



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

CRESCIMENTO INICIAL EM PLANTAS DE FEIJÃO-MUNGO (C3) E SORGO (C4) EXPOSTAS A ESTRESSES MÚLTIPLOS

Aurenivia Bonifácio de Lima, UFPI, aurenivia@ufpi.edu.br
Inácio Meneses Costa, EFA Cocais, inacio123meneses@hotmail.com
José Alves Pereira Neto, UFPI, jose_alvespn@live.com
Maria Eduarda Cabral da Silva, UFPI, eduarda_cx@hotmail.com

Resumo

Plantas sofrem estresses abióticos resultando em alterações metabólicas e perda de produtividade, onde estresses primários resultam em estresses secundários, ocorrendo o aumento das espécies reativas de oxigênio (EROs) que podem atuar como indicadores celulares de estresse e/ou como mensageiros secundários, com o crescente interesse em compreender as respostas antioxidativas das plantas em situações adversas, o presente estudo objetivou avaliar as respostas fisiológicas em plantas de feijão-mungo e sorgo submetidas a combinação entre estresse por alumínio e salino. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação do Departamento de Biologia (CCN/UFPI; Teresina/PI). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 6 (duas espécies vegetais e seis tratamentos), com 5 repetições. Foram coletados dados biométricos e massa fresca da parte aérea e das raízes, os dados foram submetidos à análise de variância, precedido pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software estatístico RStudio. Observou-se que as plantas de sorgo responderam melhor ao estresse salino e por alumínio quando comparadas as plantas de feijão-mungo, podendo ser algo relacionado ao metabolismo C4 da planta apresentando melhor aclimatação ao estresse salino e por alumínio.

Palavras-chave: gramínea, leguminosa, metabolismo.

1. Introdução

Em mundo todo, as espécies vegetais habitam diferentes ambientes com diversas combinações de condições abióticas, tais como seca e altas temperaturas, deficiência hídrica e alta irradiância, seca e salinidade, entre outros (BONIFACIO et al., 2016; NOCTOR; FOYER, 2016). Estas diferentes condições ambientais provocam diversas alterações no metabolismo das plantas, que variam de leves a severas, dependendo da intensidade e interação entre os mesmos (FOYER, 2018).

Na maioria das plantas, o estresse salino caracterizado pelo excesso de íons na solução do solo induz uma situação de estresse e, portanto, limita a distribuição e produtividade vegetal (BYRT et al., 2018). O estresse salino pode promover alterações osmóticas, como resultado da diminuição do teor relativo de água, da pressão de turgor e do potencial hídrico celular, e também a toxicidade iônica, principalmente devido ao excesso de íons sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), que comprometem a abertura e o fechamento estomático, provocam redução no crescimento foliar e diminuição da produção de biomassa (TOPPA; BRAMBILLA, 2011). Em solos com



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

alta concentração de sais, as alterações osmóticas que induzem deficiência hídrica são causadoras da redução na produtividade das culturas e também é responsável pela alteração em diversos processos metabólicos (MUNNS et al., 2015).

Além dos efeitos primários e diretos, os estresses abióticos em plantas podem desencadear efeitos secundários, tais como o estresse oxidativo (NOCTOR et al., 2014). O estresse oxidativo é caracterizado pelo desequilíbrio entre a produção e remoção de espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs mais comuns são o radical superóxido ($O_2^{\cdot -}$) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (NOCTOR; FOYER, 2016).

Embora estejam presentes naturalmente em diversos compartimentos celulares participando de processos vitais, estas moléculas são extremamente reativas e podem causar danos metabólicos irreversíveis, tais como a peroxidação de lipídios, danos nas membranas celulares e degradação de proteínas, que podem ocasionar perda de viabilidade celular e comprometer drasticamente o desempenho e produtividade vegetal (FOYER, 2018).

As EROs podem atuar como indicadores celulares de estresse e/ou como mensageiros secundários envolvidos na resposta aos estresses bióticos e abióticos estresse (BONIFACIO et al., 2016; NOCTOR; FOYER, 2016; FOYER et al., 2017).

O aumento na produção dos EROs é uma das principais respostas bioquímicas das células vegetais, entretanto seus níveis precisam ser mantidos sob controle (NOCTOR; FOYER, 2016). Para isso, a célula vegetal conta com sistemas de defesa composto por enzimas antioxidativas, principalmente dismutase de superóxido, catalase, peroxidases de fenóis e de ascorbato e redutases de glutathiona, e os antioxidantes hidrofílicos, tais como o ascorbato e a glutathiona (NOCTOR; FOYER, 2016; FOYER, 2018). Este sistema antioxidativo encontra-se presente em várias organelas e atuam de forma coordenada para conferir proteção oxidativa (BONIFACIO et al., 2016).

