentos de curta duração (AHMAD et al., 2019; GHASSEMI-GOLEZANI; LOTFI, 2015), ainda não foi realizado nenhum estudo combinando a aplicação foliar de silício nas linhagens Mungo verde-PLMG e Mungo black-PLMG em cultivo irrigado com água contendo diferentes concentrações salinas até fase de colheita. Nesse sentido, são necessários estudos avaliando tais fatores de forma conjunta e seu efeito sobre as características morfofisiológicas, de crescimento e produtiva desses genótipos.

Foram levantadas as seguintes hipóteses: as linhagens de feijão-mungo apresentam diferentes níveis de tolerância à salinidade da água de irrigação; as características morfofisiológicas, de crescimento e produtivas dessas linhagens são afetadas pela salinidade da água de irrigação e pela aplicação foliar de silício. Diante disso, objetivou-se com esse estudo avaliar o desempenho morfofisiológico, de crescimento e produtivo de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo verde-PLMG e Mungo black-PLMG, em resposta a salinidade da água de irrigação e aplicação foliar de silício.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação coberta por um filme de polietileno transparente com 150 micras de espessura, no período de julho a setembro de 2020, no departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Piauí (UFPI), em Teresina - PI (5°05'21''S e 42°48'07''O, a 72 m de altitude). A temperatura do interior da casa de vegetação variou de 18,5 a 39 °C, enquanto a umidade relativa de 19,4 a 98,8%.

### 2.2 Delineamento experimental, semeadura e condução do experimento

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 5x2x2, com seis repetições, totalizando 120 parcelas. Avaliou-se cinco níveis de salinidade da água de irrigação 1 (controle) 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>, duas linhagens de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]: Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG e dois níveis de silício: 0 e 2 kg ha<sup>-1</sup>.

As sementes foram tratadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% (v/v), durante 15 minutos e lavadas com água destilada. Para semeadura, utilizou-se 8 sementes por vaso, semeadas a dois cm de profundidade em vasos plásticos (20 x 20 cm) preenchidos com cinco kg de solo (Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico – PVAe, de textura arenosa), cujas características químicas e granulométricas são apresentadas na tabela 1. Após a emergência, realizou-se o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso.

**Tabela 1** Características químicas e granulométricas do solo utilizado no experimento. Teresina-PI, 2020.

pH	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	CTC	V	AR	ST	AG
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						-----%-----				
6,23	0,20	0,13	2,45	0,82	0,09	0,10	1,45	4,94	70,06	66	13	6

pH: acidez ativa; P: fósforo disponível; K<sup>+</sup>: potássio disponível; Ca<sup>2+</sup>: cálcio trocável; Mg<sup>2+</sup>: magnésio trocável; Na<sup>+</sup>: sódio trocável; Al<sup>3+</sup>: acidez trocável; H+Al: acidez potencial; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7; V: saturação por bases; AR: areia; ST: silte; AG: argila.

A adubação da cultura foi parcelada em duas aplicações, com de 15 kg de N, 60 kg de  $P_2O_5$  e 100 kg  $K_2O$   $ha^{-1}$  no plantio, e em cobertura, no início da floração, 15 kg de N  $ha^{-1}$  (MBEYAGALA et al., 2017), utilizando como fontes de nutrientes a ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio.

As plantas foram irrigadas com água de poço (CE de  $1,0$   $dS\ m^{-1}$ ) até 12 dias após a semeadura (DAS), quando se iniciou a aplicação de forma gradativa dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aumentando  $1,0$   $dS\ m^{-1}$  ao dia até atingir o nível de  $5,0$   $dS\ m^{-1}$ . Utilizou-se o cloreto de sódio (NaCl) dissolvido na água de irrigação de acordo com Aquino et al. (2017), com CE verificada através de um condutivímetro portátil HM (modelo COM-80). Para o controle da irrigação, 20 vasos foram pesados diariamente no período da manhã e a água perdida por evapotranspiração foi reposta para atingir 100% da capacidade de vaso.

O silício (Si) foi aplicado na forma de silicato de potássio ( $K_2SiO_3$ , contendo 12% Si e 15% KCl) via pulverização foliar com auxílio de um pulverizador manual, parcelado em três aplicações aos 10, 20 e 30 dias após a emergência, no horário das 17 horas. Nas parcelas onde não houve a aplicação do Si foi realizada a aplicação de água destilada.

### **2.3 Parâmetros morfofisiológicos e de crescimento**

Aos 35 e 45 DAS foram escolhidas aleatoriamente três unidades experimentais por tratamento para avaliação do diâmetro do caule (DC, em cm): medido imediatamente abaixo do nó cotiledonar; altura das plantas (AP, em cm): medido do colo ao ápice do ramo principal; número de nós do ramo principal (NNRP); número de ramos laterais (NRL); número de folhas trifoliadas (NF); índice relativo de clorofila (IRC), realizado com um clorofilômetro Clorofilog® (modelo CFL 1030, Falker Automação Agrícola Ltda.) em folhas totalmente expandidas do terço médio da planta no período da manhã (9:00 às 10:00 h).

Para as análises destrutivas, aos 35 DAS, as plantas foram separadas em partes (folhas, ramos, raízes), colocadas em envelopes de papel e acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar à  $65$  °C até atingir massa constante, e posteriormente pesadas para determinar a massa seca das folhas (MSF, em g), massa seca do caule (MSC, em g), seca radicular (MSR, em g) e massa seca da planta (MSP, em g).

Também foram determinadas: a área foliar (AF, em  $dm^2$ ), utilizando um integrador

de área foliar LICOR (modelo LI-3100); o índice de tolerância a salinidade (ITS, em %), calculado de acordo com a equação adotada por Mahmood et al. (2016):

$$ITS = [(MSPe \text{ ou } MSPSi) / MSPne] * 100 \quad (1)$$

Onde: MSPe, massa seca da planta estressada; MSPSi, massa seca da planta tratada com Si; MSPne, massa seca da planta não estressada, ou seja, sem aplicação de água salina e sem Si.

O DC, AP, NNRP, NRL, NF e IRC foram avaliados no final da fase vegetativa e fase reprodutiva (35 e 45 DAS, respectivamente). Enquanto a AF, ITS, MSF, MSC e MSR foram avaliadas apenas aos 35 DAS.

## 2.4 Parâmetros produtivos

Na colheita (57 DAS para L2 e 67 DAS para L1) foram avaliados o comprimento de vagem (CVA, em cm); número de vagens por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV); massa de 100 grãos (MCG, em g); produção de grãos (PG, em g planta<sup>-1</sup>); e índice de grãos (IG): relação entre a massa de grãos e a massa das vagens.

## 2.5 Porcentagem de sódio trocável e Razão de adsorção de sódio

Após a colheita das vagens realizou-se amostragens compostas do solo dos vasos para cada nível de CE para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de acordo com Richards (1954). Também foram determinados o pH e as concentrações de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup> e H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> do solo para cada nível de salinidade (TEIXEIRA et al., 2017). Tais resultados foram utilizados para os cálculos da porcentagem de sódio trocável (PST, em %) e a razão de adsorção de sódio (RAS, em mmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>):

$$PST = (Na / CTC) * 100 \quad (2)$$

$$RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{0,5} \quad (3)$$

Onde: Na, sódio trocável (em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); CTC, capacidade de troca catiônica (em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); e Ca + Mg, cálcio + magnésio (em mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

## 2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Brown-Forsythe). Atendidas essas pressuposições, realizou-se a análise de variância e o teste F para detecção de efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) dos fatores linhagem (L), CEai, silício (Si) e das interações entre LxCEai, LxSi, CEaixSi e LxCEaixSi. Posteriormente, foi realizada a análise de regressão polinomial para o fator CEai. As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico Sisvar<sup>®</sup> 5.7 (FERREIRA, 2011) e os gráficos plotados no SigmaPlot<sup>®</sup> 14.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estádio vegetativo

Aos 35 DAS, houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para as linhagens (L) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) para os parâmetros AP, DC, NRL, NF e NNRP (Tabela 2). Contudo, não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para o fator silício (Si). Para as interações, apenas a L x CEai foi significativa para AP, DC e NRL.

