



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

LÍDIA DA SILVA AMARAL

**SUPRIMENTO DE POTÁSSIO COMO MITIGADOR DOS EFEITOS DO
DÉFICIT HÍDRICO EM ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS**

**BELÉM- PA
2024**

LÍDIA DA SILVA AMARAL

**SUPRIMENTO DE POTÁSSIO COMO MITIGADOR DOS EFEITOS DO
DÉFICIT HÍDRICO EM ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais para obtenção do título de Mestra em Ciências Florestais.

Área de concentração: Ecologia e Ecofisiologia de Árvores.

Orientador: Prof. Dr. Divino Vicente Silvério
Coorientador: Prof. Dr. Eric Victor de Oliveira
Ferreira

**BELÉM-PA
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D111s da Silva Amaral, Lídia

SUPRIMENTO DE POTÁSSIO COMO MITIGADOR DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM
ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS. / Lídia da Silva Amaral. - 2024.
93 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Ciências Florestais (PPGCF), Campus
Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Divino Vicente Silvério

Coorientador: Prof. Dr. Eric Victor de Oliveira Ferreira.

1. Mudanças climáticas. 2. Parâmetros fisiológicos. 3. Ecofisiologia. 4. Nutrição florestal. I. Vicente
Silvério, Divino, *orient.* II. Título

CDD 577.34

LÍDIA DA SILVA AMARAL

SUPRIMENTO DE POTÁSSIO COMO MITIGADOR DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO EM ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, como requisito para obtenção do título de mestra em Ciências Florestais.

Data da aprovação: 19/07/2024

Banca Examinadora

Divino N. Silvério

Orientador

Divino Vicente Silvério
Universidade Federal Rural da Amazônia

Documento assinado digitalmente



ERIC VICTOR DE OLIVEIRA FERREIRA

Data: 07/08/2024 07:48:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Coorientador

Eric Victor de Oliveira Ferreira
Universidade Federal Rural da Amazônia

Documento assinado digitalmente



MARINA CORREA SCALON

Data: 07/08/2024 13:49:05-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 1

Marina Corrêa Scalon
Universidade Federal do Paraná

Documento assinado digitalmente



CANDIDO FERREIRA DE OLIVEIRA NETO

Data: 16/08/2024 09:35:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 2

Cândido Ferreira de Oliveira Neto
Universidade Federal Rural da Amazônia

Documento assinado digitalmente



DEMETRIUS LIRA MARTINS

Data: 12/08/2024 17:02:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro 3

Demétrius Lira Martins
Universidade Estadual de Campinas

Dedico essa dissertação a Deus, por proporciona-me força, paciência, persistência, sabedoria e discernimento durante esses dois anos de mestrado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela esperança em lutar por dias melhores, persistência, força e consolo nos momentos mais difíceis do mestrado. Foram noites de choro, erros e acertos, e foi ele quem me sustentou até aqui. E Maria, por interceder junto ao pai por mim.

Aos meus pais, Ananias Amaral e Maria Silva, mesmo não entendendo bem o que eu faço, estão sempre me incentivando.

Ao meu companheiro, Marcelo Pinto, pelo apoio incondicional e por estar ao meu lado em todos os momentos dos meus estudos.

Ao meu irmão, Ozias Amaral, por toda ajuda na instalação e avaliações do meu experimento.

Ao meu orientador, Prof. Divino Silvério, pelos ensinamentos, orientação, paciência e por compartilhar seus ensinamentos ao longo desta dissertação. Sou imensamente grata por sua dedicação e paciência.

Ao meu coorientador, Prof. Eric Ferreira, pela paciência, compreensão, ensinamentos e as conversas de incentivo. Agradeço a sua amizade que começou na graduação. Sou imensamente grata por sua dedicação e persistência comigo.

À minha equipe, composta por Joedson Costa, Edinael Moraes, Tabita Amaral e João Silva, muito obrigada por toda a ajuda. Vocês sabem o quanto foram importantes nesse mestrado para mim; sem vocês, eu não teria chegado até aqui.

À minha amiga, Líbina Costa, mesmo morando em outro Estado, sempre se preocupou comigo. Desde quando concluímos a graduação, ela sempre me manda mensagens. Obrigada pelas mensagens de carinho, apoio, incentivo e por sempre me ouvir em momentos difíceis.

À minha amiga, Mayara Lima, além da amizade, é também uma “psicóloga”. Sempre esteve comigo nos momentos difíceis, sustentando e apoiando. Obrigada por me ouvir e pelos conselhos, e por sempre me fazer rir nos momentos complicados da vida.

À Magda Farias, mesmo não tendo uma amizade diretamente física e sim mais virtual, é muito importante para mim. Obrigada pelas inúmeras mensagens, preocupando-se comigo, carinho, incentivo e por me ouvir nos momentos difíceis.

Aos estagiários do projeto, Rafaelle Nascimento, Méssia Nunes, Kílvia de Nazaré da Conceição, Felipe Ferreira e Maria Anaelle Araújo, por todo auxílio no experimento.

Ao Milton, por todo o auxílio que me proporcionou desde a graduação, pela sua paciência, pela parceria nos artigos, ensinamentos e incentivo. Você será o tipo de

profissional que as universidades necessitam e o que os alunos merecem de melhor. Meu muito obrigado por tudo.

À Beatriz Barbosa, por todo auxílio nas avaliações, conversas e apoio. Meu muito obrigada por tudo.

Agradeço à Kátia Lopes pela amizade, palavras de apoio e incentivo. Sempre compartilhamos nossos dias difíceis nessa vida de mestrado. Meu muito obrigada por tudo e tanto.

À Bianca Lobato, Julia Rodrigues, Jéssica Silva, Tamires Santos, vocês foram essenciais na minha vida de mestranda em Belém. Obrigada, meninas vocês têm grande valor na minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa (Nº do Processo: 88887.753028/2022-00).

E, por fim, à Universidade Federal Rural da Amazônia, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso. A todas as pessoas que direta ou indiretamente torceram pela minha vitória profissional.

RESUMO

O aumento da mortalidade de árvores devido aos eventos de secas extremas na Amazônia tem causado uma significativa degradação florestal e redução dos estoques de carbono. A capacidade das plantas resistirem ao estresse hídrico está principalmente ligada às características hidráulicas das espécies, como a margem de segurança hídrica e suas características fenotípicas. Além disso, a presença dos nutrientes no solo pode exercer um papel de modulador das respostas das plantas ao déficit hídrico. Dentre esses nutrientes, o potássio (K) se destaca como um cátion fundamental para as plantas, sendo um dos elementos mais demandados por elas. O K é amplamente distribuído nos tecidos vegetais devido à sua alta mobilidade e desempenha funções fundamentais, incluindo a translocação, energética e armazenamento de assimilados. Além do mais, o K exerce a função de manutenção da água nos tecidos vegetais. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar as respostas morfofisiológicas de plantas submetidas à adubação potássica e à restrição hídrica. Estudamos duas espécies arbóreas nativas da Amazônia, uma de crescimento rápido fava-orelha [*Enterolobium schomburgkii* (Benth.)] e outra de crescimento lento jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). O experimento consistiu em um delineamento inteiramente casualizado em um esquema fatorial duplo (2 x 2), com duas condições hídricas (irrigação adequada e déficit hídrico) e quatro doses de K (0, 50, 100 e 200 mg/dm³), totalizando 8 tratamentos com 12 repetições cada. Foram avaliadas duas espécies (96 plantas por espécie), totalizando 192 plantas. Foram avaliadas, altura, diâmetro do coleto, número de folhas e a razão altura/diâmetro. Também foram analisadas, as trocas gasosas, atributos funcionais, concentração e acúmulo de K e a eficiência do uso de K na parte aérea das plantas. O crescimento em altura e diâmetro foi maior para tratamentos com maior concentração de K, sendo as plantas destes tratamentos menos afetadas pelo estresse hídrico. No geral, maiores concentrações de K (100 e 200 mg/dm³) reduziram a transpiração das plantas e aumentaram a eficiência de uso da água. Plantas de fava-orelha em tratamentos com maiores níveis de K (50, 100 e 200 mg/dm³) e sob estresse hídrico apresentaram significativo aumento na eficiência de uso da água. Os tratamentos de K e o déficit hídrico afetaram significativamente os atributos funcionais foliares, mas com variação entre as espécies estudadas. A área foliar foi menor para tratamentos com maiores doses de K (100 e 200 mg/dm³) para fava-orelha, com efeito oposto para jatobá. Houve redução da área foliar específica (SLA) para tratamentos com maiores doses de K (100 e 200 mg/dm³) para fava-orelha, e aumento do SLA para plantas sob déficit hídrico para jatobá. Nossos resultados indicam importante papel da concentração de K no solo sobre a taxa de transpiração e eficiência de uso da água, principalmente para fava-orelha, uma espécie de crescimento rápido, indicando que variações na disponibilidade de nutrientes influenciam a fisiologia das árvores e sua capacidade de resistir a secas extremas. O avanço no conhecimento sobre estes processos pode ajudar em ações de conservação e estratégias de manejo que promovem a resiliência das florestas tropicais diante das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Parâmetros fisiológicos; Ecofisiologia; Nutrição florestal.

ABSTRACT

The increase in tree mortality due to extreme drought events in the Amazon has caused significant forest degradation and a reduction in carbon stocks. The ability of plants to withstand water stress is primarily linked to the hydraulic characteristics of species, such as water safety margins and phenotypic traits. Additionally, the presence of soil nutrients may play a modulatory role in plant responses to water deficit. Among these nutrients, potassium (K) stands out as a fundamental cation for plants, being one of the most demanded elements by them. K is widely distributed in plant tissues due to its high mobility and plays essential roles, including translocation, energy, and assimilate storage. Furthermore, K plays a key role in maintaining water in plant tissues. Therefore, the objective of this study was to evaluate the morphophysiological responses of plants subjected to potassium fertilization and water restriction. We studied two native Amazon tree species, one fast-growing (fava-orelha) [*Enterolobium schomburgkii* (Benth.)] and one slow-growing (jatobá) (*Hymenaea courbaril* L.). The experiment consisted of a completely randomized design in a double factorial scheme (2 x 2), with two water conditions (adequate irrigation and water deficit) and four K doses (0, 50, 100, and 200 mg/dm³), totaling 8 treatments with 12 replications each. Two species were evaluated (96 plants per species), totaling 192 plants. Height, stem diameter, number of leaves, and the height/diameter ratio were evaluated. Gas exchange, functional traits, K concentration and accumulation, and K use efficiency in the aerial part of the plants were also analyzed. Height and diameter growth were higher in treatments with higher K concentration, with plants in these treatments being less affected by water stress. Overall, higher K concentrations (100 and 200 mg/dm³) reduced plant transpiration and increased water use efficiency. Fava-orelha plants in treatments with higher K levels (50, 100, and 200 mg/dm³) and under water stress showed a significant increase in water use efficiency. K treatments and water deficit significantly affected leaf functional traits, with variation between the studied species. Leaf area was smaller in treatments with higher K doses (100 and 200 mg/dm³) for fava-orelha, with the opposite effect for jatobá. There was a reduction in specific leaf area (SLA) for treatments with higher K doses (100 and 200 mg/dm³) for fava-orelha, and an increase in SLA for plants under water deficit for jatobá. Our results indicate an important role of K concentration in the soil on transpiration rate and water use efficiency, especially for fava-orelha, a fast-growing species, indicating that variations in nutrient availability influence tree physiology and their ability to withstand extreme droughts. Advancing knowledge of these processes may help in conservation efforts and management strategies that promote the resilience of tropical forests in the face of climate change.

Keywords: Climate change; Physiological parameters; Ecophysiology; Forest nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Distribuição das espécies fava-orelha e do jatobá por biomas brasileiros.....	28
Figura 2- Casa de vegetação na área experimental do campus Capitão Poço da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Brasil.....	34
Figura 3- Temperatura e umidade relativa do ar, dentro da casa de vegetação, durante o período de condução do experimento na Universidade Federal Rural da Amazônia campus Capitão Poço.....	35
Figura 4- Limpeza da vegetação da superfície do solo (a e b), coleta da camada superficial (c), profundidade de coleta da camada superficial do solo (0 – 20 cm).....	37
Figura 5- Deposição do solo (a), camada depositada secando (b) peneiramento do solo (c) e solo peneirado ao ar (d).....	38
Figura 6- Pesagem da amostra e solo (a), mesa de tensão (b), secagem das amostras de solo (c), extrator de Richard (d), pipeta com álcool e balão com solo (e) e as dez amostras em repouso (f).....	40
Figura 7- Curva de retenção da água do solo do experimento.....	40
Figura 8- Saturação do solo (a), crosta de água (b) e cobertura do vaso (c).....	41
Figura 9- Pesagem do solo úmido (a), estufa de secagem 150 C° (b) e substrato na estufa (c).....	42
Figura 10- Lixamento das sementes da fava-orelha e do jatobá (a e b), higienização das sementes em hipoclorito de sódio (c), autoclave (d), substrato das sementes nas bandejas (e) Câmara de germinação (BOD) (f).....	43
Figura 11- Mudanças das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b), aclimatação das espécies na casa de vegetação (c), transplântio das mudas da fava-orelha e do jatobá para os vasos (d e e).....	44
Figura 12- Preparo da solução (a), Soluções de macro e micronutrientes (b e c) e a aplicação dos nutrientes (d).....	45
Figura 13- Mensuração da altura (a), medição do diâmetro (b) e contagem simples do número de folhas (c).....	46
Figura 14- Análise de trocas gasosas com auxílio do IRGA em plantas da fava-orelha e do jatobá (a e b) e avaliação da clorofila total (c e d) aos 306 dias (10 meses) após o transplântio.....	47
Figura 15- Coleta de os discos foliares (a), pesagem da Mf (b), aplicação de água destilada nos discos foliares em placas de petri com discos foliares submersos em água destilada (c) e armazenamento das placas de petri com discos submersos em refrigerador (d).....	48
Figura 16- Coleta das folhas (a), identificação das folhas (b), micrômetro digital (c) e o software Images (d).....	49
Figura 17- Altura (AP) das espécies fava-orelha (a) e do jatobá (b) e o diâmetro do coleto (DC) (c) em função das doses de K e a condição hídrica.....	50
Figura 18- Número de folhas (NF) das espécies fava-orelha (e) e do jatobá (f) e a razão (AP/DC) (g e h) em função das doses de K e a condição hídrica.....	51
Figura 19- Espessura da folha (LT) das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b), área foliar específica (SLA) (c), área foliar (LA) (d) em função das doses de K e a condição hídrica.....	54

Figura 20- Eficiência do uso da água (EUA) das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b) em função das doses de K e a condição hídrica.....	55
Figura 21- Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a eficiência do uso da água das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b) em função das doses de K e a condição hídrica (a e b).....	56
Figura 22- Modelo linear (LM) utilizado para avaliar a transpiração das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e a condição hídrica (a e b).....	57
Figura 23- Concentração e acúmulo de K das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b) em função das doses de K e a condição hídrica.....	58
Figura 24- Eficiência de uso de K das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b) em função das doses de K e a condição hídrica.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tratamentos (condição hídrica e doses de K) a serem aplicados nos experimentos para cada espécie florestal (fava-orelha e jatobá).	36
Tabela 2- Análise química do solo (0- 20 cm) utilizado nos experimentos.	38
Tabela 3- Análise granulométrica do solo (0- 20 cm) utilizado nos experimentos.....	38
Tabela 4- Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a eficiência do uso da água (<i>EUA</i>) das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e a condição hídrica.	56
Tabela 5- Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a transpiração (<i>E</i>) das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e a condição hídrica.....	57

LISTA DE SIGLAS

ATP	Adenosina trifosfato
PSII	Fotossistema II
DIC	Delimitação inteiramente casualizado
BOD	Demanda bioquímica de oxigênio
AP	Altura da planta
DC	Diâmetro do coleto
NF	Número de folhas
AP/DC	Altura da planta/Diâmetro do coleto
MFR	Matéria fresca da raiz
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
MSR	Matéria seca da raiz
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MST	Matéria seca total
MSR/ MSPA	Razão Matéria seca da raiz/ Matéria seca da parte aérea
IQD	Índice de qualidade de Dickson
IRGA	Analisador de gases a infravermelho
EROs	Espécies reativas de oxigênio
K	Potássio
N	Nitrogênio
S	Enxofre
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
B	Boro
Cu	Cobre
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Zn	Zinco
pH	Potencial hidrogeniônico
MOS	Matéria orgânica do solo
Al ⁺³	Alumínio
H ₂ O	Água

H + Al	Acidez potencial
PRNT	Poder Relativo de neutralização total
LEI	Laboratório da engenharia de irrigação
A	Taxa de assimilação de CO ₂
<i>g_s</i>	Condutância estomática
<i>E</i>	Transpiração
<i>C_i/C_a</i>	Relação do Carbono Intracelular e do Ambiente
EUA	Eficiência do uso da água (<i>A/E</i>)
PTK	Poder Tampão de Potássio

SUMARIO

1 CONTEXTUALIZAÇÃO	18
1.1. Relação água x planta	18
1.2. Déficit hídrico	19
1.3. Efeitos do estresse hídrico no desenvolvimento das espécies arbóreas: respostas bioquímicas, fisiológicas e anatômicas	21
1.3.1. Respostas bioquímicas e fisiológicas das espécies arbóreas	21
1.3.2. Respostas anatômicas e morfológicas das plantas ao estresse	22
1.4. Potássio como atenuador do déficit hídrico em plantas	23
1.4.1. Potássio.....	23
1.4.2. Importância do potássio na tolerância das plantas.....	24
1.4.3. Atenuação dos efeitos do déficit hídrico pelo K nas espécies arbóreas	26
1.4.4. Respostas das espécies arbóreas ao suprimento de K.....	27
1.5. Espécies arbóreas relevantes para a Amazônia	27
1.5.1. Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i> L.).....	27
1.5.2. Fava-orelha [<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.)]	29
2. INTRODUÇÃO	30
Objetivos.....	33
a) Geral	33
b) Específicos	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Caracterização do local do estudo	33
3.2. Delineamento experimental e tratamentos	35
3.3. Instalação das parcelas experimentais	36
3.4. Determinação da Curva de retenção de água do solo do experimento	38
3.5. Imposição do déficit hídrico	40
3.6. Tratamento das sementes e obtenção das plântulas	42
3.7. Preparo e aplicação das soluções nutritivas	44
3.8. Avaliações experimentais	45
3.8.1. Crescimento das plantas	45
3.8.2. Trocas gasosas	46
3.8.3. Conteúdo relativo de água (CRA)	47
3.8.4. Atributos funcionais	48
3.8.5. Teor e acúmulo de K na parte aérea	49
3.8.7. Biomassa das plantas	49
3.9. Análise dos dados	50

4- RESULTADOS	50
5. DISCUSSÃO	59
6- CONCLUSÕES	71
7- REFERÊNCIAS	71

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1. Relação água x planta

A relação entre água e planta é um dos fatores mais essenciais do planeta, pois influencia diretamente no crescimento, desenvolvimento e sobrevivência das plantas, e caracteriza-se como um dos componentes essenciais na dinâmica do funcionamento dos ecossistemas. A água exerce múltiplos papéis fundamentais para as funções essenciais das plantas, atuando desde a absorção de nutrientes até a regulação da temperatura e a manutenção da estrutura celular (Cox *et al.*, 2006; Campos; Santos; Nacarath, 2021). Além disso, a água é considerada um dos principais fatores que mais impactam no desenvolvimento e crescimento das plantas, uma vez que constitui a matriz e o meio pelos quais ocorrem os maiores processos bioquímicos necessários para as atividades de sobrevivência dos vegetais (Cox *et al.*, 2006; Larcher, 2006; Kerbauy, 2012; Berenguer *et al.* 2021).

A disponibilidade de água para as plantas depende diretamente do solo, por meio da relação solo-planta-atmosfera. A água é absorvida pela planta por meio das raízes, transportada para a parte aérea por meio de um mecanismo de coesão-tensão impulsionado pela transpiração, evapora nas cavidades subestomáticas e é devolvida à atmosfera (Scharwies e Dinneny, 2019). Na planta, a água é distribuída para os demais órgãos e é utilizada para produzir energia durante o processo de fotossíntese (Vieira *et al.*, 2010).

O transporte de água no sistema solo-planta-atmosfera ocorre quando o potencial hídrico da planta está reduzido em comparação ao potencial de água do solo. Isto garante que o fluxo de água se desloque do solo para a planta e da planta para a atmosfera (Vieira *et al.*, 2010; Taiz e Zeiger, 2016). Além disso, cerca de 97 % da água absorvida pelas plantas é perdida por transpiração, restando aproximadamente 3 %, que é destinada às demais atividades metabólicas (Kramer *et al.*, 1967; Taiz e Zeiger, 2016).

Com isso, durante todo o ciclo de vida das plantas, a água desempenha papéis fundamentais ao vegetal. Durante o processo de germinação, a água atua na reativação do metabolismo, participando da hidrólise do amido em açúcares solúveis e na respiração celular, na qual não há a produção de carboidratos por meio da fotossíntese (Vieira *et al.*, 2010). Nas outras fases da vida vegetal, a água regula a abertura e o fechamento estomático, além de atuar na manutenção da turgência das células, no alongamento

celular, no transporte do floema, manutenção da turgidez das células, no alongamento celular, no transporte do floema, assim como no movimento e absorção de nutrientes, por meio do fluxo de massa, na atividade fotoquímica e na mobilização dos fotoassimilados pela planta (Chavarria e Santos, 2012; Gomes *et al.*, 2004).

Contudo, contrabalancear a elevada demanda evaporativa por meio da transpiração e a absorção de CO₂ são fundamentais aos processos fotossintéticos, considerado um dos maiores desafios que as plantas enfrentam quando a disponibilidade hídrica é limitada (Larcher, 2006). Isso acontece porque a absorção de água pelo sistema radicular é prejudicada, resultando na perda de turgor, o que, dependendo de sua intensidade, afeta funções morfofisiológicas que podem levar à morte da planta (Pinto *et al.*, 2014).

Em um contexto mais amplo a respeito da seca, a água desempenha um papel importante na formação da estrutura, na diversidade e no funcionamento das florestas tropicais, além da habilidade de armazenamento e reciclagem do carbono (Brando *et al.*, 2006; Meir *et al.*, 2009). Os períodos de seca contribuem para a mortalidade das árvores, causam alterações nos processos do ecossistema e intensificam a competição das plantas pelos recursos disponíveis (Brando *et al.*, 2019). Levar em consideração os contextos dos efeitos da seca em uma escala mais ampla e da deficiência hídrica em uma menor escala é fundamental para desenvolver práticas de manejo e ações que possam mitigar esses efeitos, os quais causam impactos significativos na planta.

Compreender a complexa relação entre água e planta é fundamental para o manejo sustentável dos recursos hídricos, o desempenho de práticas de manejo eficientes e a mitigação dos efeitos das alterações ambientais sobre os ecossistemas terrestres. A disponibilidade hídrica e o manejo correto influenciam diretamente a eficácia da fotossíntese, a regulação osmótica, a absorção de nutrientes, atingindo, por conseguinte, todo o sistema (Marschner, 2012; Cox *et al.*, 2006)

1.2. Déficit hídrico

À medida que avançam as mudanças no uso da terra, as variações sazonais e as mudanças climáticas induzidas pelo homem, as secas extremas têm se tornado mais frequentes na Amazônia. Esse cenário tem ocasionado o aumento da mortalidade de árvores, da ocorrência de incêndios e, conseqüentemente, das emissões de carbono para a atmosfera (Ribeiro neto *et al.*, 2022; Berenguer *et al.*, 2021; Withey *et al.*, 2018). Os prejuízos estão relacionados às crises ambientais que ameaçam a integridade do planeta,

além de alterar as condições edafoclimáticas do ambiente (Fabbrizzi *et al.*, 2023; Noah *et al.*, 2021).

Dentre essas condições, a disponibilidade dos recursos como a água e nutrientes é limitada pelas mudanças climáticas e corresponde ao fator que mais interfere no crescimento e desenvolvimento dos vegetais em ecossistemas florestais na Amazônia (Reis *et al.*, 2022; Rocha *et al.*, 2023). O recurso hídrico é um dos elementos naturais mais essenciais, fundamental para assegurar a vida e o desenvolvimento no planeta, sendo crucial ao crescimento da vegetação e à exploração dos recursos naturais (Dong *et al.*, 2021; Barbosa *et al.*, 2021; Rosa *et al.*, 2021).

O déficit hídrico ocorre devido à escassez de água, resultando em alterações na homeostase da planta, na morfologia, na desidratação celular, no aumento das concentrações de íons e do ácido abscísico (ABA), no fechamento dos estômatos e na redução da taxa fotossintética (Felix *et al.*, 2018; Flexa *et al.*, 2004). Por isso, o estresse causado pelo déficit de água é um dos principais fatores abióticos responsável por limitar o desenvolvimento das plantas, superando qualquer outra condição ambiental, uma vez que a água é fundamental às atividades fisiológicas, bioquímicas e morfológicas (Scalon *et al.*, 2020; Dong *et al.*, 2021; Felix *et al.*, 2018). Além disso, a alta escassez hídrica pode provocar um déficit hídrico severo, que acontece quando há um desequilíbrio entre a perda de água pela transpiração e a absorção de água do solo, levando à perda de turgescência nos tecidos e ao murchamento (Scharwies e Dinneny, 2019; Bezerra *et al.*, 2019).

As causas da deficiência hídrica não se limitam apenas à baixa pluviosidade métrica, mas sim à sua combinação com outros fatores, como as variações climáticas, especialmente os fenômenos naturais *El Niño* e *La Niña*. O desmatamento e as mudanças no uso da terra, que resultam na remoção da cobertura vegetal, podem diminuir a capacidade de retenção hídrica do solo e aumentar a sua taxa de evaporação, contribuindo para a deficiência hídrica. Além disso, o déficit de pressão de vapor (DPV), que é uma função das diferenças de temperatura e umidade relativa entre a atmosfera e as cavidades subestomáticas, pode afetar a transpiração, a absorção de água e o fechamento dos estômatos (Araújo, 2022; Scharwies e Dinneny, 2019). Um aumento no DPV pode aumentar os níveis do estresse hídrico nas plantas, especialmente em condições de baixa umidade do ar e seca.

A capacidade de tolerância da espécie ao estresse está diretamente relacionada aos mecanismos de adaptação das plantas e as estratégias que utilizam para minimizar os

impactos (Choi *et al.*, 2017). Dentre eles, a aclimação destaca-se como um mecanismo de defesa que permite a planta sobreviver ao estresse e, quando em condições adequadas, retoma suas funções normais (Scharwies e Dinneny, 2019). Contudo, na adaptação ocorrem mudanças genéticas, características que as plantas usam para se desenvolver em ambientes estressantes, pois cada espécie apresenta um potencial hídrico crítico diferente de tolerância à seca (Pereira *et al.*, 2014).

No entanto, o déficit hídrico não afeta apenas a fotossíntese por meio de efeitos estomáticos (fechamento dos estômatos) e não-estomáticos (efeitos diretos no aparato fotossintético), que envolve a redução na disponibilidade de CO₂ para a enzima Rubisco, alterando sua atividade (Pinheiro; Chaves, 2011). Além disso, pode alterar fatores não estomáticos, como a desestruturação das membranas dos tilacoides, que afeta o sistema fotossintético, e a redução no transporte de elétrons no Fotossistema II (PSII) e na síntese de Adenosina Trifosfato (ATP) (França *et al.*, 2022). Ademais, pode ocorrer uma diminuição na regeneração da ribulose-1,5-bifosfato (RuBP) ou na capacidade e velocidade de regeneração da enzima Rubisco (Flexas *et al.*, 2004; Boussadia *et al.*, 2008; Valadares *et al.*, 2014; Vandoorne *et al.*, 2012)

1.3. Efeitos do estresse hídrico no desenvolvimento das espécies arbóreas: respostas bioquímicas, fisiológicas e anatômicas

1.3.1. Respostas bioquímicas e fisiológicas das espécies arbóreas

Condições estressantes como estresse salino, alta irradiância, deficiência nutricional e déficit hídrico dificultam o estabelecimento das plantas no seu desenvolvimento inicial. Além disso, os fatores estressantes individuais podem ser potencializados à medida que, não raramente, ocorrem simultaneamente com outros estresses (Nascimento *et al.*, 2019), causando danos desde a germinação até a emergência das plântulas (Ribeiro *et al.*, 2012). Assim, há a necessidade de realização de estudos ecofisiológicos das espécies, analisando os limites de tolerância e adaptação aos fatores abióticos extremos (Guedes *et al.*, 2013).