Diante do exposto e considerando o crescente interesse em compreender as respostas antioxidativas das plantas em situações adversas, o presente estudo objetivou avaliar as respostas fisiológicas no crescimento de plantas de sorgo e feijão-mungo submetidas a combinação do estresse por excesso de alumínio e da salinidade (estresses múltiplos).

2. Fundamentação teórica

Importância econômica e aspectos culturais do feijão-mungo e sorgo

O feijão-mungo é uma leguminosa agronomicamente importante, plantada extensivamente nas regiões tropicais e subtropicais e bastante utilizada como fonte de alimentos e para uso industrial. Estima-se que 1,5 milhões de toneladas de feijão-mungo são produzidas anualmente no mundo em uma área plantada aproximada de 3,8 milhões de hectares, sendo Índia e Tailândia os maiores produtores mundiais (VIEIRA, 1992).

O feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) é conhecido no Brasil pelo nome comum de mungo-verde é uma leguminosa anual, de porte ereto/semiereto, que permite a mecanização da lavoura, com aproveitamento do mesmo maquinário utilizado na cultura da soja. Seu cultivo e consumo são comuns no continente asiático, estando entre os “pulses” de maior demanda. No Brasil,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

ainda não é muito difundido, contudo o consumo na forma de broto é bastante frequente (Vieira et al., 2003). Na literatura, são encontrados relatos de que o broto de feijão-mungo tem propriedades como antiestresse (Yeap et al., 2014), anti-inflamatório (Ali et al., 2014), antioxidante e hepatoprotetor (Ali et al., 2013).

Considerando uma maior diversificação de produtos e mais opções de cultivo para o período de safrinha em Mato Grosso, semelhante ao feijão-caupi, o feijão-mungo apresenta-se como uma boa opção, principalmente por permitir a colheita mecanizada e por apresentar ciclo de maturação curto. A colheita de feijão-mungo tem sido realizada com cerca de 65 dias em regiões de clima quente (Vieira et al., 2003) e no período de safrinha em Mato Grosso é comum a ocorrência de altas temperaturas.

Tendo em vista a possibilidade de exportação desta leguminosa para países da Ásia e a possibilidade de cultivo em grande escala em Mato Grosso, a Embrapa vem conduzido experimentos para teste de linhagens de feijão-mungo com objetivo de recomendar cultivares para a safrinha (EMBRAPA, 2019). Após a última colheita, os restos culturais do feijão-mungo encontram-se verdes, com alto teor de nitrogênio, podendo ser incorporados ao solo, melhorando, assim, suas características físicas e químicas, principalmente onde esses apresentam problemas de degradação. Estas características tornam o feijão-mungo uma cultura de especial importância para pequenos produtores. e ainda é rica em vitamina B e ferro (DUQUE et al., 1990).

O sorgo é uma extraordinária fábrica de energia, de enorme utilidade em regiões muito quentes e muito secas, onde o homem não consegue boas produtividades de grãos ou de forragem, cultivando outras espécies, como o milho (EMBRAPA, 2003). Em termos globais, o sorgo é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países; entretanto, esta cultura produz muito menos do que seu potencial oferece. É possível que o século XXI seja o século do sorgo.

Quanto ao melhoramento genético para as pulses, no caso o feijão caupi e feijão-mungo, a seleção visando atender as condições do estado, trazendo uma opção para àqueles que não conseguem preencher as áreas de cultivo na segunda safra, de forma a possibilitar uma maior diversificação de produtos (EMBRAPA, 2019).

Estresses abióticos múltiplos em plantas

A produção de alimentos pelo setor agrícola mundial é afetada severamente por vários agentes bióticos como insetos-praga, fungos, bactérias, vírus e nematoides e por fatores abióticos, como o estresse salino e estresse por alumínio.

Os fatores abióticos são responsáveis por consideráveis perdas econômicas tanto para os pequenos agricultores quanto para os grandes produtores de importantes commodities, tais como o algodão, soja, cana-de-açúcar e café. Além disso, os danos resultantes da exposição aos estresses bióticos e abióticos podem ser potencialmente agravados pelos efeitos das recentes mudanças climáticas globais, sendo, portanto, a sua mitigação um grande desafio para a comunidade científica.

Atualmente, o foco principal das pesquisas que estão sendo desenvolvidas na área de fisiologia do estresse é estudar e entender os mecanismos de defesa/tolerância aos estresses nas



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

plantas e desenvolver tecnologias e produtos que possibilitem a geração de plantas mais resistentes/tolerantes a estresses e que sejam economicamente viáveis e sustentáveis. Para tal, são utilizadas ferramentas de genômica, transcriptômica, proteômica, metabolômica, bioinformática e transformação genética de plantas (EMBRAPA, 2019).