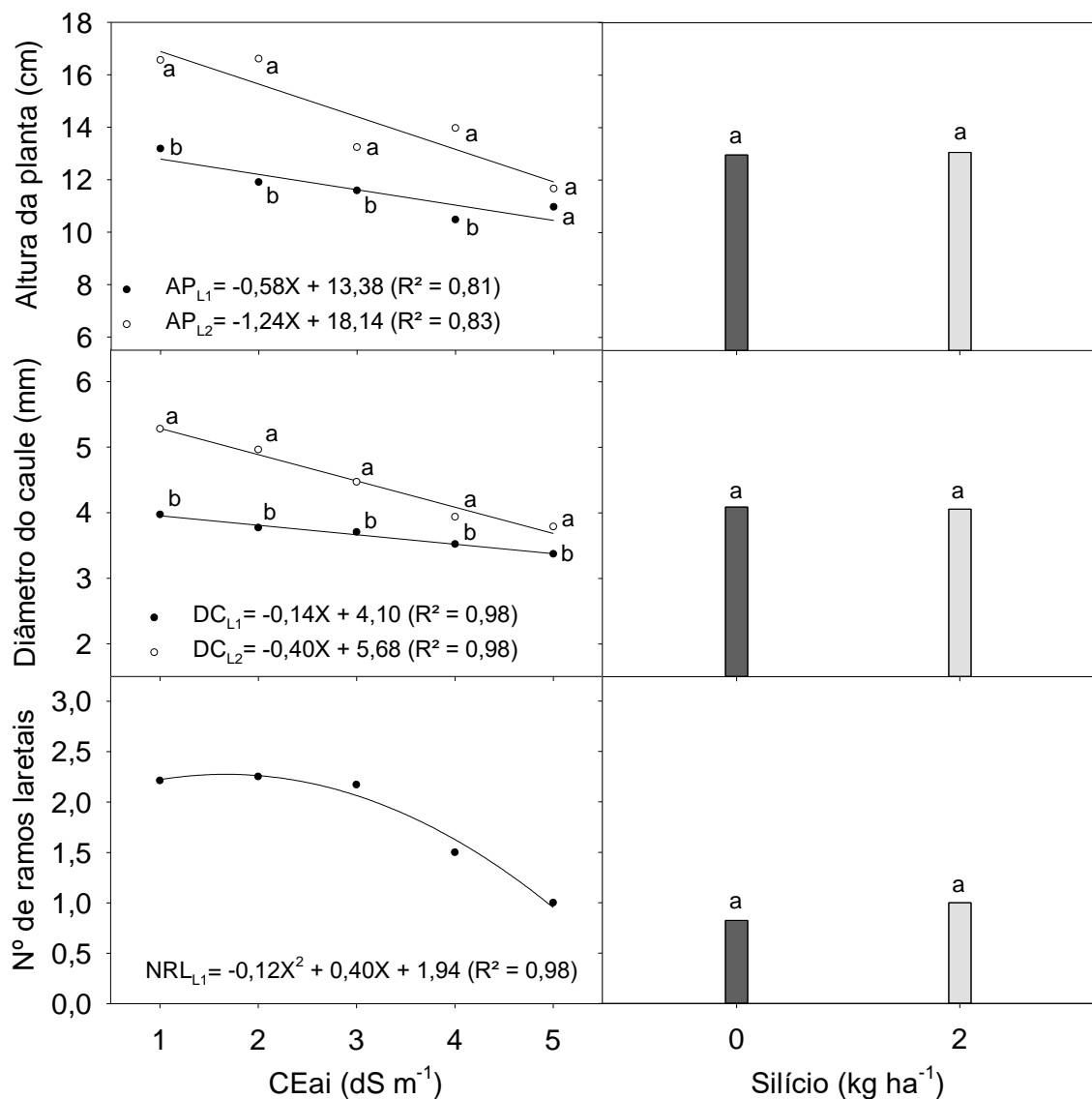
**Tabela 2** Resumo das análises de variâncias dos parâmetros avaliados aos 35 DAS de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e dois níveis de silício. Teresina-PI, 2020.

FV	GL	Quadrados médios				
		AP	DC	NRL	NF	NNRP
Linhagem (L)	1	232,96 <sup>***</sup>	20,17 <sup>***</sup>	96,30 <sup>***</sup>	52,54 <sup>***</sup>	3,68 <sup>**</sup>
CEai	4	53,25 <sup>***</sup>	4,52 <sup>***</sup>	1,74 <sup>***</sup>	6,93 <sup>***</sup>	3,99 <sup>***</sup>
Silício (Si)	1	0,26 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
L x CEai	4	15,29 <sup>***</sup>	1,06 <sup>**</sup>	1,74 <sup>***</sup>	1,53 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
L x Si	1	0,87 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
CEai x Si	4	2,77 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>*</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>
L x CEai x Si	4	1,73 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>*</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>
Resíduo	100	2,07	0,24	0,29	0,84	0,38
Média geral	--	13,01	4,07	0,90	4,90	4,29
CV (%)	--	11,07	12,08	60,24	18,77	14,44

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; AP: altura da planta; DC: diâmetro do caule; NRL: número de ramos laterais; NF: número de folhas; NNRP: número de nós do ramo principal; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

Houve reduções significativas na altura da planta e no diâmetro do caule com a elevação da CEai (Figura 1). No intervalo de 1 a 5 dS m<sup>-1</sup>, os decréscimos na linhagem Mungo black PLMG (L1) foram de 16,8% na AP e de 15,1% no DC, e na Mungo verde-PLMG (L2) foram de 29,6% na AP e de 28,3% no DC. Estes resultados indicam que a L1 apresenta uma maior tolerância aos efeitos negativos dos aumentos na salinidade da água de irrigação com reduções na AP e no DC, respectivamente, 12,8 e 13,2% menores que aquelas observadas em L2.

A L1 apresentou aumento do número de ramos laterais (NRL) com o incremento da salinidade até 1,7 dS m<sup>-1</sup>, apresentando valor máximo de 2,3 ramos por planta. A L2 por sua vez, não apresentou ramos laterais. A aplicação foliar de Si não afetou a AP, o DC e o NRL.

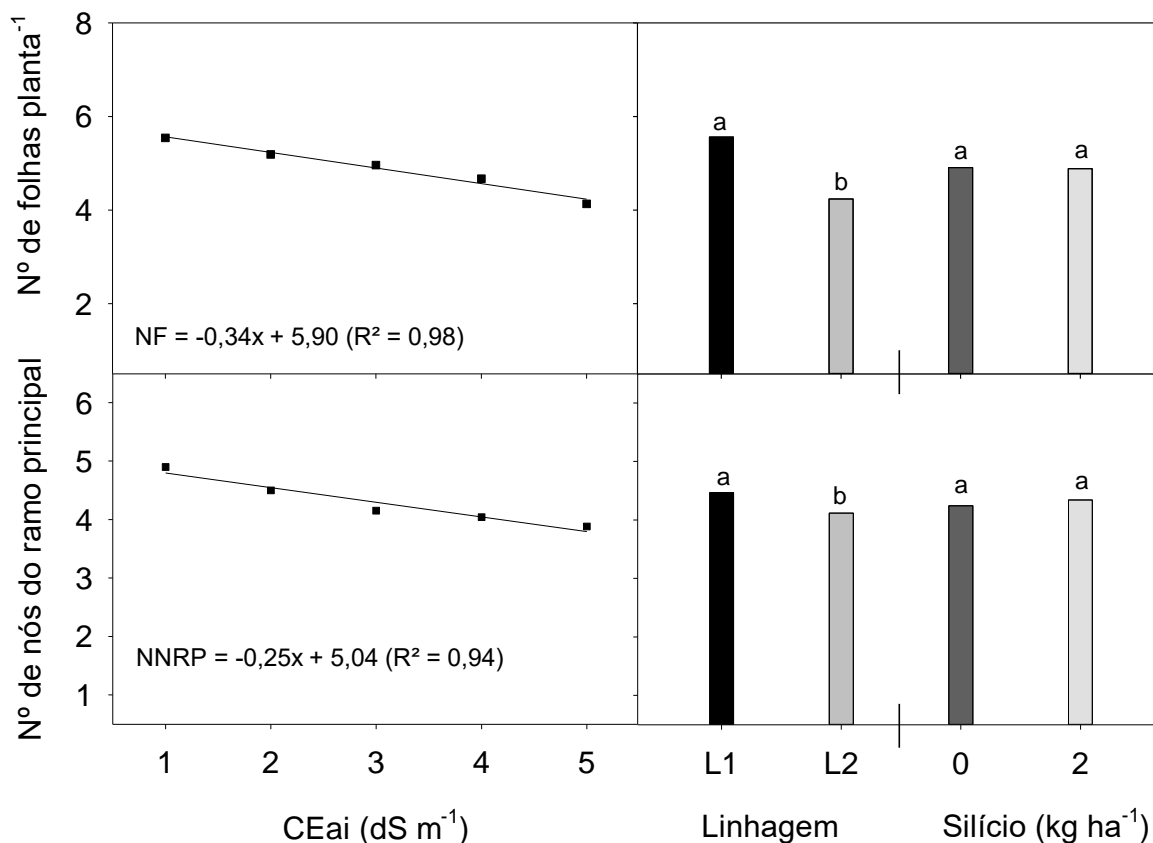


**Figura 1** Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de ramos laterais (NRL) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias seguidas com letras iguais não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. No fator CEai, letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade.

A redução do crescimento da planta é a principal resposta morfológica, haja vista que, nessas condições de cultivo a planta não absorve água em quantidade suficiente para os processos metabólicos, dado o baixo potencial osmótico do solo, levando a planta a uma condição de estresse osmótico (HANUMANTHARAO et al., 2016). O que também justifica a redução do diâmetro do caule e NRL. Outros estudos também relatam a redução da altura de plantas de feijão-mungo em resposta ao estresse salino (SEHRAWAT et al., 2015; AHMAD et al., 2019).

A salinidade também provocou decréscimos no número de folhas e número de nós do ramo principal (NNRP) (Figura 2). Para o número de folhas a redução foi de aproximadamente 6, 10, 16 e 26%, para as CEai de 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Já para o NNRP a redução chegou a 21% para o maior nível de salinidade (5 dS m<sup>-1</sup>). A L1 apresentou maior número de folhas e NNRP em comparação a L2.