Dentre essas adaptações de tolerância, tem-se o fechamento estomático, que conseqüentemente, reduz a absorção de CO₂, podendo afetar as taxas fotossintéticas (Mukarram *et al.*, 2021). Há também a conservação de água, pois ao fechar os estômatos, reduz-se a perda de água por transpiração (Giordano *et al.*, 2021). Além disso, ocorre a diminuição das taxas de trocas gasosas, influenciando no equilíbrio interno da planta e em sua capacidade de realizar os processos metabólicos (Giordano *et al.*, 2021; Mukarram

et al., 2021). No entanto, diminuir a perda de água e ao mesmo tempo manter a absorção de CO₂ é um dilema significativo para as plantas e requer habilidades de adaptação (Scharwies e Dinneney, 2019).

Quando as plantas estão sob estresse, elas podem acumular espécies reativas de oxigênio (EROs), iniciando o processo oxidativo, peroxidação lipídica, oxidação de proteínas e degradação da clorofila (Sarker; OBA, 2018). Com isso, as células vegetais apresentam alguns sinais de defesa, como um sistema antioxidante para mitigar os efeitos dos radicais livres, que auxiliam na eliminação das EROs e atenuam seus impactos (Ahanger *et al.*, 2017). Contudo, há aumento na concentração dos solutos, como a prolina, auxiliando na regulação e estabilização da membrana e na manutenção do turgor celular (Hereme *et al.*, 2020). Em estudos com catingueira (*Cenostigma pyramidale*) sob déficit hídrico, Pinho- Pessoa *et al.* (2018) verificaram que a espécie apresentou ajuste osmótico e teve uma maior eficiência do sistema antioxidante, evitando assim a desidratação e mantendo as taxas da fotossíntese líquida.

1.3.2. Respostas anatômicas e morfológicas das plantas ao estresse

O estresse possibilita que as plantas apresentem uma série de mudanças anatômicas e morfológicas a nível de organização e de órgãos. Elas podem apresentar variações na anatomia da raiz, do xilema e das folhas, entre outras, em resposta a estresses ambientais, principalmente pela diminuição do alongamento celular, pela estimulação restrita da divisão celular e pela diferenciação celular, resultando na alteração das características anatômicas (Bano, Amis e Singh, 2019). Por outro lado, as respostas morfológicas podem ser observadas na forma de menor crescimento dos internódios, tamanho das folhas, área foliar, padrão de ramificações, e no crescimento de brotos e raízes (Bano, Amis e Singh, 2019).

Quando as plantas estão submetidas ao estresse hídrico, diversas alterações ocorrem em seu metabolismo, incluindo a redução no crescimento devido aos danos na divisão celular (Farooq *et al.*, 2009). Além disso, as plantas desenvolvem a habilidade de formar sistema radicular eficaz, com o intuito de garantir um suprimento contínuo de água e nutrientes para sustentar a transpiração e o seu crescimento (Berreza *et al.*, 2019). A redução na disponibilidade hídrica resulta em uma diminuição do potencial hídrico celular, causando alterações na turgescência das células, o que leva ao fechamento dos estômatos e à diminuição da perda de água por transpiração (França *et al.*, 2022; Albuquerque *et al.*, 2013).

As alterações que ocorrem no sistema radicular estão relacionadas ao aumento da capacidade das raízes de capturar mais recursos e à redução no número de suas folhas quando estão estressadas, dessa maneira, a planta diminui a sua parte aérea para se adaptar ao estresse hídrico (Araújo, 2022). A falta de água afeta a altura e o diâmetro do coleto e resulta na diminuição do número de folhas, influenciando diretamente na produção de matéria seca das plantas, o que provoca a redução das taxas fotossintéticas líquidas e da produção dos carboidratos, levando à diminuição do acúmulo de biomassa das plantas (Souza; Beltrão; Santos, 1997).

Nascimento *et al.* (2011), ao avaliar mudas de jatobá em diferentes níveis de água, observaram que o estresse hídrico afetou significativamente a altura das plantas, reduziu o número de folhas e a produção de biomassa. Em estudos com catingueira (*Cenostigma pyramidale*) sob déficit hídrico, verificou-se que a espécie apresentou ajuste osmótico e uma maior eficiência do sistema antioxidante, evitando assim a desidratação e mantendo as taxas da fotossíntese líquida (Pinho- Pessoa *et al.*, 2018). Por outro lado, observou-se que a mesma espécie apresentou plasticidade fenotípica, demonstrando maior capacidade de aclimação às alterações ambientais (Falcão *et al.*, 2015).

Silva *et al.* (2003) observaram que a espécie timbaúba (*Enterolobium contortisiliquum*), quando submetida à restrição hídrica, apresentou redução na área foliar e abscisão de folhas. Em estudos realizados por Ramos *et al.* (2021) com mudas de craibeira (*Tabebuia aurea*), foi constatado que a diminuição nos níveis de água resultou em redução dos parâmetros de crescimento e na produção de matéria seca das mudas.

1.4. Potássio como atenuador do déficit hídrico em plantas

1.4.1. Potássio

O potássio (K) é um cátion fundamental às plantas, sendo um dos elementos mais demandados por elas. Ele é absorvido na forma de íon K^+ e chega às raízes predominantemente por difusão e, às vezes, por fluxo de massa (Praveen e Singh, 2023). Apresenta uma ampla redistribuição nos tecidos vegetais pela sua alta mobilidade e desempenha funções energética, de translocação e armazenamento de assimilados, além de exercer a função de manutenção da água nos tecidos vegetais (Prado, 2020). Embora o K não exerça função na composição estrutural ou molecular das plantas, ele atua em vários processos metabólicos, como em sistemas enzimáticos (cinases, sintetases, transferases, desidrogenases, oxidorreduções e quinases) (Meurer *et al.*, 2018; Malavolta *et al.*, 1997).

O uso do K na implantação dos plantios florestais está se tornando cada vez mais comum, especialmente devido às atividades que esse nutriente exerce nos processos fisiológicos das plantas, sendo considerada fundamental sua atuação no funcionamento regular de diversas atividades na planta (Marschner, 2012). Com isso, ocorre o intenso consumo de K devido à sua significância positiva (Wang *et al.*, 2013). Plantas bem nutridas em K apresentam maiores resistências a períodos de secas e geadas, devido a maior retenção de água.

O K atua diretamente na fotossíntese, regula o turgor celular, no transporte dos fotossintetizados das folhas para os órgãos dreno, ativação enzimática, controla a abertura e fechamento dos estômatos, translocação de nutrientes e maior pressão osmótica foliar e consequente maior turgor foliar, que reduz os danos fotooxidativos nos cloroplastos (Battie-Laclau *et al.*, 2013; Albuquerque *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2004). As atividades desse nutriente provocam efeitos positivos nos vegetais, promovendo o incremento no crescimento radicular, maior tolerância à seca e a baixas temperaturas, maior resistência a pragas e moléstias, tolerância ao acamamento e maior nodulação das leguminosas (Prado, 2020). Além dessas funções fisiológicas, ele também atua na proteção das plantas contra doenças e pragas. As plantas bem nutridas em K apresentam-se com baixa incidência, severidade e danos que são provocados por fungos e insetos (Marschner, 2012; Meurer *et al.*, 2018). Altas quantidades de K nos tecidos vegetais favorecem a síntese e o acúmulo de compostos fenólicos, atuando como inibidores de fungos e insetos (Marschner, 2012).

No solo, o K pode ser encontrado de várias formas, tais como K trocável (fracamente retido na CTC do solo) e não-trocável, estrutural e na solução do solo como suprimento às plantas, juntamente com o sítio de troca dos colóides do solo (Kaseker *et al.*, 2021). É importante destacar que não é apenas ter conhecimento dos fatores quantidade (K trocável) e intensidade (K solução), mas também dos processos que constitui o Poder Tampão de Potássio (PTK) do solo, que nada mais é do que a capacidade que esse solo apresenta em manter uma certa concentração desse nutriente na solução, em função da absorção pelas plantas ou a perda ocorrida no solo (Villa; Fernandes; Faquin, 2004).

1.4.2. Importância do potássio na tolerância das plantas

O K é um elemento essencial às atividades desenvolvidas pelas plantas, sendo responsável por diversos processos fisiológicos em diferentes espécies, como a

fotossíntese, osmorregulação e síntese de proteínas (Xu *et al.*, 2021). Ele atua como agente osmótico nas células, transporte de nutrientes, ativador de enzimas e auxilia no equilíbrio do pH celular (Silva *et al.*, 2013). Mesmo não fazendo parte de compostos orgânicos e não desempenhando funções estruturais, o K é um elemento essencial às plantas (Marschner, 2012). Ele atende aos três critérios de essencialidade: na falta do K, a planta não consegue completar seu ciclo de vida; não pode ser substituído por outro nutriente, pois desempenha funções específicas, mesmo apresentando características semelhantes; e, por fim, é um elemento que participa de processos metabólicos essenciais ao funcionamento das plantas (Malavolta, 2006).

Entretanto, algumas evidências apontam que altos teores de K nas células podem resultar em efeitos adversos às plantas (Cakmak, 2005). De acordo com Prado (2008) e Taiz *et al.* (2013), o excesso de K interfere na absorção de outros cátions (como Ca^{+2} e Mg^{+2}), causando danos às plantas ao afetar as membranas celulares ou a estrutura das proteínas (Melo *et al.*, 2020). O uso excessivo de KCl pode gerar efeitos osmóticos, levando à plasmólise e diminuindo a germinação, o crescimento, a sobrevivência e a produção de biomassa das plantas (Vasconcelos *et al.*, 2020). Provavelmente, o efeito do K nas atividades das enzimas esteja relacionado às mudanças na conformação das moléculas, visto que ocorre um aumento na exposição dos sítios ativos para ligá-los ao substrato (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Essas razões justificam a alta demanda de K e as elevadas concentrações no citoplasma, garantindo assim as atividades enzimáticas máximas (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Assim, ocorre a manutenção da turgescência da célula, pois o K é o principal íon presente no vacúolo e está intimamente relacionado ao equilíbrio osmótico (Silva *et al.*, 2013).

Devido às suas funções, o K pode diminuir os impactos gerados pelo estresse hídrico no desenvolvimento e na produção das plantas, aumentando a eficiência do uso da água (Ramos; Freire; França, 2021). A aplicação desse nutriente pode proporcionar as melhores condições hídricas às plantas, visto que o K atua diretamente na abertura e fechamento dos estômatos, reduzindo o potencial osmótico das células-guardas e promovendo a entrada de água, o que eleva a turgescência da célula (Silva *et al.*, 2013). Esse fato favorece as trocas gasosas em condições de menores disponibilidade de água. O fornecimento do suprimento de K confere resistência ao estresse abiótico, devido às suas funções que ajudam a mitigar os efeitos da seca (Mendes *et al.*, 2013; Cakmar, 2005).

As plantas são capazes de absorver o K do solo para melhorar o uso e a eficiência da água, permitindo que o vegetal tolere e resista ao estresse causado pela seca (Xu *et al.*, 2021). Além disso, há uma alteração na entrada de CO₂ na regulação estomática, o que alivia a assimilação de carbono alterada pela deficiência hídrica, e um controle sobre as enzimas metabolizadoras de carboidratos para aumentar a acumulação e translocação de sacarose (Fournier *et al.*, 2005; Mendes *et al.*, 2013).

O K é o principal cátion responsável pela manutenção do equilíbrio iônico dentro das células vegetais, deixando claro sua importância às plantas. Também, a estabilidade da homeostase do K é crucial para que a célula execute todas as suas funções celulares de maneira eficaz, garantindo assim sua viabilidade (Mulet *et al.*, 2023). As plantas no ambiente natural enfrentam constantes mudanças ambientais, como períodos de seca ou salinidade, que podem interferir na homeostase iônica. Portanto, os fluxos de K desempenham um papel essencial na regulação do processo de transpiração. Evidências indicam que restrições no transporte de K podem afetar a capacidade da planta de responder ao calor, ao frio ou ao estresse oxidativo (Mulet *et al.*, 2023; Fournier *et al.*, 2005; Mendes *et al.*, 2013).

1.4.3. Atenuação dos efeitos do déficit hídrico pelo K nas espécies arbóreas

O K tem sido utilizado como um mitigador dos efeitos do déficit hídrico em espécies arbóreas, atuando como um osmótico celular. Ele auxilia na fotossíntese e no transporte de carboidratos das folhas até as raízes, além de manter a turgescência, alto teor de água, osmorregulação das células e regulação estomática (Fournier *et al.*, 2005). O acúmulo de K nas raízes pode exercer efeito osmótico no vacúolo e, junto com os solutos orgânicos (açúcares, aminoácidos e proteínas), tem como ação reduzir o potencial hídrico celular, gerando maior absorção de água (Almeida *et al.*, 2020). Isso favorece a manutenção das atividades metabólicas fundamentais no crescimento das plantas submetidas a baixa disponibilidade hídrica (Almeida *et al.*, 2020).

França *et al.* (2022), ao avaliarem a espécie pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*) da caatinga, observaram que o suprimento de K (100 mg dm³) proporcionou efeito significativo como mitigador do déficit hídrico nas trocas gasosas da espécie, melhorando o funcionamento dos estômatos. Com isso, houve uma melhoria no funcionamento dos estômatos, principalmente devido à influência na regulação osmótica e no controle da abertura estomática. Avaliando as respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica, Mendes *et al.* (2013) verificaram que o

uso de K aumentou a fotossíntese e a transpiração. Esse aumento é decorrente à regulação estomática, na qual as células-guarda dos estômatos conservam a concentração osmótica e controlam a entrada e saída de água, permitindo a abertura dos estômatos para as trocas gasosas (Cochrane e Cochrane, 2009). Além disso, o K atua como cofator de enzimas envolvidas na fotossíntese, e sua disponibilidade aumenta a atividade enzimática, facilitando as reações químicas necessárias à fotossíntese ocorrer. Ramos e Freire (2019) também encontraram efeitos significativos do K em plantas de faveleira (*Cnidocolus quercifolius* Pohl.) sob déficit hídrico; à medida que se aumentaram as doses de K, houve aumento nas trocas gasosas (*A*, *E* e *gs*).

1.4.4. Respostas das espécies arbóreas ao suprimento de K

O conhecimento das exigências nutricionais das espécies é essencial ao estabelecimento inicial das mudas. Ao avaliarem mudas de jatobá, os autores observaram que a espécie apresentou um baixo requerimento quanto à demanda por B e Zn e uma elevada susceptibilidade à toxidez a esses elementos, assim como uma baixa demanda por K (Andrade *et al.*, 2018; Duboc *et al.* 1994).

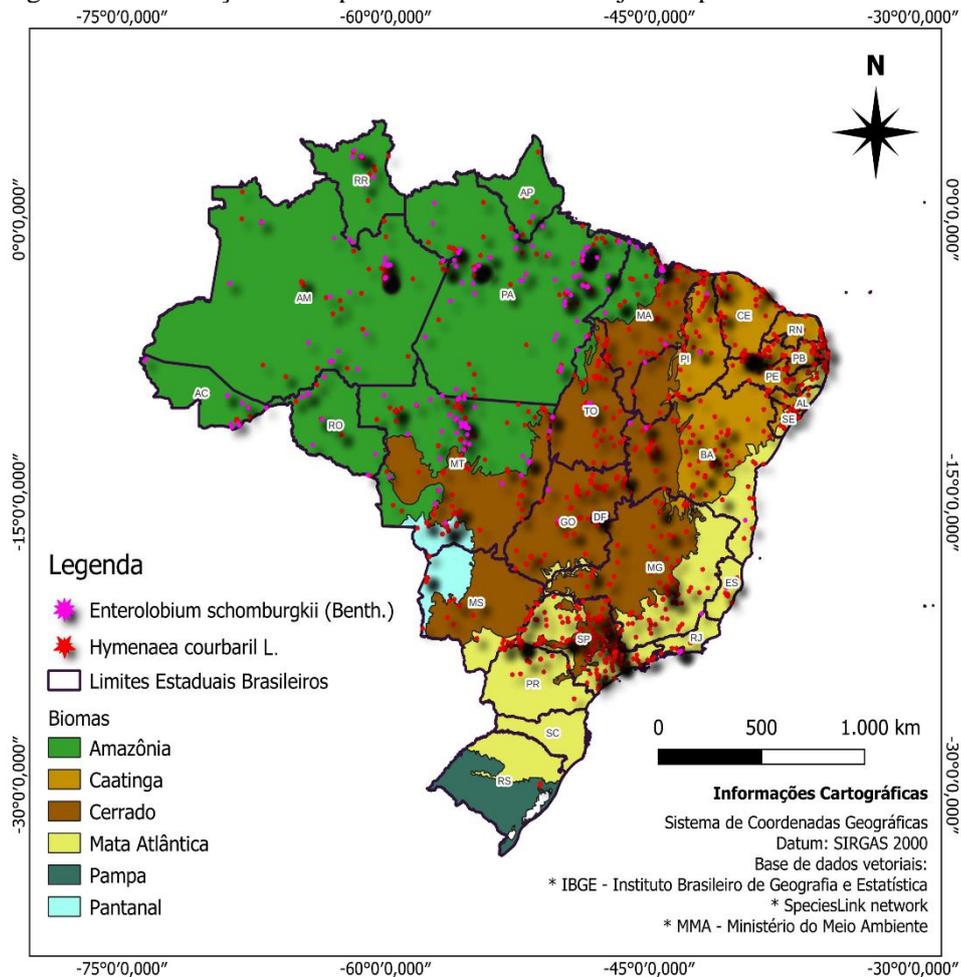
O uso de K na produção de mudas de turco (*Parkinsonia aculeata* L.) favoreceu o crescimento da espécie; alcançando melhor desempenho na dose de 2,4 g/vaso (25 %) e a dose de 100 % de KCl (9,6 g/vaso) foram promissoras para o crescimento das mudas, gerando maior vigor e maiores incrementos de massa seca (Souza; Silva; Lucena, 2013). Todavia, Costa (2020), avaliando *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne sob deficiência hídrica e o uso de N, P e K, observou que a adubação potássica diminuiu o crescimento, o parênquima clorofiliano e as trocas gasosas. Berti *et al.* (2017), estudando a espécie baru (*Dipteryx alata* Vog.), não encontraram respostas significativas à adubação mineral, inclusive do K. Mendes *et al.* (2013) encontraram respostas positivas à adubação potássica em genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. Eles observaram que os genótipos submetidos ao déficit hídrico e com adubação com K tiveram um aumento no seu desempenho fisiológico, com o aumento nas taxas de transpiração e assimilação CO₂. O uso da fertilização com o K em espécie de *Eucalyptus grandis* melhorou a recuperação do crescimento da espécie após períodos de chuvas, seguidos por eventos de seca (Chambi-Legoas *et al.*, 2023). Os mesmos autores notaram que houve também aumento na plasticidade do xilema em resposta a períodos de seca.

1.5. Espécies arbóreas relevantes para a Amazônia

1.5.1. Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.)

O jatobá (*Hymenaea courbaril* L). é uma espécie florestal nativa do bioma amazônico, porém é amplamente distribuída em outros biomas como o Cerrado, a Mata Atlântica, Pampa, Pantanal e a Caatinga (Figura 1). Pertencente à família Fabaceae e à subfamília Caesalpinoideae, sendo conhecida popularmente como jatobá, jataí e farinheira, pode ultrapassar 30 m de altura e até 1 m de diâmetro do coleto (Lemes *et al.*, 2022). É considerada uma espécie do grupo ecológico secundária tardia, ou seja, apresenta crescimento lento (Nascimento *et al.*, 2011). A espécie é classificada como generalista, pois possui uma grande capacidade de adaptação em ambientes com diferentes características edafoclimáticas (Nascimento *et al.*, 2003). Ademais, é tolerante a diferentes condições ambientais, sendo uma espécie moderadamente tolerante à seca (Tiago *et al.*, 2020).

Figura 1- Distribuição das espécies fava-orelha e do jatobá por biomas brasileiros.



Fonte: Autora (2024).

Sua floração ocorre geralmente durante a estação seca ou na transição para a chuvosa, e seu habitat é de terra firme, áreas de mata, lavoura e nas margens de rios

(Farias *et al.*, 2006; Busatto *et al.*, 2013). Suas folhas são compostas bifoliadas com folíolos coriáceos, suas raízes são pivotantes e seus frutos têm forma de vagens indeiscentes (Nascimento *et al.*, 2011). As sementes de jatobá são ovais ou arredondadas, podendo medir de 3 a 5 cm de comprimento e de 1 a 3 cm de largura (Lorenzi, 2009). Elas possuem a superfície lisa e geralmente coloração marrom ou marrom-escuro, além de uma casca dura e resistente, o que as caracteriza como ortodoxas, apresentando dormência tegumentar (Shanley, 2005).

Quanto ao seu fruto, é considerado uma vagem curta, indeiscente em formato cilíndrico, podendo atingir de 5 a 20 cm de comprimento (Lorenzi, 2009; Farias *et al.*, 2006). Pode conter de duas a seis sementes, com casca rígida, na qual sua semente é preenchida com um pó amarelado de cheiro forte, sendo comestível e apresentando alta concentração de ferro (Farias *et al.*, 2006; Shanley, 2005). A densidade de sua madeira é considerada média, cerca de 0,90 a 1,10 g cm⁻³ (Moraes *et al.*, 2013).

A espécie é de suma importância socioambiental, pois além de ser utilizada em áreas degradadas para compor a recomposição da vegetação, seus frutos são empregados na indústria de alimentação, enquanto suas folhas e cascas são aproveitadas na indústria farmacêutica e cosmética (Tiago *et al.*, 2020; Nascimento *et al.*, 2015; Sousa *et al.*, 2020; Busatto *et al.*, 2013). Somado ao valor ecológico, a espécie tem um potencial agrônomo para o uso do seu caule e frutos. No entanto, o jatobá vem sendo fortemente explorado de maneira descontrolada, especialmente na região amazônica, o que o coloca em risco de extinção, principalmente devido à qualidade de sua madeira (Tiago *et al.*, 2020).

1.5.2. Fava-orelha [*Enterolobium schomburgkii* (Benth.)]

A fava-orelha [*Enterolobium schomburgkii* (Benth.)] é uma espécie florestal da região amazônica, amplamente distribuída na região Neotropical, desde a América central até a Amazônia legal, passando pelo Noroeste, Sudeste e Sul do Brasil, estendendo-se até Argentina, Uruguai, Paraguai e Bolívia (Mojena *et al.*, 2020). Sua ocorrência é mais comum nos biomas da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, não sendo registrada nos biomas Pampa e Pantanal (Figura 1) (Mojena *et al.*, 2016). Pertencem à família Fabaceae e à subfamília mimosoideae, sendo conhecida popularmente por faveira, fava-orelha, orelha-de-macaco e sucupira amarela (Lorenzi, 2009). Faz parte do grupo ecológico de secundária inicial, com um crescimento inicial rápido, capaz de se adaptar a condições adversas, como solos pobres em nutrientes, pouca disponibilidade hídrica e

perturbações frequentes, no entanto apresenta vulnerabilidade a períodos mais longos de seca (Braga *et al.*, 2009; Mojena *et al.*, 2016).

É uma espécie considerada heliófila, ou seja, exigente em altas quantidades de luz para seu desempenho. Pode chegar de 10 a 50 m de altura e 12 a 80 cm de diâmetro do caule (Mojena *et al.*, 2020). Seus frutos são indeiscentes, abrem-se naturalmente, retorcidos, de coloração marrom a preta, com 3 a 4 cm de diâmetro e 1 a 3 cm de espessura (Lorenzi, 2009). Suas sementes são elípticas, ortodoxas e apresentam dormência física causada pela impermeabilidade do tegumento à água, de coloração amarelo-enzofre, chegando a medir de 0,7 cm de comprimento e 0,4 cm de largura (Mojena *et al.* 2020). Suas folhas são compostas bipinadas e formadas por foliólulos por pina e suas raízes pivotantes (Lorenzi, 2009).

A sua madeira apresenta um valor econômico considerável e é usada tanto na construção civil como na marcenaria, na produção de papel e naval (Ramos e Ferraz, 2008). Possui densidade de média a alta (0,32 a 0,55 g/cm³), a qual lhe confere resistência e durabilidade (Lorenzi, 2009; Araújo *et al.*, 2019). Além de ser uma espécie heliófila, que possui preferência por ambientes com alta exposição à luz solar, ela apresenta aptidão à associação com bactérias fixadoras de N, demonstrando capacidade de ser usada em áreas de reflorestamento e solos com baixa fertilidade natural (Araújo; Mota; Dobbss, 2019).

2. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas intensificam algumas regiões a escassez de água e alteram o desenvolvimento das plantas, aumentando o estresse hídrico das florestas tropicais resultando em alterações na composição das florestas (Hirpa *et al.*, 2019). Atualmente, a região amazônica está enfrentando tensões sem precedentes, devido ao aumento das temperaturas, das secas extremas, da desflorestação e dos incêndios, inclusive em áreas centrais e remotas do sistema (Flores *et al.*, 2024).

A seca prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas, como a germinação das sementes e o rendimento, causando perdas significativas econômicas e ambientais, afetando consideravelmente o funcionamento dos ecossistemas naturais (Hassan *et al.*, 2019). Elas são causadas pelas mudanças climáticas que alteram todo o padrão da distribuição das espécies vegetais, diversidade e funcionamento das florestas tropicais, além de causarem estresse fisiológico significativo às plantas (Yifru *et al.*, 2021; Brando *et al.*, 2006). Adicionalmente, os eventos de seca causam a mortalidade das árvores, modificam as atividades ecossistêmicas e alteram a competição das plantas

pelos recursos naturais e prejudicam as condições ambientais (Hassan *et al.*, 2019).

As alterações ambientais afetam a variação na pluviosidade, ocasionando um maior estresse hídrico nas plantas em razão do aumento da sazonalidade, o que resulta em uma estação seca mais prolongada, além do aumento da frequência de eventos de extremos de seca, como as anomalias de seca, sobretudo em anos de *El Niño* (Duffy *et al.*, 2015; Berenguer *et al.*, 2021). Essas variações na sazonalidade podem influenciar nos processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, tais como a assimilação de carbono, respiração, absorção de nutrientes e translocação, podendo aumentar ou reduzir o potencial produtivo das plantas (Custodio *et al.*, 2022).

As espécies florestais, sob déficit hídrico associado às secas, reduziram as taxas de crescimento, que resulta no aumento da mortalidade das árvores e, conseqüentemente, na perda de biomassa (Sousa *et al.*, 2020). Estas evidências de vulnerabilidade das espécies alertam para a possibilidade de os ecossistemas amazônicos tornarem-se mais sensíveis frente a frequência do déficit hídrico (Phillips *et al.*, 2009; Sousa *et al.*, 2020). Além disso, o aumento da temperatura provoca uma maior demanda evaporativa das espécies e, conseqüentemente, intensifica os efeitos do déficit hídrico (Sage; Kubien, 2007).

O estresse hídrico é um dos principais responsáveis pelos danos no crescimento e desenvolvimento das plantas, ocasionando diminuição na disponibilidade hídrica, redução no potencial hídrico, perda do turgor, fechamento dos estômatos e diminuição da expansão celular (Mendes *et al.*, 2013; Gomes *et al.*, 2004). Com isso, compreender e conhecer a plasticidade fenotípica das espécies florestais torna-se um grande desafio, visto que elas apresentam respostas distintas a cada condição climática enfrentada.

Compreender os parâmetros de plasticidade fenotípica das espécies arbóreas em respostas às alterações climáticas e os efeitos da baixa disponibilidade hídrica como influenciam o crescimento do diâmetro, número de folhas e a altura, assim como os efeitos no xilema, é uma vantagem promissora para conhecer a vulnerabilidade hidráulica das espécies florestais amazônicas frente às mudanças climáticas. Com isso, estabelecer metas práticas e buscar mecanismos que minimizem esses danos à planta torna-se essencial ao manejo das espécies.

Com o objetivo de minimizar os danos causados pela limitação hídrica e aumentar a produção dos plantios florestais, várias medidas têm sido testadas em diversos estudos (Dias *et al.*, 2012; Thomas; Gale, 2015; Barbosa *et al.*, 2021). Entre essas medidas, destacam-se a aplicação de hormônios reguladores vegetais (Rostami;

Movahedi, 2016) e a incorporação de matéria orgânica por meio do uso de biomassa carbonizada (“biochar”), visando garantir a absorção de água (Costa *et al.*, 2019). As plantas também realizam o ajuste osmótico pela síntese e acúmulo de moléculas com menor massa molecular (Dichio *et al.*, 2009; Nio *et al.*, 2011). A quantidade acumulada e o tipo de soluto produzido dependem da espécie e da duração do estresse hídrico. Os metabólitos que contribuem para o ajuste osmótico incluem açúcares solúveis e aminoácidos, como a prolina (Rhodes *et al.*, 1993; Szabados *et al.*, 2010; Albuquerque *et al.*, 2013).