O acúmulo de massa vegetal ou nutriente pelas plantas ocorre mediante a interação da cultura com fatores do ambiente, sendo a planta um integrador dos estímulos ambientais (Ecco, 2014). Melhor entendimento de tais interações podem ser obtido por meio da análise quantitativa do crescimento. Medidas biométricas das plantas durante a estação de crescimento permitem a utilização de índices fisiológicos na tentativa de explicar as diferenças varietais quanto à produção econômica (Franco, 2008). A utilização de genótipos tolerantes à deficiência hídrica e ao Al nas novas áreas de plantio torna-se a maneira mais econômica de contornar os problemas causados pela seca e pela presença de elementos indesejáveis no solo (Peixoto et al., 2007).

Geração das espécies reativas de oxigênio versus Proteção oxidativa

Um efeito deletério do estresse salino é o aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), com destaque para o íon superóxido ($O_2^{\cdot-}$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), oxigênio singlete (O_2) e os radicais hidroxila (OH^{\cdot}) e hidroperóxil (HO_2^{\cdot}) (NOCTOR et al., 2014). As EROs são moléculas extremamente reativas que podem causar danos metabólicos irreversíveis às células, tais como a peroxidação de lipídios, danos nas membranas celulares e degradação de proteínas, que podem ocasionar perda de viabilidade celular e comprometer drasticamente o desempenho e produtividade vegetal (ROY et al., 2014).

Em células vegetais expostas aos estresses bióticos e abióticos, a produção dos EROs é uma das principais respostas bioquímicas (BONIFACIO et al., 2016) e o desequilíbrio entre a produção e remoção destas EROs caracteriza o estresse oxidativo (ROY et al., 2014; NOCTOR et al., 2016).

As EROs estão presentes naturalmente em várias organelas celulares e podem atuar como indicadores de estresse e/ou como mensageiros secundários da resposta ao estresse e, portanto, seus níveis precisam ser mantidos sob controle (NOCTOR et al., 2016).

O sistema de defesa antioxidante tem a função de controlar os níveis das EROs na célula vegetal e é composto por enzimas antioxidativas, principalmente dismutase de superóxido, catalase, peroxidases de fenóis e de ascorbato e redutases de glutatona, dehidroascorbato e monodehidroascorbato, e os antioxidantes hidrofílicos, tais como o ascorbato e a glutatona (ROY et al., 2014). Este sistema está largamente distribuído nas várias organelas da célula vegetal e atua de forma coordenada para conferir proteção oxidativa às plantas em situações normais e adversas (BONIFACIO et al., 2016).

3. Metodologia

Os experimentos foram realizados com plantas de feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em condições de casa de vegetação do Departamento de Biologia do Centro de Ciências da Natureza (UFPI; Teresina/PI). As plantas de feijão-mungo apresentam metabolismo fotossintético do tipo C3, enquanto as plantas de sorgo são do



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

tipo C4. Sementes de feijão-mungo e sorgo, disponibilizadas pela Embrapa Meio-Norte (Teresina/PI), foram desinfestadas com hipoclorito de sódio 1,5% (m/v) sob agitação eventual, lavadas três vezes e embebidas em água deionizada. Após desinfestadas, as sementes foram semeadas em vasos plásticos contendo 3,5 kg de areia lavada (pH 6,5) e mantidas em condições de casa de vegetação (temperatura média $29 \pm 2,0$ °C; umidade relativa de 65%; irradiância de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; fotoperíodo de 12 h). Para cada espécie, foram utilizadas duas plantas por vaso (parcela experimental).

Aos 18 dias após a semeadura, as plantas foram expostas ao estresse salino com cloreto de sódio (NaCl) e por alumínio com cloreto de alumínio (AlCl_3) de forma isolada e combinada como segue: 0 (controle); $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al^{3+} ; 50 mM de NaCl; 50 mM de NaCl e $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al^{3+} ; 150 mM de NaCl; e 150 mM de NaCl e $1,0 \text{ mmol dm}^{-3}$ de Al^{3+} . A cada cinco dias, a solução nutritiva foi aplicada mantendo-se os tratamentos e aos 35 dias após a semeadura realizou-se a coleta. Na coleta, o comprimento de raízes bem como a massa fresca da parte aérea e raízes foram mensurados e então o material foi levado a estufa para secagem e obtenção da massa seca da parte aérea e raízes, conforme metodologia usual.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×6 (duas espécies vegetais e seis tratamentos), com cinco repetições. Cada parcela experimental constituída por um vaso contendo duas plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), precedido pelo teste F a 5% de probabilidade, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade utilizando o software estatístico livre RStudio (<https://www.rstudio.com/>).