**Figura 2** Número de folhas (NF) e número de nós do ramo principal (NNRP) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Ainda aos 35 DAS, houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para linhagens (L) e condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) para os parâmetros índices de clorofila *a*, *b*, MSF, MSC e MSR, excetuando-se a área foliar e o índice de tolerância a salinidade (ITS). Contudo, não houve efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para o fator silício (Si). Para as interações, a L x CEai foi significativa para MSR e MSF, e a L x CEai x Si para a MSR (Tabela 3).

**Tabela 3** Resumo das análises de variâncias dos parâmetros avaliados aos 35 DAS de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e dois níveis de silício. Teresina-PI, 2020.

FV	GL	Quadrados médios						
		IChl <i>a</i>	IChl <i>b</i>	AF	MSF	MSC	MSR	ITS
Linhagem (L)	1	1362,83 <sup>***</sup>	459,03 <sup>***</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	10,48 <sup>***</sup>	1,07 <sup>***</sup>	1,70 <sup>***</sup>	10428,02 <sup>*</sup>
CEai	4	41,94 <sup>***</sup>	14,84 <sup>***</sup>	13,49 <sup>***</sup>	1,92 <sup>***</sup>	0,57 <sup>***</sup>	0,56 <sup>***</sup>	3823,72 <sup>ns</sup>
Silício (Si)	1	2,76 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	228,93 <sup>ns</sup>
L x CEai	4	3,91 <sup>ns</sup>	3,06 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>*</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>*</sup>	531,06 <sup>ns</sup>
L x Si	1	1,78 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	299,27 <sup>ns</sup>
CEai x Si	4	2,91 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	494,27 <sup>ns</sup>
L x CEai x Si	4	4,54 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>*</sup>	139,35 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	3,65	2,04	1,47	0,14	0,04	0,05	1621,63
Média geral	--	31,45	10,42	4,45	1,90	0,84	0,91	89,66
CV (%)	--	6,07	13,70	27,27	19,89	25,21	25,82	44,91

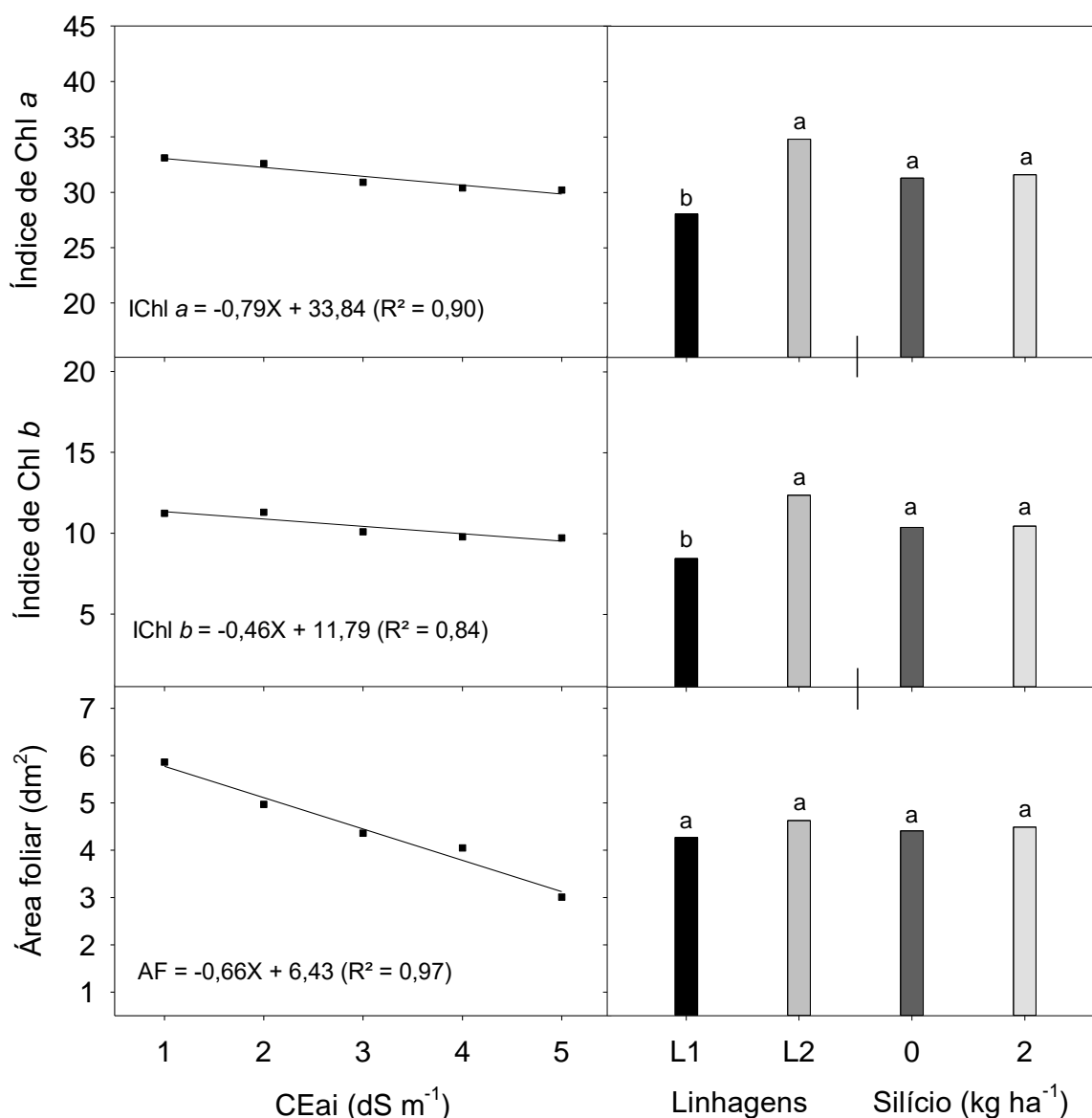
FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; IChl *a*: índice de clorofila *a*; IChl *b*: índice de clorofila *b*; AF: área foliar; MSF: massa seca das folhas; MSC: massa seca do caule; MSR: massa seca radicular; ITS: índice de tolerância a salinidade; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

Os índices de clorofila *a* e *b* foram significativamente afetados pelos aumentos da CEai (Figura 3). A L2 apresentou os maiores índices de clorofila para o fator CEai. Por outro lado, não houve efeito significativo do Si para esses parâmetros supracitados.

A redução dos pigmentos de clorofila *a* e *b* é atribuída a danos na membrana do cloroplasto, o que pode afetar tanto a sua integridade como aumentar sua permeabilidade, como consequência, reduz a capacidade fotossintética da planta (AHMAD et al., 2019).

A salinidade reduziu em 38,6% a área foliar (Figura 3), não havendo efeito significativo do Si para nenhum dos parâmetros supracitados. No presente estudo a área foliar foi significativamente reduzida pelo estresse salino, concordando com a investigação de Yin et al. (2013). De acordo com Sehwat et al. (2015), sob estresse salino a diminuição da expansão foliar é consequência da redução da absorção de água e nutrientes.