Assim como os solutos, alguns íons, como o potássio (K⁺), também exercem efeito osmótico nas células das plantas, favorecendo a absorção de água e garantindo o turgor celular, fator determinante na manutenção dos processos fisiológicos das plantas (Battie-Laclau *et al.*, 2013). Estudos demonstraram que o K tem efeitos benéficos, como atenuante do déficit hídrico no crescimento das plantas (Mondini *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2021; Fournier *et al.*, 2005). A regulação da homeostase do K⁺ intracelular é fundamental para mensurar respostas adaptativas das espécies a uma variedade de estresses abióticos e bióticos, tais como a seca, salinidade e o estresse oxidativo (Anschutz *et al.*, 2014).

Questões

- a) Uma maior disponibilidade de K no solo confere maior resistência ao déficit hídrico para espécie arbórea com menor tolerância à seca?
- b) A maior disponibilidade de K influenciará diretamente nos parâmetros morfológicos (altura, diâmetro do coleto, biomassa, tamanho e espessura das folhas) e fisiológicos (trocas gasosas) das espécies arbóreas?
- c) Maior disponibilidade de K aumentará a eficiência do uso da água e reduzirá a condutância estomática?

Hipóteses

- a). Uma maior disponibilidade de K no solo confere maior resistência ao déficit hídrico às espécies arbóreas nativas da Amazônia sendo assim, esperamos também que o efeito da disponibilidade de K será mais perceptível para espécies com menor tolerância.
- b). A maior disponibilidade de K permite estratégias mais aquisitivas de recursos – maior assimilação de carbono por unidade de água, maior produção de biomassa, maior LA, então nessa condição haverá maior taxa de crescimento e capacidade de fixação de carbono.

c). Uma maior disponibilidade de K no solo influenciará positivamente na eficiência de uso da água e na condutância estomática das plantas.

Objetivos

a) Geral

Avaliar as respostas morfofisiológicas de duas espécies arbóreas nativas da Amazônia (fava-orelha e jatobá) submetidas à adubação potássica e à restrição hídrica.

b) Específicos

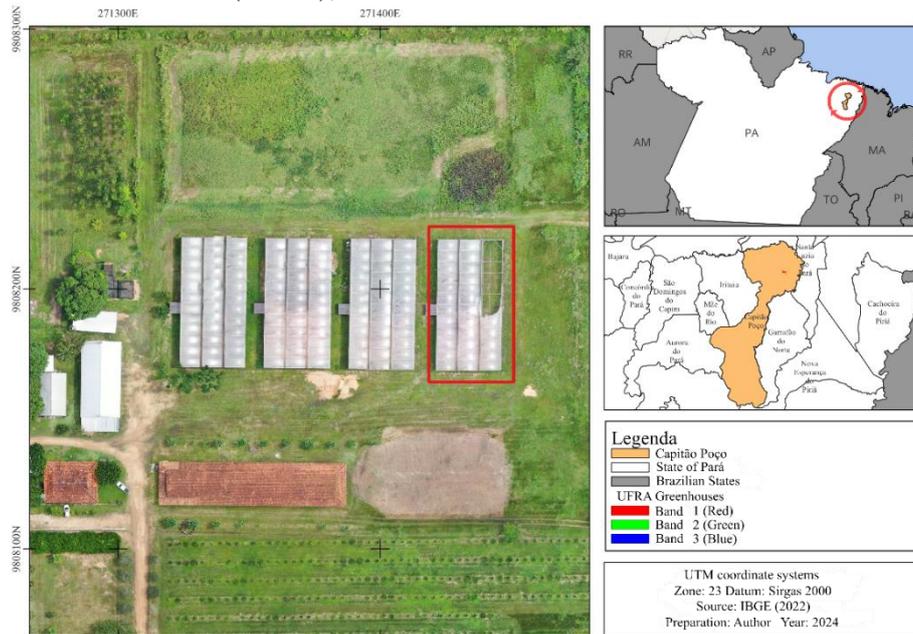
- Avaliar se a resistência ao déficit hídrico (parâmetros fisiológicos) é maior em plantas crescidas em solo com maior disponibilidade de K;
- Quantificar as trocas gasosas das espécies arbóreas;
- Avaliar a resposta das mudas das espécies arbóreas nativas da Amazônia ao suprimento de K em termos de crescimento em altura, diâmetro do caule e número de folhas;
- Mensurar os atributos funcionais das espécies arbóreas;
- Analisar os teores e os acúmulos de K na parte aérea das plantas (fava-orelha e jatobá).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do local do estudo

O experimento foi realizado março a dezembro de 2023 (304 dias/10 meses) na casa de vegetação (Figura 2) da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), *campus* Capitão Poço- PA (CCP) (01°44'47'' S e 47°03'34'' O). O município de Capitão Poço pertence à mesorregião Nordeste Paraense e a microrregião Guamá. Apresenta um clima tipo Am (tropical de monção) (Rodrigues *et al.*, 2016), com pluviosidade anual média em torno de 2.500 mm, temperatura média de 26 °C e umidade relativa do ar entre 75 e 89 % nos períodos com maior e menor pluviosidade, respectivamente (Schwartz, 2007).

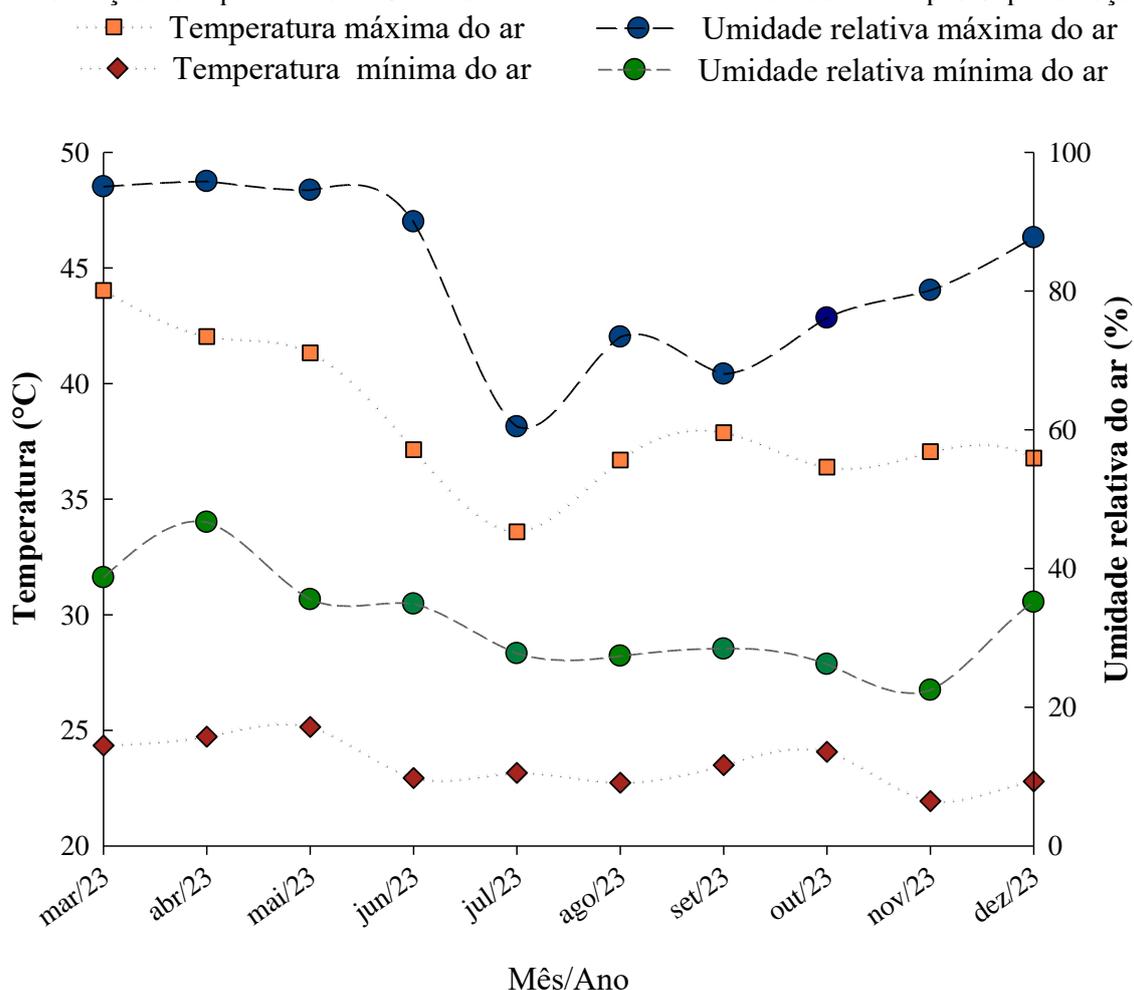
Figura 2- Casa de vegetação na área experimental do campus Capitão Poço da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Brasil.



Fonte: Autora (2024).

Com o uso de um termo-higrômetro-luxímetro digital instalado dentro da casa de vegetação, foi mensurada a temperatura e a umidade relativa do ar durante o período experimental dos dez meses (março a dezembro/2023). Com temperatura máxima de 40 °C e mínima de 24 °C, respectivamente, e umidade máxima de 89% e mínima de 35% (Figura 3).

Figura 3- Temperatura e umidade relativa do ar, dentro da casa de vegetação, durante o período de condução do experimento na Universidade Federal Rural da Amazônia campus Capitão Poço.



Fonte: Autora (2024).

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O estudo consistiu em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em um esquema fatorial duplo (2 x 2), com duas condições hídricas (condição adequada e déficit hídrico) e quatro doses de K (0, 50, 100 e 200 mg/dm³), totalizando 8 tratamentos com 12 repetições (Tabela 1), conduzidos em dois experimentos paralelos. Cada unidade experimental foi constituída por três vasos preenchidos com 5 L de solo, avaliando duas espécies florestais (96 plantas por espécie).

Tabela 1- Tratamentos (déficit hídrico e doses de K) aplicados no experimento para cada espécie florestal (jatobá e fava-orelha).

Tratamento	CONDIÇÕES HÍDRICAS	DOSE DE K (mg/dm ⁻³)
1	COM	0
2	COM	50
3	COM	100
4	COM	200
5	SEM	0
6	SEM	50
7	SEM	100
8	SEM	200

Fonte: Autora (2024).

Também foi realizada uma adubação de base, fornecendo tanto macronutrientes quanto micronutrientes. Para as doses parceladas de potássio (50, 100 e 200 mg/dm⁻³), foi utilizado o cloreto de potássio como fonte. Foi aplicado N parcelado (150 mg/dm⁻³), P (150 mg/dm⁻³), Mg (30 mg/dm⁻³), S (40 mg/dm⁻³), utilizando-se fosfato de amônio, sulfato de magnésio e uréia como fontes para os macronutrientes, respectivamente. Já para os micronutrientes, foi aplicado Cu (1,5 mg/dm⁻³), B (0,5 mg/dm⁻³), Mn (1,0 mg/dm⁻³) e Mo (0,1 mg/dm⁻³), utilizando sulfato de cobre, ácido bórico, sulfato de manganês e molibdato de amônio como fontes, respectivamente (Apêndice 1). Não foi necessário realizar a calagem para a correção do pH do solo. Todos os nutrientes foram aplicados na forma de solução sobre a superfície do solo de cada vaso, utilizando-se reagentes puro para análise (p.a). As doses dos nutrientes foram definidas com base em outros estudos com espécies florestais desenvolvidos em casa de vegetação, conforme Malavolta (1980), Santos *et al.* (2008), Fernandes *et al.* (2008) e Simões *et al.* (2016).

3.3. Instalação das parcelas experimentais

O solo foi coletado na capoeira da UFRA- CCP, na camada de 0-20 cm de profundidade. Com auxílio de um trator (Figura 4a), removeu-se a vegetação superficial do solo para a coleta da camada (Figura 4b). Em seguida, utilizando-se de uma trena (Figura 4 c), mediu-se a profundidade da camada (0- 20 cm), procedendo-se então a coleta do solo.

Figura 4- Limpeza da vegetação da superfície do solo com um trator (a), coleta da camada superficial (b) e medição com uma trena profundidade de coleta (0- 20 cm) da camada superficial do solo (c) na UFRA- CCP.



Fonte: Autora (2024).

Após a coleta do solo na capoeira, ele foi depositado em lona plástica para secagem (Figura 5a). Posteriormente, após o processo de secagem ao ar (Figura 5b), o solo foi destorroado e passando em peneira de malha de 4 mm (Figura 5c). Em uma etapa subsequente, retirou-se aleatoriamente uma amostra composta do solo para a sua caracterização química (Tabela 2) e granulométrica (Tabela 3) no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas em Paragominas- PA.

Figura 5- Deposição do solo em uma lona plástica (a), secagem do solo ao ar livre (b) passagem do solo em peneira (c).



Fonte: Autora (2024).

Tabela 2- Análise química do solo (0- 20 cm) utilizado nos experimentos.

pH	MOS	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	P	K ⁺	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Zn ⁺²	S
H ₂ O	%	-----cmolc dm ⁻³ -----			-----			mg/dm ⁻³ -----				
6,5	1,2	1,2	0,3	0	1,2	6	19	0,3	55	6	4,2	3

MOS (matéria orgânica do solo). P, K, Cu, Fe, Mn, Zn: extraídos com DTIPA em pH 7,3. Ca, Mg e Al: Extraídos com KCl 1,0 M em pH 5,0. M. O. S Extraída com Na₂Cr₂O₇.2H₂O + H₂SO₄. S: Extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M.

Fonte: Autora (2024).

Tabela 3- Análise granulométrica do solo (0- 20 cm) utilizado nos experimentos.

Argila	Silte	Areia
-----g kg ⁻¹ -----		
107	13	880

Areia: pesagem; argila: método da pipeta com dispersante e solução hidróxido de sódio.

Fonte: Autora (2024).

3.4. Determinação da Curva de retenção de água do solo do experimento

No Laboratório de Engenharia de Irrigação (LEI) da UFRA-CCP, foi determinada a curva de retenção de água do solo do experimento. Foram coletadas 10 amostras indeformadas de solo a uma profundidade de 0-20 cm, com o auxílio de um trado do tipo Uhland com cilindros de aço acoplados de 5 cm de altura e 4 cm de diâmetro. Após a coleta, as amostras foram colocadas em bandejas com água destilada (1 cm) e deixadas saturar por 24 horas. Posteriormente, foram pesadas em uma balança semi-analítica para

a obtenção do peso saturado e (Figura 6a), em seguida, colocadas na mesa de tensão. Foram colocadas duas placas de cerâmica porosa (3 e 15 bar) para saturação em água destilada durante 24 h (6c). A cada tensão, as amostras permaneceram por um período de 24 horas ao longo de 5 dias, ou seja, até chegar na tensão máxima de 60 pascal. Ao fim desse período, as amostras foram colocadas nas placas no extrator de Richard nas pressões de (0,1; 0,5; 1; 5 e 15 bar), sendo essas placas deixadas para saturar em água destilada antes de irem para o extrator, para que se obtivesse o peso a cada troca de pressão (Klute, 1986). Para a determinação da umidade do solo (Θ), as amostras foram pesadas e descartadas para possibilitar a medição da altura e do diâmetro do cilindro. Utilizou-se um paquímetro para realizar essa medição e determinar o volume interno do anel, que foi considerado equivalente ao volume do solo dentro do cilindro. A massa seca do solo (m_s) foi obtida subtraindo-se a massa do anel da massa total. Com esses dados, massa seca (m_s) e volume do solo no cilindro, foi possível calcular a densidade do solo (D_s). Os dados de umidade do solo (Θ) foram então submetidos ao ajuste pelo modelo exponencial de Van Genuchten, para determinação da curva de retenção hídrica do solo (Van Genuchten *et al.*, 1980) (Eq. 1).

$$\Theta = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{[1 + (a|\psi_{mat}|)^n]^m} \quad (1)$$

Θ = umidade do solo; Θ_r = umidade volumétrica residual; Θ_s = umidade volumétrica saturada; Ψ_{mat} = potencial matricial (hPa); n e m= coeficiente (parâmetros) do modelo.

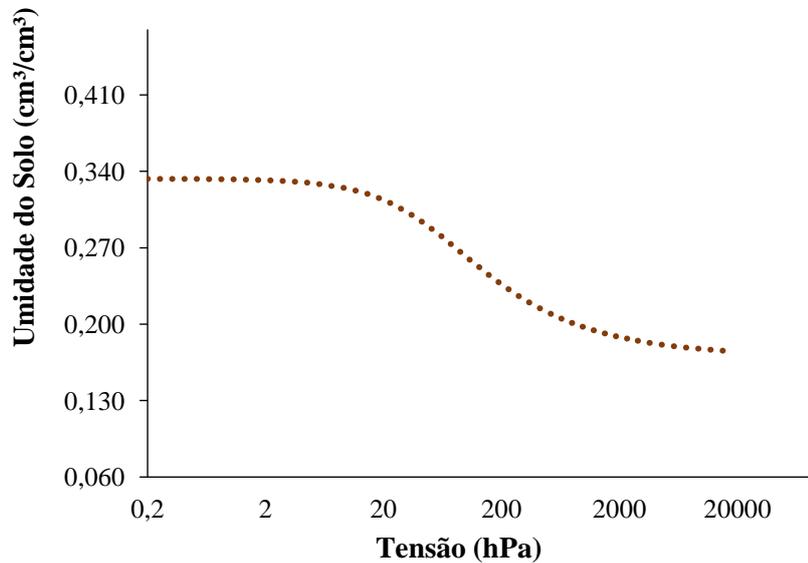
Após serem submetidas ao processo de pressão no extrator de Richard, as amostras foram secas em estufas a 105 °C por 48 horas. As amostras foram pesadas e, em seguida, descartadas para possibilitar a mensuração da altura e do diâmetro do cilindro. Por fim, ao sair do extrator, foram retirados 20 g de solo de cada amostra e colocados em uma estufa a 105° C por 24 horas para a obtenção da massa seca (M_s) (Figura 6d). Para obtenção do volume, cada amostra seca foi inserida em um balão volumétrico (50 mL) (Figura 6e), ao qual foram adicionados 25 ml de álcool 92,8° INPM. Após agitar por 1 minuto, as amostras ficaram em repouso por 1 hora (Figura 6f). Decorrido esse tempo, adicionou-se álcool em cada balão volumétrico até o ponto de aferição, utilizando-se uma bureta para anotar o volume empregado no cálculo da curva de retenção de água do solo (Figura 7).

Figura 6- Pesagem das amostras de solo (a), mesa de tensão (b), secagem em estufa das amostras de solo (d), extrator de Richard (c), proveta com álcool e balão com solo e funil (e) e as dez amostras de solo em repouso nos balões volumétricos (f).



Fonte: Autora (2024).

Figura 7- Curva de retenção da água do solo do experimento.



Fonte: Autora (2024).

3.5. Imposição do déficit hídrico

Antes da imposição ao déficit hídrico, definiu-se a vazão dos gotejadores em 350 ml em um minuto. A irrigação era realizada diariamente, tanto na manhã quanto à tarde. Também foi determinada a capacidade de campo do solo dos experimentos, estabelecida pelo método da pesagem. Primeiramente, o vaso foi preenchido com solo (5 L) e

adicionamos água até saturar (Figura 8a). Quando se formou uma crosta (Figura 8b) foi colocada um saco plástico sobre o solo (Figura 8c) o qual foi deixado incubando por 24 horas.

Figura 8- Saturação do solo com água (a), crosta de água na superfície do solo (b) e cobertura do vaso com plástico (c) na UFRA- CCP.



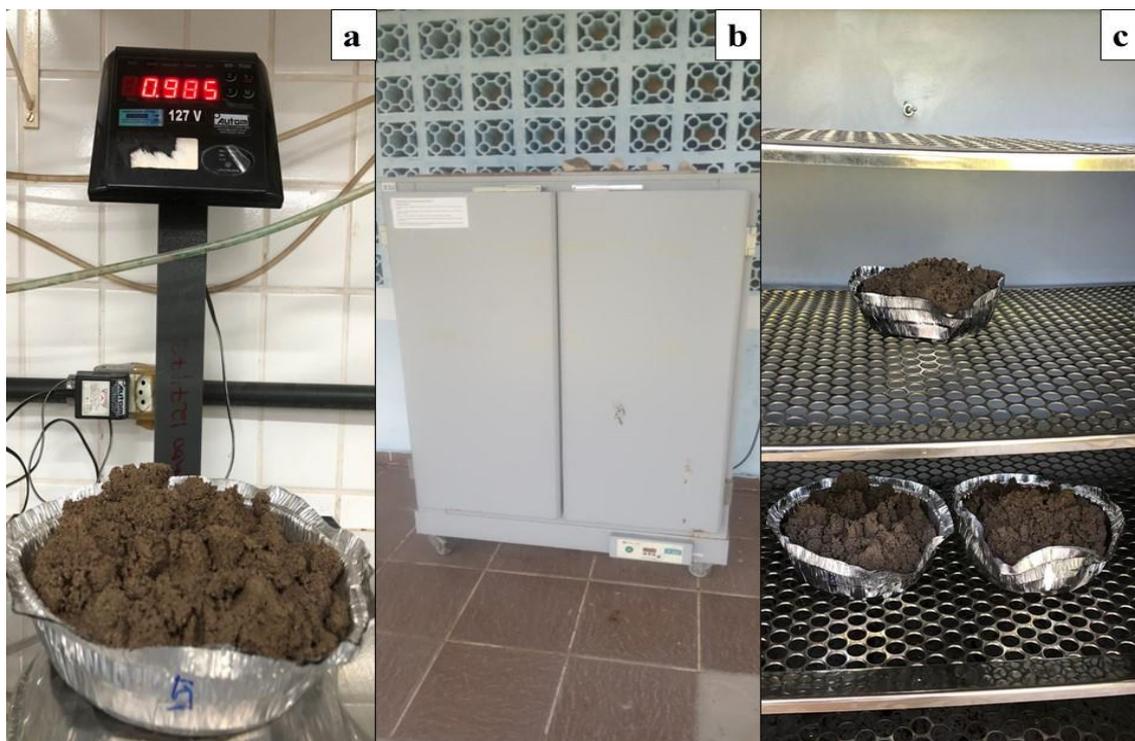
Fonte: Autora (2024).

Transcorridas as 24 h, o solo foi pesado em balança para obtenção do peso úmido (Figura 9a). Em seguida, ele foi submetido à secagem em uma estufa de circulação forçada do ar a 150 °C por 48 h (Figuras 9b e c). Posteriormente, procedeu-se à pesagem para obtenção da massa seca do solo. Assim, com os valores de peso úmido e peso seco, foi possível estimar a capacidade de campo do solo (Eq. 2).

$$PU = \frac{PU - PS}{PS} \quad (2)$$

PU = Peso úmido (kg) ; PS = Peso seco (kg).

Figura 9- Pesagem do solo úmido (a), estufa de secagem 150 C° (b) e o solo na estufa do LEI-UFRA (c).



Fonte: Autora (2024).

Passados seis meses de avaliação (agosto), com pré-estabelecimento, foi iniciado o tratamento de imposição do déficit hídrico. Na metade dos vasos dos tratamentos (96 vasos), foram aplicados 50 % de água nos vasos sob déficit hídrico, iniciando assim a imposição do déficit hídrico. Essa porcentagem foi determinada pela diferença entre os valores médios diários de irrigação. Por meio dessa diferença, foi possível obter o valor médio de uso de água de cada espécie, sendo 366 ml em 20 segundos para a fava-orelha e 726 ml para o jatobá. Com base nesses resultados, foi ajustada a vazão dos gotejadores para 130 ml durante a imposição do déficit hídrico. Para a espécie fava-orelha, o tempo total foi de 0:43 (quarenta e três segundos) e para o jatobá 1:24 (um minuto e vinte e quatro segundos). Vale ressaltar que esses tempos de irrigação foram divididos entre os períodos de manhã (7:00 h) e tarde (17:00 h).

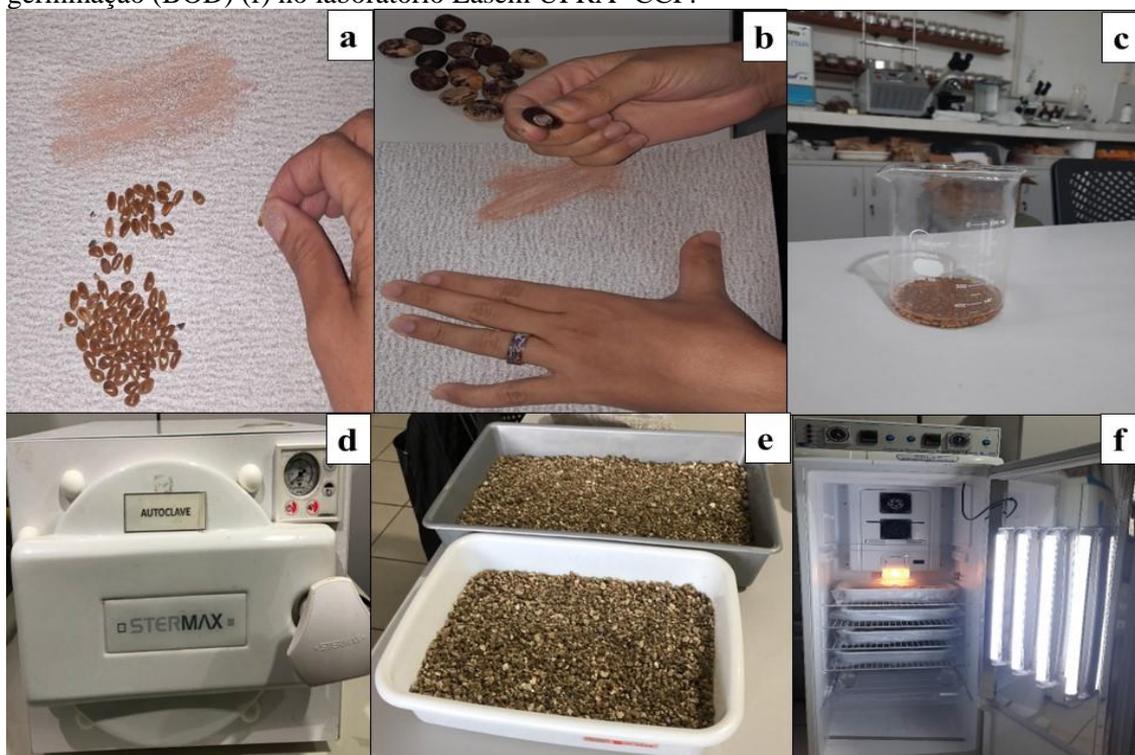
3.6. Tratamento das sementes e obtenção das plântulas

As sementes foram doadas pela Rede de Sementes do Xingu. A coleta foi realizada em árvores matrizes, por vários grupos de pessoas responsáveis por esse processo. Em seguida, foram enviadas para o Laboratório de Sementes (Lasem), no município de Capitão Poço, para todos os procedimentos necessários e armazenadas

conforme as características das sementes, em temperatura de 25 a 30 °C, até o início da instalação do experimento. Quando foram iniciadas as etapas dos experimentos, as sementes foram beneficiadas para retirada dos materiais inertes presentes em cada lote de sementes. No presente trabalho, foram cultivadas duas espécies florestais nativas da Amazônia; jatobá e fava-orelha.

As sementes de jatobá e fava-orelha apresentam dormência física tegumentar (i.e., exigindo tratamentos para sua superação). Assim, realizou-se o tratamento com a escarificação manual com uma lixa (Lemes *et al.*, 2022a; Mota *et al.*, 2019). O lixamento foi realizado manualmente, escarificando na direção oposta ao hilo de cada semente (Figuras 10a e b). Em seguida, as sementes foram higienizadas com hipoclorito de sódio a 2 %, durante 5 minutos, e lavadas três vezes com água deionizada (Figura 10c). O substrato para germinação (vermiculita) foi esterilizado em autoclave (Figura 10d) por 40 minutos. Posteriormente, foram distribuídas as sementes em bandejas plásticas (Figura 10e) e umedecidos com água destilada. As sementes foram semeadas e mantidas em câmara de germinação (BOD) a 30° C, com fotoperíodo de 12 horas (Figura 10f) (Oliveira *et al.*, 2005; Ramos e Ferraz, 2008c).