4. Resultados

A tabela 1 sumariza a análise de variância dos dados obtidos após a exposição das plantas de feijão-mundo e sorgo ao estresse salino e por alumínio. Foram registradas alterações significativas nas variáveis analisadas em resposta aos tratamentos aplicados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância (quadrado médio) das variáveis analisadas após a exposição de plantas de feijão-mungo e sorgo aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio.

Variáveis analisadas	Fontes de variação (Quadrado médio)			Coeficiente de variação (%)
	Espécie vegetal (EV)	Tratamentos (T)	EV x T	
Massa fresca de parte aérea	1,0**	1,4*	0,7 *	41,4
Massa fresca das raízes	43,4**	36,0**	1205 *	44,3
Comprimento das raízes	29,0*	11,9**	2,4 *	13,7
Altura das plantas	3,6**	3,8*	0,9 *	17,3
Taxa de crescimento absoluto	0,9**	11,7**	0,9**	11,9
<i>Graus de liberdade</i>	2	6	12	-

**= significativo a 1% de probabilidade pelo teste F a 1%; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F a 5% de probabilidade; ns= não significativo.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

No geral, observou-se que as plantas de feijão-mungo apresentaram maiores valores de massa fresca da parte aérea que o sorgo – exceto quando as duas espécies vegetais foram expostas a 50 mM de NaCl (T3) e a combinação de 150 mM de NaCl e 1,0 μ M de AlCl₃ (T6) (Figura 1). Em relação ao controle (T1), registrou-se aumento de 20%, 32% e 25% na massa fresca da parte aérea das plantas de feijão-mungo submetidas à 1,0 μ M de AlCl₃ (T2), 50 mM de NaCl e 1,0 μ M de AlCl₃ (T4) e 150 mM de NaCl (T5), respectivamente. Em contrapartida, as plantas expostas simultaneamente a 150 mM de NaCl e 1,0 μ M de AlCl₃ exibiram redução de 13% na massa fresca da parte aérea em relação ao controle (T1) (Figura 1A).

Segundo Byrt et al. (2018), os maiores valores da massa fresca da parte aérea estão relacionados com um adequado acúmulo de nutrientes – mesmo em condições de estresse. As plantas de sorgo expostas aos estresses isolados e combinados de alumínio exibiram incrementos significativos na massa fresca da parte aérea em relação ao controle, sendo estes incrementos variando de 38 a 98% a depender do tratamento (Figura 1B). É possível que estas respostas estejam diretamente relacionadas com uma maior eficiência do metabolismo primário vegetal e, portanto, uma maior aclimação destas plantas as situações de estresses abióticos (TOPPA; BRAMBILLA, 2011).

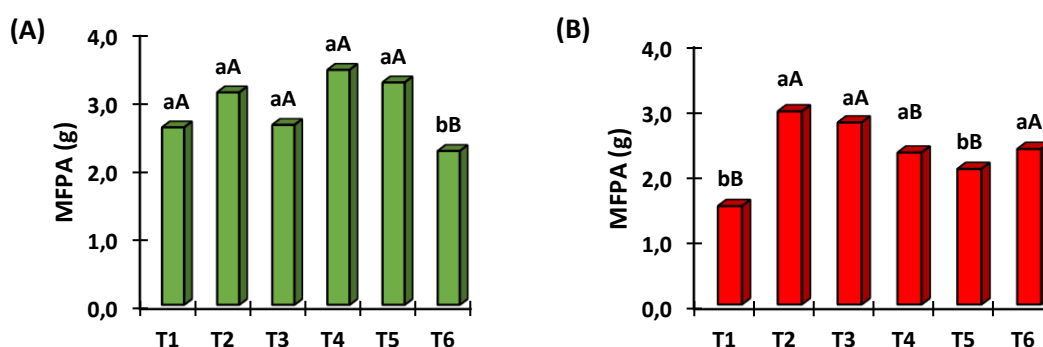


Figura 1. Massa fresca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão-mungo (A) e sorgo (B) submetidas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. Legenda: T1 = Controle. T2 = 1,0 μ M de AlCl₃. T3 = 50 mM de NaCl. T4 = 50 mM de NaCl + 1,0 μ M de AlCl₃. T5 = 150 mM de NaCl. T6 = 150 mM de NaCl + 1,0 μ M de AlCl₃. Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