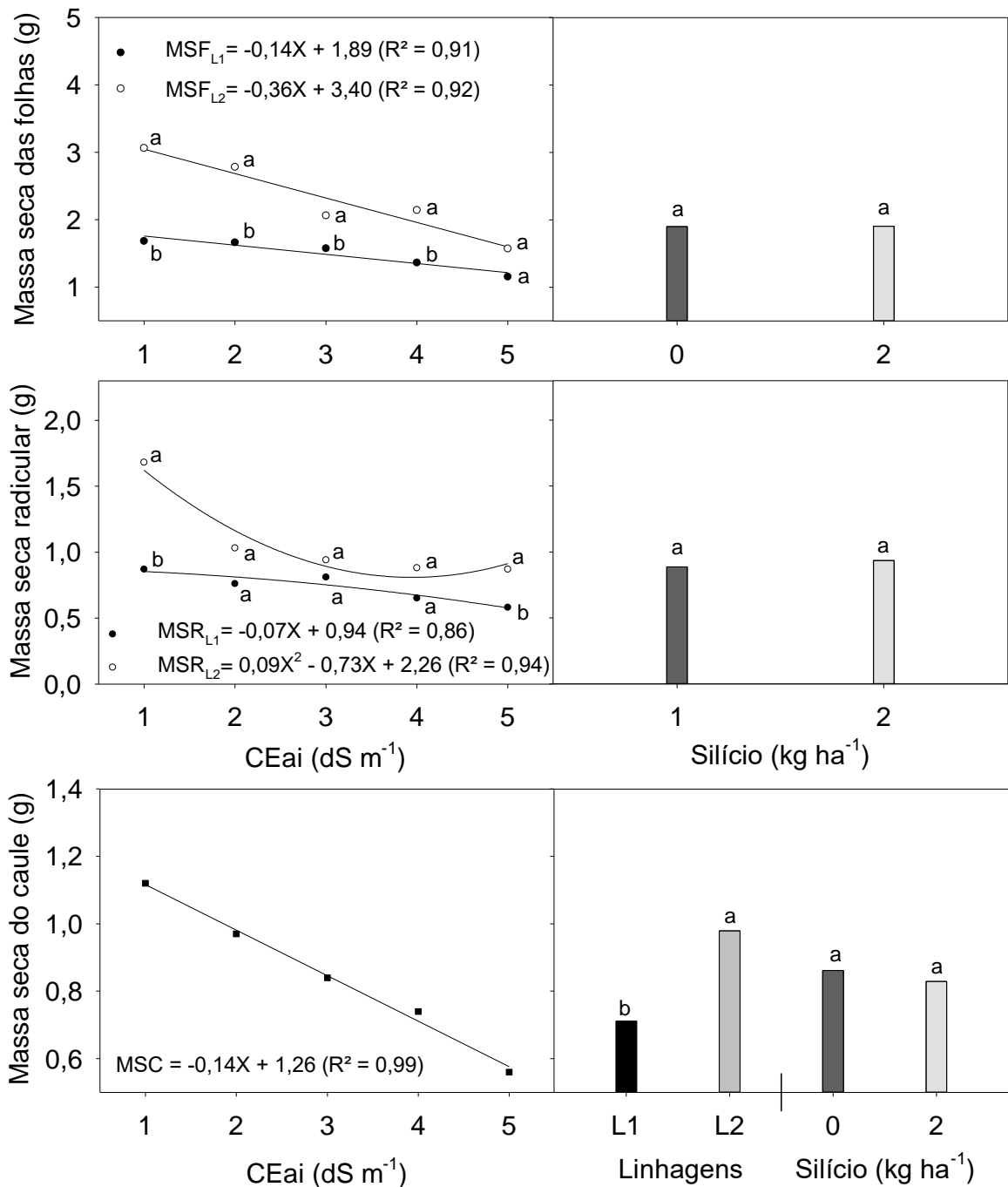


**Figura 3** Índice de clorofila a (IChl a), índice de clorofila b (IChl b) e área foliar (AF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

As massas secas das folhas (MSF), raízes (MSR) e caules (MSC) apresentaram reduções significativas com o aumento dos níveis de CEai (Figura 4). A L1 apresentou redução de 31,5% para a MSF e de 33,3% para a MSR. A L2 por sua vez, apresentou redução de 49 e 48% para a MSF e MSR, respectivamente. Essa menor redução das massas secas das folhas e raízes devido aos aumentos da CEai indicam uma maior tolerância da L1 na fase vegetativa em comparação a L2. Para a MSC, em média, as linhagens apresentaram redução de 50% quando comparada a

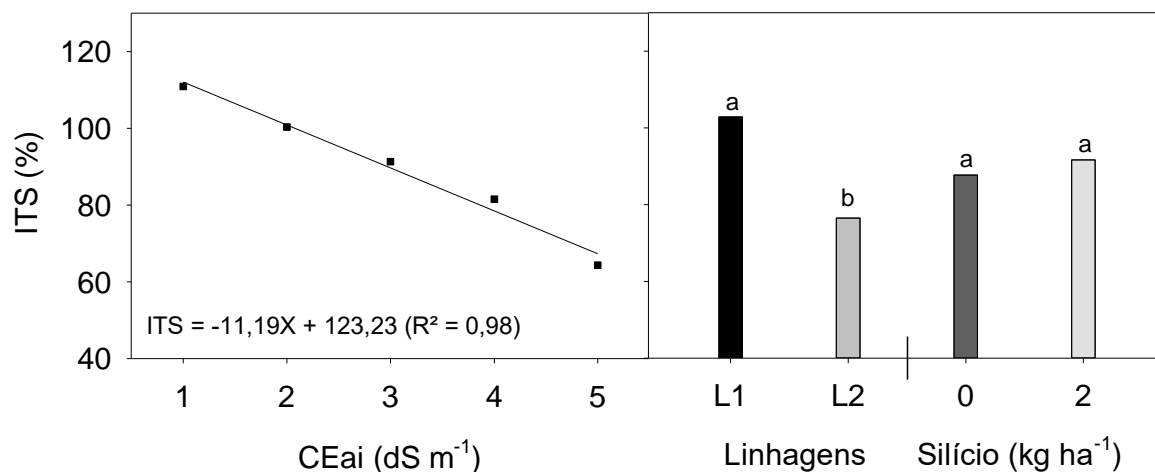
testemunha com a CEai de 5 dS m<sup>-1</sup>. E entre elas, a L2 apresentou maior acúmulo de MSC, com valor 37,6% superior a L1.



**Figura 4** Massa seca das folhas (MSF), massa seca radicular (MSR) e massa seca do caule (MSC) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. No fator CEai, letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade.

O ITS reduziu com o aumento da CEai, de modo que os menores valores foram observados para os maiores níveis de salinidade (Figura 5). A L1 apresentou maior tolerância a salinidade, o que pode ter sido favorecido por fatores intrínsecos da planta como surgimento de novos ramos laterais e de folhas.



**Figura 5** Índice de tolerância à salinidade (ITS) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Diferente do que foi relatado por Mahmood et al. (2016) para a cultura feijão-mungo, a adoção do Si não atuou como um mitigador da salinidade, atenuando os efeitos do estresse salino sob as linhagens de feijão-mungo, de modo que sua suplementação não trouxe nenhum efeito para a massa seca no final de estágio vegetativo.

### 3.2 Estádio reprodutivo

No estágio reprodutivo, houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para a L e CEai em todos os parâmetros avaliados (Tabela 4). No entanto, não houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para o Si. Quanto as interações, houve efeito significativo da L x CEai para a altura da planta, diâmetro do caule, NRL e IChl a, enquanto para a L x Si, apenas para o NNRP.

**Tabela 4** Resumo das análises de variâncias de parâmetros avaliados no estádio reprodutivo de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

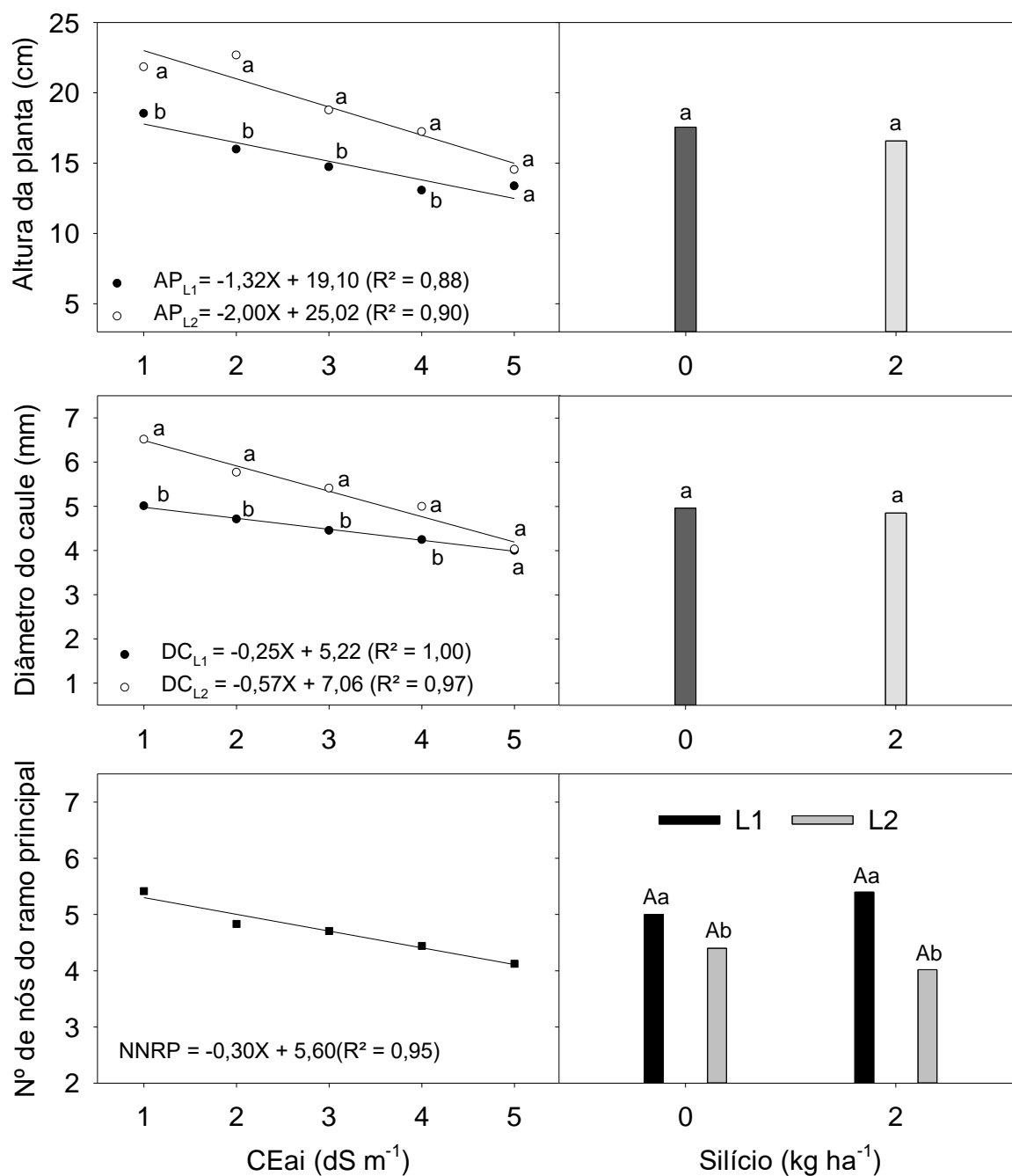
FV	GL	AP	DC	NF	NNRP	NRL	IChl <i>a</i>	IChl <i>b</i>
Linhagem (L)	1	224,85 <sup>***</sup>	11,10 <sup>***</sup>	182,00 <sup>***</sup>	14,70 <sup>***</sup>	51,34 <sup>***</sup>	367,54 <sup>***</sup>	47,88 <sup>***</sup>
CEai	4	84,82 <sup>***</sup>	5,17 <sup>***</sup>	26,10 <sup>***</sup>	2,79 <sup>***</sup>	0,87 <sup>**</sup>	644,07 <sup>***</sup>	55,91 <sup>***</sup>
Silício (Si)	1	14,16 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	1,54 <sup>ns</sup>
L x CEai	4	11,74 <sup>*</sup>	0,88 <sup>**</sup>	1,54 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,87 <sup>**</sup>	60,66 <sup>*</sup>	6,67 <sup>ns</sup>
L x Si	1	4,84 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>*</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
CEai x Si	4	1,56 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	2,53 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	20,88 <sup>ns</sup>	5,12 <sup>ns</sup>
L x CEai x Si	4	2,11 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	2,71 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	12,03 <sup>ns</sup>	2,51 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	3,57	0,22	2,25	0,34	0,19	22,69	3,48
Média geral	--	17,07	4,91	5,74	4,70	0,62	21,42	5,68
CV (%)	--	11,07	9,57	26,12	12,33	47,33	22,24	32,84