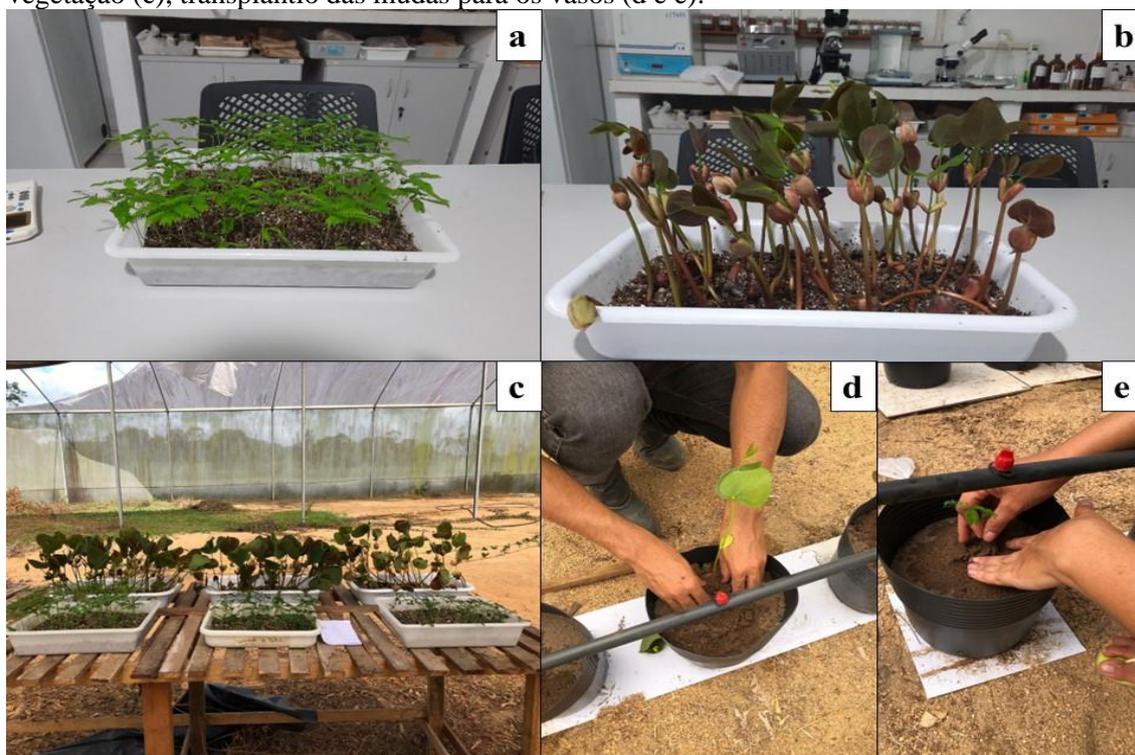
Figura 10- Lixamento das sementes de fava-orelha (a) e jatobá (b), higienização das sementes em hipoclorito de sódio (c), autoclave (d), vermiculita com as sementes nas bandejas (e) Câmara de germinação (BOD) (f) no laboratório Lasem UFRA- CCP.



Fonte: Autora (2024).

Após 30 dias de germinação e o surgimento das plântulas (Figuras 11a e 11b), foram selecionadas aquelas que apresentavam características normais, incluindo dois pares de folhas, sistema radicular bem desenvolvido e altura mínima pré-estabelecida de 10 cm. Em seguida, as plântulas foram levadas para a casa de vegetação da UFRA três dias antes do transplântio (Figura 11c), com o objetivo de favorecer a aclimação ao ambiente de plantio. Após esse período, as mudas foram transplantadas para os vasos (Figura 11d e 11e).

Figura 11- Mudas das espécies fava-orelha (a) e jatobá (b), aclimação das espécies na casa de vegetação (c), transplântio das mudas para os vasos (d e e).

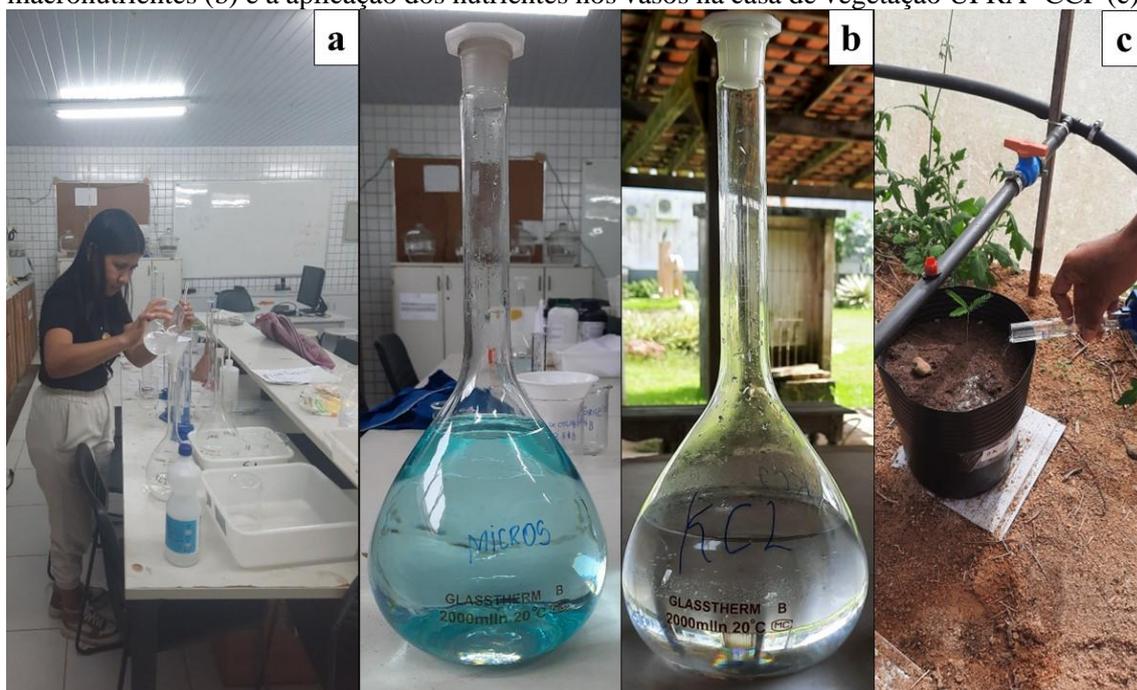


Fonte: Autora (2024).

3.7. Preparo e aplicação das soluções nutritivas

Um dia antes do transplântio das mudas, as soluções nutritivas foram preparadas no laboratório LEI para todos os tratamentos. Após o preparo das soluções contendo os micros e macronutrientes (Figuras 12a, 12b e 12c), deu-se início à aplicação na superfície de cada vaso das espécies da fava-orelha e jatobá. Na primeira aplicação, foram aplicados 10 ml na superfície de cada vaso para os micronutrientes e macronutrientes, enquanto para N e o P foram aplicados 20 ml em cada vaso.

Figura 12- Preparo das soluções nutritivas no laboratório LEI (a), soluções de micro e macronutrientes (b) e a aplicação dos nutrientes nos vasos na casa de vegetação UFRA- CCP (c).



Fonte: Autora (2024).

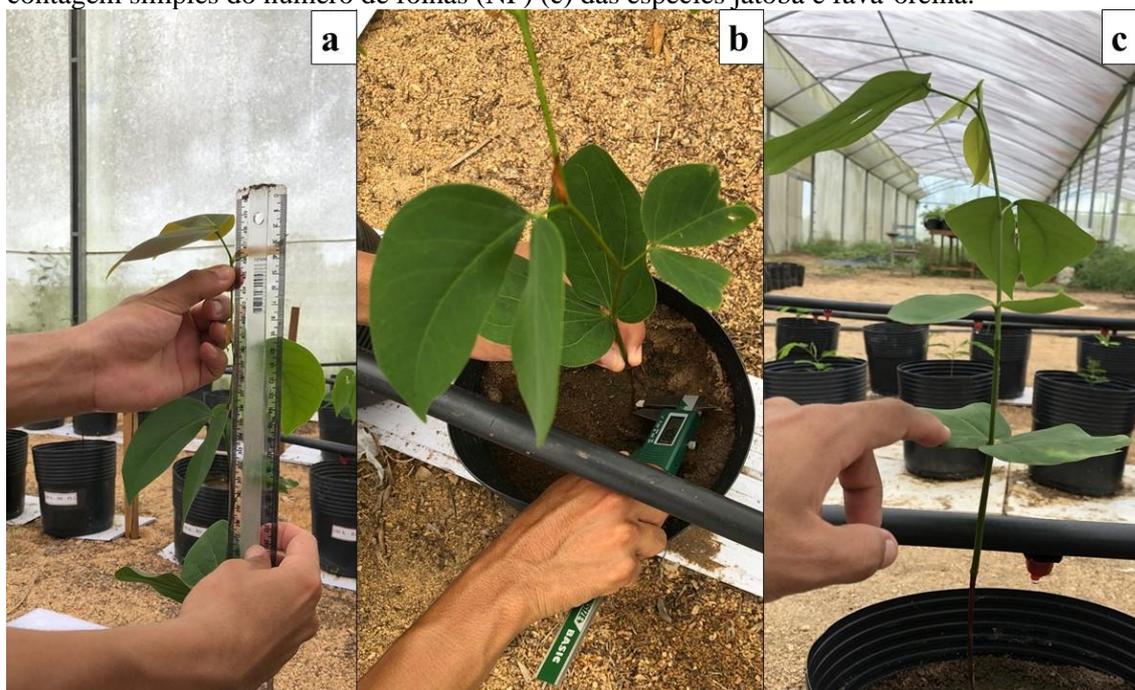
A aplicação do K foi parcelada em três vezes, assim como o N. A primeira aplicação (50 mg/dm^{-3}) de K e N foi feita durante o transplântio das mudas para todos os tratamentos de K. A segunda dose de K e N (50 mg/dm^{-3}) foi aplicada dois meses após o transplântio, e a terceira aplicação de K (100 mg/dm^{-3}) aconteceu três meses após o transplântio, para os tratamentos de 200 mg/dm^{-3} de K. Adicionalmente, realizamos a última aplicação de N no tratamento com a dose de 150 mg/dm^3 . Em vez de utilizarmos a mesma fonte de N, fosfato de amônio, nas segunda e terceira aplicações, optamos pela uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$).

3.8. Avaliações experimentais

3.8.1. Crescimento das plantas

O crescimento vegetativo foi realizado quinzenalmente, medindo-se a altura da planta (AP), o diâmetro do coleto (DC) e o número de folhas (NF). Inicialmente, a AP foi mensurada com um uso de uma régua (cm) (Figura 13a). Conforme as mudas cresceram, passamos a utilizar uma fita métrica, considerando a distância da superfície do solo até o ápice da planta. O DC obtido medido com auxílio de um paquímetro digital (mm) (Figura 13b), posicionando-o rente à superfície do solo. O NF foi contabilizado pela simples contagem de todas as folhas de cada planta (Figura 13c). Além disso, estimamos a razão AP/DC (índice de robustez) por meio da simples divisão dos valores dessas variáveis.

Figura 13- Mensuração da altura da planta (AP) (a), medição do diâmetro do coleto (DC) (b) e contagem simples do número de folhas (NF) (c) das espécies jatobá e fava-orelha.



Fonte: Autora (2024).

3.8.2. Trocas gasosas

As avaliações de trocas gasosas e conteúdo de clorofila total nas plantas foram realizadas ao final do período experimental (304 dias) após o transplantio (DAT), com auxílio do analisador de gases a infravermelho (IRGA), modelo LI-6400 XT (LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, EUA). As leituras foram feitas na folha do terço médio de cada planta, durante o período da manhã (8 às 10 h), com uma radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração de CO_2 de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e temperatura e umidade do ar ambiente (Figuras 14a e 14b). Foram mensuradas as variáveis de taxa de assimilação de CO_2 - A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condutância estomática- g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a transpiração- E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a razão entre a concentração foliar de dióxido de carbono intercelular (c_i) e atmosférico (c_a) (mol mol^{-1}). A eficiência do uso da água (EUA) foi estimada através da razão A/E . Adicionalmente, foi avaliado o déficit de pressão e vapor da água (DPV) (kPa). Para a obtenção do conteúdo de clorofila total, utilizou-se um clorofilômetro (SPAD-502 Plus) nas mesmas folhas em que foram realizadas as avaliações das trocas gasosas, realizando-se uma medição por folha de cada espécie e tratamento, evitando a nervura central (Figuras 14c e 14d).

Figura 14- Análise das trocas gasosas com auxílio do IRGA em plantas de jatobá (a) e fava-orelha (b) e avaliação da clorofila total (c e d) aos dez meses após o transplântio.



Fonte: Autora (2024).

3.8.3. Conteúdo relativo de água (CRA)

A avaliação do estado hídrico das plantas jovens foi realizada aos 10 meses após o transplântio das mudas, determinando-se o conteúdo relativo de água (CRA). A determinação do CRA consistiu na coleta de 20 discos de cada folha completamente expandida nas proximidades do ápice (a segunda folha mais próxima ao ápice) no período da manhã, entre 6:30 e 7:30 h. Para a coleta dos discos foliares, foi utilizado um furador de papel. Após a coleta, os discos foliares foram pesados em balança analítica para a determinação da matéria fresca (Mf). Posteriormente, o material foi transferido para placas de Petri, onde foi adicionado água destilada e deixadas por um período de 24 horas, sendo em seguida colocadas em um refrigerador com ausência de luz (Figura 15).

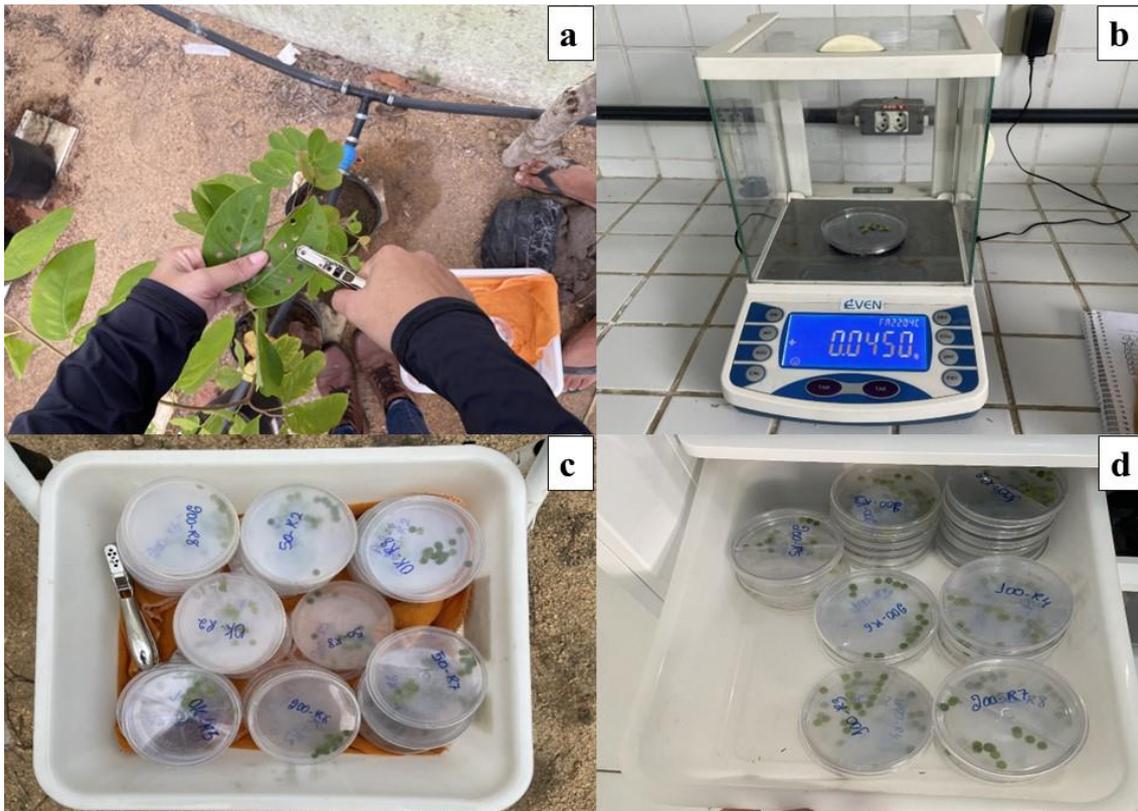
Após esse tempo, o material foi retirado das placas e colocado em papel toalha para a remoção do excesso da água. Em seguida, o material foi pesado novamente em balança analítica para determinação da matéria túrgida dos discos (Mt). Após a pesagem, o material foi colocado em envelopes de papel e transferido para uma estufa com circulação forçada de ar (65 °C) por 48 horas. Por fim, os discos foram pesados novamente em uma balança analítica para a determinação da matéria seca (Ms). Assim,

o CRA foi estimado (Eq. 2), segundo González e González Vilar (2001).

$$CRA = \frac{(Mf - Ms)}{(Mt - Ms)} * 100 \quad (2)$$

CRA= conteúdo relativo de água (%); Mf= massa fresca (g); Ms= massa seca (g); Mt= massa túrgida (g).

Figura 15- Coleta de os discos foliares (a), pesagem da massa fresca (b), aplicação de água destilada nos discos foliares em placas de petri com discos foliares submersos em água destilada (c) e armazenamento das placas de petri com discos submersos em refrigerador (d) no laboratório do LEI- UFRA- CCP.

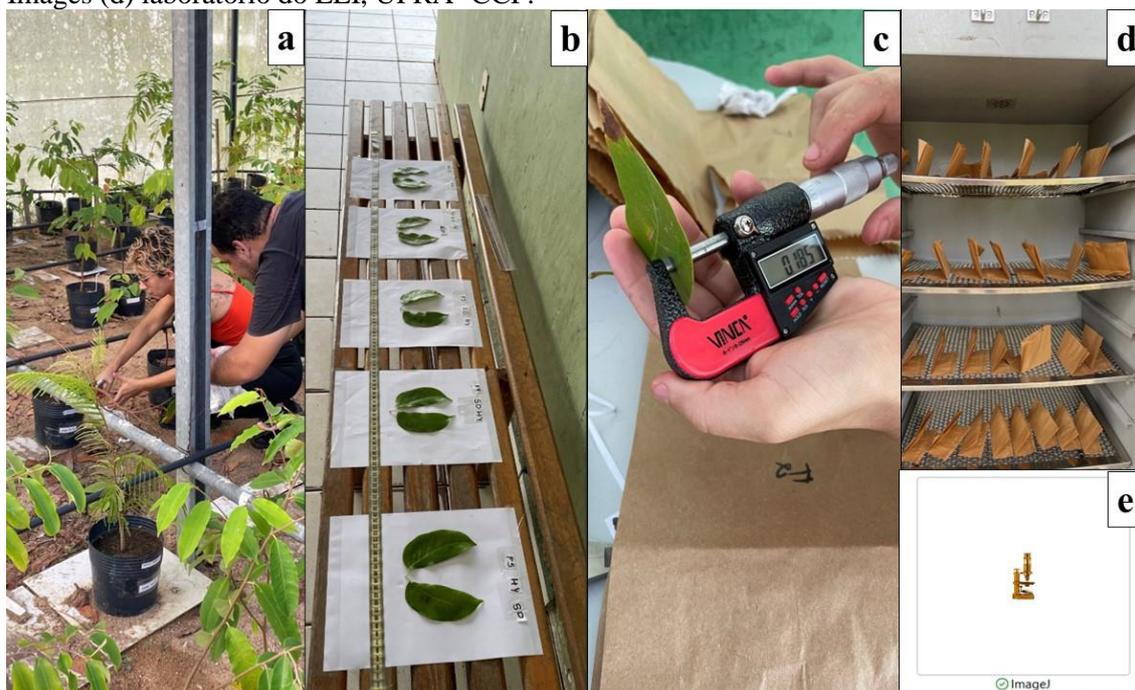


Fonte: Autora (2024).

3.8.4. Atributos funcionais

Ao fim dos experimentos (10 meses), coletamos cinco folhas adultas completamente expandidas (Figuras 16a e 16b) de cada uma das plantas jovens e mensuramos: 1) a espessura das folhas (LT, em mm), utilizando um micrômetro digital com resolução de 0,001 mm (Figura 16c); 2) área foliar (LA, em cm²), obtida por meio do software ImageJ (Figura 16e); 3) a área foliar específica (SLA), estimada com a LA dividida pela matéria seca (MS) obtida com a secagem das folhas em estufa até peso constante (SLA = LA/MS mm²/g⁻¹) (Figura 16d).

Figura 16- Coleta das folhas (a), identificação das folhas (b), micrômetro digital (c) e o software Images (d) laboratório do LEI, UFRA- CCP.



Fonte: Autora (2024).

3.8.5. Teor e acúmulo de K na parte aérea

Ao final dos experimentos, aos 10 meses após o transplante, as plantas jovens foram colhidas e secas em estufa a 70° C. As amostras da parte aérea (caule e folhas) foram passadas em moinho de facas Wiley no laboratório Multiusuários da UFRA-CCP. Posteriormente, foram armazenadas em tubos de ensaios e enviadas ao laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Amazônia Oriental para a determinação dos teores de K.

Os teores de K na parte aérea das plantas foram extraídos por digestão nitro-perclórica e determinados por fotometria de emissão de chamas (EMBRAPA, 1997). O acúmulo de K foi estimado em função do seu teor e a matéria seca da parte aérea- MSPA [Acúmulo= teor de K (g/kg) x MSPA (g/planta)] (Bataglia *et al.*, 1978). Também estimamos a eficiência de uso de K= $[(MSPA^2)/(acúmulo)]$

3.8.7. Biomassa das plantas

Ao final do experimento (10 meses), as plantas das espécies foram retiradas dos vasos e separadas em raiz e parte aérea. Logo após, foram pesadas em balança semi-analítica (precisão de 0,01 g) para obtenção da matéria fresca da raiz (MFR) e da parte aérea (MFPA). Posteriormente, as amostras vegetais foram secas em estufa (70° C) até atingirem o peso constante, para posterior pesagem visando à obtenção da matéria seca da raiz (MSR), da parte aérea-MSPA (caule + folhas) e do total-MST (MSR+MSPA),

além da razão MSR/MSPA. Adicionalmente, estimamos o Índice de qualidade de mudas de Dickson (Eq. 3) (Dickson *et al.*, 1960).

$$IQD = \frac{MST}{\frac{AP}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}} \quad (3)$$

IQD: Índice de qualidade de mudas de Dickson; MST (g): massa seca total (g); AP: altura da planta (cm); DC: diâmetro do coleto (mm); MSPA (g): massa seca da parte aérea; MSR (g): massa seca do sistema radicular (g).

3.9. Análise dos dados

Os dados foram testados quanto à normalidade e homogeneidade de variância por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, ambos ao nível de 5 % de probabilidade de erro. Quando os dados não atendiam aos pressupostos, realizou-se a transformação por logaritmo. Posteriormente, realizou-se a análise de variância ANOVA (Teste F; $p < 0,05$) para verificar se existiam diferenças significativas entre as médias dos tratamentos para cada espécie (experimentos paralelos). Quando os resultados apresentavam significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Também utilizamos o Modelo linear (ML), em que usamos a variável preditoras doses de K, água e déficit de pressão de vapor e água (DPV). As estimativas de dispersão para cada variável preditora foram calculadas, juntamente com os coeficientes de determinação do (R^2 c) e ajustado (R^2 ajustado), que indicam quanto da variação é explicada pelo modelo. As análises estatísticas e as figuras foram elaboradas com auxílio do software R, utilizando o pacote “STATS” para o modelo linear (ML), e do Python, utilizando o pacote “PANDA” para as demais figuras (Versão 3.12.3; Python Software Foundation) (R Development Core Team, 2021), respectivamente.

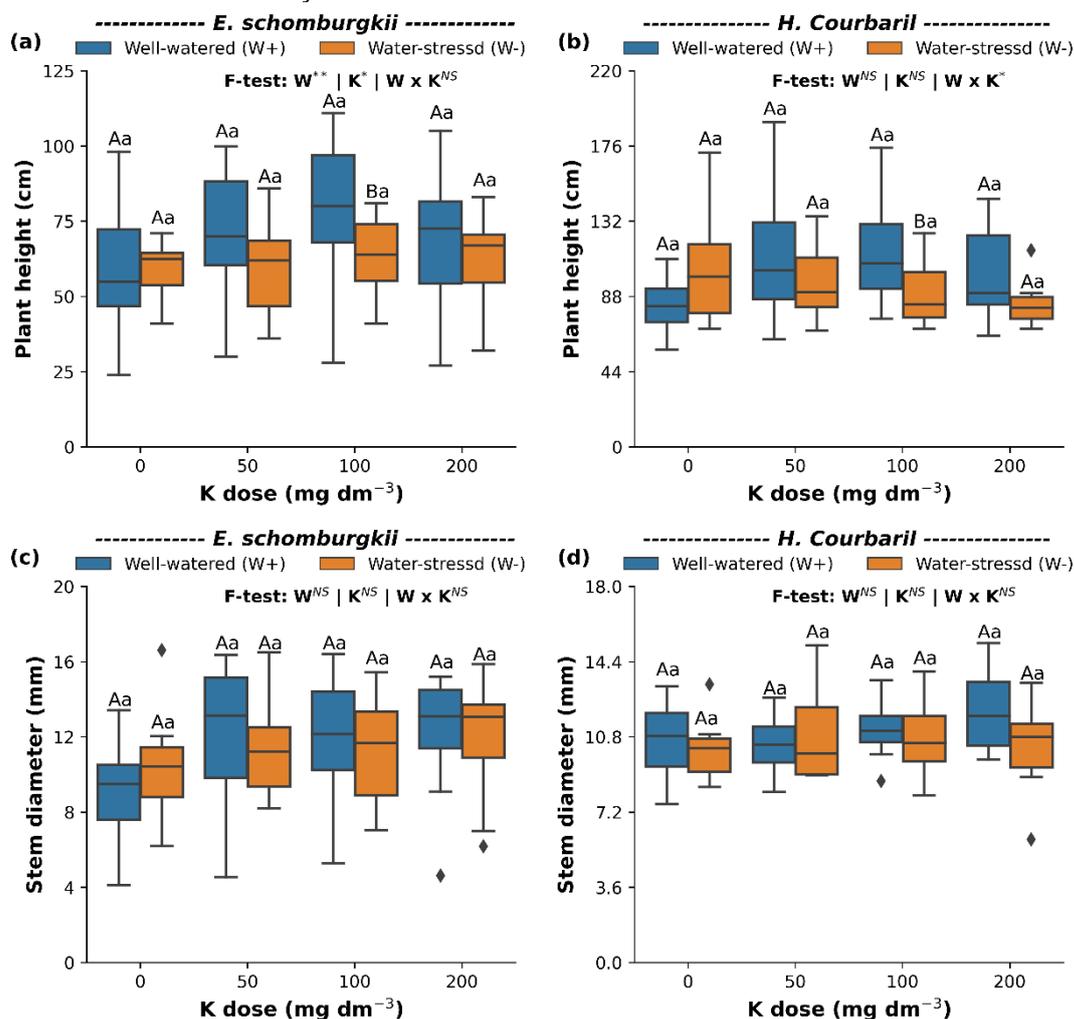
4- RESULTADOS

4.1. Crescimento das espécies fava-orelha e jatobá em função do suprimento de K e da condição hídrica

Houve pouca variação no crescimento em diâmetro e altura das plantas nos diferentes tratamentos de K (Figura 17). Houve efeito significativo do déficit hídrico ($F = 5,31$; $p = 0,02$) e das doses de K ($F = 1,59$; $p = 0,033$) para a altura das plantas para a espécie fava-orelha em função do aumento das doses de K, com maiores diferenças na dose de 100 mg/dm^3 de K (Figura 17a). Para a altura do jatobá, a interação entre a dose e as condições hídricas influenciou significativamente a altura da espécie ($F = 1,59$; $p = 0,019$), com os menores valores médios encontrados em condições de déficit hídrico na

dose de 100 mg/dm⁻³ (Figura 17b). Já para os valores médios do diâmetro do coleto (DC) não foram observadas diferenças significativas tanto para o aumento das doses de K, quanto para a condição de irrigação (Figura 17c e 17d). Estes resultados indicam menores taxas de crescimentos de plantas sob estresse hídrico e principalmente de alocação para crescimento em altura, mas com uma tendência de maiores taxas de crescimento em diâmetro para tratamentos com maiores concentrações de K, especialmente para fava-orelha (Figura 17d).

Figura 17- Altura (cm) e diâmetro do coleto (mm) das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.