Em relação ao controle, a exposição das plantas de feijão-mungo a 1,0 μ M de AlCl₃ (T2) induziu aumento na massa fresca das raízes; enquanto que reduções superiores a 25% foram registradas nas plantas de feijão-mungo expostas à 50 mM de NaCl (T3) e a combinação de 150 mM de NaCl e 1,0 μ M de AlCl₃ (T6) (Figura 2). Em contrapartida, as plantas de sorgo exibiram aumento na massa fresca das suas raízes quando cultivadas em todos os tratamentos em relação ao controle (incrementos entre 33 e 108%).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

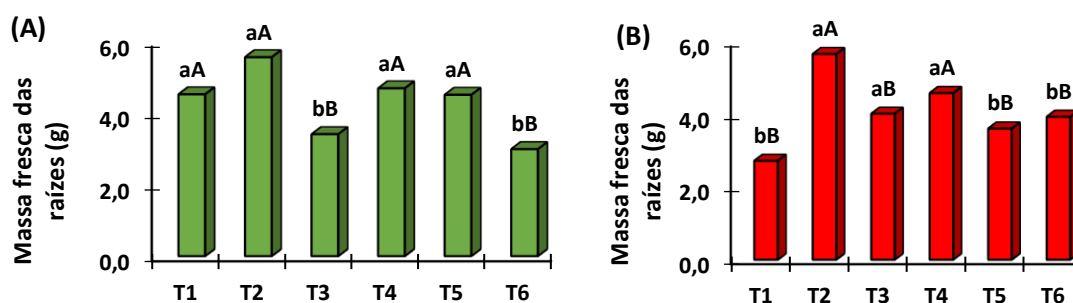


Figura 2. Massa fresca das raízes de plantas de feijão-mungo (A) e sorgo (B) submetidas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. Legenda: T1 = Controle. T2 = 1,0 μM de AlCl_3 . T3 = 50 mM de NaCl . T4 = 50 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . T5 = 150 mM de NaCl . T6 = 150 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

As plantas C4 possuem sistema radicular mais desenvolvido e podendo alcançar mais de 2,0 m de profundidade. Assim, absorvem nutrientes em áreas mais profundas do solo e, portanto, extrai e recicla os nutrientes não absorvidos pelas culturas anuais que possuem raízes menos profundas (ALVARENGA et al, 2001).

Conforme mostrado na figura 3, as plantas de sorgo foram maiores que as plantas de feijão-mungo, ou seja, estas plantas apresentaram maior altura independentemente do tipo e combinação de estresses que foi aplicado. Enquanto as plantas de feijão-mungo exibiram aumento de 10 a 20% na altura, em relação ao controle, em respostas aos tratamentos com estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio (Figura 3A), as plantas de sorgo não exibiram mudanças significativas na sua altura em resposta aos tratamentos aplicados (Figura 3B).

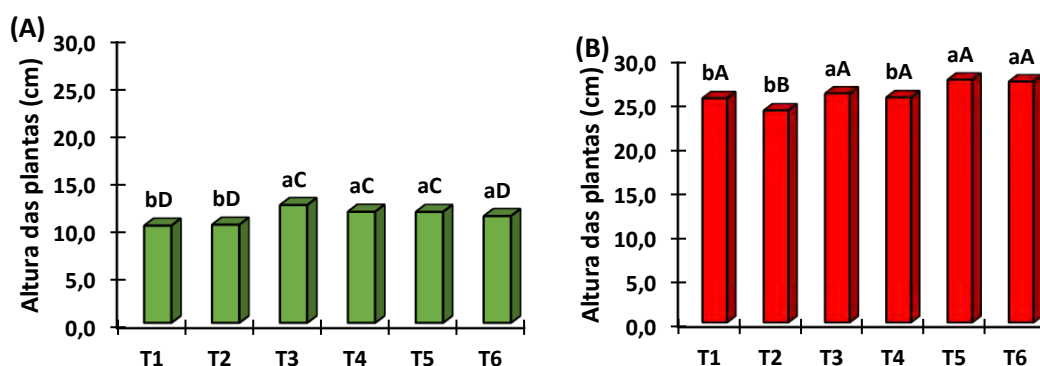


Figura 3. Altura das plantas de feijão-mungo (A) e sorgo (B) submetidas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. Legenda: T1 = Controle. T2 = 1,0 μM de AlCl_3 . T3 = 50 mM de NaCl . T4 = 50 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . T5 = 150 mM de NaCl . T6 = 150 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si (teste de Tukey a 5% de probabilidade).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Segundo Silva (2017), o crescimento radicular é severamente reduzido devido a injúria causada pela presença do alumínio na rizosfera e as raízes danificadas pelo alumínio exploram um volume limitado de solo e são ineficientes na absorção de água e nutrientes. No presente estudo, as plantas de feijão-mungo submetidas à 1,0 μM de AlCl_3 (T2), 50 mM de NaCl (T3) e 150 mM de NaCl (T5) exibiram redução no comprimento das raízes de 11%, 14% e 17%, respectivamente, em relação ao controle (T1) (Figura 4A).