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; AP: altura da planta; DC: diâmetro do caule; NF: número de folhas; NNRP: número de nós do ramo principal; NRL: número de ramos laterais; IChl *a*: índice de clorofila *a*; IChl *b*: índice de clorofila *b*; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

A salinidade reduziu significativamente a altura da planta, o diâmetro do caule e o NNRP (Figura 6). A L1 foi menos afetada pela salinidade em comparação a L2, que apresentou redução de 33 e 38% para a altura da planta e diâmetro do caule, respectivamente. Além disso, a L1 foi superior para o NNRP. Em contraste, o Si não trouxe efeito significativo para nenhum dos parâmetros supracitados.

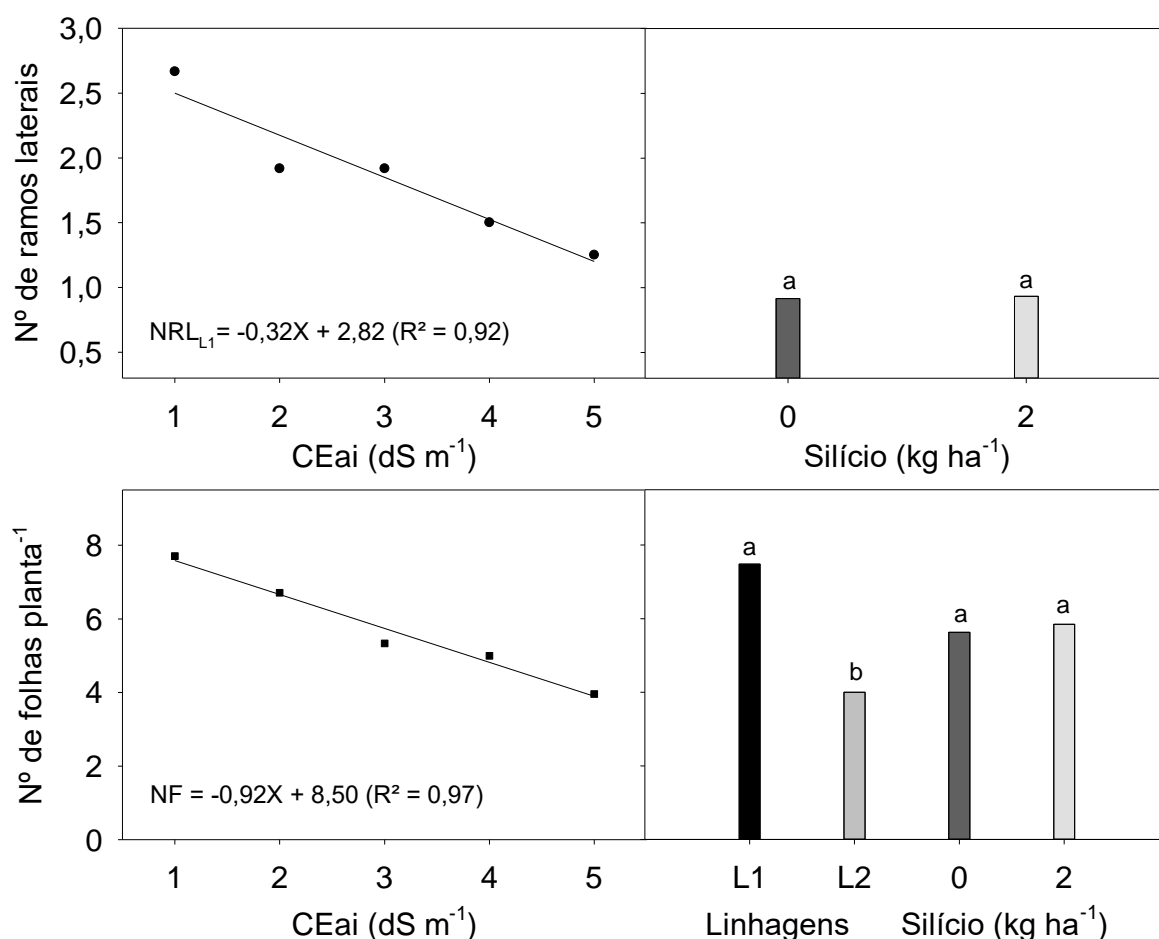
A salinidade afetou negativamente o NRL e o número de folhas (Figura 7). Para o NRL sua redução variou de 28 a 53% para os níveis de CEai de 2 e 5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o número de folhas, nas mesmas CEai citadas acima, a redução variou de 13 a 49%. A L1 apresentou o maior número de folhas, diferindo da L2. As plantas de feijão-mungo tratadas com Si (2 kg ha<sup>-1</sup>) não apresentaram diferenças de plantas não tratadas (0 kg ha<sup>-1</sup>).

De acordo com Farhangi-Abriz e Torabian (2018), com o aumento da salinidade no ambiente de cultivo pode ocorrer tanto a geração de EROs, como a menor absorção de K<sup>+</sup>, dada a sua competição com íons Na<sup>+</sup>, que tende a elevar nos tecidos da planta. Além disso, o Na<sup>+</sup> pode comprometer a integridade da membrana das células da raiz e reduzir a sua seletividade. Isso justificaria não apenas a redução do crescimento da planta, mas também a redução de outros parâmetros morfológicos com o diâmetro do caule, o NNRP e o NRL.



**Figura 6** Altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de nós do ramo principal (NNRP) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. Letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade ou silício, enquanto as maiúsculas comparam uma mesma linhagem nos diferentes níveis de Si.