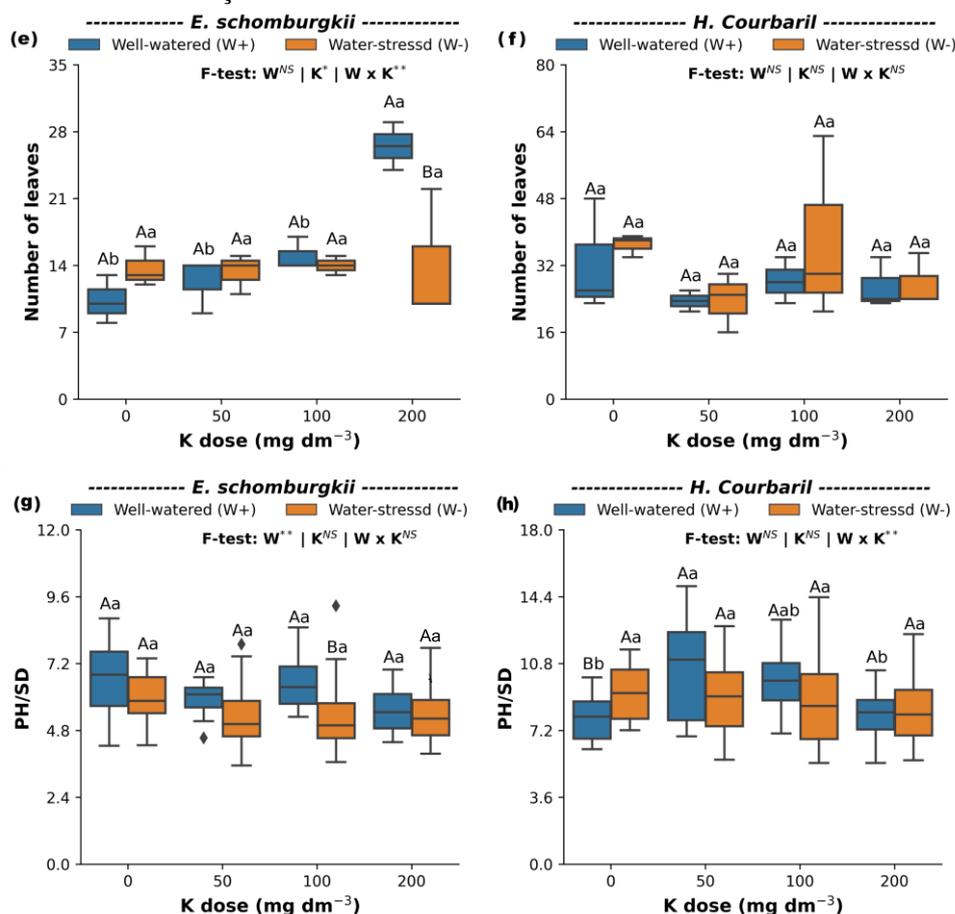


Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Em relação ao número de folhas da espécie fava-orelha, foi observada diferença significativa da interação entre as doses de K e o DH ($F = 4,94$; $p = 0,01$), com redução do número de folhas sob condição de irrigação adequada nas doses de 0, 50 e 100 mg/dm⁻³

de K, e para a interação entre a dose de 200 mg/dm⁻³ de K e a condição de déficit hídrico (F= 5,6; p= 0,008) (figura 18e). Já para a espécie jatobá, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 18f).

Figura 18- Número de folhas e a razão altura/diâmetro das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.



Teste F: W condição hídrica; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

Para a razão PH/SD da espécie fava-orelha, nota-se a redução dos valores médios apenas na condição de déficit hídrico na dose de 100 mg/dm³ (F= 7,81; p= 0,006) (Figura 18g). Para o jatobá, o déficit hídrico, em função do aumento das doses de K, não influenciou significativamente a razão PH/SD. Por outro lado, condição mais adequada de irrigação influenciou significativamente a razão, em função do aumento das doses de K, e a razão das mudas (PH/SD) (F= 3,41; p= 0,02) (Figura 18h).

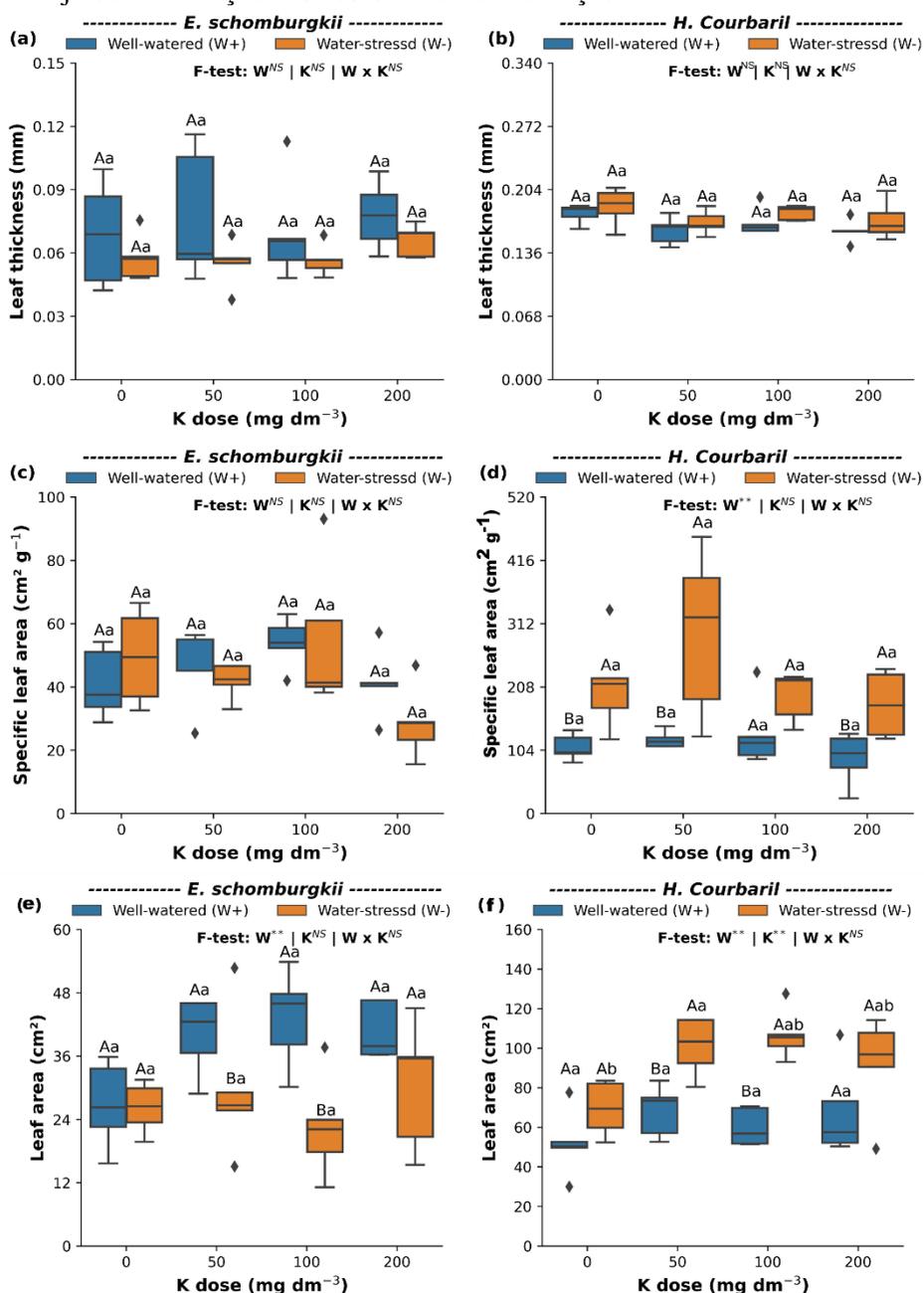
4.2 Atributos funcionais das espécies fava-orelha e jatobá em função do suprimento de K e da condição hídrica

Os tratamentos de K e o déficit hídrico afetaram significativamente os atributos funcionais foliares das espécies estudadas, mas com variação entre elas (Figura 19). As principais mudanças observadas foram: 1) área foliar menor para tratamentos com maiores doses de K para fava-orelha (Figura 19e) com efeito oposto para jatobá (Figura 19f); 1) redução do SLA para tratamentos com maiores doses de K para fava-orelha (Figura 19c), e aumento do SLA para plantas sob déficit hídrico para jatobá (Figura 19d).

O déficit hídrico, a condição de irrigação e as doses de K não influenciaram significativamente a espessura da folha (LT) das espécies fava-orelha (Figura 19a) e jatobá (Figura 19b). O déficit hídrico não influenciou significativamente a área foliar específica (SLA) da fava-orelha, assim como a condição adequada de irrigação e a dose de K (Figura 19c). A área foliar específica (SLA) do jatobá não apresentou respostas significativas para o déficit hídrico e para a interação entre a condição hídrica e as doses de K. No entanto, a condição adequada de irrigação foi significativamente influenciada ($F = 26,0; p = 0,00001$) pelo aumento da dose de K, mas essa influência não foi observada na interação entre a condição hídrica e a dose de K (Figura 19d).

Em relação à área foliar (LA) da espécie fava-orelha, observa-se menores valores médios em condição de déficit hídrico nas doses 50 e 100 mg/dm³. Com resposta significativa ao déficit hídrico ($F = 12,84; p = 0,001$) (Figura 19e). Para a espécie jatobá, nota-se uma redução da área foliar sob as doses de 100 e 200 mg/dm³ de K em condição adequada de irrigação (figura 19f) em função do efeito do aumento das doses de K e uma maior LA na dose de 200 mg/dm³ em condições de déficit hídrico. Houve um efeito significativo tanto do déficit hídrico ($F = 25,3; p = 0,00001$) quanto da dose de K ($F = 4,10; p = 0,014$).

Figura 19- Espessura da folha (LT), área foliar específica (SLA) e a área foliar (LA) das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.



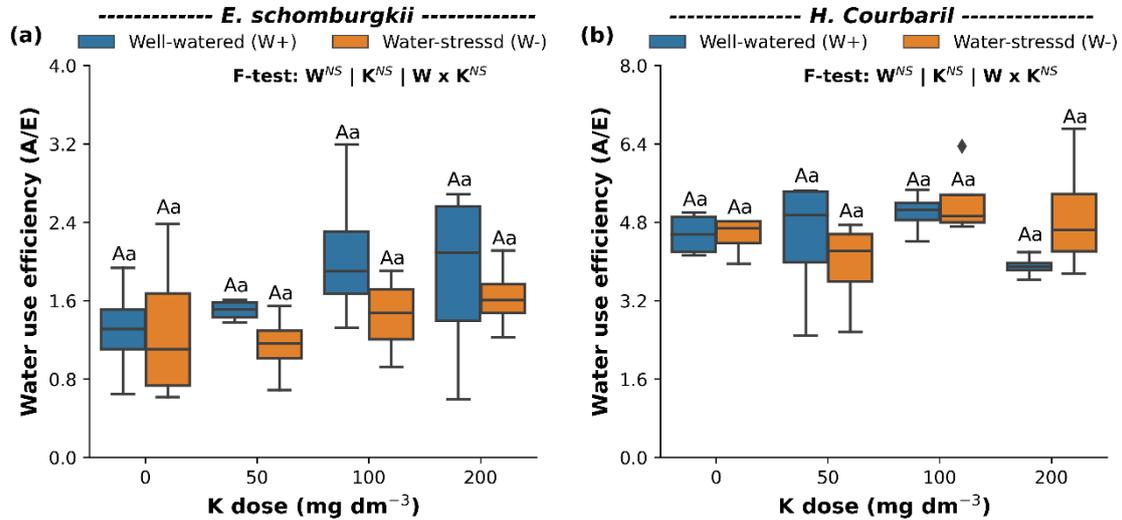
Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

4.3. Eficiência do uso da água (EUA) das espécies fava-orelha e jatobá em função do suprimento de K e da condição hídrica

A eficiência do uso da água (EUA) da fava-orelha não foi influenciada significativamente pela condição hídrica, ou pelas doses de K (Figura 20a). O jatobá

também não teve sua EUA influenciada significativamente pelos tratamentos de condições hídricas e doses de K (Figura 20b).

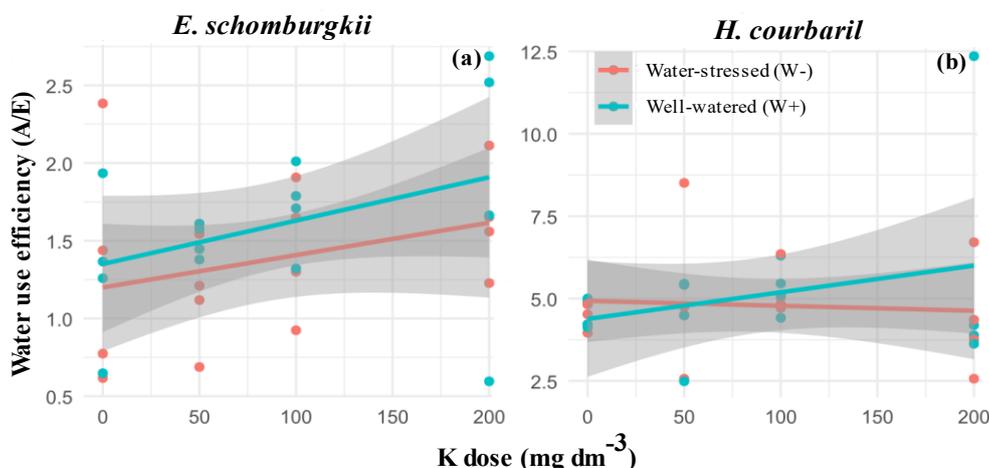
Figura 20- Eficiência do uso da água (EUA) das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Por outro lado, os resultados do modelo linear (ML) apontaram diferenças significativas para a EUA nos fatores preditos, como intercepto ($p= 0,015$; $\alpha < 0,05$), dose de K ($p= 0,045$; $\alpha < 0,05$), água ($p= 0,034$; $\alpha < 0,05$) e o déficit de pressão e vapor da água (DPV; kPa) ($p= 0,0004$; $\alpha < 0,001$) (Figuras 21a e Tabela 4). Houve uma relação linear entre a variável preditora e a resposta. O modelo apresentou um poder de explicação marginal de 46 % ($R^2c = 0,46$), indicando que os preditores explicam 46 % da variabilidade na EUA. Além disso, o ajuste condicional do modelo foi de 39 % ($R^2aj.= 0,39$), refletindo o ajuste do modelo considerando tanto os efeitos fixos quanto os aleatórios. Para a linha de tendência da EUA da fava-orelha, houve um aumento da EUA com as doses mais altas de K (100 e 200 mg/dm⁻³) sob condições de controle, mas uma redução sob déficit hídrico (Figura 21a).

Figura 21- Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a EUA das espécies fava-orelha e o jatobá em função das doses de K e da condição hídrica. Fatores aleatórios foram: dose de K, água, déficit de pressão e vapor da água (DPV_kPa). Estimativa= intercepto da variável preditora no modelo; R²= coeficiente de determinação; R²aj.= ajustado.



As linhas de tendências foram construídas com base em um modelo linear simples. Fonte: Autora (2024).

No caso da espécie jatobá, apenas o intercepto foi significativo ($p=0,01$; $\alpha < 0,05$), com um R²c de 0,18 e um ajuste de 0,06 (Figura 21b e Tabela 4). Quando observamos a linha de tendência da EUA do jatobá, é possível perceber que ela permaneceu relativamente constante sem déficit hídrico, apresentando uma leve redução sob déficit hídrico com o aumento das doses de K, conforme indicado pelos baixos valores do modelo (Figura 21b).

Tabela 4. Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a eficiência do uso da água (EUA) das espécies fava-orelha e o jatobá em função das doses de K e da condição hídrica. Os fatores aleatórios foram: dose de K, água e o DPV_kPa. Estimativa= intercepto da variável preditora no modelo; R²c = coeficiente de determinação; R²aj.= ajustado.

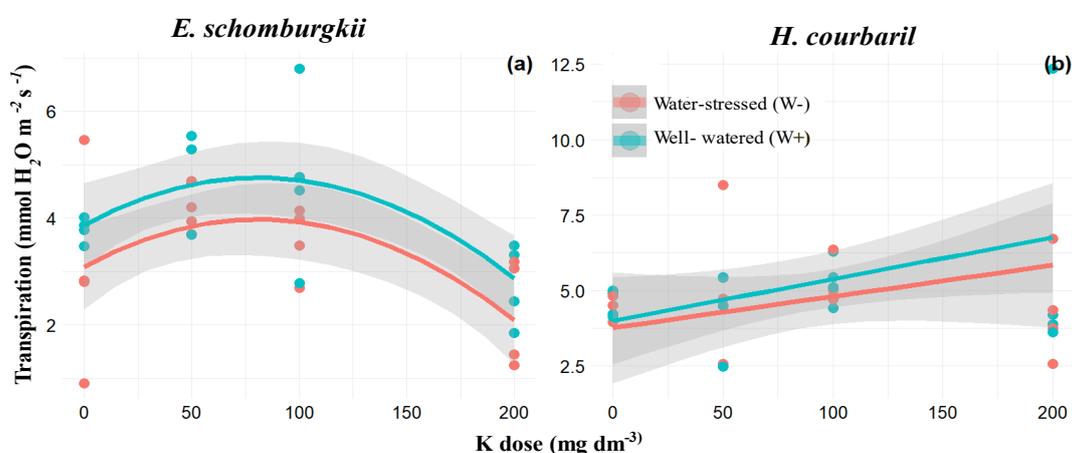
Variáveis	Estimativ	SE	“t valor”	p-valor
a				
Fava-orelha: R²c= 0,46; R² ajustado= 0,39				
Intercepto	-2,29	8,80	-2,58	0,015*
K	8,08	3,83	2,10	0,045*
Água	3,33	1,49	2,22	0,034*
DPV_kPa	1,58	3,99	3,96	0,0004***
Jatobá: R² c= 0,18; R² ajustado= 0,06				
Intercepto	18,01	6,66	2,70	0,01*
K	0,010	0,008	1,2	0,23 ^{ns}
Água	0,003	0,008	0,38	0,70 ^{ns}
DPV_kPa	-5,73	2,908	-1,9	0,068 ^{ns}

Legenda: Valores de significância: *** $\alpha \leq 0,001$; ** $\alpha \leq 0,01$; * $\alpha \leq 0,05$. SE (erro padrão).

Para avaliar a transpiração (E), os resultados do ML apontaram diferenças significativas para a E da fava-orelha nos fatores preditores como, intercepto ($p= 1,08$; $\alpha < 0,001$), dose de K ($p= 0,018$; $\alpha < 0,05$) e água ($p= 0,038$; $\alpha < 0,05$) (Figura 22a e Tabela

5). O modelo apresentou um poder de explicação de 43 % ($R^2_c = 0,43$), com uma explicação dos preditores de 43 % da variabilidade na E da espécie. Além disso, o ajuste condicional do modelo foi de 37 % ($R^2_{aj.} = 0,37$), refletindo o ajuste do modelo considerando tanto os efeitos fixos quanto os aleatórios. Para a linha de tendência da E da fava-orelha, diminui à medida que a dose de K aumenta, tanto para condições de estresse hídrico quanto bem irrigadas, com a condição bem irrigada começando com uma taxa de E ($5,9 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) mais alta (Figura 22a).

Figura 22- Modelo linear (ML) utilizado para avaliar a Taxa de Transpiração (E) das espécies fava-orelha e o jatobá em função das doses de K e da condição hídrica. Fatores aleatórios: doses de K e água. Estimativa= intercepto da variável preditora no modelo; R^2_c = coeficiente de determinação; $R^2_{aj.}$ = ajustado.



As linhas de tendências foram construídas com base em um modelo linear simples. Fonte: Autora (2024).

Por outro lado, o modelo não apresentou significância para a espécie jatobá para nenhuma variável preditora (Tabela 5), com um $R^2_c=0,71$ e R^2 ajustado de 0,011. Também mostra uma tendência de diminuição na taxa de E com o aumento da dose de K, mas com menor destaque entre as condições de estresse hídrico e bem irrigadas (Figura 22b).

Tabela 5. Modelo Linear (ML) utilizado para avaliar a Taxa de Transpiração das espécies fava-orelha e o jatobá em função das doses de K e do déficit hídrico. Os fatores aleatórios foram: dose de K, transpiração e a água. Estimativa= intercepto da variável preditora no modelo; R^2_c = coeficiente de determinação; $R^2_{aj.}$ = ajustado.

Variáveis	Estimativ	SE	Valor de "t"	p-valor
a				
Fava-orelha: $R^2_c = 0,43$; R^2 ajustado= 0,37				
Intercepto	3,09	3,87	7,98	1,08***
K	2,18	8,71	2,50	0,018*
Água	7,79	3,58	2,17	0,038*
Jatobá: $R^2_c = 0,71$; R^2 ajustado= 0,011				
Intercepto	2,32	2,74	8,43	0,33 ^{ns}

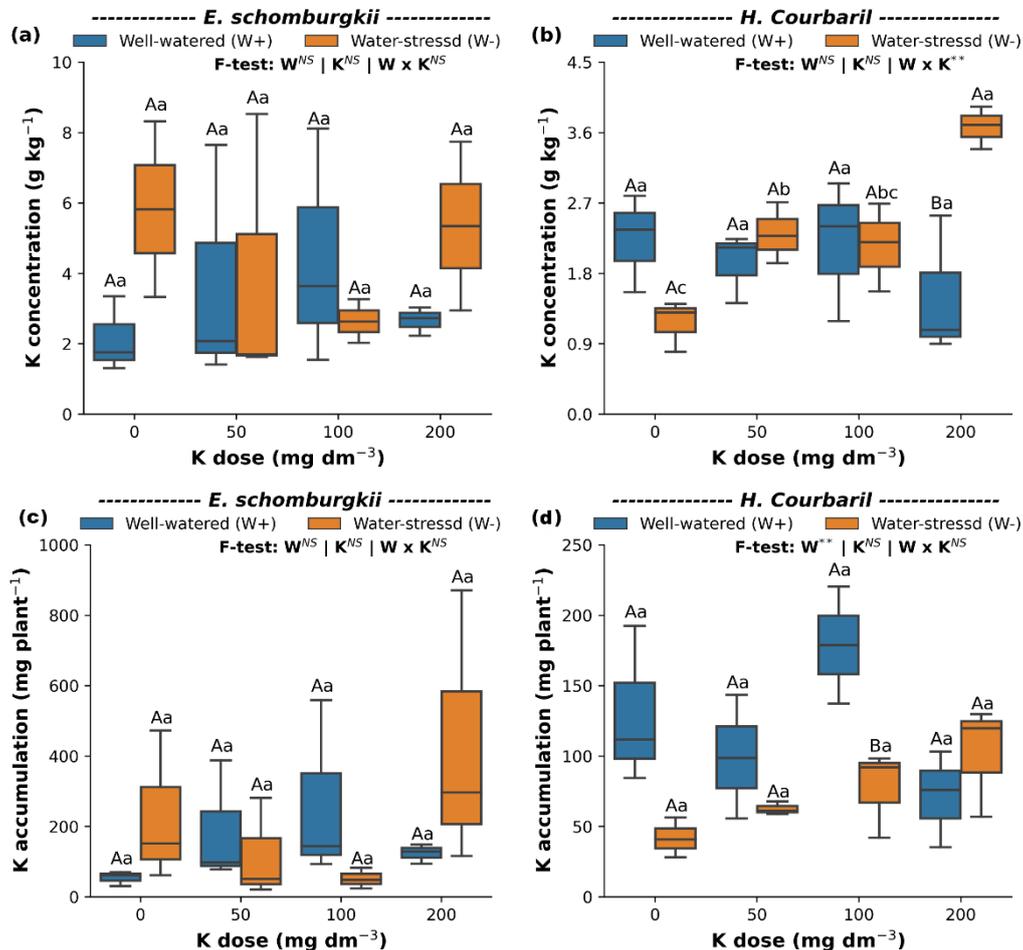
K	4,58	6,18	0,007	0,99 ^{ns}
Água	2,42	2,54	0,95	0,34 ^{ns}

Legenda: Valores de significância: *** $\alpha < 0,001$; ** $\alpha < 0,01$; * $\alpha < 0,05$. Transpiração (*E*) SE (erro padrão).

4.4. Concentração e acúmulo de K das espécies fava-orelha e jatobá em função do suprimento de K e da condição hídrica

A condição hídrica e as doses de K não influenciaram significativamente a concentração de K nas plantas da fava-orelha (Figura 23a). Por outro lado, DH afetou a concentração de K do jatobá ($F=7,63$; $p= 0,002$) em função do aumento das dose de K, especialmente na doses de 200 mg/ dm⁻³ (Figura 23b).

Figura 23- Concentração e acúmulo de K das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

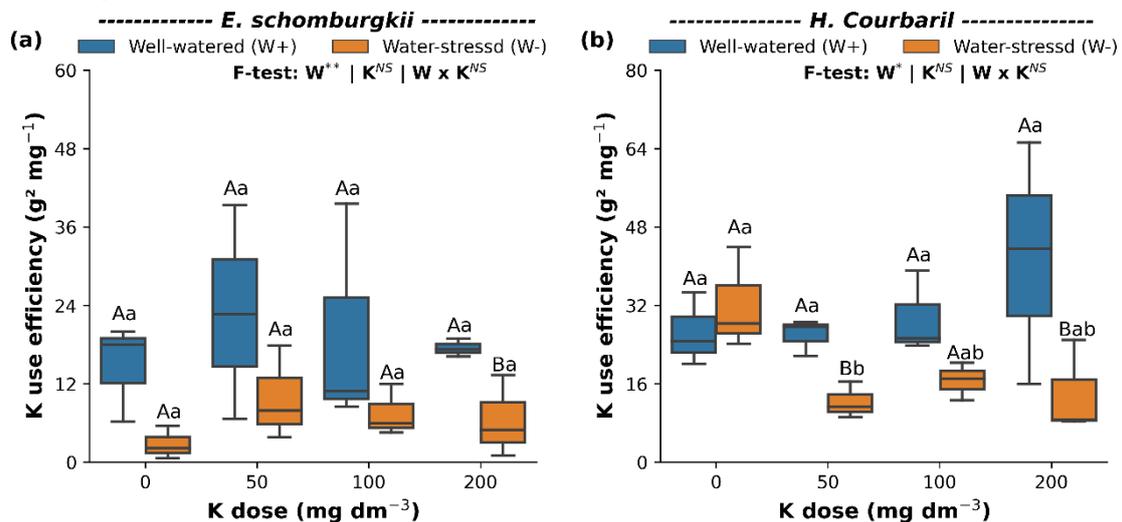
O déficit hídrico não afetou significativamente o acúmulo de K da fava-orelha, assim como a dose de K (Figura 23c). Para o jatobá, o déficit hídrico afetou

significativamente ($F= 9,4$; $p= 0,007$) o acúmulo de K da espécie, especificamente na dose 100 mg/dm^{-3} (Figura 23d), entretanto não houve resposta significativa com o aumento das doses de K.

4.5. Eficiência de uso de K das espécies fava-orelha e jatobá em função do suprimento de K e da condição hídrica

A eficiência do uso de K nas plantas de fava-orelha mostrou uma resposta significativamente maior (50 e 200 mg/dm^3) às condições hídricas ($F = 9,40$; $p = 0,007$) em função do aumento das doses de K para 200 mg/dm^3 (Figura 24a). Para a espécie jatobá, o déficit hídrico diminuiu significativamente ($F = 7,17$; $p= 0,01$) a eficiência do uso de K nas doses 50 e 200 mg/dm^3 (Figura 24b).

Figura 24- Eficiência de uso de K das espécies fava-orelha e jatobá em função das doses de K e da condição hídrica.



Teste F: W água, ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Fonte: Autora (2024).

5. DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo avaliar as respostas morfofisiológicas de duas espécies arbóreas nativas da Amazônia, submetidas a diferentes doses de adubação potássica sob condições de irrigação adequada e déficit hídrico. As espécies estudadas, fava-orelha, de crescimento rápido, e jatobá, de crescimento lento, foram expostas a um delineamento experimental fatorial que variou tanto a disponibilidade hídrica quanto a concentração de potássio. Os resultados demonstraram que maiores doses de K tendem a promover um aumento no crescimento em altura e diâmetro das plantas, além de melhorar significativamente a eficiência do uso da água, especialmente em fava-orelha sob

condições de estresse hídrico. A influência do K também se estendeu aos atributos funcionais foliares, com variações específicas entre as espécies. Por exemplo, fava-orelha apresentou redução na área foliar e no SLA com doses elevadas de K, enquanto jatobá mostrou respostas opostas sob condições de déficit hídrico. Esses achados sublinham o papel crucial dos nutrientes do solo, particularmente o K, na modulação das respostas das plantas às variações ambientais e estresses climáticos, reforçando a importância de considerar a nutrição mineral na gestão da resiliência das florestas tropicais às mudanças climáticas.

5.1. Crescimento das espécies fava-orelha e jatobá é influenciado pelas condições hídricas e pela dose de K

A altura (AP) da fava-orelha foi influenciada significativamente pelas condições e pelas doses de K, apresentando maiores alturas com o aumento das doses de K. O K é um elemento fundamental às plantas, sendo um mineral indispensável que desempenha um papel crucial nos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Manter o nível de K e sua proporção com outros nutrientes para as plantas, especialmente o sódio (Na), no ambiente de crescimento ou mesmo no nível celular, é essencial ao funcionamento normal da planta, favorecendo seu crescimento (Wang *et al.*, 2013). Esses resultados podem também ser atribuído às características das espécies, pois são espécies com alta tolerância à seca à intermediária, deve tornar-se mais abundante (Mcdowell *et al.*, 2008). Sob déficit hídrico, o crescimento é limitado, principalmente pela restrição hídrica, ou mesmo, a falta total dela.

A altura das plantas de jatobá apresentou redução nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico. Tal comportamento é corroborado por estudos que sugerem que, em condições de escassez hídrica, o crescimento é comprometido devido às limitações na divisão celular, conforme descrito por Farooq *et al.* (2009). Além disso, o K é essencial para o balanço osmótico celular, desempenhando um papel fundamental na manutenção da pressão de turgor, na síntese de ATP e na eficiência da fotossíntese (Praveen e Singh, 2023). Durante períodos de estresse hídrico, esses processos vitais podem ser significativamente prejudicados, impactando adversamente o crescimento vegetal. A dinâmica do crescimento em jatobá, portanto, pode ter sido afetada tanto pela disponibilidade de água quanto pela concentração de K no solo.