Em contrapartida, as plantas de feijão-mungo expostas a combinação de 50 mM de NaCl e 1,0 μM de AlCl_3 (T4) e de 150 mM de NaCl e 1,0 μM de AlCl_3 (T6) não alteraram o comprimento do seu sistema radicular quando comparadas ao controle (T1) (Figura 4A), as plantas podem apresentar indução de tolerância por provavelmente promoverem a redução de danos osmóticos e oxidativos, o que melhora a absorção de nutrientes, os processos fotossintéticos e contribui para a manutenção do crescimento, mesmo em condições de estresse (KAUSHAL; WANI, 2016).

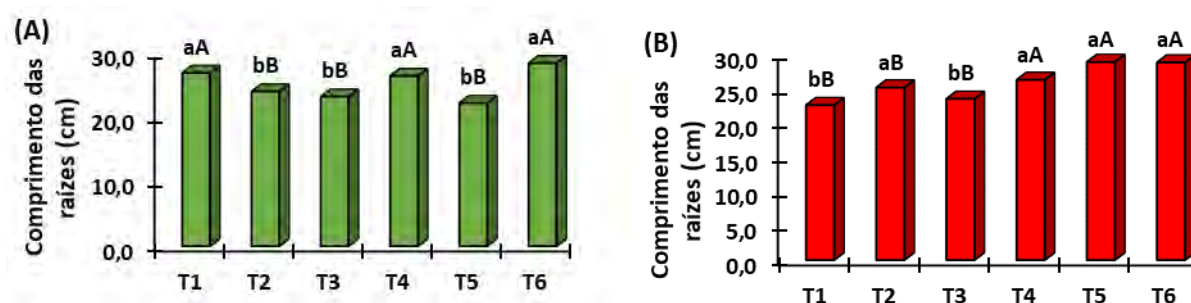


Figura 4. Comprimento das raízes de plantas de feijão-mungo (A) e sorgo (B) submetidas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. Legenda: T1 = Controle. T2 = 1,0 μM de AlCl_3 . T3 = 50 mM de NaCl. T4 = 50 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . T5 = 150 mM de NaCl. T6 = 150 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl_3 . Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

A análise de crescimento envolve um conjunto de efeitos de fatores externos, bióticos e abióticos, sobre os processos fisiológicos nas plantas (DEY et al., 2004), a figura 5 apresenta a taxa de crescimento absoluto das plantas de feijão-mungo e sorgo expostas ao estresse salino e por alumínio. Foram observadas grandes diferenças significativas na taxa de crescimento absoluto para as plantas de sorgo em relação as de feijão-mungo, principalmente nas plantas expostas a concentração de 1,0 μM de AlCl_3 (Figura 5A), e nas plantas de sorgo expostas a concentração de 1,0 μM de AlCl_3 (Figura 5B).

Com o aumento da massa acumulada pela planta, ocorre aumento da necessidade por fotoassimilados para a manutenção dos órgãos já formados. Assim, a quantidade de fotoassimilados disponível para o crescimento (TCR e TCA) tende a ser menor (BENINCASA, 2003). Observamos que houve uma tendência de crescimento nas plantas não estressadas, o que demonstra que a situação de influenciou na TCA em ambas as espécies.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