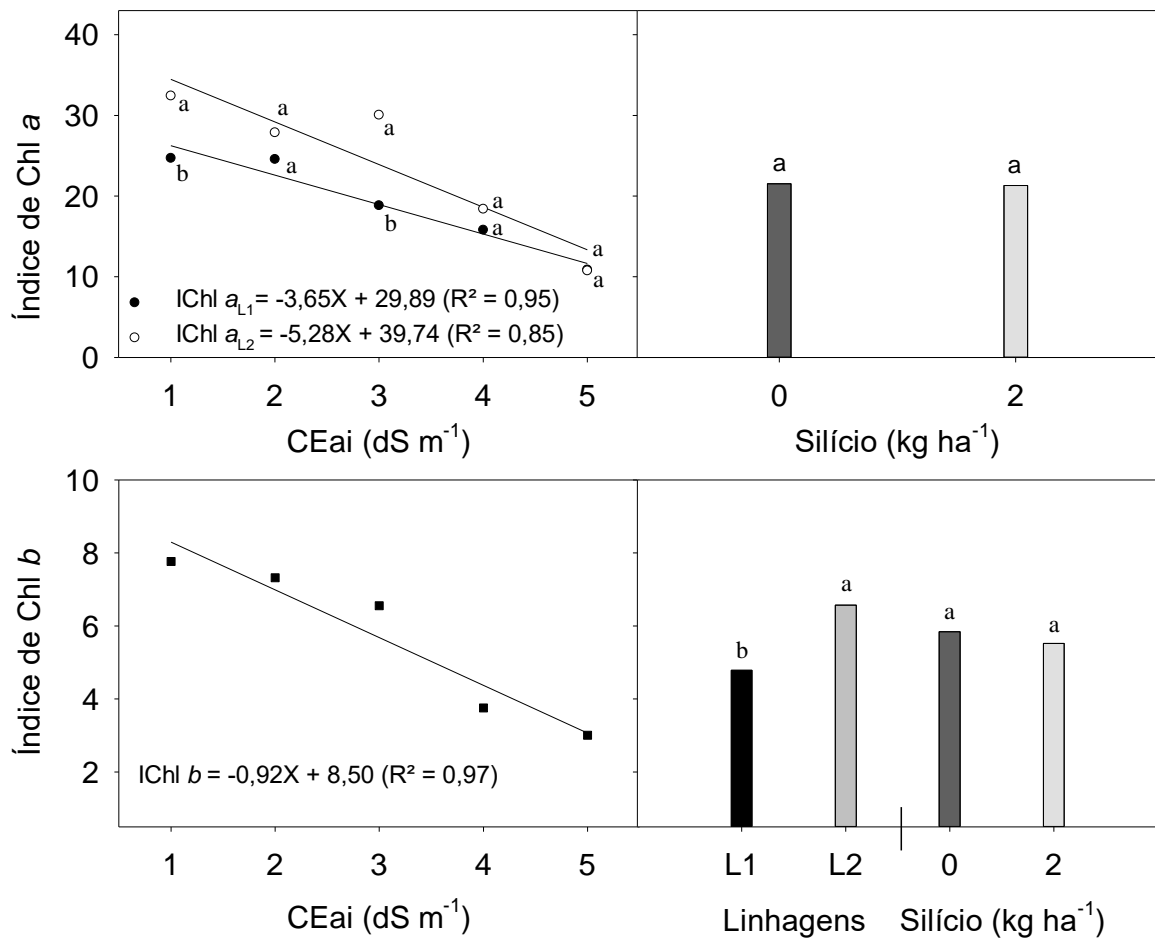


**Figura 7** Número de ramos laterais (NRL) e número de folhas (NF) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

O estresse salino trouxe efeitos negativos para os IChl *a* e *b*, de modo que as maiores CEai apresentaram as menores médias (Figura 8). A redução no IChl *a* para o nível mais elevado de salinidade (5 dS m<sup>-1</sup>) foi de 56 e 67% para as linhagens 1 e 2, respectivamente. Para o IChl *b*, essa redução chegou a 61,2%, tendo a L2 apresentando a maior média (6,6) que a L1 (4,8).

Nesse estágio de desenvolvimento, as plantas cultivadas sob maiores níveis de salinidade já apresentavam sinais claros de clorose nas folhas, inclusive necrose nas folhas mais velhas. Resultado semelhantes foram descritos por Sehwat et al. (2015), que relatam que essa cultura é mais sensível na fase reprodutiva do que na fase vegetativa, haja vista que os íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> vão se acumulando nos tecidos da planta.



**Figura 8** Índice de clorofila a (IChl a) e b (IChl b) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. No fator CEai, letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade.

### 3.3 Parâmetros produtivos

Para os parâmetros produtivos, houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da L apenas para o comprimento de vagem (CVa), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG) e produção de grãos (PG). Houve efeito significativo ( $p < 0,001$ ) da CEai para todos os parâmetros avaliados (Tabela 5). Contudo, não houve efeito significativo ( $P > 0,05$ ) do Si.

**Tabela 5** Resumo da análise de variância de parâmetros produtivos de linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

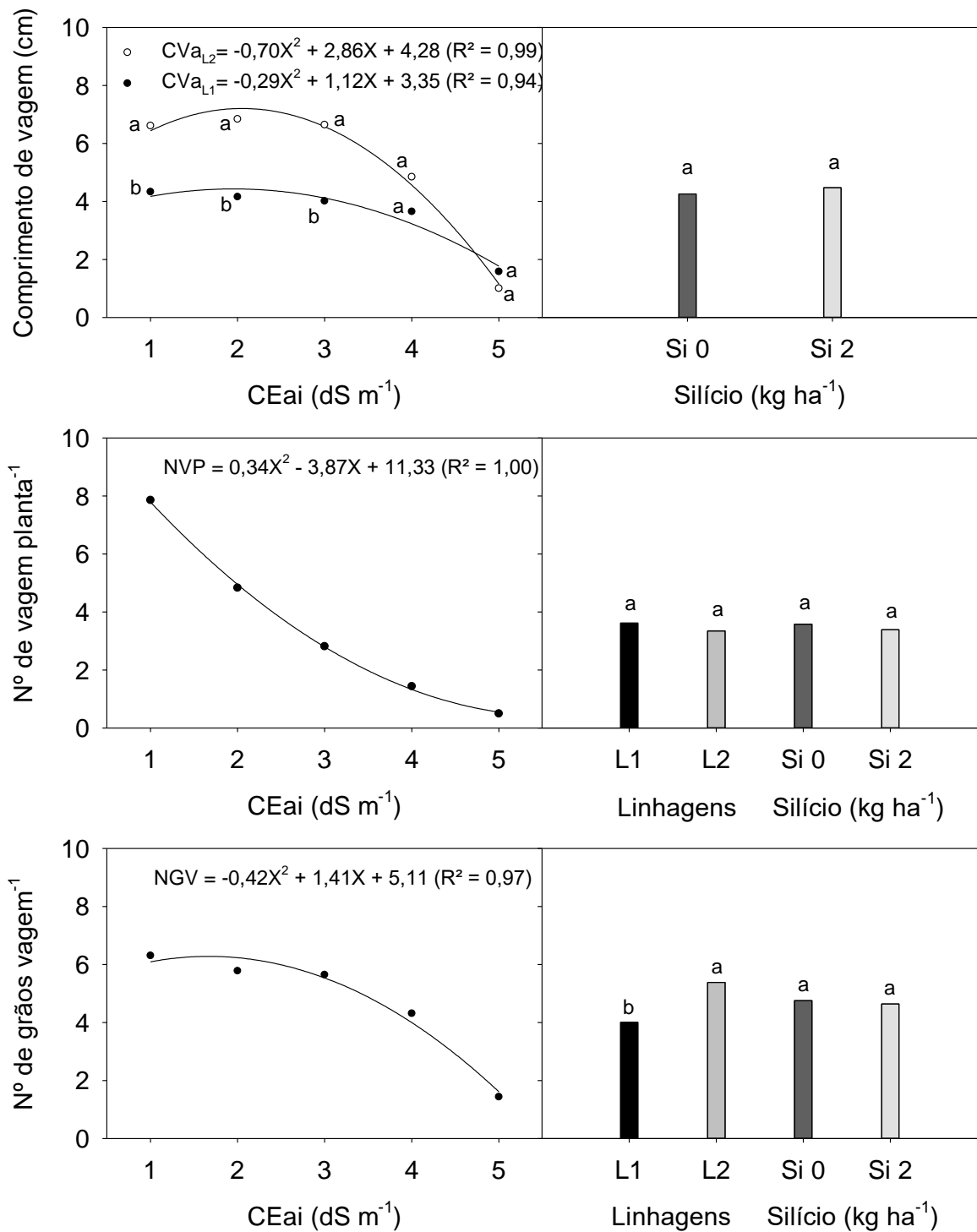
FV	GL	CVa	NVP	NGV	MCG	PG	IG
Linhagem (L)	1	40,48 <sup>***</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	28,63 <sup>**</sup>	73,70 <sup>***</sup>	9,04 <sup>***</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
CEai	4	38,66 <sup>***</sup>	103,39 <sup>***</sup>	46,38 <sup>***</sup>	48,20 <sup>***</sup>	16,91 <sup>***</sup>	0,57 <sup>***</sup>
Silício (Si)	1	0,69 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
L x CEai	4	5,68 <sup>*</sup>	3,15 <sup>ns</sup>	1,81 <sup>ns</sup>	5,76 <sup>ns</sup>	1,78 <sup>***</sup>	0,03 <sup>*</sup>
L x Si	1	1,47 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	4,44 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
CEai x Si	4	6,00 <sup>**</sup>	2,25 <sup>ns</sup>	3,25 <sup>ns</sup>	3,93 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>**</sup>
L x CEai x Si	4	0,25 <sup>ns</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	1,76 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Resíduo	40	1,49	1,24	2,93	2,30	0,16	0,01
Média geral	--	4,37	3,49	7,70	4,38	1,14	0,50
CV (%)	--	27,90	31,87	36,44	34,61	35,62	21,33

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CVa: comprimento de vagem; NVP: número de vagem por planta; NGV: número de grãos por vagem; MCG: massa de 100 grãos; PG: produção de grãos; IG: índice de grãos; ns: não significativo; \*: significativo a 5%; \*\*: significativo a 1%; \*\*\*: significativo a 0,1% pelo teste F.

Houve acréscimos do CVa até a CEai de 1,9 dS m<sup>-1</sup> para L1 e 2,0 dS m<sup>-1</sup> para L2, com valores de 4,4 e 7,2 cm, respectivamente (Figura 9). O número de vagem por planta (NVP) apresentou drástica redução em resposta aos aumentos da CEai. A redução foi de 38,5, 35,1, 66,8 e 88,5% para as CEai de 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. O NGV aumentou até 1,7 dS m<sup>-1</sup>, apresentando 6,3 grãos vagem<sup>-1</sup>, seguido de redução de 8,3, 10,5, 31,7, 77,3% para CEai de 2, 3, 4 e 5 dS m<sup>-1</sup>. Não houve diferença entre as linhagens para o NVP, contudo, para o NGV a L2 (5,4 grãos vagem<sup>-1</sup>) foi superior a L1 (4,0 grãos vagem<sup>-1</sup>).