Adicionalmente, é importante considerar que a taxa de crescimento das árvores pode variar com a idade e as condições ambientais, sugerindo que os efeitos da

fertilização podem alterar-se ao longo do tempo (Chambi-Legoas *et al.*, 2023). Em um ambiente que se altera constantemente, as árvores precisam adaptar-se para garantir funções críticas como o transporte eficiente de água e a estabilidade mecânica (Lorenzi, 2009; Chen *et al.*, 2023). Pesquisas anteriores, como as de Andrade *et al.* (2018) e Duboc *et al.* (1994), observaram que mudas de jatobá apresentam baixa demanda em boro (B) e zinco (Zn), com uma alta sensibilidade à toxicidade destes elementos e uma demanda reduzida por K, o que reforça a complexidade dos mecanismos de adaptação dessas espécies frente a variáveis ambientais e nutricionais.

A falta de resposta do diâmetro do caule (DC) da fava-orelha e do jatobá aos tratamentos de condições hídricas e doses de K pode ser atribuída às respostas adaptativas de ambas as espécies. Sendo nativas, essas espécies não exigem grandes quantidades de nutrientes e disponibilidade de água para seu estabelecimento inicial (Braga *et al.*, 2009; Nascimento *et al.*, 2003). Ademais, o solo onde as plantas foram cultivadas provavelmente tinha disponibilidade suficiente de K para suprir suas necessidades, mesmo sem a adição de doses extras (Tabela 2). Além disso, o solo pode ter uma capacidade de retenção de água que reduziu (Solo arenoso, Tabela 3) os efeitos do déficit hídrico (Figura 7). As espécies fava-orelha e jatobá podem possuir mecanismos naturais que lhes conferem tolerância ao estresse hídrico e à variação de nutrientes (Braga *et al.*, 2009; Mojena *et al.*, 2016; Nascimento *et al.*, 2003). Adaptações morfológicas e fisiológicas, como sistemas radiculares profundos ou eficientes mecanismos de transporte de água, podem permitir a manutenção do crescimento do caule sob condições adversas (Nascimento *et al.*, 2011; Lorenzi, 2009; Chen *et al.*, 2023). Embora o K desempenhe um papel crucial em diversos processos fisiológicos das plantas, como a regulação osmótica, a síntese de proteínas e o transporte de nutrientes (Marschner, 2012), ele não influenciou o incremento no DC das espécies. Um suprimento adequado de K pode estimular um aumento substancial no diâmetro do coleto, indicando um crescimento robusto e plantas com alto índice de qualidade, como observado nos índices das espécies (Apêndice 7e e f).

O número de folhas (NF) da fava-orelha foi influenciado significativamente pelos tratamentos. As maiores produções de NF em função das maiores doses de K, podem ser atribuídas à necessidade da planta em sustentar a sua extensa área foliar e otimizar a eficiência fotossintética (Apêndice 5e) (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Essa necessidade resulta em uma maior demanda por K e outros elementos (Ca e Mg) para intensificar a

atividade enzimática, regular o equilíbrio hídrico e facilitar a transferência de energia durante a fotossíntese (Fernández *et al.*, 2006; Oddo *et al.*, 2011; Trankner *et al.*, 2018). Oddo *et al.* (2011) destacam que a maior disponibilidade de K melhora a condutância hidráulica da planta, proporcionando novas interpretações sobre o papel desse nutriente em condições de estresse hídrico.

O número de folhas do jatobá não foi influenciado pelas condições hídricas e pelas doses de K. No entanto, vale ressaltar que um maior crescimento foliar das mudas é desejável, pois as folhas desempenham um papel crucial na conversão de energia luminosa em energia química, fundamental ao crescimento e desenvolvimento inicial das plantas (Marengo e Lopes, 2005). A ausência de resposta do NF das plantas de jatobá também pode ser atribuída à sua eficiência na reabsorção e reutilização de nutrientes, especialmente em situações de estresse. Mesmo com baixa disponibilidade de K, a planta reabsorve esse nutriente de tecidos senescentes para sustentar a produção de folhas (Costa *et al.*, 2023). Além disso, a espécie de jatobá demonstra resiliência ao estresse hídrico, mantendo a produção de folhas mesmo com pouca água disponível (Nascimento *et al.*, 2011).

A razão altura da planta/diâmetro do coleto (PH/SD) da fava-orelha e do jatobá foi influenciada significativamente pela condição hídrica e pela interação com a dose de K influenciando na robustez das espécies. Isso sugere um aumento mais acentuado na altura em comparação ao diâmetro do colo. Quando há disponibilidade suficiente de água, as plantas geralmente direcionam mais recursos para o crescimento vertical a fim de otimizar a captação de luz solar, essencial à fotossíntese e ao desenvolvimento saudável das mudas (Taiz & Zeiger, 2016; Lombardini *et al.*, 2019). Sob deficiência hídrica, a razão PH/SD foi menor, plantas de jatobá, pode ser atribuída à sua eficiência na reabsorção e reutilização de nutrientes, especialmente em situações de estresse. Mesmo com baixa disponibilidade de K, a planta reabsorve esse nutriente de tecidos senescentes para sustentar a produção de folhas (Costa *et al.*, 2023). Além disso, a espécie demonstra resiliência ao estresse hídrico, mantendo a produção de folhas mesmo com pouca água disponível (Nascimento *et al.*, 2011).

5.2. Atributos funcionais das espécies fava-orelha e jatobá são influenciados pelas condições hídricas e pelo aumento da dose de K

A espessura da folha (LT) das espécies fava-orelha e jatobá não sofreu influência significativa das condições hídricas e as doses de K. Folhas de maior espessura tendem a

conter uma maior quantidade de matéria seca, o que significa uma maior capacidade de tolerância à seca em comparação com folhas de menor espessura (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Dessa forma, espécies com uma espessura foliar mais espessa têm uma maior probabilidade de sobreviver em ambientes desfavoráveis (Maracahipes-Santos *et al.* 2023). Assim, esse atributo pode ser uma vantagem significativa à sobrevivência das espécies em ambientes com estresse hídrico. A redução da espessura das folhas em períodos de escassez de água pode contribuir para a diminuição da perda de água por transpiração (Grossnickle, 2005). Entretanto, essas mudanças não foram verificadas neste estudo, o que evidencia a complexidade das interações entre os nutrientes do solo e os estresses ambientais na fisiologia das plantas e nas suas respostas.

Os tratamentos não provocaram alterações significativas na área foliar específica (SLA) da espécie fava-orelha. Pode ser que a fava-orelha possua uma habilidade intrínseca para regular seu crescimento foliar independentemente das variações na disponibilidade de água e K, mantendo uma área foliar estável. Além disso, é possível que as quantidades de água e K fornecidas nos tratamentos não tenham atingido os níveis críticos necessários para causar mudanças mensuráveis na área foliar específica. Outro fator a ser considerado é a possibilidade de outros nutrientes ou condições ambientais desempenharem um papel crucial no crescimento foliar desta espécie, neutralizando os efeitos isolados da água e do K (Hasanuzzaman *et al.*, 2018).

A irrigação adequada teve um efeito significativo na SLA do jatobá, que variou com o aumento das doses de K. Isso pode ser atribuído ao fato de que a folha é o órgão mais adaptável do indivíduo e mais vulnerável a variações ambientais (Costa *et al.*, 2022). Os valores de SLA variam de acordo com a intensidade da luz, o que pode indicar a eficiência fotossintética da espécie e maior capacidade de produção de biomassa, provavelmente devido à alta concentração de biomassa nas folhas, o que, conseqüentemente, aumenta a massa seca (Costa *et al.*, 2022). Além disso, uma vez que a principal fonte de energia para a planta é a fotossíntese, o sucesso ou insucesso de uma planta em um ambiente específico está fortemente influenciado pelas características de suas folhas (Costa *et al.*, 2022; Schlickmann *et al.* 2019). Valores baixos de SLA estão associados ao sombreamento e à redução da eficiência fotossintética em condições de pouca luz nas folhas, além da diminuição da disponibilidade de água nas células, o que resulta em uma menor pressão para a transpiração (Costa *et al.*, 2022). As diferentes anatomias e morfologias permitem a fotossíntese em ambientes com diversos fatores

limitantes, uma vez que diversas condições climáticas e ambientais, como grandes variações nos teores nutricionais do solo e baixa pluviosidade durante a estação seca, podem afetar a planta (Haridasan, 2008). Essas diferenças demonstram uma grande diversidade funcional entre as espécies analisadas, o que sugere que elas adotam estratégias ecológicas distintas.

A área foliar (LA) da fava-orelha sofreu uma alteração significativa devido ao tratamento adequado das condições hídricas, o que foi significativo. Dessa forma, é crucial adequar a oferta de água e ajustar a suplementação de K de acordo com as suas necessidades, uma vez que as doses de K não têm impacto significativo sob o déficit hídrico. Isso ocorre porque a água é crucial para processos fisiológicos importantes, como a fotossíntese, o transporte de nutrientes e a manutenção da pressão celular, que são fundamentais para o crescimento das plantas (Cox *et al.*, 2006; Campos; Santos; Nacarath, 2021). Ao mesmo tempo, a adição de K deve ser ajustada de acordo com as necessidades específicas das plantas quando há água disponível (Marschner, 2012), garantindo um balanço nutricional eficiente e evitando desperdícios.

A LA do jatobá foi significativamente influenciada pelo déficit hídrico e pelas doses de K. A espécie buscou um equilíbrio que considerasse tanto a disponibilidade de água quanto a de K, uma vez que ambos os fatores exercem influência direta na referida variável. Observou-se que a resposta adaptativa do jatobá envolveu ajustes morfológicos para otimizar a captação e o uso desses recursos, demonstrando a importância da interação entre nutrientes e condições hídricas no crescimento foliar. O jatobá é sensível ao déficit hídrico e ao suprimento de K, com a LA diminuindo sob déficit hídrico, especialmente com doses altas de K, possivelmente para reduzir a taxa de transpiração (Andrade *et al.*, 2018; Duboc *et al.* 1994). Quando a disponibilidade de água para as raízes diminui, o potencial hídrico celular é reduzido, o que resulta em menor turgescência das células (Scalon *et al.*, 2020; Valadares *et al.*, 2014). Como consequência, os estômatos se fecham, diminuindo a perda de água por transpiração. No entanto, ocorre uma queda na assimilação de carbono durante a fotossíntese, o que diminui a atividade da Rubisco e leva a uma menor produção de assimilados (Vandoorne *et al.*, 2012; Valadares *et al.*, 2020). Isso resulta em uma redução da LA e no crescimento das plantas, o que foi observado nos resultados da espécie jatobá. O aumento da LA com as maiores doses de K, em condições adequadas de água, indica o papel importante do K no crescimento foliar

(Fournier *et al.*, 2005). Ademais, a LA está geralmente relacionada à captação da luz solar (Costa *et al.*, 2022).

5.3. A eficiência do uso da água (EUA) das espécies fava-orelha e jatobá não foi influenciada pelas condições hídricas e pelas doses de K

Essa falta de significância para a EUA da espécie fava-orelha pode estar relacionada ao aumento da taxa de assimilação de CO₂, que aumentou em função da aplicação do K (Apêndice 2), tornando a planta mais eficiente no uso da água, podendo fixar mais carbono com a mesma quantidade ou até menor perda de água, ou mesmo por maiores índice de clorofila, pois uma planta pode ser mais eficiente no uso da água se tiver um índice de clorofila mais elevado (Apêndice 7) (Dodd; Hiron; Puértolas, 2023; Chen *et al.*, 2023). Isso resulta em uma maior produção de biomassa por unidade de água usada (Apêndice 6). Além disso, o K proporciona melhorias na regulação estomática e na osmorregulação da planta, na fotossíntese e no transporte dos nutrientes, ajudando a potencializar ainda mais a capacidade da planta de assimilar CO₂ de forma eficiente, otimizando o uso da água disponível (Fournier *et al.*, 2005). As plantas quando estão bem nutridas em K, conseguem ser mais resilientes a condições estressantes e, mesmo assim, manter seu crescimento (Figura 15). O aumento da eficiência no uso da água é essencial para otimizar o armazenamento de carbono nas florestas e, simultaneamente, preservar os recursos hídricos (Zhang *et al.*, 2023).

A EUA do jatobá também não foi influenciada pelos tratamentos, assim como o conteúdo relativo de água (Apêndice 4), visto que ele está diretamente relacionado à EUA das plantas. Essa falta de resposta pode ser atribuída à sua alta plasticidade fenotípica e ao seu hábito heliófilo, assim como ao seu crescimento secundário tardio, uma vez que jatobá não requer grandes quantidades de nutrientes e água para sustentar seu crescimento e desenvolvimento (Nascimento *et al.*, 2011). Espécies com essa característica de alta plasticidade fenotípica pode responder de forma variada a distintas condições ambientais e têm a capacidade de se desenvolver com recursos mínimos (Melo *et al.*, 2018; Tiago *et al.*, 2020). O *Jatobá* também é uma espécie anisóidrica capaz de usar estratégia extrema de uso de água, frente a um longo gradiente. A relação entre as concentrações de CO₂ dentro das células e no ambiente (C_i/C_a) é uma característica essencial, pois é coordenada com várias características hidráulicas e de alocação de carbono (Macieira *et al.*, 2021). O jatobá ajusta essas características ao longo de um gradiente climático, favorecendo altas

relações Ci/Ca em condições de calor e seca (Macieira *et al.*, 2021), o que vemos na sua razão sob déficit hídrico (Apêndice 3). Uma razão de Ci/Ca alta somente pode ser alcançado com um fornecimento contínuo de água, garantido por vasos mais amplos, juntamente com o investimento em açúcares solúveis, em vez de amido, provavelmente para sustentar a manutenção hidráulica (Macieira *et al.*, 2021), o que pode ter ocorrido pelo suprimento de K e auxiliado na manutenção do fornecimento de água no meio estressante.

Sob estresse hídrico, as plantas adaptam seu sistema radicular para aumentar a capacidade de absorção de água. Isso envolve explorar uma área maior do solo e aumentar a proporção de raízes com diâmetros menores, o que melhora a área de contato entre as raízes e o solo, aprimorando a capacidade de absorção de água (Chen *et al.*, 2023). Com isso, a análise da eficiência no aproveitamento da água pelo jatobá e pela fava-orelha, considerando a disponibilidade de K e a presença de déficit hídrico, desempenha um papel crucial em diversas áreas, incluindo o manejo sustentável de recursos naturais, a preservação de ecossistemas e a adaptação às alterações climáticas.

5.4. Modelo Linear (ML) mostrou que houve aumento na eficiência do uso da água (EUA) e na transpiração das espécies fava-orelha e jatobá

O modelo linear mostrou diferenças significativas na eficiência do uso da água em relação aos fatores preditores para a fava-orelha, o que indica que os preditores são responsáveis por cerca de metade da variação na eficiência do uso da água da espécie. Além do aumento da EUA devido às maiores doses de K em condições de irrigação adequada e aos menores níveis de déficit hídrico. O aumento da EUA é crucial para aumentar o armazenamento de carbono nas florestas e, ao mesmo tempo, preservar os recursos hídricos (Zhang *et al.*, 2023). A água desempenha papéis essenciais nas funções vitais das plantas, desde a absorção de nutrientes até a regulação da temperatura e a manutenção da estrutura celular (Cox *et al.*, 2006; Campos; Santos; Nacarath, 2021). Adicionalmente, é um dos principais fatores que interferem no desenvolvimento e no crescimento das plantas, uma vez que é a base para os principais processos bioquímicos necessários à sobrevivência vegetal (Cox *et al.*, 2006; Larcher, 2006; Kerbaudy, 2012; Berenguer *et al.*, 2021). Além da água, o K tem um papel importante na fotossíntese, regulando o turgor celular, facilitando o transporte dos produtos da fotossíntese das folhas para os órgãos drenos, ativando enzimas, controlando a abertura e fechamento dos

estômatos, aumentando a transferência de nutrientes e aumentando a pressão osmótica nas folhas (Battie-Laclau *et al.*, 2013; Flexas *et al.*, 2004; Albuquerque *et al.*, 2013).

No caso da espécie Jatobá, apenas o intercepto foi significativo, apresentando uma linha de tendência relativamente constante para o modelo de sua EUA. Esses resultados podem ser atribuídos às características da espécie, que consegue armazenar água em seus tecidos lenhosos, auxiliando na sobrevivência durante diferentes condições ambientais (Tiago *et al.*, 2020). Ademais, em períodos de estresse hídrico, a espécie pode diminuir suas atividades metabólicas, reduzindo a necessidade de água e energia para seu desempenho (Melo *et al.*, 2018). A espécie também é sensível a certas quantidades de nutrientes (Andrade *et al.*, 2018; Duboc *et al.*, 1994), o que pode influenciar a sua eficiência no uso da água.

O modelo linear também foi significativo para a taxa de transpiração (E) da fava-orelha, apresentando menores valores de E em função do aumento das doses de K. As plantas quando estão bem nutridas com K demonstram maior tolerância a secas devido à sua capacidade de reter água. Além disso, essas plantas demonstram uma diminuição na taxa de fotossíntese durante períodos de estresse hídrico, atribuída ao papel do K na produção de clorofila e adenosina trifosfato (ATP) (Malavolta *et al.*, 1997; Marschner *et al.*, 2014). Também, as espécies adotam estratégias para sobreviver ao déficit hídrico, as mais comumente observadas são o aumento da absorção de água por meio do crescimento em profundidade das raízes e a redução das perdas por transpiração, alcançada pela redução da área foliar e da radiação absorvida (Gomes *et al.*, 2004). As espécies que são tolerantes ao déficit hídrico possuem mecanismos para controlar a abertura e o fechamento estomáticos, tendendo a reduzir as perdas de água por transpiração. Isso pode ter influenciado na respostas da fava-orelha ao déficit hídrico.

Por outro lado, o modelo não apresentou significância para nenhuma variável preditora na taxa de transpiração do jatobá. Esses resultados podem ser influenciados pelas características morfológicas de suas folhas. Suas folhas são espessas, coriáceas e possuem tricomas (Nascimento *et al.*, 2011), o que minimiza a perda de água por transpiração, resultando em uma resposta adaptativa da espécie às alterações no ambiente. Durante o período de estresse hídrico, as plantas apresentaram reduções significativas na taxa de assimilação líquida de CO₂, na condutância estomática e na transpiração (Apêndice 2) (Albuquerque *et al.*, 2013).

5.5. A concentração e o acúmulo de K nas espécies fava-orelha e jatobá são influenciados pelas condições hídricas e pelo aumento das doses de K

Não houve resposta significativa para concentração e o acúmulo de K na fava-orelha com a aplicação dos tratamentos. É possível que, à medida que a dose de K aumenta, as raízes da fava-orelha priorizem a absorção de outros nutrientes presentes no solo, como cálcio (Ca) ou magnésio (Mg) ao invés do K, os quais, tem papéis importantes no aumento da resiliência das plantas ao estresse, assim como na manutenção do crescimento e da estabilidade do ecossistema (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Isso pode levar a uma absorção menos eficiente de K (Figura 24), o que pode ter influenciado na resposta das plantas da fava-orelha. Quando a planta cresce mais vigorosamente devido à maior disponibilidade de nutrientes, a quantidade absoluta de K no tecido pode aumentar, mas a concentração pode diminuir porque a biomassa total da planta aumenta, efeito diluição do K (Apêndice 5c). Assim, o K é distribuído em uma quantidade maior de material vegetal. À medida que a planta cresce, ela produz mais folhas, ramos e raízes, o que aumenta a área foliar específica para absorção de nutrientes (Figura 19) (Oddo *et al.*, 2011).

A planta, ao enfrentar condições adversas de falta de água, ajusta sua fisiologia para maximizar a eficiência do uso de nutrientes disponíveis, o que pode explicar a alta ou baixa concentração de K nos tecidos das plantas. Um desses mecanismos pode ser o acúmulo de solutos, como o K, nas células vegetais (Almeida *et al.*, 2020). Fato que não foi observado na fava-orelha o acúmulo de solutos/K. O K, atuando como ativador de reações metabólicas, auxilia as plantas a aumentarem a tolerância ao estresse (como seca ou altas temperaturas) ao influenciar a regulação estomática e a fotossíntese (Egilla *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2006; Oddo *et al.*, 2011). A regulação estomática adequada é essencial à produção contínua de energia na fotossíntese, resfriamento da planta e transporte de água e nutrientes (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Com a presença do K, as células-guarda estomáticas absorvem água e se abrem, permitindo a troca gasosa (Cochrane e Cochrane, 2009). Em condições de déficit hídrico, o K^+ é extravasado, fechando os poros e controlando a evapotranspiração, protegendo a planta do estresse hídrico (Cochrane e Cochrane, 2009). Níveis mais elevados de K podem ajudar as plantas a prolongarem a vida útil das folhas e aumentar sua capacidade de adaptação ao estresse ambiental (Peñuelas *et al.*, 2013; Shi *et al.*, 2024).

A concentração de K do jatobá foi maior em função das maiores doses aplicadas do nutriente. Esses resultados sugerem que o jatobá teve uma maior demanda em K na condição de déficit hídrico, assim como maiores acúmulos de K mostrando que a espécie exigiu mais suprimento para conseguir se adaptar a condição de estresse. A suplementação adequada de K melhora o ajuste osmótico e aumenta a capacidade de as plantas de resistirem ao estresse hídrico (Hasanuzzaman *et al.*, 2018), o que pode ter favorecido na resposta das maiores concentrações de K do jatobá com déficit hídrico. Em ambientes sem restrições hídricas, as plantas têm acesso suficiente à água para manter suas atividades fisiológicas normais, inclusive a absorção eficiente de nutrientes como o K (Oddo *et al.*, 2011).

Com água disponível em quantidade suficiente, as raízes podem absorver mais K do solo, resultando em maior concentração e acúmulo dele na planta (Wang *et al.*, 2013). Como em resposta ao déficit hídrico, a planta fecha seus estômatos para diminuir a perda de água por transpiração, o que afeta negativamente a absorção de nutrientes, inclusive o K (Giordano *et al.*, 2021). Além disso, o estresse hídrico pode desencadear respostas fisiológicas que afetam o transporte e a distribuição de K dentro da planta, diminuindo assim seu acúmulo nas células (Hasanuzzaman *et al.*, 2018; Oddo *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2013).

O acúmulo de K do jatobá foi influenciado significativamente pelas condições hídricas. Os maiores acúmulos de K ocorrem devido ao crescimento e desenvolvimento contínuos, que necessitam de quantidades elevadas de nutrientes, incluindo o K, para manter suas funções fisiológicas (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Além do mais, o acúmulo de íons K^+ provoca mudanças no potencial osmótico das células, o que leva à absorção de água e, como resultado, modifica a pressão de turgescência, ocasionando a abertura dos estômatos (Mendes *et al.*, 2013). O K é o íon monovalente livre mais abundante no citosol e desempenha várias funções essenciais nas plantas. Atua na manutenção do potencial de membrana, crucial para a abertura e fechamento dos estômatos, regulando a transpiração e as trocas gasosas (Prado, 2020; Gomes *et al.*, 2004). Além disso, é fundamental para a regulação osmótica e o equilíbrio hídrico das células vegetais (Mendes *et al.*, 2013).

O K é vital ao funcionamento de enzimas envolvidas no metabolismo de proteínas e carboidratos, além de desempenhar um papel importante na ativação de enzimas envolvidas na síntese de proteínas e na fotossíntese, promovendo o transporte de açúcares

e a síntese de ATP (França *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2021). Além do mais, o aumento no acúmulo de K nesta fase desenvolvimento está relacionado a diversos mecanismos fisiológicos e metabólicos, como o controle da pressão osmótica e o transporte e movimentação dos ribossomos, que afetam diretamente as taxas de síntese proteica do vegetal (Mahiwal e Pandey, 2022). Isso, faz com que o K controle a atividade da rubisco afetando sua biossíntese, estabilidade dos cloroplastos e os fluxos de nutrientes e água nas plantas (Tränkner *et al.*, 2018). Adicionalmente, o acúmulo de K nas raízes gera um gradiente osmótico que favorece a atração da água para as células radiculares (Hasanuzzaman *et al.*, 2018). Isso pode ter contribuído para os maiores acúmulos de K no jatobá em condições sem déficit hídrico, permitindo que as plantas se aclimassem ao estresse posteriormente. Esses resultados sublinham a importância de fornecer quantidades adequadas de K durante a fase inicial de crescimento da fava-orelha e do jatobá, para garantir um aporte nutricional adequado e promover o desenvolvimento saudável e produtivo dessas espécies, considerando as condições edafoclimáticas.

5.6. Eficiência de uso do K das espécies fava-orelha e jatobá foi influenciada pelas condições hídricas.

A eficiência de uso do K das espécies fava-orelha e jatobá foi significativamente influenciada pelo tratamento de condições hídricas. Isso destaca que ambas as espécies são capazes de se desenvolver em ambientes com baixa disponibilidade de K no solo, além de aumentarem sua eficiência de absorção e utilização desse nutriente. Os resultados podem ser explicados pelas características das espécies. A fava-orelha, por exemplo, é uma espécie heliófila, secundária inicial, com raízes pivotantes e profundas que lhe garantem a busca pelos recursos água e nutriente tanto que contribui significativamente para a retenção de água (Lorenzi, 2009; Chen *et al.*, 2023). Além disso, tolera condições específicas do solo e do ambiente (Braga *et al.*, 2009; Mojena *et al.*, 2016). O Jatobá, é caracterizado por ser uma espécie generalista, tendo grande capacidade de adaptação em diferentes condições edafoclimáticas (Nascimento *et al.*, 2003). A absorção e o transporte interno de K são componentes críticos da homeostase do K e podem contribuir para a sua eficiência (Yang *et al.*, 2023). Maiores valores de eficiência de uso do K indicam a capacidade da planta de se adaptar e reutilizar o K de órgãos senescentes (Costa *et al.*, 2023).

6- CONCLUSÕES

Este estudo analisou as respostas morfofisiológicas de duas espécies arbóreas nativas da Amazônia, fava-orelha e jatobá, submetidas a diferentes doses de potássio em condições de irrigação adequada e déficit hídrico. O aumento das doses de K contribuiu de forma positiva para o crescimento em altura de ambas as espécies. As variações na área foliar, área foliar específica, transpiração e eficiência do uso da água mostraram que o K pode desempenhar um papel relevante na mitigação do déficit hídrico, particularmente em espécies com menor tolerância à seca em termos hidráulicos, como a fava-orelha.

Os resultados demonstram que a disponibilidade de K pode aumentar a eficiência do uso da água e estabilizar a condutância estomática, reduzindo o impacto do déficit hídrico em espécies sensíveis. Além disso, o estudo sugere que o K tem um impacto sobre as estratégias da planta que promovem o crescimento vegetativo e a eficiência hídrica, especialmente sob condições de estresse hídrico. Essas descobertas enfatizam a importância das concentrações de potássio no solo como um elemento vital resistência das plantas aos fatores de estresse, o que destaca este nutriente como possível indicador da resiliência das florestas tropicais em face das mudanças climáticas.

7- REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. P. F.; MORAES, F. K. C.; SANTOS, R. I. N.; CASTRO, G. L. S.; RAMOS, E. M. L. S.; PINHEIRO, H. A. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n.1, p. 9-16, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100002>

ALMEIDA, E. P. Efeitos do potássio em mudas de *Myracrodruon urundeuva*, *Libidibia ferrea* e *Mimosa tenuiflora* sob curto período de déficit hídrico. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 5, e 97953269, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i5.3269>

ANDRADE, R. H. M. de; FREITAS, E. C. S. de; PAIVA, H. N. de; MEDEIROS, R. A. de. Adubação fosfatada na produção de mudas de *Cassia ferrugínea* e *Cassia grandis*. **Revista Nucleus**, v. 15, n. 1, abr. 2018. [10.3738/1982.2278.1792](https://doi.org/10.3738/1982.2278.1792)

ARAÚJO, E. C. Efeito do estresse hídrico no desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. *cebil* (Griseb) Altschul (ANGICO). **Revista Enciclopédia**, v. 19, n. 40, p. 192, 2022.

AHANGER, M. A.; TOMAR, N. S.; TITTAL, M.; ARGAL, S.; AGARWAL, R. M. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, n. 4, p. 731-744, 2017. [10.1007/s12298-017-0462-7](https://doi.org/10.1007/s12298-017-0462-7)

ANSCHUTZ, U.; BECKER D.; SHABALA S. Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, p. 670–687, 2014. [10.1016/j.jplph.2014.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.01.009)

BARBOSA, L. O.; DRESCH, D. M.; SCALON, L. Q.; SCALON, S. P. Q. Ecophysiological strategies of *Cedrela fissilis* Vell. seedlings under conditions of flooding and light availability. **Journal of Sustainable Forestry**, p.1-16, 2021. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1867183>

BANO, Chanda.; AMIST, Nimisha.; SINGH, N. B. Morphological and anatomical modifications of plants for environmental stresses. **Molecular plant abiotic stress: Biology and biotechnology**, p. 29-44, 2019. <https://doi.org/10.1002/9781119463665.ch2>

BATAGLIA, O. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; FURLANI, A. M. C.; Gallo, J. R. Métodos de análise química de plantas, IAC. Ed. Campinas, 1978.