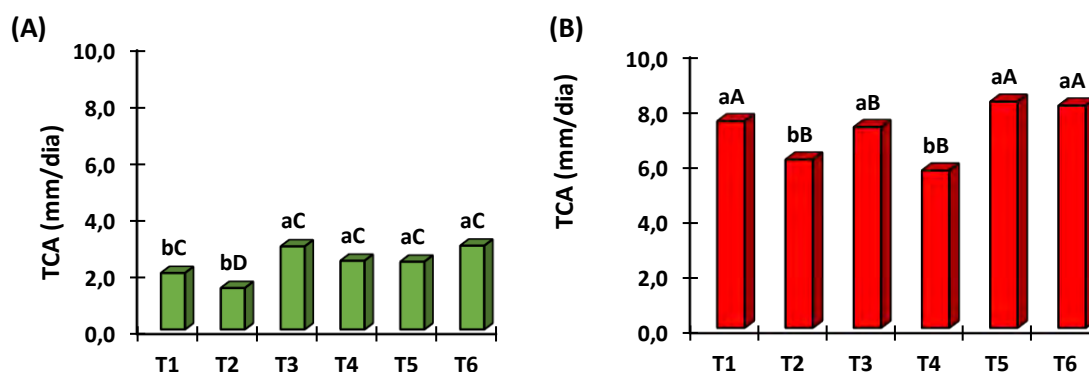


Figura 5. Taxa de crescimento absoluto (TCA) de feijão-mungo (A) e sorgo (B) submetidas aos estresses isolados e combinados de salinidade e alumínio. Legenda: T1 = Controle. T2 = 1,0 μM de AlCl₃. T3 = 50 mM de NaCl. T4 = 50 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl₃. T5 = 150 mM de NaCl. T6 = 150 mM de NaCl + 1,0 μM de AlCl₃. Médias seguidas da mesma letra minúscula ou maiúscula não diferem entre si (teste de Tukey a 5% de probabilidade).

5. Conclusões

As plantas de sorgo apresentaram melhores respostas aos estresses salino e por alumínio quando comparadas as plantas de feijão-mungo e isto pode estar relacionado ao metabolismo C4 destas plantas que permite maior captação de CO₂ e acúmulo de biomassa em relação as plantas C3. No geral, a combinação dos estresses foi menos severa que quando os estresses foram aplicados isoladamente.

6. Agradecimentos

Agradecemos a CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa, ao Grupo de estudos e pesquisa em Fisiologia do Estresse Vegetal (GEFE) por todo o suporte na execução do trabalho, ao LabFive (Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal) por disponibilizarem os materiais e apoio para que fosse viável a realização das análises, e a todos os colaboradores por auxiliarem na execução e condução deste experimento.

7. Referências bibliográficas

- ALVARENGA, R.C.; CABEZAS, W.A.L.; CRUZ, J.C.; SANTANA, D.P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Inf. Agropec.**, 22:25-36, 2001.
- ALI, N. M.; YUSOF, H. M.; YEAP, S.; WAN-YONG, HO.; BOON-KEE, B.; LONG, K.; SOO-PENG, K.; ABDULLAH, M. P.; ALITHEEN, N. B. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of untreated, germinated, and fermented mung bean aqueous extract. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, 350507, 2014.
- ALI, N. M.; YUSOF, H. M.; LONG, K.; SWEE, K. Y.; WAN, Y. H.; BOON, K. B.; SOO, P. K.; ABDULLAH, M. P.; ALITHEEN, N. B. Antioxidant and hepatoprotective effect of aqueous extract of germinated and fermented mung bean on ethanol-mediated liver damage. **Bio-Med Research International**, v. 2013, 693613, 2013.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

AMAKO, K.; CHEN, G. X.; ASADA, K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase in plants. **Plant Cell Physiology**, v. 35, p. 497-504, 1994.

ASADA, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. **Plant Physiology** v.141, p.391-396, 2006.

BARRADAS, C.A.A., SAYÃO, F.A.D., DUQUE, F.F. **Feijão mungo: uma alternativa proteica na alimentação.** Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPBS. EMBRAPA/ CNPBS. **Comunicado Técnico**, v. 4, 1989.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** Jaboticabal: FUNEP. 42 p. 2003.

BRACCINI, M.C.L., MARTINEZ, H.E.P., PEREIRA, P.R.G. et al. **Aluminium tolerance of coffee populations.** In: **IV International Symposium on Plant-Soil Interactions at Low pH.** Belo Horizonte, 1996. (resumo).

BRENNAN, T.; FRENKEL, C. Involvement of hydrogen peroxide the regulation of senescence in pear. **Plant Physiology**, v. 59, p. 411-416, 1977.

BONIFACIO, A. L. Silenced rice in both cytosolic ascorbate peroxidases displays pre-acclimation to cope with oxidative stress induced by 3-aminotriazole-inhibited catalase. **Journal of Plant Physiology**, v. 201, p. 17-27, 2016.

DA SILVA, D. D., AGUIAR, F. M., COTA, L. V., DA COSTA, R. V., & MENDES, S. M. Dagma Dionísia et al. **Mollicutes em milho: a diversificação de sistemas de produção pode ser a solução?.** Coordenação nefit/gestão 2017, p. 32, 2017.

DE MENEZES JUNIOR, J. A., SILVA, K., & ROCHA, M. D. M **Feijão-mungo como perspectiva para a safrinha em Mato Grosso.** Embrapa Agrossilvipastoril-Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.

DEY, R.; PAL, K. K.; BHATT, D. M.; CHAUHAN, S. M. Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growthpromoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, v. 159, p. 371-394, 2004.

DUQUE, F. F.; PESSANHA, G. G. Comportamento de dez cultivares de mungo-verde nos períodos das águas e da seca em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 7, p. 963-969, 1990.