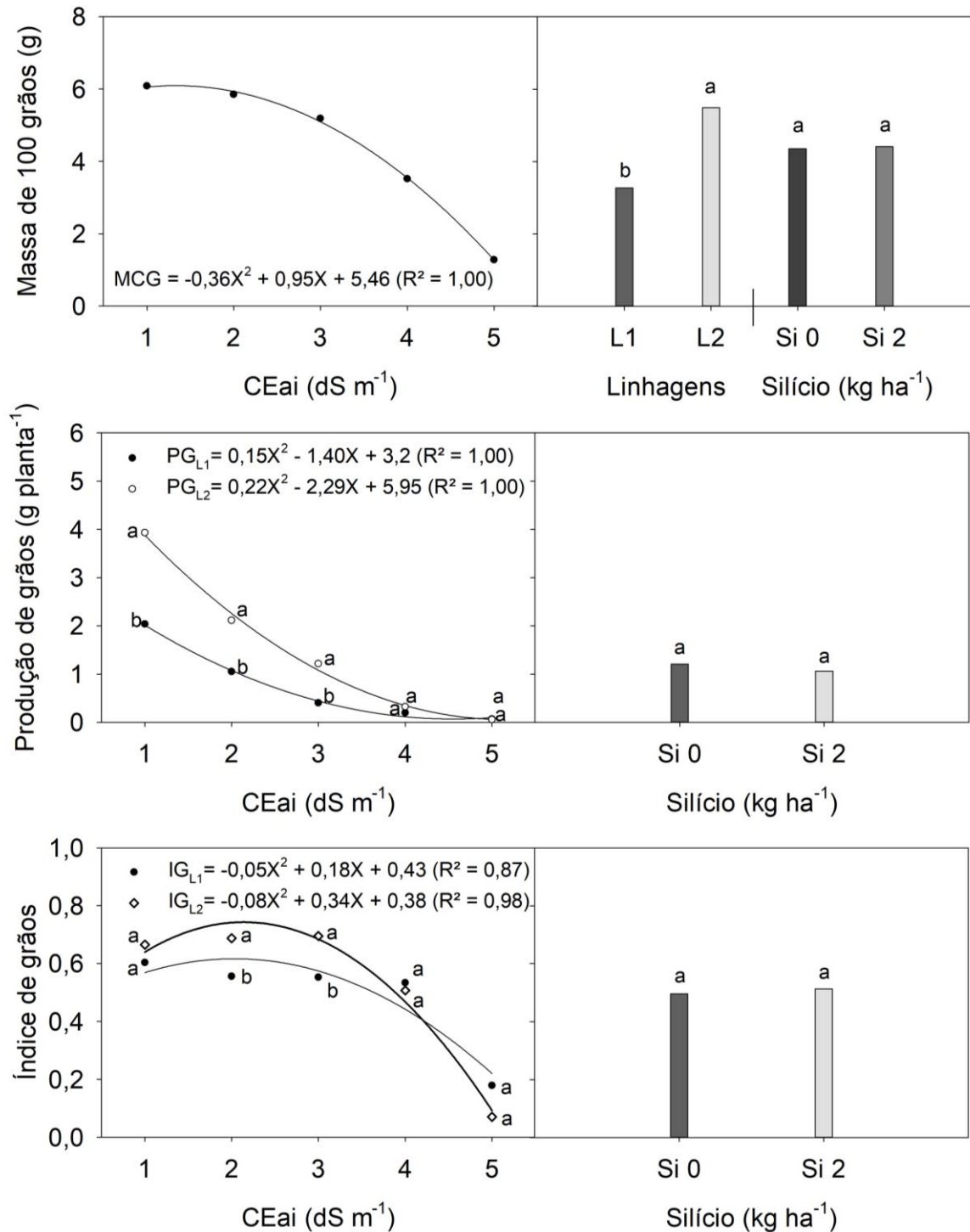
Houve aumento da MCG até 1,4 dS m<sup>-1</sup>, com redução significativa a partir desse ponto (Figura 10). O maior nível de salinidade (5 dS m<sup>-1</sup>) apresentou redução de 79% quando comparado a 1 dS m<sup>-1</sup>. A L2 apresentou maior MCG (5,49 g) em comparação a L1 (3,27 g). A redução da produção de grãos das linhagens em resposta ao estresse salino foi superior a 95%. A L2 foi superior a L1 até a CEai de 3 dS m<sup>-1</sup>, sendo iguais a partir desse ponto.





**Figura 9** Comprimento de vagens (CVA), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagens (NGV) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. No fator CEai, letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade.



**Figura 10** Massa de 100 grãos (MCG), produção de grãos (PG) e índice de grãos (IG) de duas linhagens de feijão-mungo: Mungo black-PLMG (L1) e Mungo verde-PLMG (L2), cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai) e aplicação foliar de silício. Teresina-PI, 2020.

Médias com letras iguais, em cada fator, não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. No fator CEai, letras minúsculas comparam as linhagens dentro de um mesmo nível de salinidade.

Quanto ao índice de grãos, houve aumento quadrático para as duas linhagens,

a L1 apresentou ponto de máximo na CEai de 1,8 dS m<sup>-1</sup>, enquanto a L2 na CEai de 2,1 dS m<sup>-1</sup> (Figura 10). A L2 foi superior a L1 para as CEai de 2 e 3 ds m<sup>-1</sup> e igual nas demais CE.

De um modo geral, assim como relatado em outros estudos (SEHRAWAT et al., 2014; SEHRAWAT et al., 2015) sob CEai elevadas houve uma maior limitação nos parâmetros produtivos das linhagens de feijão-mungo (Figuras 9 e 10). Esses foram mais afetados devido a toxicidade iônica que provocou a necrose de tecidos foliares e morte das plantas no período de enchimento de grãos, comprometendo severamente o número de vagens, o NGV, a MCG, conseqüentemente a PG. Dentre as linhagens, a L1 por possuir hábito de crescimento indeterminado, apresentou uma maior tolerância (Figura 5), pois mesmo com a necrose e queda das folhas mais velhas, foi observado que a planta ainda emitia novos ramos e folhas, contribuindo para manutenção do aparato fotossintético por um período mais prolongado. Contudo, isso não se traduziu em maior PG.

Nesta investigação, diferente do que foi relatado em outros estudos (LATEF; TRAN, 2016; LEE et al., 2010; LI et al., 2015; AHMAD et al., 2019), a aplicação foliar de Si não atenuou os efeitos do estresse salino sobre as linhagens de feijão-mungo nas diferentes fases de desenvolvimento, não havendo diferenças entre plantas tratadas (2 kg ha<sup>-1</sup>) e não tratadas (0 kg ha<sup>-1</sup>).

De acordo com Hurtado et al. (2020), a aplicação via solo e foliar combinadas possuem maior eficiência para plantas não acumuladoras de Si, o que contribui para a redução do acúmulo de Na<sup>+</sup> e aumento de K<sup>+</sup> na parte aérea da planta. Tanto em plantas acumuladoras como o arroz como não acumuladoras como o feijão, o Si não é redistribuído para partes jovens da planta, pois trata-se de um elemento que se polimeriza na forma de sílica (SiO<sub>2</sub>), tornando-se imóvel na planta (CARNEIRO et al. (2010).

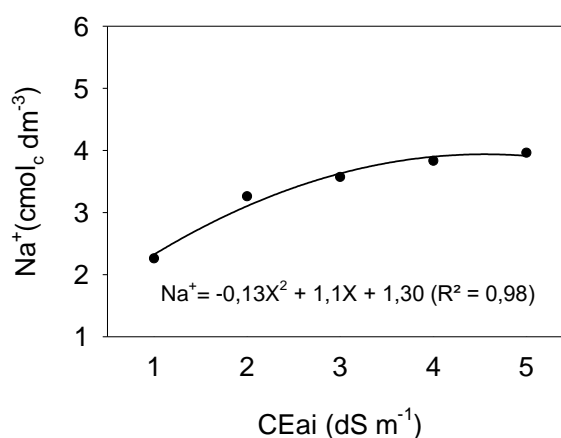
O aumento da salinidade induz a planta a uma maior atividade da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POX) e ascorbato peroxidase (APX), enzimas antioxidantes que atuam na eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROs) (FARHANGI-ABRIZ; TORABIAN, 2018). De acordo com esses autores, aplicação de Si pode elevar a atividade dessas enzimas em plantas de soja, embora, tenham observado que doses elevadas de Si podem induzi-las a uma redução.

A cultura do tomate sob estresse salino apresenta aumentos da absorção dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> e redução da absorção de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> nas folhas, caule e raízes (LI

et al., 2015). Adicionalmente, esses autores também observaram que a aplicação de Si resultou em aumentos da translocação de  $\text{Na}^+$  da raiz para o caule, e deste para as folhas.

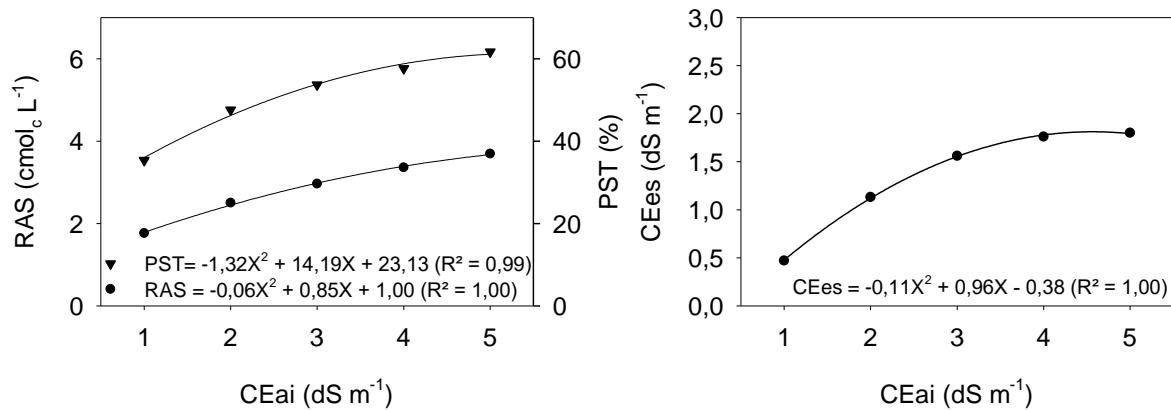
### 3.4 Análise residual

Os acréscimos da CEai provocaram aumento quadrático na concentração de  $\text{Na}^+$  do solo, com concentração máxima de  $3,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na CEai de  $4,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 11).