BARBOSA, R. DE S.; PEREIRA, G. F. M.; RIBEIRO, S. S.; HAGE, A. L. F.; COSTA, G. F.; SALOMÃO, R. P.; SCHWARTZ, G. Key species selection for forest restoration after bauxite mining in the Eastern Amazon. **Ecological Engineering**, v. 162, n. June 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106190>

BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J.-P.; PICCOLO, M. DE C.; ARENQUE, B.C., BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M.R.A.; JORDAN-MEILLE, L.; BUCKERIDGE, M. S.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J.; BOUILLET, J.-P. Influence of potassium and sodium nutrition on leaf area components in *Eucalyptus grandis* trees. **Plant Soil**. n. 371, p. 19–35, 2013. [10.1007/s11104-013-1663-7](https://doi.org/10.1007/s11104-013-1663-7)

BRAGA, L. F.; SOUSA, M. P.; ALMEIDA, T. A. Germinação de sementes de *Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth. Submetidas a estresse salino e aplicação de poliamina. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, n. 11, v. 1, p. 63-70, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-05722009000100011>

BRANDO, P. M *et al.* Effects of partial throughfall exclusion on the phenology of *Coussarea racemosa* (Rubiaceae) in an east-central Amazon rainforest. **Ecologia**, v. 150, n. 2, p. 181– 89, 2006. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0507-z>

BRANDO, P. M *et al.* Droughts, wildfires, and forest carbon cycling: A Pantropical Synthesis. **Rev. Earth Planet. Sci.** v. 47, p. 555–81. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010235>

BERENGUER, E. *et al.* Tracking the impacts of *El Niño* drought and fires on human-modified Amazon forests. **Process. Natl Acad Sci EUA**, v. 118, p. 2019377118, 2021. [10.1073/pnas.2019377118](https://doi.org/10.1073/pnas.2019377118)

BEZERRA, A. C.; BARBOSA, L. S.; ZUZA, J. F. C.; AZEVEDO, C. F. Fisiologia e vigor de sementes de *Mimosa Caesalpinifolia* benth em condições de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n.1, p. 41- 46, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n6p383-389>

BERTI, C. L. F.; KAMADA, T.; SILVA, M. P.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, A. C.

S. Crescimento de mudas de baru em substrato enriquecido com nitrogênio, fósforo e potássio. **Cultura Agrônômica**, v. 26, n. 2, p. 191-202, 2017. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n2p191-202>

BUSATTO, P. C.; DA SILVA NUNES, A.; COLMAN, B. A.; DE LIMA MASSON, G. Superação de dormência em sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 154-160, 2013.

BOUSSADIA, O. *et al.* Response to drought of two olive tree cultivars (cv *Koroneki* and *Meski*). **Scientia Horticulturae**, v. 116, p. 388-393, 2008.

CAMPOS, A. J. M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Estresse hídrico em plantas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 15, e311101523155, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>

COSTA, A. M.; SILVA, P. O.; BARBOSA, K. P.; RODRIGUES, C. R. Nitrogen and Potassium Fertilization in the Initial Growth of *Annona crassiflora* Mart. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. 20170341, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.034117>

COSTA, A. M. **Doses de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio na produção de mudas e no estabelecimento de plantas de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne sob restrição hídrica.** Orientador: Leandro Carlos. 2020. 88 f. Tese (Ciências Agrárias - agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde- GO, 2020.

COSTA, A. M *et al.* Morphophysiological responses of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex *Hayne seedlings* submitted to potassium fertilization. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 1427-1443, July/Sept. 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509842754>

COSTA, J. P. *et al.* Traços funcionais de espécies arbóreas de cerrado sensu stricto e sua importância para a manutenção de comunidades nativas. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 4, p. 1807-1829, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509842472>

COSTA, M. G.; de MELLO PRADO, R.; dos SANTOS, S. M. M.; de SOUZA, A. E. S.; & de SOUZA JÚNIOR, J. P. Silicon mitigates K deficiency in maize by modifying C, N, and P stoichiometry and nutritional efficiency. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 16929, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44301-5>

COX, M. M.; LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L. **Princípios de bioquímica.** São Paulo, 2006. 1312p.

COCHRANE, T. T.; COCHRANE, T. A. The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. **Plant signaling & behavior**, v. 4, n. 3, p. 240-243, 2009. <https://doi.org/10.4161/psb.4.3.7955>

CUSTODIO, Aldo Max *et al.* Seasonal Variation in Physiological Traits of Amazonian *Coffea canephora* Genotypes in Cultivation Systems with Contrasting Water Availability. **Agronomy**, v. 12, n. 12, p. 3197, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123197>

CHAVARRIA, G.; DOS SANTOS, H. P. **Plant water relations: absorption, transport**

and control mechanisms. 2012. 105p.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought-from genes to the whole plant. **Functional plant biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

CHEN, Y. *et al.* Optimizing water conservation and utilization with a regulated deficit irrigation strategy in woody crops: A review. **Agricultural Water Management**, v. 289, p. 108523, 2023.

CHOI, W. G.; MILLER, G.; WALLACE, I.; HARPER, J.; MITTELER, R.; GILROY, S. Orchestrating rapid long- distance signaling in plants with Ca²⁺, ROS and electrical signals. **The Plant journal: for cell and molecular biology**, v. 4, n. 90, p. 698- 707, 2017. <https://doi.org/10.1111/tpj.13492>

CHAMBI- LEGOAS, R.; TOMAZELLO FILHO, M.; LACLAU, J. P.; CHAIX, G. Potassium fertilization enhances xylem plasticity and growth recovery of *Eucalyptus grandis* trees in response to drastic changes in water availability. **Forest Ecology and Management**, n. 528, p. 1206, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120656>

DIAS, A. T. C.; BOZELLI, R. L.; DARIGO, R. M.; ESTEVES, F. DE A.; DOS SANTOS, H. F.; FIGUEIREDO-BARROS, M. P.; NUNES, M. F. Q. S.; ROLAND, F.; ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Rehabilitation of a bauxite tailing substrate in Central Amazonia: The effect of litter and seed addition on flood-prone forest restoration. **Restoration Ecology**, v. 20, n. 4, p. 483- 489, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00811.x>

DICHIO, B.; MARGIOTTA, G.; XILOYANNIS, C.; BUFO, S. A.; SOFO, A.; DONG, H.; FENG, Z.; YANG, Y.; LI, P.; YOU, Z. Sustainability assessment of critical natural capital: a case study of water resources in Qinghai Province. China. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125532, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125532>

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, Quebec, v. 36, n. 1, p.10-13, 1960.

DODD, I. C.; HIRONS, A. D.; PUÉRTOLAS, J. Plant-water relations. **Encyclopedia of Soils in the Environment**, v. 5, p. 516- 526, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00253-6>

DUBOC, E.; VENTORIM, N.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. **Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. Var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.)**. Orientador: Antônio C. Davide. 1994. 113 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal) Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras /UFLA, p. 113, 1994.

EGILLA, J. N.; DAVIES, F. T.; BOUTTON, T. W. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. **Photosynthetica**, v. 43, p. 135-140, 2005. [10.1007/s11099-005-5140-2](https://doi.org/10.1007/s11099-005-5140-2)

FALCÃO, H. M. *et al.* Phenotypic plasticity and ecophysiological strategies in a tropical

dry forest chronosequence: a study case with *Poincianella pyramidalis*. **Forest Ecology and Management**, v. 340, p. 62-69, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.12.029>

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n.1, p.185- 212, 2009. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>

FARIAS, D.C.; CAVALCANTI, M.; M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; LIMA, A. K.V DE O. Qualidade fisiológica de sementes de jatobá submetidas a diferentes temperaturas criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 67-74, 2006.

FABBRIZZI, E *et al.* The challenge of setting restoration targets for macroalgal forests under climate changes. **Journal of Environmental Management**, v. 326, p. 116834, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116834>

FELIX, F. C.; ARAÚJO, F. S.; SILVA, M. D.; FERRARI, C. S DOS. S.; PACHECO, M. V. Estresse hídrico e térmico na germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, n. 2, p. 5515, 2018. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5515>

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004.

FERNANDES, L. A *et al.* Níveis de nitrogênio, fósforo e potássio para a produção de mudas de fava d 'anta (*Dimorphandra mollis* Benth). **Revisita Brasileira Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 94-99, 2008.

FERNÁNDEZ, Manuel; NOVILLO, Carlos; PARDOS, José A. Effects of water and nutrient availability in *Pinus pinaster* Ait. open pollinated families at an early age: growth, gas exchange and water relations. **New Forests**, v. 31, p. 321-342, 2006.

FOURNIER, J. M.; ROLDÁN, Á. M.; SÁNCHEZ, C.; ALEXANDRE, G.; BENLLOCH, M. K⁺ starvation increases water uptake in whole sunflower plants. **Plant Science**, v. 168, p. 823–829, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.10.015>

FRANÇA, G. M.; FREIRE, A. L. O.; BATISTA, A. W.; FERREIRA, C. D.; FERREIRA, D. R. S. O potássio atenua os efeitos do déficit hídrico em mudas de pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc.). **Conjecturas**, v. 22, n. 2, 2022. [p.n]. [10.53660/CONJ-662-701](https://doi.org/10.53660/CONJ-662-701)

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity *in* C3 plants. **Plant Biology**, v. 6, p. 269-279, 2004. [10.1055/s-2004-820867](https://doi.org/10.1055/s-2004-820867)

GIORDANO, M.; PETROPOULOS, S. A.; CIRILLO, C.; ROUPHAEL, Y. Biochemical, physiological, and molecular aspects of ornamental plants adaptation to deficit irrigation. **Horticulturae**, v. 7, n. 5, p. 107, 2021. [10.3390/horticulturae7050107](https://doi.org/10.3390/horticulturae7050107)

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R.; SANTOS DOS, S. R. N. Germinação e vigor de sementes de Apeiba tibourbou submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Revista Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013. <https://doi.org/10.5902/198050988438>

GONZÁLEZ, L. e GONZÁLEZ, M. **Determination of relative water content. In: ROGER, M. J. R. (Ed.). Handbook of Plant Ecophysiology Techniques.** New York: Kluwer Academic Publishers, 2001. 207- 212p.

GOMES, M. M. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 155-161, 2004.

GROSSNICKLE, S. C. Importance of root growth in overcoming planting stress. **New forests**, v. 30, n. 2, p. 273-294, 2005. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-8303-2>

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.183-195, set. 2008.

HASSAN, A. G.; FULLEN, M. A.; OLOKE, D. Problems of drought and its management in Yobe State, Nigeria. **Weather and Climate Extremes**, v. 23, p. 100192, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100192>

HIRPA, F. A.; ALFIERI, L.; LEES, T.; PENG, J.; DYER, E.; DADSON, S. J. Streamflow response to climate change in the Greater Horn of Africa. **Climatic Change**, v. 156, n. 3, p. 341-363, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02547-x>

HEREME, R.; MORALES, N. S.; BALLESTEROS, G.; BARRERA, A.; RAMOS, P.; GUNDEL, P. E.; MOLINA, M. M. A. Fungal endophytes exert positive effects on *Colobanthus quitensis* under water stress but neutral under a projected climate change scenario in Antarctica. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 264, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00264>

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: BLACK, C. A., ed. **Methods of Soil Analysis. I. Physical and mineralogical methods.** Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 635-662.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology** (4rd Edn), Rima, São Carlos, 2006. 550p.

LEGOAS, R. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; LACLAU, J. P.; CHAIX, G. Potassium fertilization enhances xylem plasticity and growth recovery of *Eucalyptus grandis* trees in response to drastic changes in water availability. **Revista Forest Ecology and Management**, v. 528, p. 120656, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120656>

LEMES, R. L.; SILVA FILHO, P. C.; SOUZA, P. R. L.; SANTOS, L. W. Superação de dormência e produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes substratos. **Uniciências**, v. 26, n. 2, p. 120-123, 2022. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n2p120-123>

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas**

- arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v. 3, 2009. 14p.
- LOMBARDINI, L.; ROSSI, L. Ecophysiology of plants in dry environments. **Dryland ecohydrology**, p. 71-100, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23269-6_4
- KASEKER, J. F.; ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; ROSA, E. F. F. Distribuição das formas de potássio no solo em decorrência da aplicação de calcário. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 21, n. 1, 2021. [p.n]. <https://doi.org/10.5965/223811712112022035>
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 168, n. 4, p. 521-530, 2005. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.
- KRAMER, P. J.; BIDDULPH, O.; NAKAYAMA, F. S. Water absorption, conduction, and transpiration. **Irrigation of Agricultural Lands**, v. 11, p. 320-336, 1967. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr11.c18>
- MARENCO, R. A., LOPES, N. F. (2005). **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa MG: UFV, 2005. 451p.
- MACIEIRA, B. P. B. *et al.* Will climate change shift carbon allocation and stem hydraulics? Insights on a systemic view of carbon-and water-related wood traits in an anisohydric tropical tree species (*Hymenaea courbaril*, Leguminosae). **Ecological Indicators**, v. 128, p. 107798, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107798>
- MALAVOLTA, E. 1980. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, São Paulo. 1980. 251p
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 55- 105p.
- MAHIWAL, S.; PANDEY, G. K. Potassium: a vital nutrient mediating stress tolerance in plants. **Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology**, v. 31, n. 4, p. 705-719, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13562-022-00775-4>
- MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3 ed. New York: Academic Press, 2012. 61-50p.
- Maracahipes-Santos, L. *et al.* Intraspecific trait variability facilitates tree species persistence along riparian forest edges in Southern Amazonia. **Scientific Reports**, v. 13, p. 12454, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39510-x>
- MENDES, H. S. J.; DE PAULA, N. F.; SCARPINATTI, E. A.; DE PAULA, R. C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à

disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Revista Cerne**, v. 19, p. 603- 611, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000400010>

MEURER, E. J.; TIECHER, T.; MATTIELLO, L. Potássio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, A. L. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018. 429 – 456p.

MEIR, P. *et al.* The effects of drought on Amazonian rain forests. **Amazonia and global change**, v. 186, p. 429-449, 2009.

MELO, N. M. J. *et al.* Elevated CO₂ concentration improves functional traits and early growth of the widespread species *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences, v. 40, p. 1-9, 2018. Doi:

MOTA, D. A.; ARAÚJO, K. V.; DOBBS, L. B. Escarificação ácida na superação de dormência de *Enterolobium schomburgkii*. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas-TO, v. 4, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.36725/agries.v4i2.734>

MOJENA, P. A.; CHORMIAK, D. I. G.; MIRANDA, Y. Harvest season and physiological quality of *Enterolobium schomburgkii* Seeds. **Scientific Electronic Archives**, v. 9, n. 4, p. 20-25, 2016.

MOJENA, P. A.; BARRETO, M. R.; NAPOLES, J. R.; SNIPE, R. C. REGISTRO Y DAÑO Causado Por *Mimosestes enterolobii* Kingsolver & Johnson, 1978 (Coleoptera: Bruchidae) en semillas de *Enterolobium Schomburgkii* BENTH. (BENTHAN, 1844) (Fabaceae) en Mato Grosso, Brasil. **Acta zoológica mexicana**, v. 36, p. 1-7, 2020. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612247>

MORAES, C. B *et al.* Influência do uso de biorreguladores no crescimento de *Hymenaea courbaril*. **Revista do Instituto Florestal**, v. 25, n. 2, p. 223-229, 2013. <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2013252413>

MONDINI, D. P. S.; SANTIAGO, E. F.; DANIEL, O.; SILVA, J. V.; FRANCISCO, N. S. Características fisiológicas de mudas de *Eucalyptus* sp sob diferentes concentrações de potássio. **Agrarian**, Dourados, v. 12, n. 43, p. 40-47, 2019. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.4065>

MUKARRAM, M.; CHOUDHARY, S.; KURJAK, D.; PETEK, A.; KHAN, M. M. A. Drought: Sensing, signalling, effects and tolerance in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 291-1300, 2021. <https://doi.org/10.1111/ppl.13423>

MULET, J. M.; PORCEL, R.; YENUSH, L. Modulation of potassium transport to increase abiotic stress tolerance in plants. **Journal of Experimental Botany** , v. 74, n. 13, p. 5989–6005, 2023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad333>

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) Em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400005>

NASCIMENTO, H. H. C.; SANTOS, C. A.; FREIRE, C. S.; SILVA, M. A.;

NOGUEIRA, R. J. M. C. Ajustamento osmótico em mudas de jatobá submetidas à salinidade em meio hidropônico. **Revista Árvore**, v. 39, p. 641-653, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000400005>

NASCIMENTO, N. F.; NASCIMENTO, L. B. B.; GONÇALVES, J. F. C. Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Revista Ciência florestal**, v. 29, n. 3, p. 1019-1032, jul./set. 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509832658>

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L.; GOMES, A. B. B.; CASTRO, L. R. C.; LIRA, B. R. P. Caracterização socioeconômica e ambiental da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.8714>

FLORES, Bernardo M. *et al.* Critical transitions in the Amazon forest system. **Nature**, v. 626, n. 7999, p. 555-564, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0>

NIO, S. A.; CAWTHRAY, G. R.; WADE, L. J.; COLMER, T. D. Pattern of solutes accumulation during leaf osmotic adjustment as related to duration of water deficit for wheat at the reproductive stage. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 10, p. 1126-1137, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.05.011>

NOAH, Paul H. *et al.* Identifying resilient restoration targets: Mapping and forecasting habitat suitability for *Castanea dentata* in Eastern USA under different climate-change scenarios. **Climate Change Ecology**, v. 2, p. 100037, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecochg.2021.100037>

OLIVEIRA, L.M.; CARVALHO, M. L. M.; SILVA, T. T. A.; BORGES, D. I. Temperatura e regime de luz na germinação de sementes de *Tabebuia impetiginosa* (Martius ex A. P. de Candolle) Standley e *T. serratifolia* Vahl Nich. – Bignoniaceae. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 3, p. 642-648, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000300020>

ODDO, E *et al.* Short-term effects of potassium fertilization on the hydraulic conductance of *Laurus nobilis* L. **Tree Physiology**, v. 31, n. 2, p. 131-138, 2011. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq115>

PEREIRA, M. R. R.; MARTINS, C. C.; MARTINS, D.; SILVA, R. J. N. Estresse hídrico induzido por soluções de PEG e de NaCl na germinação de sementes de nabiça e fedegoso. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 687-696, 2014. <http://hdl.handle.net/11449/113234>

PEREZ-HARGUINDEGUY, N. *et al.* New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Aust. Bot.** v. 61, p. 167-234, 2013.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>

PINTO, M. C.; FERNANDES, F. J. A.; DE OLIVEIRA, P.; PINTO, O. R. O. Relações hídricas, trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidos a ciclos de

deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 31- 40, 2014. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v35i1.9867>

PRADO, R de. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, Ed. UNESP, 2008. 286p.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas** (2nd ed.). Jaboticabal: Editora UNESP, 2020. 416p.

PRAVEEN, A.; SINGH, S. The role of potassium under salinity stress in crop plants. **Cereal Research Communications**, 2023 [p. n]. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00393-3>

PHILLIPS, O. L *et al.* Sensibilidade à seca na floresta amazônica. **Ciência**, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009. <https://doi.org/10.1126/science.1164033>

PEÑUELAS, J *et al.* Human-induced nitrogen–phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. **Nature communications**, v. 4, n. 1, p. 2934, 2013. <https://doi.org/10.1038/ncomms3934>

RAMOS, M. B. P.; FERRAZ, I.D.K. Estudos morfológicos de frutos, sementes e plântulas de *Enterolobium schomburgkii* Benth. (Leguminosae-Mimosoideae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31, n. 2, p. 227-235, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042008000200005>

RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O. Physiological responses of *Cnidocolus quercifolius* Pohl in semi-arid conditions. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 493-499, 2019. [10.34062/afs.v6i1.5735](https://doi.org/10.34062/afs.v6i1.5735)

RAMOS, F. R.; FREIRE, A. L. O.; FRANÇA, G. M. Crescimento e acúmulo de biomassa em mudas de craibeira (*Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. F. ex S. Moore) sob estresse hídrico e adubação potássica. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, n. 4, p. 213-221, 2021. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v16i4.1307>

RIBEIRO, G.; PIMENTEL, A. J. B; SOUZA, M. A.; ROCHA, J. R. A. S. C.; FONSECA, W. B. Estresse por altas temperaturas em trigo: impacto no desenvolvimento e mecanismos de tolerância. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 2, p. 133- 142, 2012. <https://doi.org/10.18539/cast.v18i2.2502>

RIBEIRO, G. G. *et al.* Attributing the 2015/2016 Amazon basin drought to anthropogenic influence. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 25, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.25>

REIS, L. S *et al.* Hydroclimate and vegetation changes in southeastern Amazonia over the past~ 25,000 years. **Quaternary Science Reviews**, v. 284, p. 107466, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107466>

ROCHA, F. I *et al.* Soil type determines the magnitude of soil fertility changes by forest-to-pasture conversion in Western Amazonia. **Science of the Total Environment**, v. 856, p. 158955, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158955>

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. de A.;

PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde**, v. 11, n. 3, p. 143-150, 2016. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i3.4313>

RODRIGUES, J. C. W.; CAMPOS, M. C. C.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, M. N. S.; LIMA, R. A.; SANTOS, R. V. A importância da produção de mudas de essências florestais na região amazônica: uma revisão sistemática. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente -FAEMA**, Ariquemes, v. 14, n. 1, p. 10-24, 2023. <https://doi.org/10.31072/rcf.v14i1.1144>

ROSTAMI, M. and MOVAHEDI, Z. Evaluating the effects of Naphthalene acetic acid (NAA) on morpho-physiological traits of valerian (*Valeriana officinalis* L.) In: aeroponic system. **Plant Physiology**, v. 6, p. 1751-1759, 2016. [10.30495/IJPP.2016.532691](https://doi.org/10.30495/IJPP.2016.532691)

ROSA, D. B. C. J.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M. Shading for water stress mitigation in *Copaifera langsdorffii* Desf. Seedlings. **South African Journal of Botany**, v. 140, p. 240- 248, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.04.020>

RHODES, D.; HANSON, A. D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 44, p. 357-84, 1993. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.44.060193.002041>

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000500003>

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant Cell and Environment**, v. 30, n. 9, p. 1086–1106, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01682.x>

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasílica**, v. 17, p. 231-246, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062003000200006>

SILVA, P. M.C.; UCHÔA, S. C. P.; BARBOSA, J. B. F.; BASTOS, V.; ALVES, J. M. A.; FARIAS, L. C. Efeito do potássio e do calcário na qualidade de mudas de cedro doce (*Bombacopsis quinata*). **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2013

SIMÕES, P. H. O.; OLIVEIRA NETO, C. F.; VALE, R. S.; PALHETA, L. F.; DE PAULA, M. T. Crescimento e qualidade de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima em resposta a fontes e doses de nitrogênio. **Revista Espacios**, v. 37, n. 38, p. 29, 2016.

SOUZA, J. G., N. E. BELTRÃO, J. W. SANTOS. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. **Revista de oleaginosas e fibrosas**, v. 36, n. 3, p. 63- 71, 1997.

SOUSA, D. D. C. V. D.; BESSA, L. A.; SILVA, F. G.; ROSA, M.; VASCONCELOS

FILHO, S. D. C.; VITORINO, L. C. Morpho-Anatomical and physiological responses can predict the ideal period for the transplanted of hydroponic seedlings of *Hymenaea courbaril*, a neotropical fruit Tree. **Plants**, v. 9, p. 721, 2020. <https://doi.org/10.3390/plants9060721>

SOUSA, Thaian R. *et al.* Palms and trees resist extreme drought in Amazon forests with shallow water tables. **Journal of Ecology**, v. 108, n. 5, p. 2070-2082, 2020. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13377>

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Prolina: um aminoácido multifuncional. **Tendências na ciência das plantas**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>

SCHARWIES, J. D.; DINNENY, J. R. Water transport, perception, and response in plants. **Plant and Soil**, v. 132, p. 311–324, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01089-8>

SCHLICKMANN, M. B *et al.* Traços funcionais e performance de espécies arbóreas em uma Floresta Ombrófila Mista no Planalto Sul-Catarinense. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1592-1600, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509834818>

SARKER, U.; OBA, S. Drought stress effects on growth, ROS markers, compatible solutes, phenolics, flavonoids, and antioxidant activity in *Amaranthus tricolor*. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 186, n. 4, p. 999- 1016, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2784-5>

SILVA, P. M.C.; UCHÔA, S. C. P.; BARBOSA, J. B. F.; BASTOS, V.; ALVES, J. M. A.; FARIAS, L. C. Efeito do potássio e do cálcio na qualidade de mudas de cedro doce (*Bombacopsis quinata*). **Revista Agro@ambiente**, On-line, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 63-69, 2013. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.842>

SOUZA, J. G., N. E. BELTRÃO, J. W. SANTOS. Influência da saturação hídrica do solo na fisiologia do algodão em casa de vegetação. **Revista de oleaginosas e fibrosas**, v. 36, n. 3, p. 63- 71, 1997.

SOUZA, P. F.; SILVA, G. H.; LUCENA, D. S. Efeitos da aplicação de cloreto de potássio no desenvolvimento de mudas de turco (*Parkinsonia aculeata* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, n. 6, p. 7, 2013.

SHANLEY, P. Jatobá: *Hymenaea courbaril* L. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica**. Belém, PA: CIFOR, 2005. p. 105-113, 2005.

SCALON, S. P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; PEREIRA, Z. V.; MUSSURY, R. M.; SCALON, L. Q. Gas Exchange in *Caryocar brasiliense* Cambess Seedlings in Water Deficit Conditions. **Floresta e Ambiente**. v. 27, p. 2, 2020. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.052017>

SCHWARTZ, G. Manejo sustentável de florestas secundárias: espécies potenciais no nordeste do Pará, Brasil. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 3, n. 5,

2007. [p.n].

SZABADOS, L.; SAVOURÉ. A Proline: a multifunctional aminoacid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89-97, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>

SHI, Z *et al.* The unimodal latitudinal pattern of K, Ca and Mg concentration and its potential drivers in forest foliage in eastern China. **Forest Ecosystems**, v. 11, p. 100193, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2024.100193>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 731 p.

TIAGO, P.V; LAROCCHA D.; SILVA, I.V.; CARPEJANI, A. A.; TIAGO, A.V.; DARDENGO, J. F. E.; *et al.* Morpho-anatomical, Phytochemical, and Histochemical characterization of *Hymenaea courbaril* (Leguminosae), occurring in Southern Amazon. **Rodriguésia**, v. 71, e 02182018, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-7860202071063>

TRÄNKNER, M.; TAVAKOL, E.; JÁKLI, B. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. **Physiologia plantarum**, v. 163, n. 3, p. 414-431, 2018. <https://doi.org/10.1111/pp1.12747>

THOMAS, S. C.; GALE, N. Biochar and forest restoration: a review and meta-analysis of tree growth responses. **New Forests**, v. 46, n. 5–6, p. 931–946, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11056-015-9491-7>

VAN GENUCHTEN, M. T. A. Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. **Soil Sci. Am. J.**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VASCONCELOS, M, R. R.; GONÇALVES, S. L. S.; BACCARIN, F. J. B.; VASCONCELOS, W. A.; MIRANDA, C. C. Influência de altas dosagens de cloreto de potássio no desenvolvimento de espécies em cultivo hidropônico. **Pubvet**, v. 14, n. 14, a 588, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a558.1-9>

VALADARES, J.; PAULA, N. F.; PAULA, R. C. Physiological changes in eucalyptus hybrids under different irrigation regimes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 805-814, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400019>

VANDOORNE, B. *et al.* Water stress drastically reduces root growth and inulin yield in *Cichorium intybus* (var. sativum) independently of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 12, p. 4359-4373, 2012. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers095>

VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, J. DOS S. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Crescimento e nutrição do paricá após adubação com N, P e K. **Revista Nativa**, Sinop, v. 8, n. 1, p. 17-25, jan./fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i1.7490>

VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de

várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, n. 4, 2004. [p.n]. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000400007>

XU, Q.; FU, H.; ZHU, B.; HUSSAIN, H. A.; ZHANG, K.; TIAN, X.; DUAN, M.; XIE, X.; WANG, L. Potassium Improves Drought Stress Tolerance in Plants by Affecting Root Morphology, Root Exudates, and Microbial Diversity. **Metabolites**, v. 11, n. 3, p. 131, 2021. <https://doi.org/10.3390/metabo11030131>

WANG, M.; ZHEN, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, 2013. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

WITHEY, K *et al.* Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 373, n. 1760, p. 20170312, 2018. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0312>

YIFRU, B. A.; CHUNG, I. M.; KIM, M. G.; CHANG, S. W. Assessing the effect of land/use land cover and climate change on water yield and groundwater recharge in East African Rift Valley using integrated model. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 37, p. 100926, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100926>

Yang, H.; Peng, L.; Chen, L.; Zhang, L.; Kan, L.; Shi, Y.; Dong, C. Efficient potassium (K) recycling and root carbon (C) metabolism improve K use efficiency in pear rootstock genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 196, p. 43-54, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.024>

ZHANG, Z *et al.* Forest water-use efficiency: Effects of climate change and management on the coupling of carbon and water processes. **Forest Ecology and Management**, v. 534, p. 120853, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120853>

APÊNDICES

Apêndice 1- Fontes dos reagentes utilizados no tratamento do experimento.