ECCO, M., SANTIAGO, E. F., & LIMA, P. R. Respostas biométricas em plantas jovens de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico e ao alumínio. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 59-67, 2014.

FOYER, Christine H. Reactive oxygen species, oxidative signaling and the regulation of photosynthesis. **Environmental and Experimental Botany**, 2018.

FOYER, C.H. & NOCTOR, G. Redox sensing and signaling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. **Physiologia Plantarum** 119: 355-364,2003.

Franco, H.C.J. **Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta.** 126 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, 2008.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

- FURLANI, P.R. **Efeitos fisiológicos do alumínio em plantas**. II SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. ESALQ-USP, Piracicaba, 73-92, outubro, 1989.
- GIANOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiology**, v. 59, p. 309-314, 1997.
- GLASS, A.D.M. **Plant nutrition**. an introduction to current concepts. Boston, Jones and Bartlett Publishers, 1989. 234 p.
- GOMES, K. R., AMORIM, A. V., FERREIRA, F. J., A FILHO, F. L., LACERDA, C. F., GOMES-FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 365-370, 2011.
- GUIMARÃES, M. J. M., SIMÕES, W. L., DA SILVA, W. O., SOBREIRA, A. M., & WILLADINO, L. Respostas do metabolismo enzimático de plantas de sorgo granífero irrigados com água salina. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2., 2017, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017., 2017.
- HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco-Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, n. 2, p. 450-455, 1987.
- HEATH, R. L.; PACKER, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 125, n. 1, p. 189-198, 1968.
- HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soil**. California: Agriculture Experimental Station Circular. 1950. 347p.
- KAUSHAL, M., WANI, S. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**, v. 66, n. 1, p. 35-42, 2016.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidases in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v.22, p. 867-880, 1981
- NILSEN, E.; ORCUTT, D. **The physiology of plants under stress**. New York: John Wiley, 1996. 704 p.
- NOCTOR, G.; MHAMDI, A.; FOYER, C. H. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1636-1648, 2014.
- NOCTOR, G.; MHAMDI, A.; FOYER, C. H. Oxidative stress and antioxidative systems: recipes for successful data collection and interpretation. **Plant, Cell & Environment**, v. 39, n. 5, p. 1140-1160, 2016.
- NOCTOR, G.; FOYER, C. H. Intracellular redox compartmentation and ROS-related communication in regulation and signaling. **Plant Physiology**, v. 171, p. 1581-1592, 2016.
- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T. Níveis de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.9, p.1293-1302, 1982.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

- PAVAN, M.A., BINGHAM, F.T., PRATT, P.F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Journal of Science Society of America**, v.46, p.1201-1207, 1982. 75.
- PAVAN, M.A. Efeitos tóxicos do alumínio em mudas de cafeeiro em relação a nutrição do cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.209-213, 1982.
- PEIXOTO, P.H.O., PIMENTA, D.L., CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia** 66: 17-25, 2007.
- RASMUSSEN, H., & TENENHOUSE, A. Monofosfato de adenosina cíclica, Ca^{++} , e membranas. **Procedimentos da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos da América**, v. 59, n. 4, p. 1364, 1968.
- ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 26, p. 115-124, 2014.
- RUSSEL, S.R. **Plant root systems: their function and interaction with the soil**. London, McGraw-Hill, 1977. 298p.
- SANGAKKARA, U.R., SOMARATNE, H.M. Sources, storage condition and quality of mungbean seeds cultivation in Sri Lanka. **Seed Science & Technology**, v.16, p.5-10, 1988.
- SILVA, J.B.C., NOVAIS, R.F., SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.19, n.3, p.287-298, 1984.
- SHIOW, S. L., & 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.
- TOPPA, E. V. B.; BRAMBILLA, W. P. O melhoramento de plantas e a salinidade dos solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 21-25, 2011.
- TSOU, S.C.S., HSU, M.S. The potential roles of mungbean as a diet component in Asia. In: R.COWELL, (ed.) THE FIRST INTERNATIONAL MUNGBEAN SYMPOSIUM. **Proceedings....** Tainan, Taiwan : AVRDC, 1978. p.40-45.
- 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. Cultura do feijão-mungo. **Informe Agropecuário**, v.16, n.174, p.37-46, 1992.
- WRIGHT, R.J. Soil aluminum toxicity and plant growth. **Commun. In. Soil Sci. Plant Anal.**, v.20, p.1479-1497, 1989.
- YEAP, S. K.; BEH, B. K.; ALI, N. M.; YUSOF, H. M.; HO, W. Y.; KOH, S. P.; ALITHEEN, N. B.; LONG, K. In vivo antistress and antioxidant effects of fermented and germinated mung bean. **BioMed Research International**, v. 2014, 694842, 2014.