**Figura 11** Concentração residual de sódio ( $\text{Na}^+$ ) no solo dos vasos das linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai), aos 34 DAS. Teresina-PI, 2020.

Tendências semelhantes foram observadas para a razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) devido ao aumento dos níveis de CEai (Figura 12). No final do ciclo de cultivo das linhagens de feijão-mungo a RAS foi bastante acentuada devido a aplicação contínua da água contendo quantidade crescente de NaCl, o que aumentou a concentração de  $\text{Na}^+$  trocável e reduziu dos cátions divalentes ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ). Análogo a isso, a PST também foi bastante elevada, apresentando valor máximo de 61,7% na CEai de  $5 \text{ dS m}^{-1}$ . No entanto, observa-se que CEes apresentou valor máximo de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  na CEai de  $4,4$ , nesse sentido, de acordo com a classificação de Richards (1954), após um ano de cultivo o solo foi levado a uma condição de sodicidade (PST >15% e CEes <  $4 \text{ dS m}^{-1}$ ).



**Figura 12** Razão de adsorção de sódio (RAS), porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) do solo dos vasos de duas linhagens de feijão-mungo, cultivadas sob cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (CEai). Teresina-PI, 2020.

Sob condições elevadas de PST e baixa CEes, o solo apresenta-se bastante suscetível a degradação, sobretudo a degradação física e hidráulica (RICHARDS, 1954; LEVY; SHAINBERG, 2005). Nessa condição, ocorre a expansão e eluviação das argilas, conseqüentemente, podem causar o entupimento dos poros, afetando drasticamente a infiltração da água e a condutividade hidráulica do solo, deixando-o mais suscetível a erosão pela água das chuvas (VAN DER ZEE et al., 2014; LEVY; SHAINBERG, 2005). Por outro lado, cabe ressaltar que esse estudo foi realizado em ensaio de vaso em casa de vegetação, sem interferência da ação das chuvas. Logo, sob condição de campo devido a lixiviação dos sais a CEes, a RAS e a PST possivelmente apresentaria valores diferentes.

#### 4 CONCLUSÕES

Os aumentos da CEai limitaram significativamente os parâmetros morfofisiológicos, o crescimento e o rendimento de grãos das linhagens Mungo black-PLMG e Mungo verde-PLMG.

Na fase vegetativa a linhagem Mungo black-PLMG é menos afetada pelos aumentos da CEai, apresentando menor redução das massas secas das folhas e caule.

A aplicação foliar de silício ( $2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) não contribuiu para redução do estresse salino das linhagens de feijão-mungo.

A Mungo verde-PLMG embora não possua maior tolerância a salinidade na fase vegetativa, apresentou maior número de grãos por vagem e peso de 100 grãos, além de maior produção de grãos até a CEai de  $3 \text{ dS m}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. et al. The combined application of rhizobial strains and plant growth promoting rhizobacteria improves growth and productivity of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salt-stressed conditions. **Annals of Microbiology**, v. 62, n. 3, p. 1321–1330, 2012.
- AHMAD, P. et al. Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, p. 70–82, 2019.
- ALHARBY, H. F. et al. Identification of physiological and biochemical markers for salt (NaCl) stress in the seedlings of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 5, p. 1053-1060, 2019.
- AQUINO, J. P. A. et al. Morphophysiological responses of cowpea genotypes to irrigation water salinity. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 1001-1008, 2017.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Proceedings of the regional consultation on the promotion of pulses in Asia for multiple health benefits**. 2015a. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5395e.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2019.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the world's soil resources (SWSR): main report**. Rome, Italy, 2015b.
- FAO. **Using residual soil moisture after monsoon rice crop for mung bean production in drought prone areas, Bangladesh**. 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca3722en/ca3722en.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2019.
- FARHANGI-ABRIZ, S.; TORABIAN, S. Nano-silicon alters antioxidant activities of soybean seedlings under salt toxicity. **Protoplasma**, v. 255, p. 953–962, 2018.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R. The impact of salicylic acid and silicon on chlorophyll a fluorescence in mung bean under salt stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 62, p. 611–616, 2015.
- HANUMANTHARAO, B.; NAIR, R. M.; NAYYAR, H. Salinity and high temperature tolerance in mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] from a physiological perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-20, 2016.
- HAYAT, K. et al. Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. **Environmental Science and Technology**, 2019.
- HURTADO, A. C. et al. Different methods of silicon application attenuate salt stress in sorghum and sunflower by modifying the antioxidative defense mechanism. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 203, 2020.

IVUSHKIN, K. et al. Global mapping of soil salinity change. **Remote Sensing of Environment**, v. 231, n. 111260, p. 1-12, 2019.

KHAN, M. I. R.; ASGHER, M.; KHAN, N. A. Alleviation of salt-induced photosynthesis and growth inhibition by salicylic acid involves glycinebetaine and ethylene in mungbean (*Vigna radiata* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 80, p. 67-74, 2014.

LATEF, A. A. A.; TRAN, L.-S. P. Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

LEE, S. K. et al. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system. **Agroforestry Systems**, v. 80, p. 333–340, 2010.

LEVY, G. J.; SHAINBERG, I. Sodic soils. In: HILLEL, D. **Encyclopedia of soils in the environment**. 1. ed. [S. I.]: Elsevier, 2005. p. 504-513.

LI, H. et al. Beneficial effects of silicon in alleviating salinity stress of tomato seedlings grown under sand culture. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 71, 2015.

MACHADO, R. M. A.; SERRALHEIRO, R. P. Soil Salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, 2017.

MAHMOOD, S.; DAUR, I.; AL-SOLAIMANI, S. G.; AHMAD, S.; MADKOUR, M. H.; YASIR, M.; HIRT, H.; ALI, S.; ALI, Z. Plant growth promoting rhizobacteria and silicon synergistically enhance salinity tolerance of mung bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

MANASA, R. et al. Screening mungbean (*Vigna radiata* L.) lines for salinity tolerance using salinity induction response technique at seedling and physiological growth assay at whole plant level. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 7, p. 1-12, 2017.

MBEYAGALA, K. E. et al. **A manual for mungbean (greengram) production in Uganda**. National Agricultural Research Organization (NARO), p. 32, 2017.

MINHAS, P. S.; SHARMA, D. R.; KHOSLA, B. K. Mungbean response to irrigation with waters of different salinities. **Irrigation Science**, v. 11, p. 57-62, 1990.

NAHAR, K. et al. Polyamines confer salt tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by reducing sodium uptake, improving nutrient homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification systems. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.

NAIR, R. M.; SCHAFLEITNER, R.; LEE, S-H. **The mungbean genome**. 1. ed. [S. I.]: Springer, 2020.

NAIR, R. et al. Legume improvement program at AVRDC – the World Vegetable Center: impact and future prospects. **Ratarstvo i povrtarstvo (Field and Vegetable Crops Research)**, v. 51, n. 1, p. 55-61, 2014.



NAWAZ, M.; KHAN, A.; ASHRAF, M. Y. Screening mungbean germplasm for salt tolerance using growth indices and physiological parameters. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 22, n. 3, p. 401-406, 2019.

OLIVEIRA, B.; MOURA, A. P.; CUNHA, L. M. Increasing pulse consumption to improve human health and food security and to mitigate climate change. In: CASTRO, P.; AZUL, A.; LEAL FILHO, W.; AZEITEIRO, U. (eds). **Climate change-resilient agriculture and agroforestry**. [S. l.]: Springer. 2019. p. 21-35.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: U. S. Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160 p.

SEHRAWAT, N. et al. Screening of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] genotypes for salt tolerance. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, v. 4, p. 36-43, 2014.

SEHRAWAT, N. et al. Effect of salinity stress on mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] during consecutive summer and spring seasons. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 60, n. 1, p. 23-32, 2015.

SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p. 123–131, 2015.

SINGH, P.; SHAHI, B.; SINGH, K. M. **Enhancing pulses production in Bihar: constraints and strategies for sustainable growth**. 2017. Disponível em: <[https://mpr.ub.uni-muenchen.de/81590/1/MPRA\\_paper\\_81590.pdf](https://mpr.ub.uni-muenchen.de/81590/1/MPRA_paper_81590.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2020.

SUNIL KUMAR, B. et al. Breeding for salinity tolerance in mungbean. **APCBEE Procedia**, v. 4, p. 30–35, 2012.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

ULLAH, S. et al. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: challenges and opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 320-335, 2018.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; SHAH, S. H. H.; VERVOORT, R. W. Root zone salinity and sodicity under seasonal rainfall due to feedback of decreasing hydraulic conductivity. **Water Resources Research**, v. 50, n. 12, p. 9432–9446, 2014.

YIN, L. et al. Application of silicon improves salt tolerance through ameliorating osmotic and ionic stresses in the seedling of *Sorghum bicolor*. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 3099–3107, 2013.