Apêndice 1- Fonte de potássio (a), fonte de fósforo e nitrogênio (b), fonte de magnésio e enxofre (c), fonte de nitrogênio (d), fonte de cobre (e), fonte de boro (f), fonte de manganês (g) e fonte de molibdênio (h).



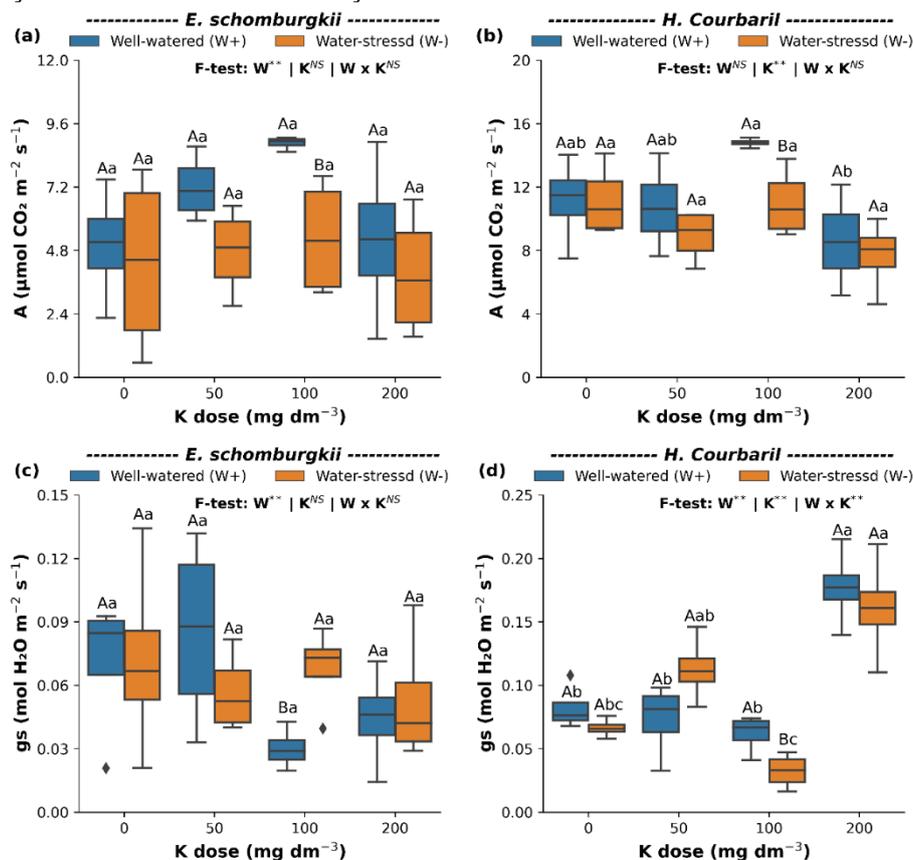
Fonte: Autora (2024).

Apêndice 2 e 3- Trocas gasosas da fava-orelha e do jatobá em função do suprimento de K e condições hídricas

A taxa de assimilação de CO_2 (A) da fava-orelha foi influenciada significativamente pela condição hídrica em função, especialmente na dose 100 mg/dm^{-3} de K (Apêndice 2a). A taxa de A do jatobá, também foi influenciado significativamente pelo aumento das doses de K, em condição adequada de irrigação (Apêndice 2b).

A condutância estomática (g_s) da fava-orelha foi significativamente influenciada pela condição hídrica, principalmente na dose de 100 mg/dm^{-3} (Apêndice 2c). O jatobá também teve sua g_s significativamente influenciada pela condição hídrica e pelas doses de K, especialmente nas maiores doses de K (100 e 200 mg/dm^{-3}) (Apêndice 2d).

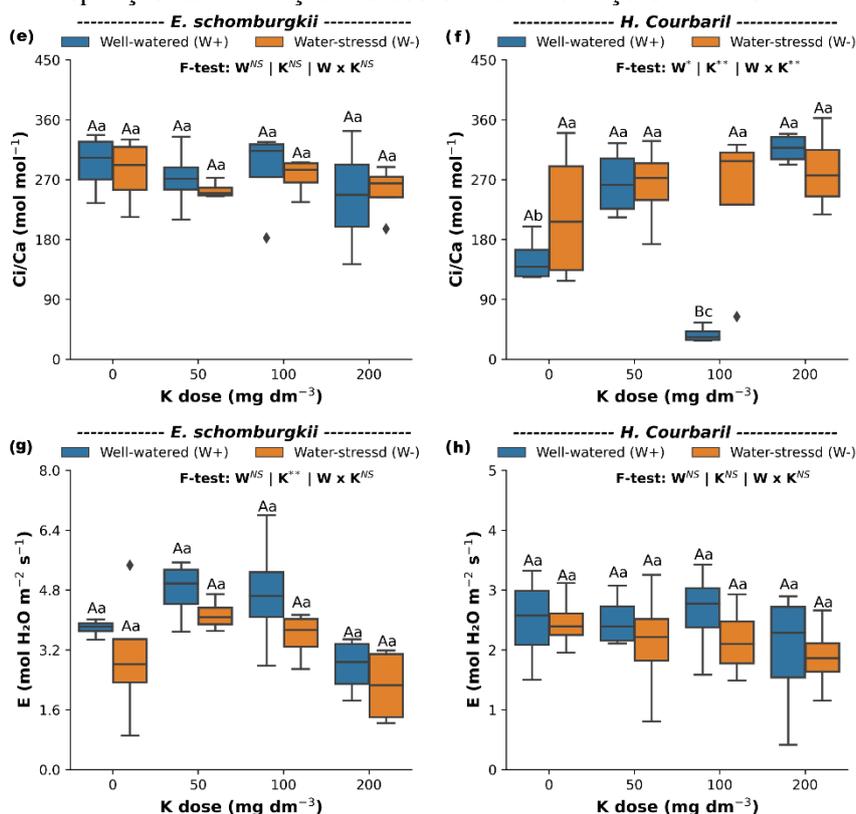
Apêndice 2- Taxa de assimilação de CO₂- A das fava-orelha e jatobá, e a condutância estomática- gs em função das doses de K e a condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

A razão da concentração de CO₂ intercelular (C_i) e atmosférico (C_a) (C_i/C_a) da fava-orelha (Apêndice 3e) não foi influenciada significativamente pelos tratamentos. Sob déficit hídrico a razão C_i/C_a aumentou com o aumento da dose de K até 100 mg dm⁻³. E em condições de irrigação adequada a razão C_i/C_a do jatobá aumentou com o aumento da dose de K até 200 mg dm⁻³, no entanto, foi menor especialmente na dose 100 mg dm⁻³ (Apêndice 3f). A taxa de E da fava-orelha aumenta com a dose de K sem déficit hídrico até a dose 100 mg/dm⁻³; com déficit hídrico também reduz com as maiores doses de K (200 mg/dm⁻³) e varia bastante em função das doses de K (Apêndice 3g). Para a taxa de transpiração do jatobá, não houve resposta significativa para nenhum dos tratamentos (Apêndice 3h).

Apêndice 3- Razão da concentração de CO₂ intercelular (*C_i*) e atmosférico (*C_a*) da fava-orelha e do jatobá e a transpiração- *E* em função das doses de K e condições hídricas.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5% de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Tabela a- Resultado estatístico do teste F das trocas gasosas para fava-orelha e do jatobá.

Tratamentos	Espécie	Variável	F- Valor	P (> F)
Dose de K	Fava-orelha	A	2,19	0,11 ^{ns}
Déficit hídrico	Fava-orelha	A	6,10	0,02 ^{**}
Interação (K x W)	Fava-orelha	A	0,62	0,60 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	A	6,21	0,002 ^{**}
Déficit hídrico	Jatobá	A	4,06	0,55 ^{ns}
Interação (K x W)	Jatobá	A	1,02	0,40 ^{ns}
Dose de K	Fava-orelha	gs	1,30	0,27 ^{ns}
Déficit hídrico	Fava-orelha	gs	0,19	0,006 ^{**}
Interação (K x W)	Fava-orelha	gs	1,53	0,23 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	gs	35,38	0,0005 ^{***}
Déficit hídrico	Jatobá	gs	0,40	0,0005 ^{***}
Interação (K x W)	Jatobá	gs	3,07	0,0004 ^{***}
Dose de K	Fava-orelha	<i>C_i/C_a</i>	0,88	0,46 ^{ns}
Déficit hídrico	Fava-orelha	<i>C_i/C_a</i>	0,16	0,68 ^{ns}
Interação (K x W)	Fava-orelha	<i>C_i/C_a</i>	0,09	0,96 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	<i>C_i/C_a</i>	8,59	0,004 [*]
Déficit hídrico	Jatobá	<i>C_i/C_a</i>	5,78	0,02 ^{**}
Interação (K x W)	Jatobá	<i>C_i/C_a</i>	4,75	0,009 ^{**}
Dose de K	Fava-orelha	<i>E</i>	5,30	0,005 ^{**}
Déficit hídrico	Fava-orelha	<i>E</i>	4,22	0,50
Interação (K x W)	Fava-orelha	<i>E</i>	0,11	0,948 ^{ns}

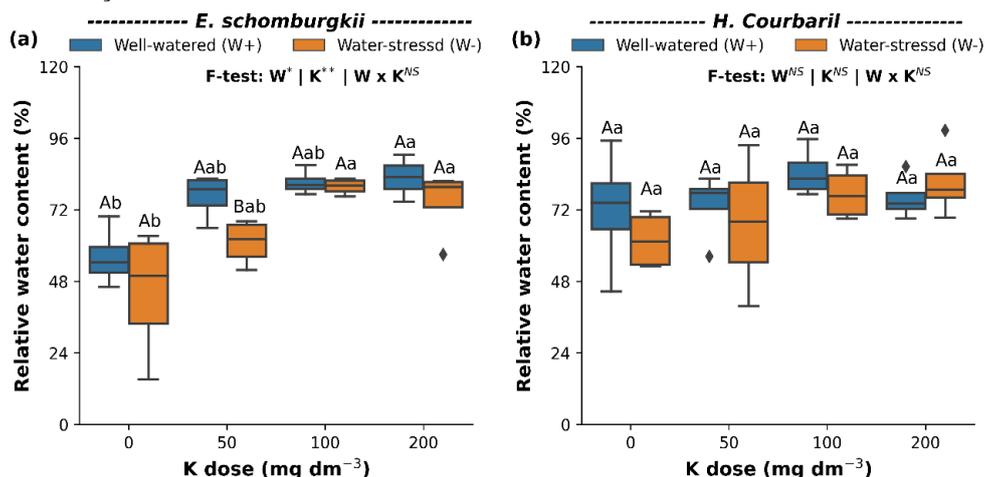
Dose de K	Jatobá	<i>E</i>	0,81	0,500 ^{ns}
Déficit hídrico	Jatobá	<i>E</i>	0,80	0,379 ^{ns}
Interação (K x W)	Jatobá	<i>E</i>	0,16	0,918 ^{ns}

Legenda Teste F: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05. Taxa de assimilação de CO₂ (A); condutância estomática- *gs*; concentração de CO₂ intercelular (Ci) e atmosférico (Ca) e a transpiração- *E*. Fonte: Autora (2024).

Apêndice 4- Conteúdo relativo de água (CRA) da fava-orelha e do jatobá em função do suprimento de K e a condição hídrica

Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA) da fava-orelha, ele foi influenciado significativamente tanto pelo déficit hídrico, condição adequada de irrigação e as doses de K (Apêndice 4a). Houve um aumento do CRA em função do aumento das doses de K, tanto sob déficit hídrico quanto em condições de irrigação adequada. Por outro lado, a espécie jatobá não teve seu CRA influenciado significativamente pelas condições hídricas e as doses de K (Apêndice 4b).

Apêndice 4- Conteúdo relativo de água (CRA) da fava-orelha e do jatobá em função das doses de K e a condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

Tabela b- Resultado estatístico do Teste F do Conteúdo Relativo de Água (CRA) para a fava-orelha e do jatobá.

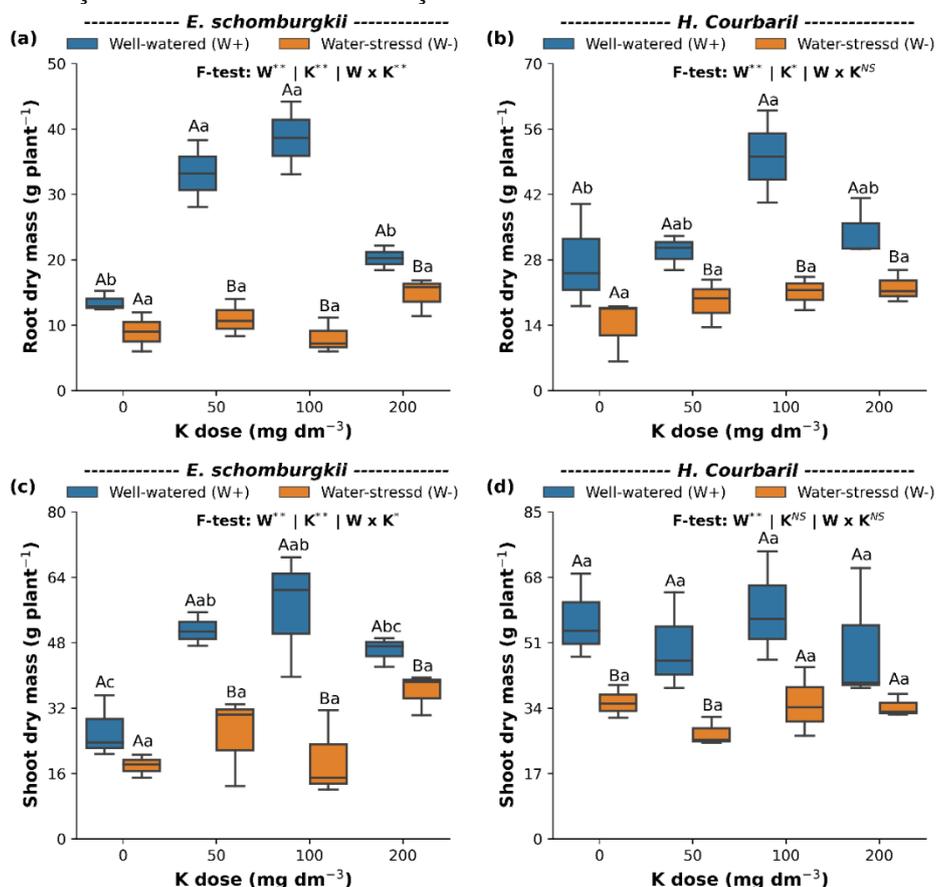
Tratamentos	Espécie	Variável	F- Valor	P (> F)
Dose de K	Fava-orelha	CRA	13,33	0,00002**
Déficit hídrico	Fava-orelha	CRA	5,90	0,02*
Interação (K x W)	Fava-orelha	CRA	0,627	0,60 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	CRA	1,797	0,17 ^{ns}
Déficit hídrico	Jatobá	CRA	0,839	0,36 ^{ns}
Interação (K x W)	Jatobá	CRA	0,627	0,60 ^{ns}

Legenda Teste F: *** p < 0,001; ** p < 0,01; * p < 0,05. Conteúdo relativo de água (CRA). Fonte: Autora (2024).

Apêndice 5 e 6- Biomassa e índice de qualidade de Dickson (*IQD*) da fava-orelha e do jatobá em função do suprimento de K e a condição hídrica

A condição hídrica, as doses de K e a interação entre elas influenciaram significativamente a massa seca da parte aérea (MSPA) da fava-orelha, variando bastante em função das doses de K, principalmente nas maiores doses (100 e 200 mg/dm³) (Apêndice 5a). O jatobá também respondeu significativamente à condição hídrica e às doses de K, variando bastante em função do aumento das doses de 50, 100 e 200 mg/dm³ de K (Apêndice 5b).

Apêndice 5- Massa seca da parte aérea (MSPA) de fava-orelha e de jatobá, e massa seca da raiz (MSR) em função das doses de K e a condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

A matéria seca da raiz (MSR) da fava-orelha foi influenciada significativamente pela condição hídrica, dose de K e a interação (Apêndice 5c). A espécie apresentou variação em função do aumento das doses de K, especificamente nas doses de 50 e 100 mg/dm³ de K, não apresentando um padrão bem definido. Por outro lado, o jatobá

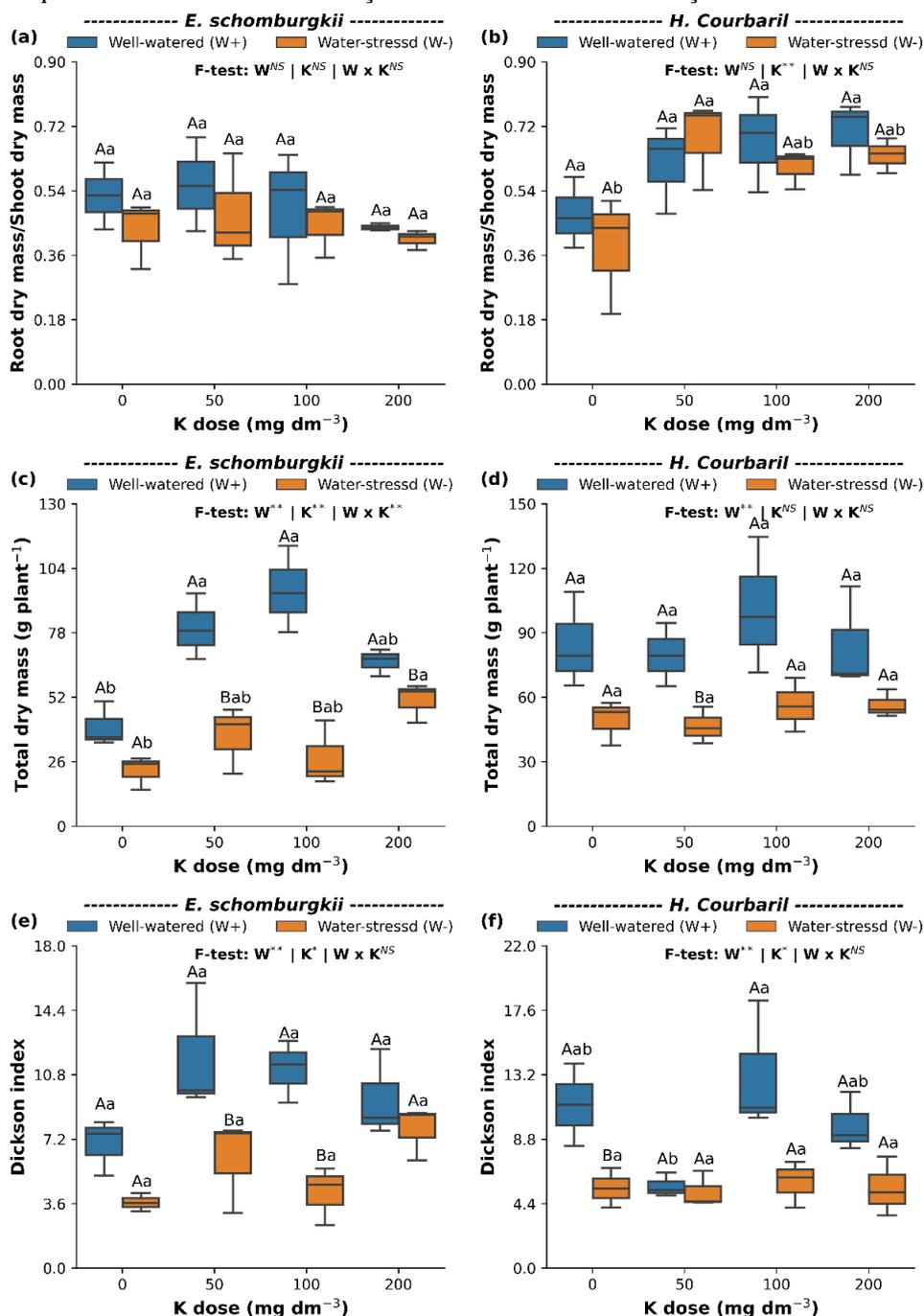
também teve sua MSR influenciada pela condição hídrica, especialmente nas menores doses de K (50 mg/dm^{-3}) e na ausência de K (0 mg/dm^{-3}) (Apêndice 5d).

A razão MSR/MSPA da fava-orelha sem déficit hídrico não houve diferença estatística entre os tratamentos aplicados (Apêndice 6a). Por outro lado, a espécie jatobá foi influenciada significativamente pelos aumentos das doses de K sob déficit hídrico, especialmente com menor razão nas doses de 100 e 200 mg/dm^3 (Apêndice 6b).

A massa seca total (MST) da fava-orelha foi significativamente impactada por todos os tratamentos, com os maiores acúmulos nas doses de 50, 100 e 200 mg/dm^{-3} , enquanto os menores valores foram observados na ausência de K (0 mg/dm^{-3}) (Apêndice 6c). O jatobá teve sua MST influenciada significativamente apenas pela condição hídrica (50 mg/dm^{-3}) (Apêndice 6d).

O índice de qualidade de Dickson (*IQD*) da fava-orelha foi significativamente afetado pela condição hídrica e pelo fornecimento de K, especialmente com o aumento das doses de K de 50 e 100 mg/dm^{-3} (Apêndice 6e). Da mesma forma, o jatobá apresentou variações em seu *IQD* devido ao aumento das doses de K (50 e 200 mg/dm^{-3}) (Apêndice 6f).

Apêndice 6- Razão da massa seca da raiz/ massa seca da parte aérea da massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) da fava-orelha e de jatobá, e massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de *Dickson* em função das doses de K e a condição hídrica.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1 % e 5 % de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5 % de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey (p < 0,05). Fonte: Autora (2024).

Tabela c- Resultado estatístico do Teste F da Matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), razão MSR/MSPA e matéria seca total (MST) para a fava-orelha e de jatobá.

Tratamentos	Espécie	Variável	F- Valor	P (> F)
Dose de K	Fava-orelha	MSPA	6,06	0,005**
Déficit hídrico	Fava-orelha	MSPA	34,2	0,00002**
Interação (K x W)	Fava-orelha	MSPA	3,77	0,003**
Dose de K	Jatobá	MSPA	0,81	0,05*
Déficit hídrico	Jatobá	MSPA	22,8	0,0002**
Interação (K x W)	Jatobá	MSPA	0,17	0,91 ^{ns}
Dose de K	Fava-orelha	MSR	15,12	0,00006**
Déficit hídrico	Fava-orelha	MSR	124,36	0,00005**
Interação (K x W)	Fava-orelha	MSR	20,54	0,00009*
Dose de K	Jatobá	MSR	5,13	0,11 ^{ns}
Déficit hídrico	Jatobá	MSR	34,74	0,00002**
Interação (K x W)	Jatobá	MSR	2,35	0,11 ^{ns}
Dose de K	Fava-orelha	MSR/MSPA	0,71	0,55 ^{ns}
Déficit hídrico	Fava-orelha	MSR/MSPA	1,99	0,17 ^{ns}
Interação (K x W)	Fava-orelha	MSR/MSPA	0,105	0,95 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	MSR/MSPA	6,12	0,005**
Déficit hídrico	Jatobá	MSR/MSPA	0,75	0,39 ^{ns}
Interação (K x W)	Jatobá	MSR/MSPA	0,64	0,59 ^{ns}
Dose de K	Fava-orelha	MST	9,14	0,0009**
Déficit hídrico	Fava-orelha	MST	59,39	0,00008**
Interação (K x W)	Fava-orelha	MST	6,80	0,003**
Dose de K	Jatobá	MST	0,79	0,51 ^{ns}
Déficit hídrico	Jatobá	MST	22,3	0,0002**
Interação (K x W)	Jatobá	MST	0,23	0,87 ^{ns}

Legenda Teste F: *** $p \leq 0,001$; ** $p \leq 0,01$; * $p \leq 0,05$. Fonte: Autora (2024).

Tabela d- Resultado estatístico do Teste F Índice de Qualidade de Dickson (IQD) da fava-orelha e do jatobá.

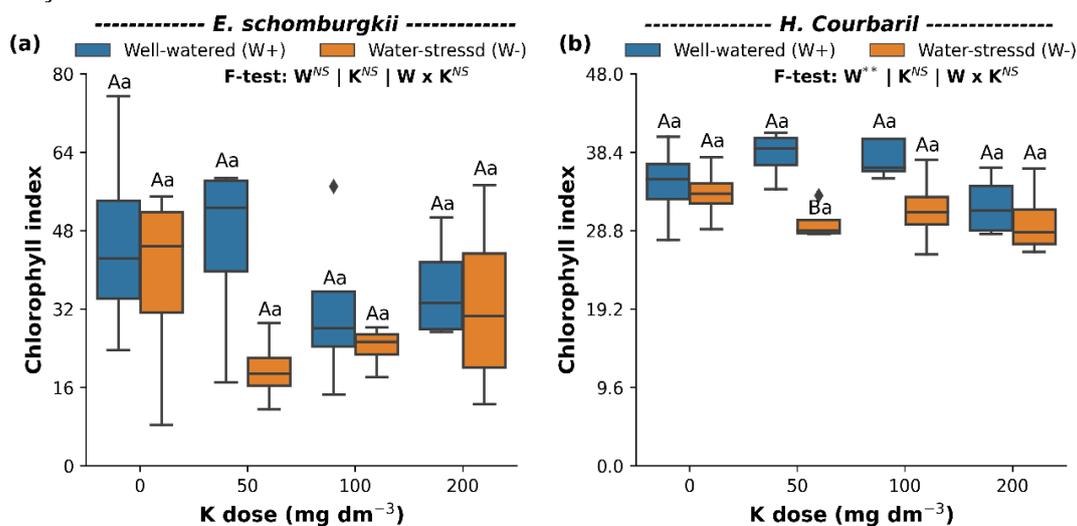
Tratamentos	Espécie	Variável	F- Valor	P (> F)
Dose de K	Fava-orelha	IQD	3,56	0,003**
Déficit hídrico	Fava-orelha	IQD	25,52	0,03*
Interação (K x W)	Fava-orelha	IQD	1,81	0,18 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	IQD	3,37	0,04*
Déficit hídrico	Jatobá	IQD	22,26	0,0002**
Interação (K x W)	Jatobá	IQD	2,51	0,095 ^{ns}

Legenda Teste F: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$. Fonte: Autora (2024).

Apêndice 7- Índice de clorofila (SPAD) da fava-orelha e do jatobá em função do suprimento de K e a condição hídrica.

O índice de clorofila da fava-orelha não apresentou respostas significativas em função da aplicação dos tratamentos (Apêndice 7a). No caso do jatobá, sob déficit hídrico, os valores variaram em função das doses de K, não apresentando um padrão claro (Apêndice 7b). No entanto, o menor índice foi observado na dose de 50 mg/dm³.

Apêndice 7- Índice de clorofila (SPAD) fava-orelha e de jatobá em função das doses de K e condições hídricas.



Teste F: W água; ** e *: significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; NS= não significativo a 5% de probabilidade. Diferentes letras maiúsculas indicam diferenças no déficit hídrico e diferentes letras minúsculas indicam diferenças na dose de K pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autora (2024).

Tabela e- Resultado estatístico do Teste F Índice Clorofila (SPAD) da fava-orelha (Benth.) e de jatobá.

Tratamentos	Espécie	Variável	F- Valor	P (> F)
Dose de K	Fava-orelha	SPAD	35,35	0,49 ^{ns}
Déficit hídrico	Fava-orelha	SPAD	31,39	0,91 ^{ns}
Interação (K x W)	Fava-orelha	SPAD	26,56	0,84 ^{ns}
Dose de K	Jatobá	SPAD	1,46	0,005 ^{**}
Déficit hídrico	Jatobá	SPAD	9,46	0,24 ^{ns}
Interação (K x W)	Jatobá	SPAD	1,49	0,24 ^{ns}

Legenda Teste F: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$. Fonte: Autora (2024).